

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berkembangnya peradaban manusia selalu diiringi dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Perkembangan teknologi yang cukup pesat dalam dekade ini diikuti dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan energi (www.kompas.com). Bahan bakar fosil merupakan sumber energi terbesar dari kebutuhan energi di dunia. Peningkatan ini ditandai dengan semakin banyaknya jumlah dan jenis kendaraan bermotor, munculnya berbagai macam industri dan produk-produk baru diseluruh penjuru dunia.

Namun bahan bakar fosil (minyak bumi) sangat terbatas keberadaannya dan memiliki sifat tidak bisa diperbaharui (non-renewable). Sehingga keberadaannya dari waktu ke waktu akan semakin berkurang. Selain itu, proses pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna mengakibatkan terjadinya pencemaran udara yang dapat merusak lapisan ozon. Rusaknya lapisan ozon dapat menimbulkan efek rumah kaca yang dapat mengakibatkan berbagai gangguan kesehatan. Sehingga sangat perlu dilakukan kegiatan konservasi (pencarian), konversi (perubahan), dan pengembangan (diversifikasi) sumber-sumber energi baru yang memiliki sifat dapat diperbaharui (renewable), serta tidak menimbulkan pencemaran lingkungan (ramah lingkungan). Sumber-sumber energi alternatif tersebut antara lain fuel cell, solar cell, biodiesel, biogas dan lain sebagainya yang diharapkan mampu menggantikan posisi bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama.

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. 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.

Minyak kelapa merupakan aditif terbaik untuk mengurangi polusi. Meskipun dalam jumlah yang kecil (1%) telah dapat memberikan perbedaan yang sangat nyata. Pencampuran 1 % minyak kelapa dapat mengurangi emisi gas buang. Studi yang dilakukan di Jepang dan Korea menunjukkan emisi *particulate matter* (PM) berkurang 60 % sedangkan NO_x 20 %, serta mengurangi jumlah asap sampai 70 %. Penambahan 2 % minyak kelapa menurunkan polusi dan emisi asap sebesar 90 %. Pembakaran minyak kelapa hanya menghasilkan CO₂ dan energi. Dan tidak akan menambah jumlah kandungan CO₂ di atmosfer karena akan diserap kembali oleh tumbuhan. CO₂ yang dihasilkan oleh pembakaran minyak kelapa seimbang dengan CO₂ yang diserap pohon kelapa yang nantinya akan digunakan sebagai kebutuhan respirasinya. (www.kokonutpacific.com.au/reducepollution.htm)

Bahan bakar merupakan komponen yang sangat penting di dalam proses pembakaran. Karena syarat terjadinya pembakaran harus terdiri dari tiga komponen utama, yaitu meliputi bahan bakar (*fuel*), udara (*air*), dan energi panas (*heat*). Pembakaran merupakan suatu media konversi energi yang banyak digunakan, karena pembakaran merupakan suatu reaksi kimia (reaksi oksidasi) yang berlangsung pada temperatur tinggi, berjalan dengan cepat dan disertai dengan lepasnya sejumlah kalor. Pembakaran mempunyai fungsi untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi kalor yang selanjutnya dapat digunakan secara langsung ataupun diubah menjadi energi lain.

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa proses pembakaran memerlukan adanya energi aktivasi berupa energi panas untuk kelangsungan reaksinya. Jika energi aktivasi ini lebih besar daripada energi yang dihasilkan pembakaran, maka efisiensi pembakaran tentu akan kecil sehingga tidak efektif. Oleh karena itu perlu digunakan katalis untuk mencegah hal tersebut. Dengan adanya katalis diharapkan energi aktivasi pembakaran dapat diperkecil dan laju reaksi pembakaran dapat dipercepat. Zeolit adalah salah satu jenis katalis padat yang sering digunakan dalam teknologi

pembakaran. Selain berfungsi sebagai katalis pengubah produk, zeolit biasa digunakan dalam industri-industri untuk mengurangi emisi karbon.

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. Sehingga minyak nabati khususnya minyak kelapa dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil.

Dari beberapa pernyataan diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai metode perubahan bentuk (*reform*) dari bahan bakar cair menjadi gas yang dapat dibakar dan proses katalisasi di dalamnya. Dengan minyak kelapa sebagai bahan bakar dasarnya, serta zeolit sebagai katalis prosesnya, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh ukuran butir katalis zeolit pada proses *catalytic cracking* terhadap waktu *flashback* dan tekanan *flashback* pembakaran uap minyak kelapa. Tentunya dengan harapan mampu mencari sumber energi alternatif dalam pembakaran.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah diatas, maka dapat ditarik rumusan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana pengaruh ukuran butir zeolit 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. Ukuran butir zeolit yang digunakan adalah 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm, 4-5 mm, dan 5-6 mm.
3. Volume minyak kelapa yang digunakan adalah 1.4 cc dan 2 cc.

Debit oksigen yang dialirkan ke reformer sama untuk setiap pengujian yaitu sebesar 1.390 cc / detik.

4. Volume dan temperatur katalis zeolit dianggap tetap selama pengujian.
5. Tidak membahas konstruksi dan proses perpindahan panas pada alat.
6. Tidak dipengaruhi kondisi lingkungan penelitian.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh ukuran butir zeolit 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 memberikan pengetahuan bagi penulis mengenai pengaruh ukuran butir Zeolit pada proses *catalytic cracking* terhadap waktu dan tekanan *flashback* pembakaran uap minyak kelapa (*Cocos Nucifera*).
2. Memberikan pengetahuan baru mengenai teknologi katalis.
3. Memberikan masukan penggunaan modifikasi minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif terbarukan (*renewable*), yang berguna bagi masyarakat dalam bidang rumah tangga, industri, transportasi dan lain sebagainya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Penelitian yang dilakukan oleh **Dadang Suprayogo (2006)**, bertujuan untuk mengetahui pengaruh porositas *porous medium* dan AFR terhadap temperatur pada pembakaran *premixed* menggunakan *porous medium*. *Porous medium* yang digunakan terdapat dua tingkat. Tingkat dasar adalah zona *preheating*, menggunakan ukuran butir yang lebih kecil. Sedangkan diatas zona *preheating* terdapat zona pembakaran yang mana menggunakan butiran yang lebih besar. Disebut zona pembakaran karena pada zona ini di berikan *flame ignition*. Hasil yang didapatkan adalah besarnya porositas mempengaruhi temperatur tertinggi nyala api yang dihasilkan. Hal ini karena semakin kecil porositas berarti semakin besar densitas sehingga semakin banyak energi yang mampu diserap dan ditransfer pada campuran udara bahan bakar (AFR) yang mulai terbakar sehingga temperatur pembakaran semakin tinggi. Dan pembakaran pada medium dengan porositas yang lebih kecil didapatkan nyala api yang lebih pendek. Hal ini disebabkan karena pembakaran pada medium porositas kecil menaikkan kecepatan pembakaran.

2.2. Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar disertai dengan timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor (*Turns, 1996:12*).

Dalam setiap proses pembakaran ada dua peristiwa yang pasti terjadi, antara lain:

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).

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

1. Pembakaran *preximed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu sebelum terjadi pembakaran. Keberhasilan dari pembakaran *preximed* dipengaruhi oleh faktor homogenitas campuran udara dan bahan bakar, dimana pembakaran pada campuran udara dan bahan bakar yang tidak homogen menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal. Pada penelitian ini, jenis pembakarannya adalah pembakaran *premix*.
2. 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.

Berdasarkan keadaan fisik awal dari bahan bakar, maka terdapat klasifikasi bahan bakar, antara lain :

1. 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 Mendeleeyev :

$$QL = 81C + 246H + 26(O - SV) - 6W$$

Dimana :

QL = NHV = LHV = 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*

2. Cair : bahan bakar cair diubah dulu menjadi gas kemudian dibakar.
3. Gas : bahan bakar gas tidak memerlukan perubahan fase, langsung terbakar, sehingga energi yang di butuhkan untuk penyalaan lebih sedikit.

Pada proses pembakaran selalu diusahakan untuk 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).

2.2.1. Prinsip Pembakaran Melalui *Porous Medium*

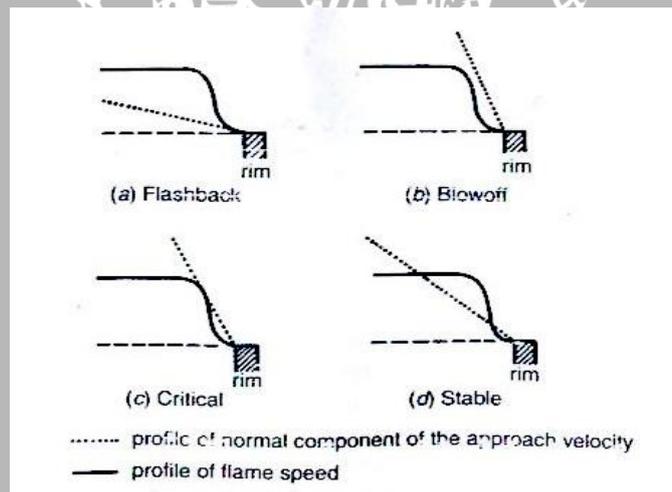
Prinsip kerja pembakaran melewati *porous medium* merupakan mekanisme pembakaran *premixed* dimana sebelum bahan bakar dan udara yang telah bercampur, terlebih dahulu telah mengalami proses pemanasan awal. Campuran bahan bakar dan udara akan dialirkan dari bagian bawah *porous medium* sebelum akhirnya dibakar. Pada pembakaran *premixed*, jarak kritis dimana api sudah tidak bisa merambat dikenal dengan *quenching distance* (Kuo;1986:326). Dengan menentukan *quenching distance* maka api tidak akan terjadi *blow off*. Apabila aliran campuran bahan bakar dan udara terjadi pada pipa maka *quenching distance* adalah diameter pipa tersebut. Apabila aliran terjadi pada *duct* maka yang menentukan *quenching distance* adalah jarak antara 2 plat pembentuknya. Dan apabila aliran terjadi pada *porous medium* maka yang menentukan *quenching distance* adalah jarak rata-rata celah dari partikel penyusun *porous medium*.

Fluida yang melewati *porous medium* akan mengalami pengadukan atau turbulensi sehingga campuran udara dan bahan bakar akan semakin homogen. Selain itu dengan berubahnya fase campuran udara bahan bakar menjadi uap sepenuhnya, maka bahan bakar akan lebih mudah terbakar. Sehingga dengan melewati *porous media* tersebut pembakaran yang akan terjadi selanjutnya akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dengan temperatur dan tekanan yang lebih tinggi.

Proses pembakaran terjadi apabila campuran bahan bakar dan udara telah bercampur dengan baik sehingga campuran tersebut mencapai titik penyalan. Jadi sebelum terjadinya pembakaran diperlukan adanya energi aktivasi untuk memanaskan campuran reaktan tersebut agar mencapai titik penyalannya. Apabila campuran reaktan tersebut sudah memiliki kalor maka energi yang dibutuhkan untuk menguapkan campuran reaktan akan lebih kecil sehingga panas yang dilepaskan dari proses pembakarannya akan lebih besar.

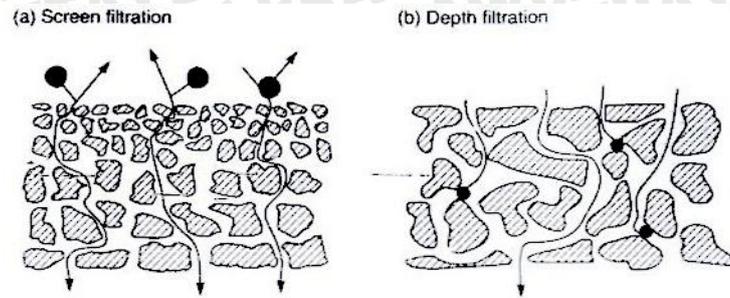
2.2.2. Kestabilan Api pada *Porous Medium*

Dalam proses pembakaran, kestabilan pembakaran memegang peranan sangat penting. Suatu pembakaran dikatakan stabil apabila pada proses pembakaran tersebut masih terdapat nyala api. Api dikatakan stabil jika tetap stasioner pada posisi tertentu. Pada suatu keadaan tertentu pembakaran menjadi tak stabil bahkan api padam. Terdapat dua peristiwa yang menyebabkan api tak stabil. Yaitu peristiwa *flashback* dan *blow off*. *Flashback* adalah ketidakstabilan api yang terjadi bila kecepatan gas reaktan lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan pembakaran sehingga menyebabkan arah rambatan api menuju ke mulut nosel. Rambatan api ini mempunyai kecepatan yang tinggi dan menyebabkan api tak stabil. Peristiwa *blow off* terjadi bila kecepatan gas reaktan lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan pembakaran sehingga menyebabkan arah rambatan api meninggalkan nosel. Pada peristiwa ini biasanya ditandai dengan memanjangnya profil api. Pemanjangan nyala api ini disebut *flame stretch*. Dalam teori kestabilan pembakaran, semakin besar *stretch* pembakaran semakin tidak stabil. Yang membedakan dari seluruh jenis ketidakstabilan api dapat ditinjau dari distribusi radial profil kecepatan pembakaran dan kecepatan gas masing-masing. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. berikut ini :



Gambar 2.1. Distribusi radial profil kecepatan dari jenis kestabilan api
Sumber : Kuo ; 1986 : 504

Pada *porous medium*, reaktan tidak akan bisa bergerak lebih cepat dari kecepatan pembakaran karena reaktan harus bergerak diantara celah-celah dari *porous medium* yang mengakibatkan kecepatannya berkurang, sehingga peluang terjadinya *blow off* sangat kecil. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. dibawah ini :



Gambar 2.2. Pergerakan molekul reaktan didalam *porous medium*

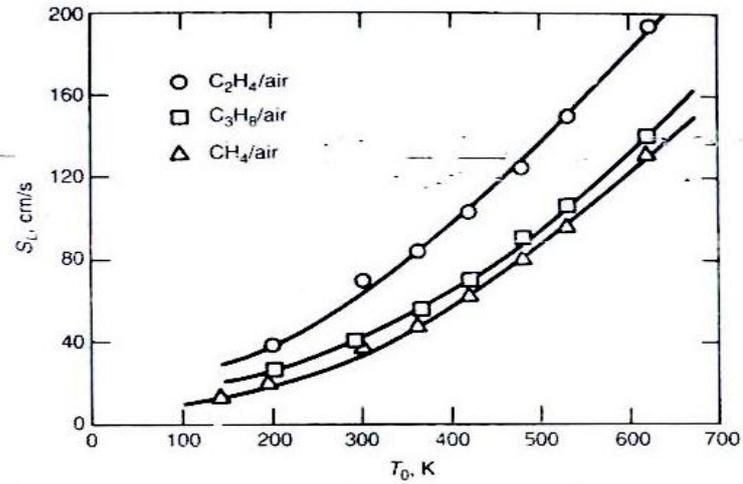
Sumber : Richard ; 2004 : 69

2.2.3. Kecepatan Pembakaran

Pada pembakaran *premixed* terjadi gelombang perambatan 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
3. Adanya aliran turbulen untuk pengadukan bahan bakar dan udara
4. Penggunaan katalis

Kecepatan pembakaran yang terjadi pada *porous medium* sendiri akan meningkat diakibatkan karena meningkatnya temperatur campuran udara bahan bakar dalam zona *porous media*. Kenaikan temperatur campuran ini bisa disebabkan karena temperatur *porous medium* yang tinggi sehingga mengakibatkan kecepatan gerak molekul bahan bakar dan udara di dalamnya meningkat sehingga frekuensi tumbukan antar molekul juga meningkat. Hal ini akan mengakibatkan homogenitas campuran bahan bakar dan udara semakin baik. Hubungan antara temperatur reaktan di dalam *porous medium* dengan kecepatan pembakaran seperti yang terlihat pada gambar 2.3. berikut :



Gambar 2.3. Pengaruh temperatur awal reaktan terhadap kecepatan pembakaran
 Sumber : Kuo; 1986 : 313

Seperti terlihat pada gambar diatas, kecepatan pembakaran untuk berbagai jenis bahan bakar akan meningkat seiring dengan besar temperatur reaktan. Karena kecepatan pembakaran sendiri dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S_L = \left[R \left(\frac{T_b - T_i}{T_i - T_u} \right) \left(\frac{\lambda}{C_p \rho} \right) \left(\frac{-\omega^m F}{C_R} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad \text{(Wardana, 2008 : 159)(2.1)}$$

Dimana :

- T_b : Temperatur produk (K)
- T_i : Temperatur penyalaan (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)

Syarat terjadinya pembakaran adalah apabila energi aktivasi yang diberikan telah lebih besar dari energi aktivasi bahan bakar yaitu pada saat temperatur reaktan telah mencapai *ignition point*. Sehingga apabila temperatur reaktan tinggi maka untuk mencapai *ignition point* akan memerlukan waktu yang lebih singkat. Seperti yang terlihat pada rumus Arrhenius yang menyatakan laju pembakaran dimana besarnya merupakan fungsi temperatur :



$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{R_u T}\right) \quad (\text{Kuo; 1986: 115}) \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana : k = Laju reaksi kimia (mol¹⁻ⁿ / mm⁽³⁻³ⁿ⁾ s)

E_a = Energi aktivasi bahan bakar (kgmm² / s² mol)

R_u = Konstanta gas universal (1.380622 × 10⁻²³ J/K)

T = Temperatur (K)

A = Konstanta

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.

Yang dimanfaatkan dari pohon kelapa sebagai bahan bakar cair alternatif adalah buahnya. Buah kelapa yang telah berumur sekitar 6 bulan sudah bisa diolah. Ditandai dengan warna tempurung yang lebih gelap dan membukanya spate. Semakin tua umur dari pohon kelapa, yaitu sekitar 11 – 14 bulan semakin berkurang kandungan airnya, namun semakin meningkat kandungan lemak dalam dagingnya (*Woodroof 1978*).

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 2.4. Minyak Kelapa dan Buah Kelapa

Sumber : http://niceceu.blogspot.com/images/kelapa_01.jpg

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 pebetukan sabun, yang selanjutnya akan tercampur dengan bahan baku, menghambat proses transesterifikasi sehingga memperkecil produksi biodiesel. (Hendartomo, 2006)

Reaksi pembakaran stoikiometri dari minyak kelapa (*Cocos nucifera*) dengan rumus kimia $C_{106}H_{206}COO$ 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 terpencil yang sulit mendapatkan bahan bakar minyak
5. Mudah dalam pengolahannya.

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

Tabel 2.1. Sifat fisik beberapa minyak nabati dan minyak fosil

Jenis Minyak	Titik Bakar (⁰ C)	Kekentalan (10 ⁻⁶ m ² /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).

Tabel 2.2. Produktifitas tanaman untuk menghasilkan minyak

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

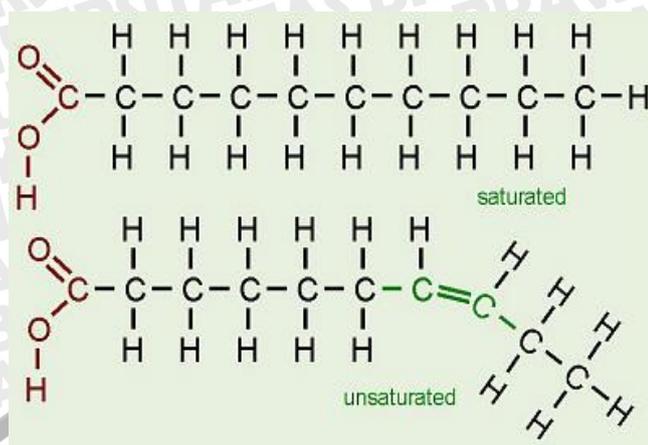
Sumber : http://www.dkp.go.id/files/Biodiesel_Pengganti_Bahan_Bakar_Minyak.pdf

Tabel 2.3. Perbandingan minyak kelapa dengan spesifikasi standar minyak diesel.

Specification	Standard Specification of <i>Cocos Nucifera L.</i>	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 2.5. Rumus struktur kimia 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.

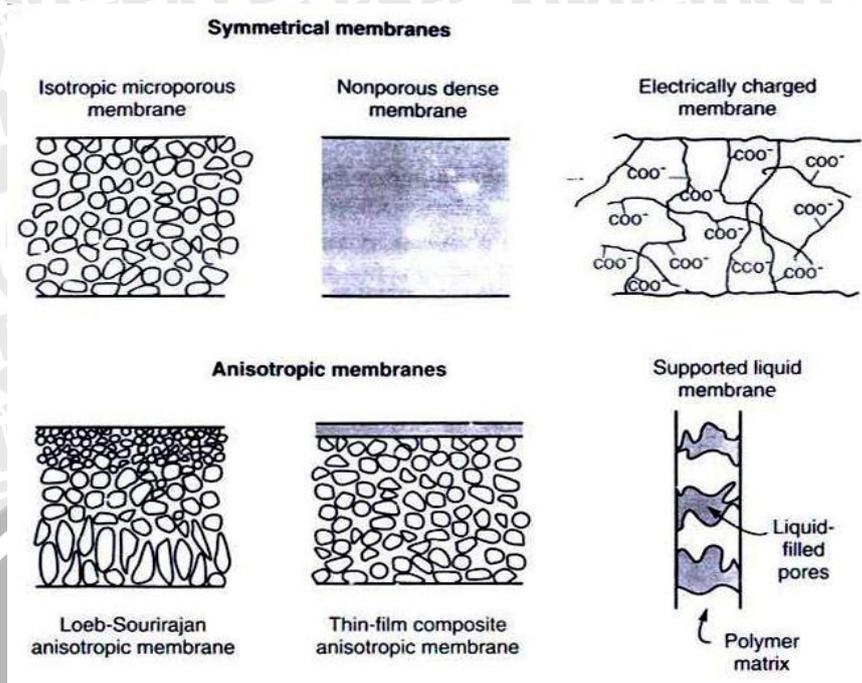
Dengan adanya rantai yang panjang pada struktur kimia minyak kelapa diperlukan sejumlah perlakuan dari luar yang dapat membantu energi panas untuk pemutusan ikatan-ikatan kimia tersebut, sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih cepat. Dengan adanya penelitian terhadap ukuran butir katalis zeolit pada pembakaran uap minyak kelapa, diharapkan dapat lebih memperpendek rantai ikatan kimia minyak kelapa, sehingga reaksi kimia pembakaran (*flashback*) akan semakin cepat, dengan energi aktivasi yang tidak terlalu tinggi.

2.4. Membran

Membran adalah selaput, lapisan, atau lembaran bahan tipis yang merupakan pemisah serta dapat mempengaruhi perilaku peralihan (transport) molekul dan ion. (www.wikipedia.co.id-membran/e)

2.4.1. Tipe-Tipe Membran

Membran mempunyai beberapa tipe, seperti yang terlihat pada gambar 2.6. berikut ini (*Membrane Technology and Application*, Richard W. Baker) :



Gambar 2.6. Tipe-tipe membran
 Sumber : Richard ; 2004 : 4

Isotropic Membranes

1. *Microporous Membranes*

Pada *microporous membranes*, struktur dan fungsinya sangat mirip dengan filter konvensional. Bentuknya rigid, banyak ruang kosong akibat distribusi acak dari pori-pori yang *interconnected* (tersambung satu sama lain). Tetapi bagaimanapun, pori-pori ini berbeda dengan yang ada pada filter konvensional yang amat sangat kecil, yaitu diameternya 0.01 – 10 μm . Semua partikel yang lebih besar daripada pori-pori yang terbesar pada membran akan tertolak oleh membran. Partikel yang lebih kecil daripada pori-pori yang terbesar pada membran, maka sebagian akan tertolak, sesuai dengan distribusi ukuran pori pada membran. Sedangkan partikel yang lebih kecil daripada pori-pori yang terkecil pada membran akan dapat melewati membran secara utuh. Jadi pemisahan partikel menggunakan *microporous membranes* tergantung pada ukuran molekul dan distribusi ukuran pori membran. Pada umumnya, hanya molekul yang besar yang dapat dipisahkan secara efektif oleh *microporous membranes*. Contohnya adalah pada ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi.

2. *Nonporous Dense Membrane* (Membran Padat)

Nonporous membrane terdiri dari film padat yang dapat dilalui yang mana dapat ditembus dengan cara difusi dibawah pengaruh *driving force* tekanan, konsentrasi, atau

gradien potensial listrik. Pemisahan pada campuran dengan komponen bervariasi berhubungan langsung dengan laju relatif transportnya didalam membran, yang mana ditentukan oleh difusifitas dan solubelitasnya. Jadi *nonporous membrane* dapat memisahkan ukuran yang serupa jika konsentrasinya pada membrane (solubility) berbeda secara signifikan. Pada kebanyakan pemisahan gas, penguapan, dan membran difusi osmosis menggunakan *nonporous membrane*. Biasanya membrane ini memiliki struktur *anisotropic* untuk memaksimalkan flux.

3. *Electrically Charged Membranes*

Electrically charged membranes dapat berupa *nonporous* atau *microporous*, tetapi kebanyakan adalah berupa *microporous*, dengan dinding pori mengalirkan ion positif atau negatif. Suatu membran dengan ion positif diberikan kepada membran pertukaran anion karena ia terjepit anion pada fluida sekelilingnya. Begitupun dengan membran ber-ion negatif juga disebut membran pertukaran kation. Separasi dengan membran bermuatan utamanya dicapai dengan pengeluaran ion pada muatan yang sama seperti ion pada struktur membran, dan pada luasan yang kurang lebih sebesar ukuran pori. Separasi dipengaruhi oleh muatan dan konsentrasi ion pada larutan. *Electrically charged membrane* digunakan untuk memproses larutan elektrolit pada elektrodialisis.

Anisotropic Membranes

Laju transport dari suatu partikel yang melewati membran berbanding terbalik dengan tebal membran. Laju transport tinggi sangat diinginkan pada proses separasi membran untuk alasan ekonomi, oleh karena itu membran seharusnya diusahakan setipis mungkin. Teknologi fabrikasi film konvensional membatasi produksi film dengan tebal kira-kira 20 μm , tapi tetap kuat secara mekanik dan bebas cacat. *Anisotropic membrane* terdiri dari permukaan lapisan yang sangat tipis didukung dengan substruktur berpori yang lebih tebal. Permukaan lapisan dan substruktur tersebut bisa dibentuk dalam satu proses atau bisa pula terpisah. Pada membran komposit, lapisannya biasanya dibuat dari polimer yang berbeda. Properti separasi dan laju transport pada membran hanya ditentukan oleh permukaan lapisan ; fungsi substruktur sebagai pendukung mekanis (*mechanical support*). Keuntungan dari flux yang lebih tinggi membuat *anisotropic membranes* menjadi jenis membran yang paling baik dari jenis-jenis yang lain.

Ceramic, Metal, and Liquid Membranes

Dalam diskusi sejauh ini banyak dinyatakan bahwa material membran adalah polimer organik, pada kenyataannya sebagian besar membran yang digunakan secara komersil adalah *polymer based*. Tetapi bagaimanapun baru-baru ini ketertarikan untuk membuat membran dari material konvensional semakin bertambah. *Ceramic membrane*, jenis spesial dari *microporous membrane*, digunakan dalam aplikasi ultrafiltrasi dan mikrofiltrasi yang mana membutuhkan ketahanan pelarut dan stabilitas termal. *Dense metal membrane*, terutama membran-membran palladium mulai dipertimbangkan penggunaannya untuk proses pemisahan hidrogen dari campuran gas, dan dapat juga didukung oleh *liquid film* yang kini telah dikembangkan untuk komponen pengangkut dalam proses transport.

2.4.2. Permeabilitas Membran

Permeabilitas membran diartikan sebagai kemampuan suatu membran bertindak permeable, yaitu dapat dilalui/dialiri gas atau cairan tiap satuan luas dalam waktu tertentu (*Tata Surdia*). Hal ini dijelaskan dalam persamaan berikut :

$$P = \frac{V \cdot l}{p \cdot A \cdot t} \left(\frac{ml}{cm^2 \cdot menit} \right) \quad (\text{Heine, 1976 : 96}) \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

P = Permeabilitas $\left(\frac{ml}{cm^2 \cdot menit} \right)$

V = Volume gas (ml)

l = Tebal membran katalis (mm)

p = Beda tekanan gas sebelum dan sesudah melewati membran (mmH₂O)

A = Luas penampang membran (cm²)

t = Waktu yang diperlukan untuk mengalirkan 1 liter gas (menit)

2.5. 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 aktifasi dari atom atau molekul tersebut. Dalam reaksi pembakaran, kecepatan reaksi sangat berpengaruh terhadap temperatur pembakaran. Persamaan energi kinetik gas, yaitu:



$$\frac{3}{2} k T = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{Halliday, 1985 : 253}) \dots \dots \dots (2.4)$$

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 serta temperatur pembakaran yang dihasilkan semakin tinggi.

Dari rumusan (2.3) diatas apabila di ubah dalam bentuk energi kinetik adalah

$$\frac{3}{2} kT = Ek$$

Sehingga temperatur pembakaran bergantung pada Ek

$$T = \frac{2 Ek}{3 k}$$

2.6. 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 $t = 0$ adalah v_0 , 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

$$mv - mv_0 = Ft \quad (\text{Sears, 1982 : 205}) \dots\dots\dots(2.5)$$

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

$$\text{Impuls} = J = F(t_1 - t_2) \quad (\text{Sears, 1982 : 205}) \dots\dots\dots(2.6)$$

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*.

$$\text{Momentum} = p = mv \quad (\text{Sears, 1982 : 205}) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

P = momentum (kg m/s)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan benda (m/s)

Arti dari persamaan 2.6 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 , maka dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F(t_2 - t_1) = mv_2 - mv_1 \quad (\text{Sears, 1982 : 205}) \dots\dots\dots(2.8)$$

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*)



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

(Atkins, 1999: 275)(2.9)

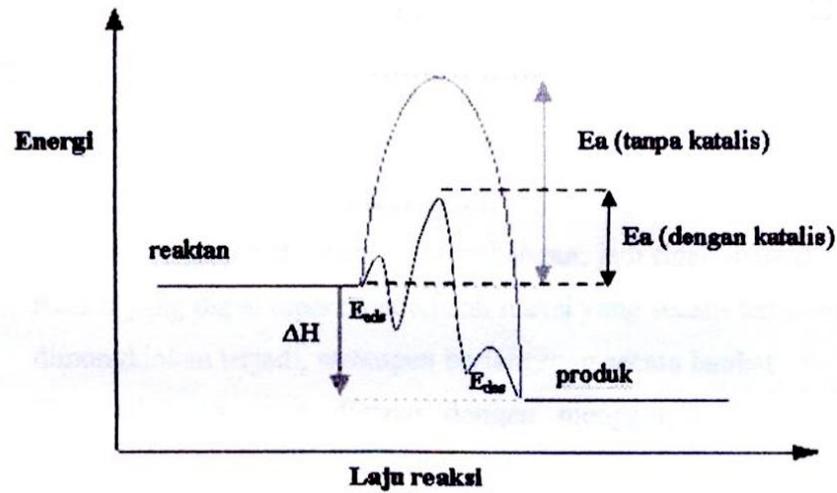
2.7. Katalis

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.

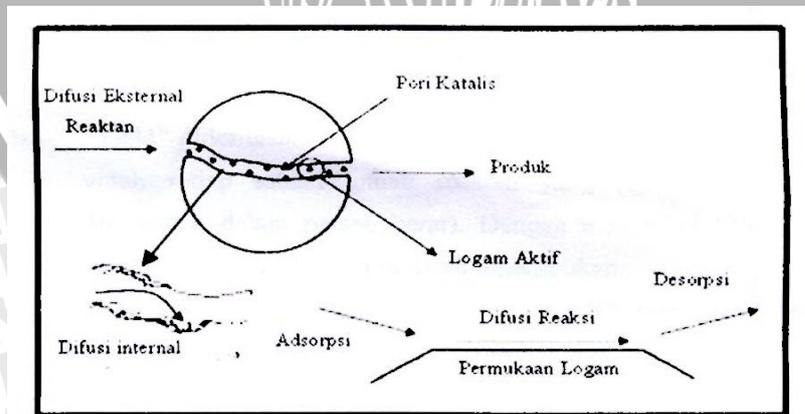
Secara praktis, fungsi katalis pada suatu reaksi adalah untuk memperbesar laju reaksi dan memperkecil energi aktivasi (P.W. Atkins). Diagram energi aktivasi ditunjukkan pada gambar 2.7. E_a adalah energi aktivasi suatu reaksi dan E_{ads} menunjukkan adsorpsi reaktan pada katalis serta E_{des} adalah 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 2.7. 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 2.8. 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.

2.8. 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.

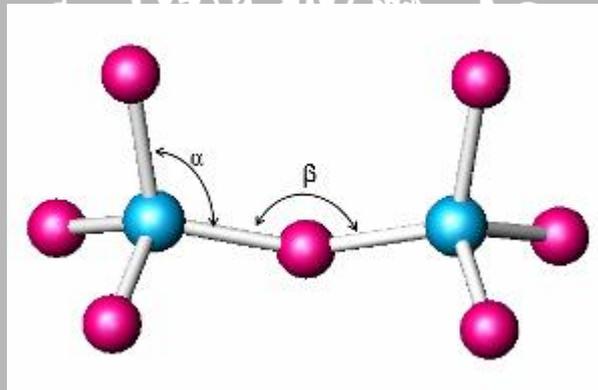
Penemuan zeolit di dunia dimulai dengan ditemukannya Stilbit pada tahun 1756 oleh seorang ilmuwan bernama A. F. Constedt. Dia menggambarkan kekhasan mineral ini ketika berada dalam pemanasan terlihat seperti mendidih karena molekulnya kehilangan air dengan sangat cepat. Sesuai dengan sifatnya tersebut maka mineral ini diberi nama Zeolit yang berasal dari kata "zein" yang berarti mendidih dan "lithos" yang berarti batuan (www.kopo.mpg.de/kopo/institut/arbeitsbereiche/scmith/research-e.htm).

Zeolit dari hasil penambangan mempunyai jenis dan komposisi yang beraneka ragam tergantung pada lokasinya. Dari beberapa lokasi yang pernah diteliti di

Indonesia, diketahui bahwa endapan zeolit yang sangat baik adalah yang berada di daerah Cicalong dan daerah Kepanjen, Malang dengan kandungan zeolit sebesar 55-85% (Suyartono dan Husaini, 1991). Zeolit alam dari Kepanjen mengandung mordenit dan klinoptilolit, selain itu juga terdapat senyawa-senyawa lain berupa plagioklas, feldspar, dan kuarsa. Senyawa-senyawa ini bersifat pengotor yang dapat mengurangi tingkat penyerapan pada zeolit (Suganal, 1990).

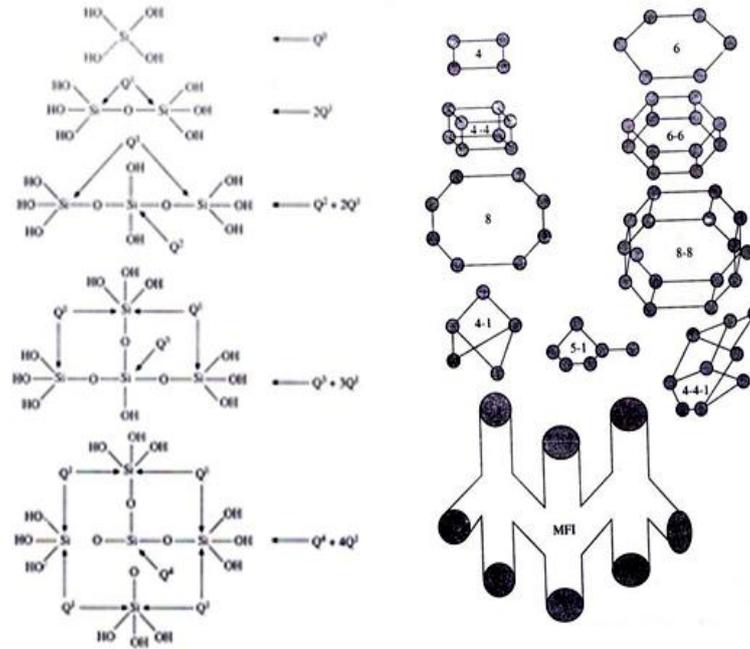
2.8.1. Struktur Zeolit

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 tetrahedral-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.



Gambar 2.9. Struktur tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 dalam zeolit
Sumber : www.wikipedia.com/zeolite

Bangun dasar zeolit berupa tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Beberapa unit bangun dasar membentuk pola geometri tertentu unit bangun sekunder (*Secondary Building Unit*) seperti pada gambar 2.10. Unit bangun sekunder akhirnya akan membentuk suatu polihedral unit bangun tersier (*Tertier Building Unit*). Tergabungnya beberapa polihedral dalam suatu kerangka merupakan bentuk struktur zeolit (Yao, 1992).



Gambar 2.10. Struktur Bangun Zeolit

Kiri : Primary Building Units ; Kanan : Secondary Building Units
 Sumber : Catalysis, Principle and Applications. 2002

Sehingga rumus umum zeolit dapat ditulis :

$$M_x/n[(AlO_2)_x.(SiO_2)_y].wH_2O \quad (Ramaswamy, 2002: 71)..... (2.10)$$

dimana, M = kation logam alkali atau alkali tanah

n = valensi dari kation

w = jumlah molekul air per satu unit sel

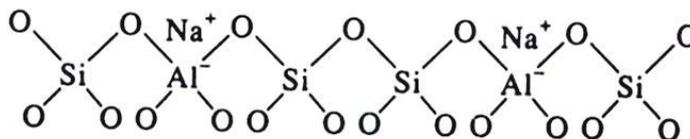
x,y = total jumlah tetrahedral per satu unit sel

x/y = antara 1 – 5

[] = struktur kerangka aluminosilikat

Struktur kerangka zeolit terdiri dari dua bagian yaitu bagian netral dan bagian yang bermuatan. Bagian netral tersusun atas atom-atom silikon dan oksigen. Pergantian ion pusat silikon bervalensi 4+ dengan kation aluminium bervalensi 3+ menyebabkan ada bagian yang bermuatan sehingga membutuhkan ion logam alkali atau alkali tanah seperti Na, Ca, Mg untuk menetralkannya (Davis dan Lobo, 1992).





Gambar 2.11. Struktur kerangka zeolit
 Sumber : Catalytic Chemistry, 1992

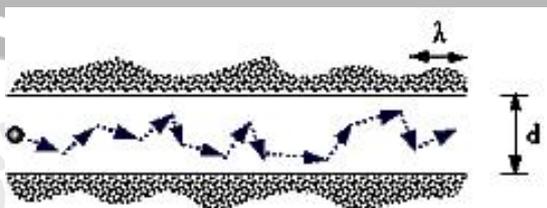
Zeolit bersifat asam akibat adanya situs asam baik tipe asam bronsted maupun asam Lewis. Keasaman zeolit dapat ditentukan berdasarkan rasio Si/Al –nya, semakin besar rasio tersebut maka sifatnya asamnya semakin bertambah (*Gates, 1992*).

2.8.2. Adsorpsi dan Difusi Pada Zeolit

Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan sehingga efektif berinteraksi dengan molekul teradsorpsi. 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*).

Adsorpsi 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 teradsorpsi, 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 :

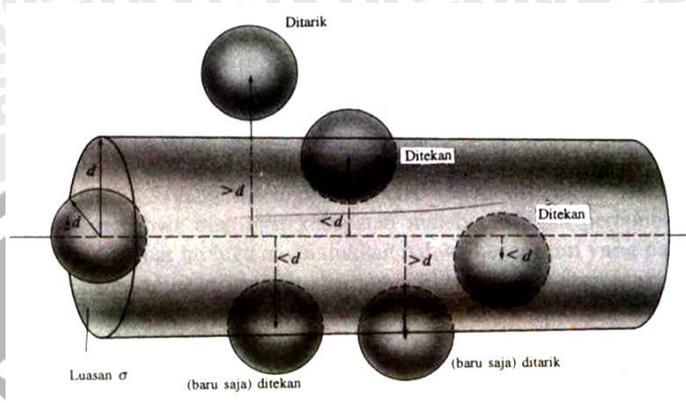
1. **Difusi Molekular**, terjadi ketika tumbukan antar molekul gas lebih besar frekuensinya (sering) daripada tumbukan gas dengan dinding pori zeolit. Koefisien difusi molekular pada zeolit biasanya terjadi pada ukuran pori besar (60 – 1500 nm).



Gambar 2.12. Difusi Molekular

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

Tumbukan antar molekul dianggap terjadi jika titik pusat dua molekul tersebut berjarak d (diameter tumbukan) satu sama lain. Pendekatan paling sederhana untuk menghitung frekuensi tumbukan dengan membekukan semua posisi molekul, kecuali satu yang dibiarkan bergerak melewati molekul diam dengan kecepatan rata-rata \hat{c} selama Δt . Seperti yang terdapat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Penampang lintang tumbukan
 Sumber : Kimia Fisika, 1999.

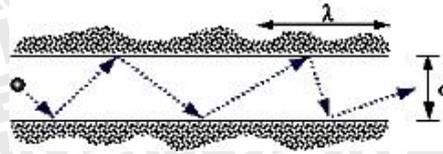
Ternyata molekul itu menjelajahi “pipa tumbukan” dengan luas penampang lintang $\sigma = \pi d^2$ dan panjang $\hat{c}\Delta t$, sehingga volumenya $\sigma \hat{c}\Delta t$. Luas σ disebut **penampang lintang tumbukan**.

Frekuensi Tumbukan.

Diartikan sebagai jumlah tumbukan satu molekul per satuan waktu. Jumlah molekul diam dengan pusat yang berada dalam pipa tumbukan dinyatakan dengan volume pipa dikalikan dengan **rapatan jumlah** $\mathcal{N} = N/V$, yaitu : $\mathcal{N}\sigma \hat{c}\Delta t$. Jumlah tumbukan yang dihitung dalam selang waktu Δt sama dengan jumlah ini, sehingga frekuensi tumbukan adalah :

$$z = \frac{2^{1/2}\sigma c N}{V} \quad (\text{Atkins, , 1999: 283}) \dots\dots\dots(2.11)$$

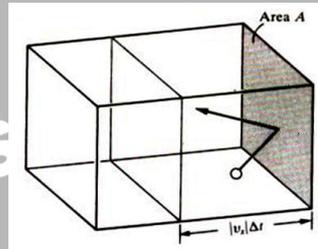
2. **Difusi Knudsen**, terjadi ketika tumbukan molekul gas dengan dinding pori zeolit lebih sering terjadi daripada tumbukan antar molekul gas. Koefisien difusi Knudsen biasanya terjadi pada ukuran pori yang lebih kecil (2 – 50 nm). Besarnya Difusi Knudsen tergantung pada ukuran pori dan tekanan gas.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



Gambar 2.14. Difusi Knudsen

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

Simulasi sederhana dari tumbukan molekul dengan dinding adalah tampak seperti pada gambar 2.15. berikut ini.



Gambar 2.15. Tumbukan molekul dengan dinding

Sumber : *Kimia Fisika*, 1999.

Perhatikan dinding dengan luas A yang tegak lurus sumbu x . Jika molekul mempunyai $V_x > 0$, maka molekul itu akan membentur dinding dalam selang waktu Δt , jika molekul tersebut berada pada jarak $V_x \Delta t$ dari dinding. Sebaliknya jika $V_x < 0$, molekul akan menjauhi dinding. Oleh karena itu, semua molekul dalam volume $AV_x \Delta t$, dan dengan kecepatan positif, akan membentur dinding dalam selang waktu Δt . Jumlah rata-rata tumbukan total dalam selang waktu ini merupakan rata-rata dari kuantitas ini, dikalikan dengan rapat jumlah molekul :

$$\text{Jumlah tumbukan} = \mathcal{N} A \Delta t \int v_x f \mathbf{e}_x d\mathbf{v}_x \quad (\text{Atkins, 1999 : 285}) \dots\dots (2.12)$$

Perhatikan bahwa integrasi hanyalah terhadap kecepatan positif. Lalu persamaan diatas di evaluasi dengan menggunakan distribusi kecepatan :

$$\int v_x f \mathbf{e}_x d\mathbf{v}_x = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{1/2} \int v_x e^{-mv_x^2 / 2kT} dv_x = \left(\frac{kT}{2\pi m} \right)^{1/2} \quad (\text{Atkins, 1999 : 285}) \dots\dots (2.13)$$

Jadi jumlah tumbukan per satuan waktu per satuan luas adalah :

$$Z_w = \left(\frac{kT}{2\pi m} \right)^{1/2} \frac{N}{V} \quad (\text{Atkins,, 1999 : 285}) \dots\dots (2.14)$$

Jalan Bebas Rata-Rata (Mean Free Path).



Setelah kita mengetahui frekuensi tumbukan, kita dapat menghitung jalan bebas rata-rata λ , atau jarak rata-rata perjalanan molekul antara tumbukan. Jika molekul yang bergerak dengan kecepatan rata-rata \hat{c} , bertumbukan dengan frekuensi z , maka molekul itu melewati waktu $1/z$ dalam aliran bebas antara tumbukan, dan karenanya menjalani jarak $(1/z) \hat{c}$. Oleh karena itu, jalan bebas rata-rata :

$$\lambda = \hat{c} / z \quad (\text{Atkins, 1999 : 284}) \dots\dots\dots (2.15)$$

Karena z sebanding dengan tekanan, maka λ berbanding terbalik dengan tekanan. Ini disebabkan karena Knudsen Number adalah perbandingan antara *mean free path* dengan diameter pori. Dan apabila dihubungkan dengan tekanan adalah :

$$KN = \frac{kT}{\sqrt{2\pi dP}} \quad (\text{Atkins, 1999 : 285}) \dots\dots\dots (2.16)$$

2.8.3. Modifikasi Zeolit

Zeolit yang terdapat di alam tidak berada dalam bentuk murninya. Mineral pengotor seperti feldspar, smektit, vermikulite, dan kuarsa selalu tercampur. Zeolit dalam keadaan murni berwarna putih, keberadaan mineral pengotor menyebabkan zeolite 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*).

2.9. 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.

2.10. Kerangka Teoritis

Transport gas melalui katalis mengalami dua fenomena difusi yaitu difusi molekular dan difusi Knudsen. Pada difusi molekular, hal yang dominan adalah tumbukan antar molekul yang terjadi pada celah-celah katalis. Dengan pengecilan ukuran butir zeolit maka permeabilitasnya pun akan turun, yang artinya semakin lama waktu bagi reaktan untuk melewatinya, sehingga aliran reaktan akan semakin turbulen. Akibatnya frekuensi tumbukan antar molekul semakin tinggi. Hal tersebut beralasan karena semakin sempit suatu ruang, maka semakin mudah bagi satu molekul untuk menumbuk molekul lainnya, setelah tumbukan itu, baik molekul yang menumbuk dan yang tertumbuk bersama-sama akan menumbuk molekul lain di dekatnya. Hal tersebut terjadi terus menerus menurut kereaktifan molekul itu sendiri. Fenomena itu akan memperbesar kecepatan rata-rata tiap molekul reaktan yang secara otomatis akan

meningkatkan energi kinetiknya. Sehingga dengan begitu akan menaikkan temperatur gas reaktan keluar katalis. Kenaikan temperatur reaktan akan memperbesar laju atau kecepatan pembakaran (S_L). Kecepatan pembakaran inilah yang berpengaruh pada waktu terjadinya *flashback*. Sebagaimana telah dijelaskan di awal, bahwa *flashback* akan terjadi jika kecepatan pembakaran jauh lebih besar daripada kecepatan reaktan. Dalam kasus ukuran butir zeolit yang kecil, kecepatan reaktan diperlambat dan kecepatan pembakarannya tinggi, sehingga lebih cepat terjadi *flashback*.

Begitu juga bila semakin kecil ukuran butir katalis, maka semakin tinggi temperatur reaktan sehingga semakin besar laju rambatan api (kecepatan pembakaran). Hal ini mengakibatkan impuls yang ditimbulkan juga semakin besar dan tekanan *flashback* yang terjadi juga semakin besar. Hal tersebut juga berlaku bagi Difusi Knudsen, karena yang dominan disini adalah tumbukan antara molekul dengan dinding celah katalis.

2.11. Hipotesa

Semakin kecil ukuran butir akan meningkatkan frekuensi tumbukan molekul sehingga terjadi peningkatan temperatur gas reaktan yang mengakibatkan naiknya tekanan *flashback*, dan semakin kecil ukuran butir pula akan menurunkan permeabilitas membran, akibatnya waktu yang dibutuhkan gas untuk melewatinya semakin lama karena kecepatannya rendah sehingga waktu *flashback* semakin cepat.

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 ukuran butir katalis zeolit yang bervariasi antara lain: 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm, 4-5 mm, dan 5-6mm.

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 *flashback* dan tekanan *flashback* yang dihasilkan.

c. Variabel terkontrol

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

1. Volume minyak kelapa yang dimasukkan ke dalam *reformer* sebesar 1.4 cc dan 2 cc.
2. Debit Oksigen yang dialirkan ke dalam *reformer* sebesar 1.390 cc / detik

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. Diameter *reformer* adalah 25.4 mm (1 dim) dan tingginya 130 mm.
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 temperatur proses.



Gambar 3.1. Digital Multimeter

11. Perangkat Sensor

- *Wheatstone Bridge*

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 Ω

R2 = 500 Ω

R3 = 1000 Ω

Potensio = 100 K Ω

- *Operational Amplifier*

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

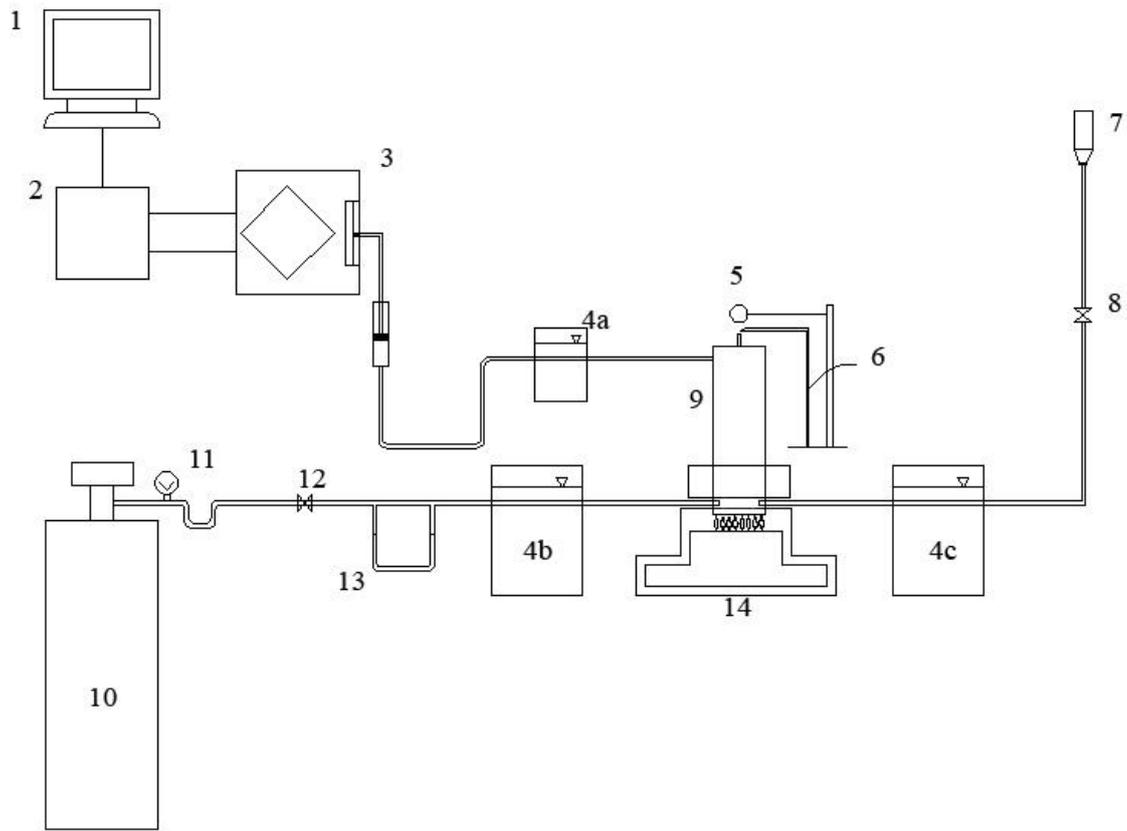
- *Minimum System AT MEGA 8535*

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 rangkaian alat penelitian

Keterangan :

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 = Komputer | 9 = Tabung Reformer |
| 2 = Minimum System | 10 = Tabung Oksigen |
| 3 = Jembatan Wheatstone + Sensor | 11 = Regulator Tabung |
| 4a = 4b = 4c = Pendingin Pipa | 12 = Katup Pengatur Aliran Oksigen |
| 5 = Penghalang Aliran | 13 = Manometer U |
| 6 = Pemantik Api | 14 = Tungku Api |
| 7 = Reservoir Minyak Kelapa | |
| 8 = Katup Pengatur Tetesan | |



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 yang dilengkapi oleh besi tegak ditengahnya, yang berfungsi sebagai penepi zeolit agar zeolit cepat terkena panas dari dinding *reformer*.
4. Isikan zeolit di tepi silinder tersebut sesuai dengan variasi 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

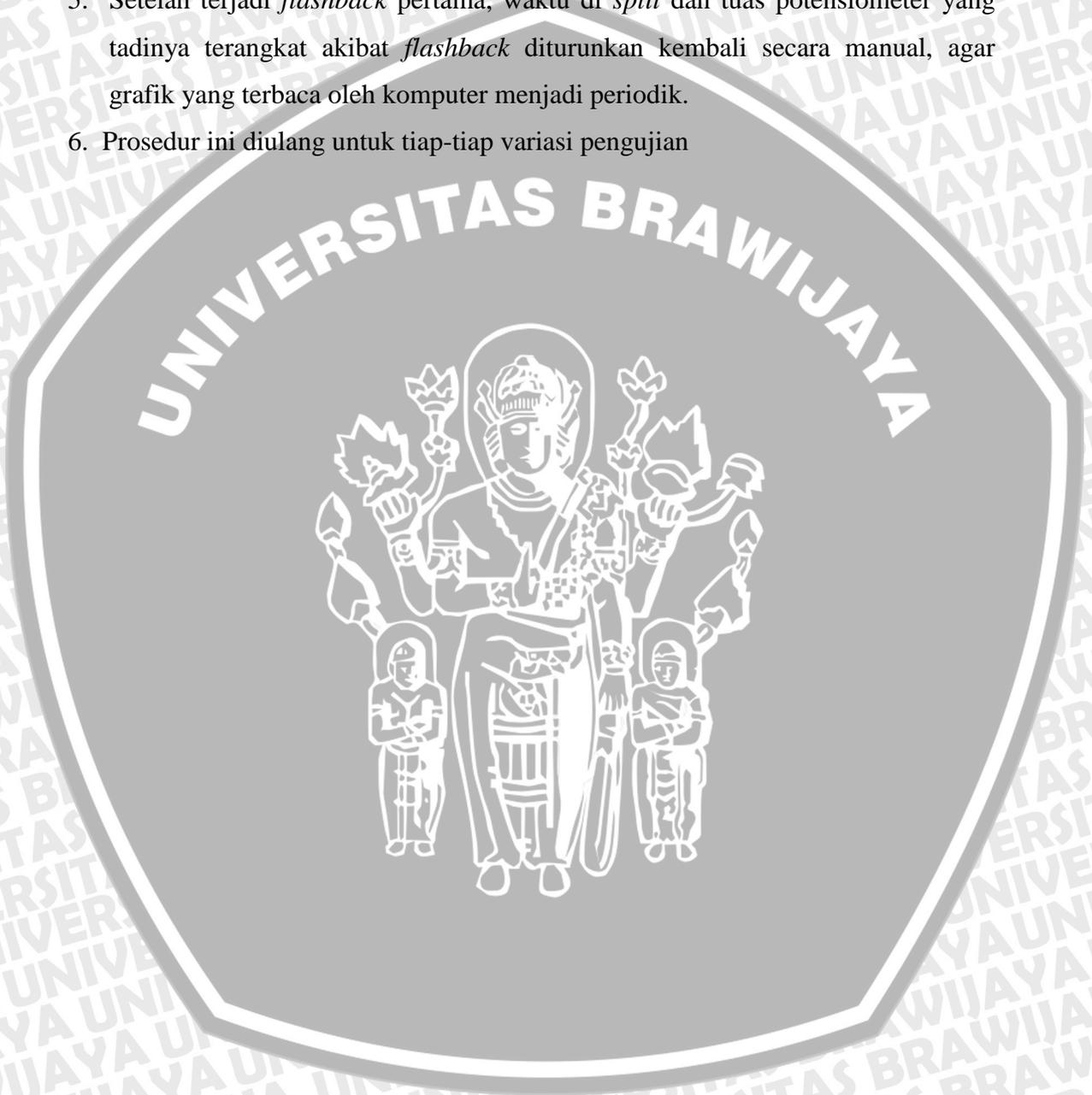
1. Persiapkan debit oksigen dengan memutar katup pada tabung oksigen sampai terlihat perbedaan ketinggian kolom alkohol pada manometer U. Ketinggian sesuai yang diinginkan dalam penelitian. Lalu tes dengan mendekatkan bara api ke mulut pipa yang nantinya akan dimasukkan ke *reformer*. Apabila bara tersebut 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

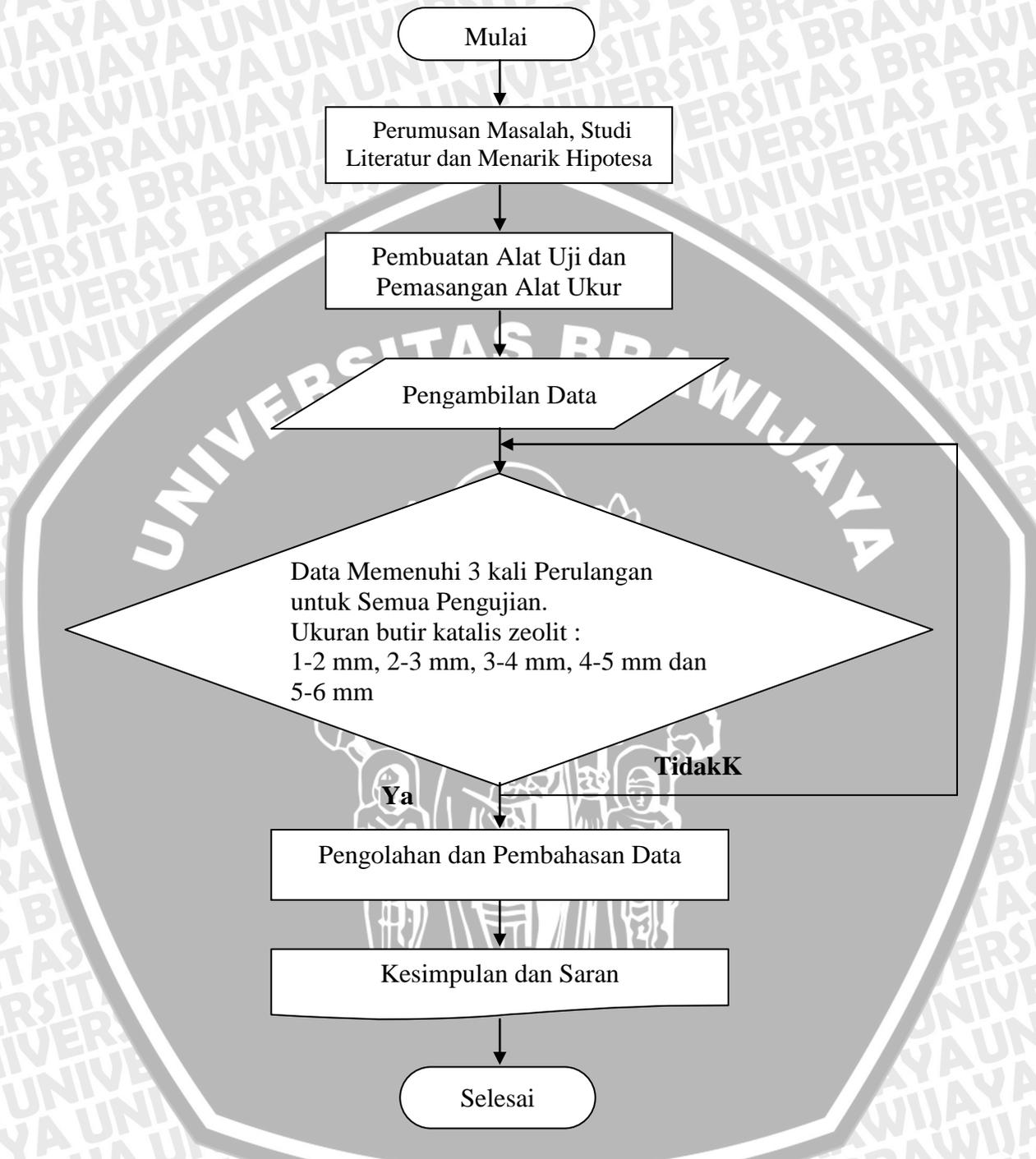
1. Pengambilan data mulai dilakukan jika temperatur dasar *reformer* memenuhi setelah diukur dengan digital multimeter.
2. Masukkan pipa minyak kelapa ke dalam *reformer*. Putar katup untuk memetaskan sejumlah tetesan yang diinginkan, setelah selesai tutup penuh

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

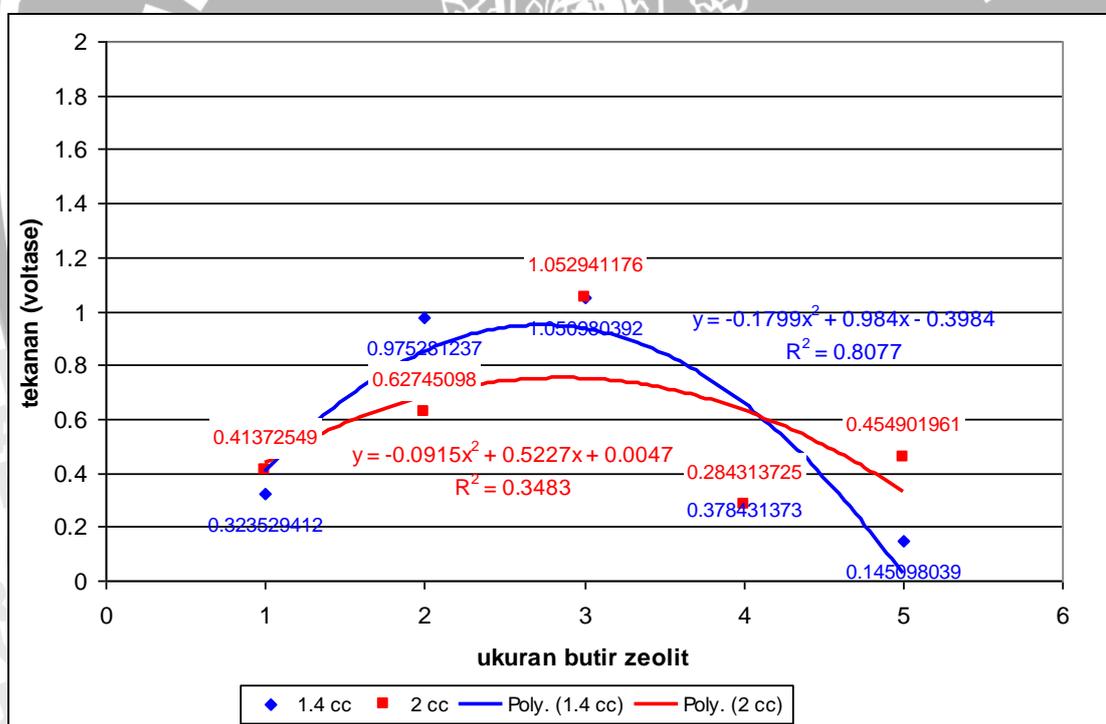
4.1. Hasil

Hasil penelitian ini terdiri dari 2 macam, yaitu :

1. Perbandingan berbagai variasi ukuran butir zeolit terhadap tekanan *flashback* pada dua jenis volume minyak kelapa.
2. Perbandingan berbagai variasi ukuran butir zeolit terhadap waktu *flashback* pada dua jenis volume minyak kelapa.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hubungan perbandingan berbagai variasi ukuran butir zeolit terhadap tekanan *flashback* pada dua jenis volume minyak kelapa.



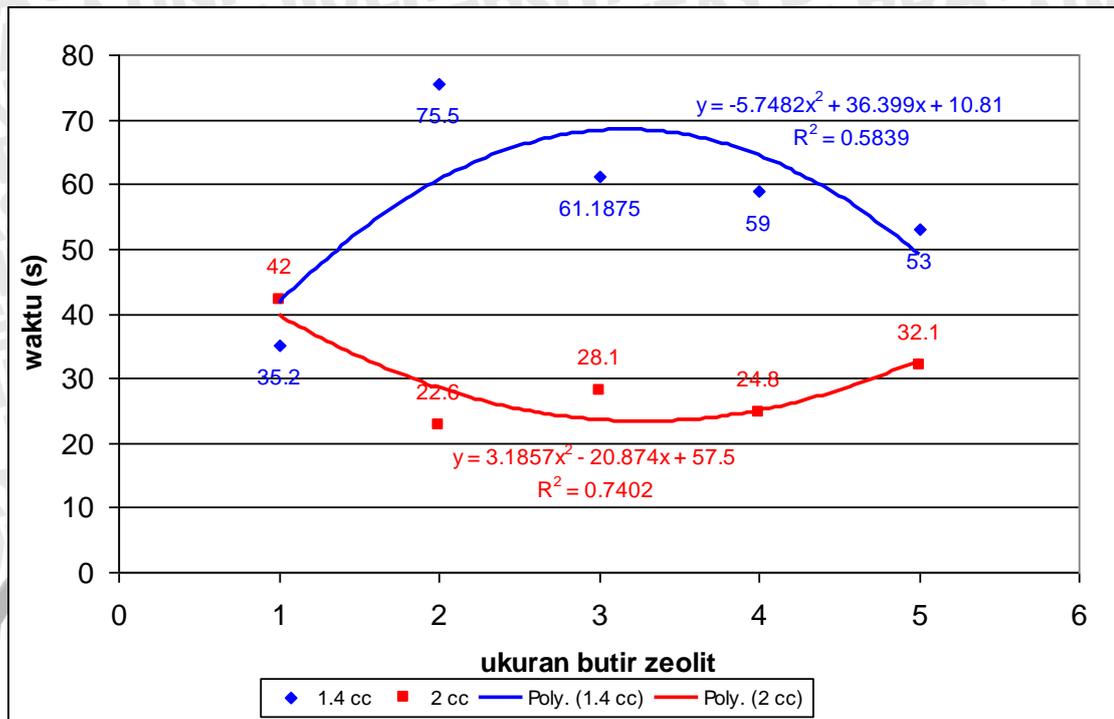
Gambar 4.1. Grafik hubungan perbandingan berbagai variasi ukuran butir zeolit terhadap tekanan *flashback* pada dua jenis volume minyak kelapa.

Pada grafik hubungan perbandingan berbagai variasi ukuran butir zeolit terhadap tekanan *flashback* pada dua jenis volume minyak kelapa di atas terlihat bahwa pada dua jenis volume minyak kelapa yaitu 1,4 cc dan 2 cc menunjukkan kecenderungan polynomial yang sama, yaitu nilai tekanan akan semakin besar seiring

bertambah besarnya ukuran butir zeolit sampai pada ukuran butir 3-4 mm. Setelah mencapai titik optimum tersebut, nilai tekanan akan menurun seiring bertambah besarnya ukuran butir zeolit. Hal ini sesuai dengan hipotesa bahwa semakin besar ukuran butir maka tekanan flashback yang dihasilkan akan menurun. Tetapi pada ukuran butir zeolit yang lebih kecil daripada ukuran butir 3-4 mm, tekanannya semakin kecil. Hal ini disebabkan karena pada ukuran butir 1-2 mm, reaktan yang melewatinya justru akan terjebak di dalam celah zeolit yang terlalu kecil. Sehingga terlalu lama molekul reaktan berada di dalam celah zeolit. Zeolit sendiri mempunyai sifat apabila kemampuan penyerapannya telah jenuh, maka sifat aktivitasnya akan menurun. Hal ini terjadi ketika reaktan terlalu lama berada pada celah zeolit. Akibatnya zeolit cepat jenuh dan kemampuan katalitiknya cepat mengalami penurunan sehingga gas reaktan yang belum melewati zeolit, tidak menghasilkan campuran yang homogen seperti yang diharapkan karena katalis telah jenuh. Akibatnya kecepatan molekul menurun dan tekanan *flashback* kecil. Begitu pula pada ukuran butir zeolit 2- 3 mm yang otomatis mempunyai celah yang lebih besar daripada ukuran 1-2 mm.

Pada regresi linear (ditampilkan pada lampiran), terlihat bahwa pada dua jenis volume minyak kelapa yaitu 1,4 cc dan 2 cc menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu nilai tekanan *flashback* akan semakin kecil seiring bertambah besarnya ukuran butir zeolit. Namun pada ukuran butir zeolit diatas 3-4 mm, grafik volume minyak 2 cc yang tadinya berada di bawah grafik volume 1,4 cc kini berada di atas grafik 1,4 cc. Ini diakibatkan karena untuk volume minyak yang lebih banyak membutuhkan ukuran butir zeolit yang lebih besar untuk proses katalitiknya. Hal ini menunjukkan bahwa untuk butiran diatas 3-4 mm yang berperan dominan adalah luasan kontak efektif zeolit dengan reaktan. Tetapi untuk ukuran butiran di bawah 3-4 mm yang berperan dominan adalah ukuran celah zeolit. Pada grafik regresi linier menunjukkan bahwa ukuran butir 4-5 mm mempunyai luasan kontak efektif lebih besar daripada ukuran butir 5-6 mm.

4.2.2. Hubungan perbandingan berbagai variasi ukuran butir zeolit terhadap waktu *flashback* pada dua jenis volume minyak kelapa.

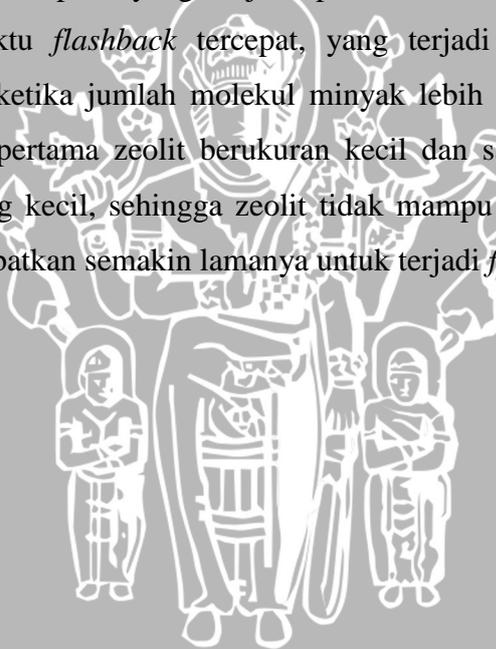


Gambar 4.2. Grafik hubungan perbandingan berbagai variasi ukuran butir zeolit terhadap waktu *flashback* pada dua jenis volume minyak kelapa.

Pada grafik hubungan perbandingan berbagai variasi ukuran butir zeolit terhadap waktu *flashback* pada dua jenis volume minyak kelapa di atas menunjukkan bahwa kedua grafik yaitu volume 1,4 cc dan 2 cc memiliki kecenderungan grafik yang berbeda terhadap variable bebas. Pada grafik 1,4 cc menunjukkan semakin besar butir maka waktu *flashback* mengalami kenaikan hanya sampai pada ukuran butir 2-3 mm. Pada ukuran butir yang lebih besar dari 2-3 mm, waktu mengalami penurunan yang artinya waktu *flashback* semakin cepat. Hal ini diakibatkan karena pada lapisan pertama ukuran butir diatas 2-3 mm terlalu besar, sehingga reaktan terhalang penuh dan sulit untuk memasuki celah antar butir. Akibatnya kecepatan reaktan menjadi minimum. Pada ukuran butir zeolit 5-6 mm memiliki kecepatan reaktan paling rendah dan menjadikan *flashback* semakin cepat. Tetapi kecepatan reaktan tersebut tetap lebih cepat daripada butir zeolit 1-2 mm, karena pada butiran tersebut reaktan harus melewati celah-celah yang lebih sempit dan berliku sehingga memakan waktu lebih lama. Akibatnya waktu *flashback* nya menjadi yang tercepat.

Pada grafik 2 cc menunjukkan semakin besar butir zeolit, waktu *flashback* akan semakin lama. Kecenderungan tersebut ditunjukkan oleh tiga titik yang mendukung,

yaitu pada ukuran butir 2-3 mm, 3-4 mm, dan 5-6 mm, yang berturut-turut terjadi peningkatan nilai waktu. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga jenis butir diatas memiliki celah antar butir yang efektif untuk dilewati molekul-molekul reaktan, sehingga mempengaruhi laju reaktan itu sendiri. Tetapi pada ukuran butir 4-5 mm yang seharusnya memiliki waktu yang lebih lama daripada ukuran butir 3-4mm, menjadi lebih cepat. Ini disebabkan karena pada lapisan pertama ukuran butir 4-5 mm terlalu besar, sehingga reaktan terhalang penuh dan sulit untuk memasuki celah antar butir. Akibatnya kecepatan reaktan menjadi minimum dan *flashback* lebih cepat terjadi daripada ukuran butir 3-4 mm. Telah dijelaskan pada pembahasan grafik sebelumnya bahwa untuk volume minyak yang lebih banyak membutuhkan ukuran butiran diatas 3-4 mm, sebab yang berperan dominan adalah luasan kontak efektif zeolit dengan reaktan. Tetapi untuk ukuran butiran di bawah 3-4 mm yang berperan dominan adalah ukuran celah zeolit. Begitu pula yang terjadi pada ukuran butir 1-2 mm, yang seharusnya memiliki waktu *flashback* tercepat, yang terjadi justru menjadi yang terlama. Ini dikarenakan ketika jumlah molekul minyak lebih banyak, dapat dengan mudah melewati lapisan pertama zeolit berukuran kecil dan saling berjejalan untuk melewati celah zeolit yang kecil, sehingga zeolit tidak mampu menahan laju reaktan yang tinggi yang mengakibatkan semakin lamanya untuk terjadi *flashback*.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan analisa grafik hasil percobaan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ukuran butir zeolit sangat mempengaruhi waktu dan besar tekanan *flashback* yang terjadi, antara lain sebagai berikut :

- Ukuran butir zeolit besar lebih efektif bekerja untuk volume minyak yang lebih banyak. Sedangkan ukuran butir kecil lebih efektif untuk volume minyak yang lebih sedikit.
- Semakin besar ukuran butir zeolit, semakin kecil tekanan *flashback* yang dihasilkan. Ukuran butir paling efektif untuk kedua jenis volume minyak adalah 3-4 mm. Dibawah ukuran tersebut, zeolit kurang efektif karena ukurannya terlalu kecil.
- Semakin besar ukuran butir zeolit, semakin lama waktu *flashback* untuk volume minyak sedikit, tetapi semakin cepat waktu *flashback* untuk volume minyak lebih banyak.

5.2. Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengolahan minyak kelapa menjadi bahan bakar.
- Perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh fraksi volume katalis terhadap kestabilan api *premixed* yang lain.
- Diharapkan ada penelitian selanjutnya yang lebih mendalam mengenai teknologi katalis.