



**PENELITIAN**  
**HIBAH BERSAING**

JUDUL KEGIATAN:

**CATALYTIC SLURRY CRACKING CANGKANG SAWIT  
MENJADI CRUDE BIO-FUEL DENGAN KATALIS Ni/ZSM-5 DAN  
NiMo/ZSM-5**

Peneliti :  
**Sunarno,ST,MT**  
**DR. Syaiful Bahri,Msi**  
**Panca Setia Utama,ST,MT**

Angkatan Tahun 2011  
(tahun ke-1)

**UNIVERSITAS RIAU**  
**November 2011**

## HIBAH BERSAING

1. Judul Kegiatan : Catalytic Slurry Cracking Cangkang Sawit Menjadi Crude Biofuel Dengan Katalis Ni/ZSM-5 Dan NiMo/ZSM-5
2. Jenis Kegiatan : Energi Terbarukan
3. Nama Ketua Tim Peneliti : Sunarno,ST,MT
4. Jurusan : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Perguruan Tinggi : Universitas Riau
5. Alamat : Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalis  
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas  
Riau Kampus Bina Widya km 12,5 Simpang Baru  
Pekanbaru 28293 Riau.  
Telepon/Fax : 0761-566937/0761-566937  
E-mail : narnounri@yahoo.com  
Telepon :
6. Lamanya Kegiatan : 2 tahun
7. Sumber Dana : DP2M Dikti

Pekanbaru, 19 November 2011

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik

Ketua Tim Pelaksana

Dr. Syaiful Bahri,MSi  
NIP. 19600203 198603 1 003

Sunarno,ST,MT  
NIP. 19720817 199803 1 002

Mengetahui  
Ketua Lembaga Penelitian Universitas Riau

Prof. Dr. Usman M.Tang, MS  
NIP. 19640501 198903 1 001

## **RINGKASAN**

### **CATALYTIC SLURRY CRACKING CANGKANG SAWIT MENJADI CRUDE BIOFUEL DENGAN KATALIS Ni/ZSM-5 DAN NiMo/ZSM-5**

(Sunarno, Syaiful Bahri, Panca Setia Utama)

ZSM-5 merupakan zeolit sintetis yang banyak digunakan dalam industri terutama sebagai katalis. ZSM-5 ini dapat disintesis dari campuran silika dan alumina dengan komposisi dan kondisi operasi tertentu. Untuk meningkatkan aktivitas dan selektivitas katalis ZSM-5 perlu dimodifikasi menjadi Ni/ZSM-5 dan NiMo/ZSM-5. Tujuan penelitian adalah mensintesis Ni/ZSM5 dengan variabel suhu kalsinasi (400,500 dan 600<sup>0</sup>C) Si/Al(20, 25,30) dan mensintesis NiMo/ZSM-5 dengan variabel waktu kalsinasi (2,4 ,6 jam).

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu persiapan bahan baku, produksi ZSM-5, sintesis Ni/ZSM-5 dan NiMo/ZSM-5, analisis produk. Persiapan bahan baku meliputi produksi silika terpresipitasi dan pembuatan natrium aluminat. Produksi silika terpresipitasi dibuat dengan mencampur abu sawit dengan larutan NaOH pada suhu 105C, diaduk selama 4 jam. Setelah kondisi dingin dilakukan penyaringan . Filtrat ditambahkan HCl pekat sampai membentuk gel dan dioven. Silika terpresipitasi ini dianalisa kadar silikanya yaitu 84,7%. Pembuatan natrium aluminat dilakukan dengan mencampur Al(OH)<sub>3</sub> dan larutan NaOH. Endapan yang terbentuk dioven. Produksi ZSM – 5 dilakukan dengan melarutkan natrium aluminat dengan aquadest (suspensi 1). Silika terpresipitasi dicampur dengan aquadest (suspensi 2). Suspensi 1 dicampur dengan suspensi 2 (suspensi 3). Suspensi 3 ditambahkan NaOH sehingga diperoleh nisbah Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7,4, diaduk selama 30 menit dan dimasukkan dalam autoclaf pada temperatur 175<sup>0</sup>C dan waktu 18 jam. Padatan yang terbentuk dicuci dengan aquadest dan dioven pada 110<sup>0</sup>C selama 6 jam. Sintesis Ni/ZSM dengan impregnasi nikel nitrat dengan ZSM-5 pada suhu 90<sup>0</sup>C selama 6 jam. Selanjutnya dikalsinasi selama 4 jam pada suhu(400,500 dan 600) dilanjutkan oksidasi dan reduksi. Sedangkan sintesis NiMo/ZSM-5 dilakukan dengan impregnasi senyawa molibdat dan nikel kedalam ZSM-5. Hasil impregnasi, padatan seterusnya dikalsinasi pada suhu 500<sup>0</sup>C dan waktu kalsinasi (2,4 dan 6 jam) dilanjutkan oksidasi dan reduksi. Produk dianalisis dengan BET dan diuji

kinerjanya pada pirolisis cangkang sawit. Pada sintesis Ni/ZSM-5 diperoleh luas permukaan terbesar pada suhu kalsinasi 500<sup>0</sup>C dengan luas permukaan 67,874 m<sup>2</sup>/g dan hasil uji kinerja diperoleh yield crude biofuel sebesar 42%. Pada sintesis NiMo/ZSM-5 diperoleh luas permukaan terbesar pada waktu kalsinasi 4 jam dengan luas permukaan 42,26 m<sup>2</sup>/g dan hasil uji kinerja diperoleh yield crude biofuel sebesar 55,2 %.

## CAPAIAN INDIKATOR KINERJA

Pada penelitian ini hal-hal yang ingin dicapai dan sekaligus merupakan indikator kinerja adalah : mengetahui pengaruh waktu kalsinasi NiMo/ZSM-5 dan suhu kalsinasi Ni/ZSM-5 terhadap luas permukaan katalis dan menguji kinerjanya pada pirolisis cangkang sawit pada suhu 320<sup>0</sup>C, dengan variabel yang diteliti adalah waktu kalsinasi (2, 4 dan 6 jam), suhu kalsinasi (400,500,600<sup>0</sup>C). Produk yang dihasilkan dianalisa luas permukaannya dengan BET dan diuji kinerjanya.

Dari pelaksanaan penelitian, telah diperoleh apa saja yang menjadi indikator kinerja yaitu :

1. Diketahui waktu yang optimal untuk kalsinasi katalis NiMo/ZSM-5 yaitu 4 jam dengan luas permukaan katalis 42,26 m<sup>2</sup>/gram dan hasil uji kinerja diperoleh yield 55,2%.
2. Diketahui suhu yang optimal untuk kalsinasi katalis Ni/ZSM-5 yaitu 500<sup>0</sup>C dengan luas permukaan katalis 67,874 m<sup>2</sup>/gram dan hasil uji kinerja diperoleh yield 42%.
3. Luas permukaan untuk katalis yang sejenis berbanding lurus dengan yield crude biofuel.

## PRAKATA

Syukur Allhamdulillah, penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan judul **“Catalytic Slurry Cracking Cangkang Sawit Menjadi Crude Bio-Fuel Dengan Katalis Ni/ZSM-5 dan NiMo/ZSM-5”**.

Dengan selesainya laporan penelitian ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau melalui dana DP2M 2011 yang telah mendanai kegiatan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada mahasiswa yang telah membantu selesainya kegiatan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat beberapa kekurangan, oleh sebab itu kritik dan saran membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan. Semoga laporan ini bermanfaat.

Pekanbaru, November 2011

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN-----	i
RINGKASAN-----	ii
CAPAIAN INDIKATOR KINERJA-----	iii
PRAKATA -----	iv
DAFTAR ISI -----	v
DAFTAR TABEL -----	vi
DAFTAR GAMBAR -----	vii
BAB I. PENDAHULUAN-----	1
1.1 Uraian Umum -----	1
1.2 Lokasi Penelitian-----	2
1.3 Hasil Penelitian Yang Diharapkan -----	2
BAB II TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN -----	3
BAB III TINJAUAN PUSTAKA-----	4
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN-----	10
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN-----	29
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN-----	34
DAFTAR PUSTAKA -----	35

## DAFTAR TABEL

		<b>Halaman</b>
Tabel 1.1	Potensi Limbah Padat atau Biomasa dari Limbah Pertanian dan Perkebunan -----	2
Tabel 3.1.	Perbandingan produk yang dihasilkan dari konversi biomasa secara termodinamik -----	7
Tabel 3.2.	Perbandingan <i>bio-oil</i> yang dihasilkan dengan biomasa berbeda -----	7
Tabel 5.1.	Pengaruh waktu kalsinasi terhadap luas permukaan NiMo/ZSM-5	17
Tabel 5.2.	Uji Kinerja Katalis NiMo/ZSM-5 pada pirolisis -----	30
Tabel 5.3.	Hasil Perolehan Yield Bio-Oil Menggunakan Ni/ZSM-5 -----	33

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 3.1. Struktur Kimia Selulosa -----	5
Gambar 3.2 Struktur Kimia Hemiselulosa -----	5
Gambar 3.3 Struktur Kimia Lignin-----	6
Gambar 4.1 Diagram Alir Pembuatan Silika Presipitasi -----	13
Gambar 4.2 Diagram Alir Pembuatan ZSM-5-----	14
Gambar 4.3 Diagram Alir Pembuatan NiMo/ZSM-5-----	15
Gambar 4.4 Diagram Proses Catalytic Slurry Cracking TKS-----	16
Gambar 5.1 Hubungan Suhu Kalsinasi Terhadap Luas Permuakaan Katalis-----	31

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Uraian Umum**

Salah satu hal yang menghambat pemasaran sawit Indonesia di pasar Eropa adalah isu masalah lingkungan. Kesan yang timbul bahwa industri pengolahan sawit Indonesia merusak lingkungan sengaja dimunculkan oleh mereka sebagai alat untuk menerapkan *trade barrier*. Oleh sebab itu upaya perbaikan *management* harus diarahkan pada terbentuknya suatu sistem *management* lingkungan termasuk didalamnya teknik *zero waste management* (Saputra, 2004d, Dole, 1989) pada seluruh tahap kegiatan sampai dapat mencapai predikat *ecolabelliry*. Salah satu ruang lingkup program untuk menghasilkan teknik *zero waste* adalah **memanfaatkan limbah padat industri sawit menjadi produk yang bernilai ekonomis yaitu *crude bio-fuel***.

Indonesia dalam menghadapi tahun 2010 memproyeksikan produksi minyak sawit kasar (*crude palm oil*, CPO) sebesar 10,8 juta ton. Setiap ton minyak sawit yang dihasilkan akan menghasilkan limbah padat sebanyak 2.1, ton berarti untuk mencapai produksi minyak sawit sebesar 10,8 juta ton akan didapat juga **22,7 juta ton** limbah padatnya (Saputra, 2004d; Susanto dan Budhi, 1997). Data ini menunjukkan betapa besar limbah padat industri minyak sawit yang dibuang ke lingkungan dan ini akan meningkat setiap tahunnya sesuai dengan pertumbuhan industri minyak sawit.

Pada dasawarsa 70-an dan sebelumnya, minyak dan gas bumi telah memainkan peranan penting dalam penyumbang devisa bagi negara dan menjadi andalan ekspor Indonesia. Keadaan ini tidak dapat lagi dipertahankan pada dasawarsa 90-an. Bahkan pada abad 21 sekarang ini Indonesia diperkirakan akan menjadi net importir bahan bakar fosil [Kartasasmita, 1992; Ridwan, 1997]. Sumber energi alternatif sudah saatnya untuk dikembangkan di Indonesia, salah satunya mengolah biomasa sebagai limbah perkebunan dan pertanian menjadi sumber energi bahan bakar cair yang dapat terbarukan.

Untuk menjawab permasalahan yang dihadapi pada saat ini yaitu krisis energi yang akan terjadi pada beberapa dasawarsa kedepan dan mengingat jumlah limbah biomass industri sawit yang cukup besar, secara laboratoris dipandang perlu untuk dilakukan suatu penelitian untuk mencari energi alternatif yang terbaharukan. Dengan memanfaatkan

Ni/ZSM-5 dan NiMo/ZSM-5 sebagai katalis dalam proses catalytic cracking cangkang sawit dapat dihasilkan produk berupa *crude bio-fuel* yang memiliki nilai kalor yang relatif tinggi yang dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif terbarukan.

Pada penelitian yang diusulkan ini dalam proses pencairan langsung biomass menjadi *crude bio-fuel* akan digunakan katalis Ni/ZSM-5 dan NiMo/ZSM-5 (ZSM-5 termodifikasi) yang disintesis dari silika presipitasi fly ash sawit tanpa template dan proses pirolisis fasa cair menggunakan *thermo-oil*, keduanya merupakan route baru baik pada pembuatan/sintesis katalis ZSM-5 maupun proses pirolisis.

Umumnya dalam pembuatan ZSM-5 menggunakan silika dengan kemurnian tinggi yang berasal dari deposit batuan, clay, bentonit [Narita dan Akito, 1986] yang harganya sangat mahal dan masih di impor dari luar negeri, sehingga untuk mensintesis ZSM-5 kita masih tergantung dari negara lain. Dalam proses pemurnian bahan-bahan tersebut memerlukan temperatur yang cukup extreme ( $>1500^{\circ}\text{C}$ ) [Dowcorning.com; The OxyChem, 1997; ima-eu.org/eurosil.html] sehingga membutuhkan energi yang besar. Sedangkan  $\text{SiO}_2$  pada abu sawit berbentuk *amorphous* yang lebih reaktif (mudah bereaksi) dan tidak membutuhkan energi proses yang besar [Saputra dkk, 2004b].

Selain itu juga selama ini dalam mensintesis katalis ZSM-5 digunakan basa organik sebagai template yaitu TPA-Br, TBA-Br, etilen glikol, butanol, propanol, dietilamin [Simparmin, 1999; Chumaidi dan Achmad, 1999; Fitousi dkk, 1997] sebagai bahan pembentuk kerangka ZSM-5. Pada proses pereduksian bahan template tersebut dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan dan degradasi struktur ZSM-5 [Zahrina, Saputra dkk, 2006b]. Kendala tersebut telah diatasi dengan cara mensintesa katalis ZSM-5 tanpa menggunakan template, hal ini diperkirakan akan menurunkan hampir 50% biaya total pembuatan katalis dan juga dapat mengurangi masalah lingkungan selama proses produksi. ZSM-5 yang didapat telah memiliki intensitas dan kristalinitas yang sesuai standar dan **proses pembuatan ZSM-5 tersebut telah di Patentkan dengan nomor P00201000019 (Sunarno, Saputra dan Zahrina, 2010).**

## **1.2. Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian ini adalah di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalis Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau. Analisa BET pada katalis NiMo/ZSM-5 dan Ni/ZSM-5 dilakukan di Laboratorium Terpadu UIN Yogyakarta,

## **1.3. Hasil Penelitian yang Diharapkan**

- Didapatkan katalis sintetik NiMo/ZSM-5 dan NiZSM-5
- Didapatkan kondisi proses pada pembuatan katalis NiMo/ZSM-5 dan Ni/ZSM-5
- Diperoleh unjuk kinerja katalis NiMo/ZSM-5 dan Ni/ZSM-5 pada pirolisis cangkang sawit menjadi crude bio-fuel.

## **BAB II**

### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **2.1. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

- a. Mensintesis katalis NiMo/ZSM-5 dengan variabel waktu kalsinasi.
- b. Mensintesis katalis Ni/ZSM-5 dengan variabel suhu kalsinasi
- c. Menguji kinerja katalis NiMo/ZSM-5 dan Ni/ZSM-5 pada pirolisis cangkang sawit menjadi crude bio-fuel.

#### **2.2. Manfaat Penelitian**

Pada penelitian ini diperoleh data-data proses diantaranya adalah pengaruh waktu kalsinasi terhadap luas permukaan katalis NiMo/ZSM-5; pengaruh suhu kalsinasi pada sintesis Ni/ZSM-5 terhadap luas permukaan, yield crude bio fuel untuk masing-masing variabel pada sintesis kedua katalis.

## **BAB III**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **3.1. Katalis**

Katalis merupakan suatu zat yang dapat mempercepat terjadinya reaksi kimia. Katalis bekerja secara spesifik untuk reaksi tertentu dan dapat menurunkan besarnya energi aktivasi suatu reaksi. Penurunan energi aktivasi ini disebabkan oleh aktivitas katalis yang mencari jalur reaksi lain yang memiliki energi aktivasi lebih rendah. Katalis akan bereaksi dengan pereaksi, namun katalis akan diperoleh kembali di akhir reaksi.

Katalis terbagi dua jenis, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa yang sama dengan pereaksi. Pada katalis homogen, setelah reaksi selesai katalis akan bercampur dengan hasil reaksi. Katalis memang dapat diperoleh kembali, namun biaya pemisahan katalis dari produk sangat tinggi sehingga sangat tidak menguntungkan.

Jenis katalis yang kedua adalah katalis heterogen. Katalis heterogen memiliki fasa yang berbeda dengan pereaksi sehingga katalis heterogen dapat diperoleh dengan mudah di akhir reaksi. Katalis heterogen memiliki tiga komponen yaitu fasa aktif, promotor dan penyangga. Fasa aktif merupakan sisi aktif dari katalis yang merupakan tempat terjadinya reaksi pada katalis. Semakin luas permukaan fasa aktif, maka aktivitas akan semakin baik. Fasa aktif tersebut biasanya disebar dalam suatu penyangga. Dengan kata lain, penyangga berperan dalam hal sebaran fasa aktif. Semakin luas permukaan penyangga, maka fasa aktif akan tersebar lebih banyak sehingga akan meningkatkan aktivitas. Penyangga juga berfungsi untuk menstabilkan katalis. Reaksi dengan menggunakan katalis heterogen biasanya dijalankan pada suhu tinggi. Pada suhu tinggi fasa aktif mudah terdekomposisi sehingga penyangga biasa digunakan untuk mencegah dekomposisi fasa aktif.

Komponen lain pada katalis heterogen adalah promotor. Promotor berfungsi untuk memperbaiki kinerja katalis. Misalnya untuk mencegah sintering, untuk mencegah reaksi samping dan lain-lain. Fasa aktif, penyangga dan promotor merupakan komponen katalis

heterogen, namun tidak semua katalis heterogen memiliki ketiga komponen tersebut. Ada juga katalis yang hanya berupa zat aktif dengan penyangga atau zat aktif dengan promotor [Putera, 2008].

### 3.1.1 Komponen Katalis Heterogen

Komponen aktif merupakan pusat aktif katalis yang berfungsi untuk mempercepat dan mengarahkan reaksi yang berhubungan dengan aktivitas dan selektivitas. Molibdenum adalah salah satu logam yang dapat digunakan sebagai komponen aktif [Lestari, 2006]. Molibdenum yang diembankan pada penyangga dapat diperoleh dari *ammonium heptamolybdate*, *ammonium molybdate tetrahydrate*, *molybdenum (II) acetate dimer*, *molybdenum carbonyl*, *molybdenum (V) chloride*, *molybdenum (VI) dioxide bis(acetylacetonate)* dan *12-molybdophosphoric acid hydrate*. Jumlah molibdenum yang diembankan pada katalis biasanya berkisar 1 s.d 50 % berat dan disarankan antara 3 s.d 20 % berat dari berat total katalis [Wu dkk, 2000].

Promotor ditambahkan pada katalis dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja katalis (aktivitas, stabilitas dan selektivitas). Promotor yang biasa digunakan misalnya kobalt (Co) atau nikel (Ni) [Lestari, 2006]. Nikel yang diembankan pada penyangga dapat diperoleh dari *nikel nitrate*, *nikel (II) bromida hydrate*, *nikel (II) chloride*, *nikel (II) chloride hexahydrate*, *nikel (II) hydroxide*, *nikel (II) molybdate*, *nikel (II) phosphate hydrate* dan *nikel (II) tungstate*. Jumlah nikel yang diembankan pada katalis berkisar 0,5 s.d 50 % berat dan disarankan antara 1 s.d 10 % berat dari berat total katalis [Wu dkk, 2000].

Penyangga secara umum berfungsi untuk menyediakan permukaan yang luas untuk menebarkan komponen aktif agar permukaan kontakannya lebih luas dan efisien. Sifat padatan yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan penyangga secara umum antara lain keinertan, kekuatan mekanikal, kestabilan pada rentang kondisi reaksi dan regenerasi, luas permukaan, porositas, dan harga. Penyangga merupakan komponen terbesar dalam katalis, sehingga harus dipilih yang memiliki stabilitas dan konduktivitas yang tinggi serta harga yang murah [Lestari, 2006].

Untuk proses konversi fraksi hidrokarbon rantai panjang, poliaromatik maupun polimer, dibutuhkan katalis perengkah yang merupakan katalis heterogen (padatan).

Salah satu jenis katalis untuk proses tersebut adalah *metal supported catalyst* yang terdiri dari logam yang diimbankan pada pengemban padat seperti silika-alumina, alumina dan zeolit. Salah satu sifat penting katalis adalah jumlah situs asam totalnya (keasaman). Keasaman zeolit dapat ditingkatkan dengan cara pengembanan logam-logam transisi yang memiliki orbital *d* belum terisi penuh. Logam-logam ini secara langsung dapat berfungsi sebagai katalis tanpa diimbankan terlebih dahulu pada pengemban, tetapi memiliki kelemahan, diantaranya luas permukaan yang relatif kecil, dan selama proses katalitik dapat terjadi penggumpalan. Pengembanan logam-logam tersebut pada zeolit akan mendistribusikannya secara merata pada permukaan pengemban, sehingga menambah luas permukaan spesifik sistem katalis secara keseluruhan. Jenis logam yang biasanya diimbankan pada pengemban dan digunakan secara luas pada industri minyak bumi adalah Ni-Mo pada pengemban zeolit sintetis [Trisunaryanti, 2005].

### **3.2.1 Pengembanan Logam pada Penyangga**

Sistem katalis logam pengemban yaitu suatu sistem katalis yang dibuat dengan cara menempatkan komponen aktif logam ke dalam suatu bahan pengemban berpori seperti zeolit. Situs aktif logam diharapkan akan terdispersi secara merata ke seluruh permukaan dan pori-pori pengemban. Kemudian dilakukan aktivasi untuk meningkatkan kinerja katalis.

Penempatan logam dalam pengemban merupakan hal yang penting dalam preparasi katalis. Penempelan logam dalam pengemban bertujuan untuk memperluas (memperbanyak) permukaan aktif (situs aktif). Teknik penempelan logam ke dalam pengemban akan berpengaruh terhadap dispersi dan juga sifat interaksi antara logam dengan pengemban. Teknik yang biasa digunakan adalah impregnasi. Katalis logam pengemban dibuat dengan cara reduksi garam logam yang telah diimbankan/dimasukkan dalam bahan pengemban, kemudian dipanaskan (kalsinasi) untuk memodifikasi komposisi kimia, kemudian dilanjutkan dengan oksidasi dan reduksi untuk logam yang diimbankan [Handoko, 2002a].

Cara impregnasi ada dua macam, yaitu impregnasi secara langsung (*co-impregnation*) dan impregnasi bertahap (*sequential*). Impregnasi langsung adalah memasukkan larutan garam logam komponen aktif dan promotor bersama-sama dalam

pori penyangga. Impregnasi bertahap adalah melakukan impregnasi komponen aktif dan promotor secara terpisah. Impregnasi komponen aktif (Mo) dilakukan terlebih dahulu pada penyangga setelah itu dilakukan impregnasi promotor (Co). Impregnasi bertahap akan menghasilkan katalis yang memiliki aktivitas lebih tinggi dibandingkan dengan impregnasi satu tahap.

Metoda impregnasi ada dua yaitu impregnasi kering (*dry impregnation*) dan impregnasi basah (*impregnation to incipient wetness*). Impregnasi kering, apabila volum larutan yang digunakan kurang dari 1,2 kali volum pori penyangga. Impregnasi basah, apabila volum larutan yang digunakan lebih besar dari 1,5 kali volum pori penyangga. Metoda yang umum digunakan adalah impregnasi basah karena mudah dilakukan dibandingkan dengan impregnasi kering [Lestari, 2006].

Pengeringan merupakan salah satu tahapan dalam pembuatan katalis berpenyangga. Pengeringan bertujuan untuk menghilangkan kandungan air ( $H_2O$ ) yang ada dalam katalis, sehingga garam logam dapat mengendap pada permukaan pori penyangga. Temperatur yang digunakan untuk pengeringan berkisar antara 110 s.d 200 °C. Temperatur pengeringan yang biasa digunakan adalah 120 °C. Waktu pengeringan berkisar antara 10 menit s.d 24 jam, dan yang biasa digunakan adalah 2 s.d 4 jam. Pengeringan harus dilakukan dengan laju yang tepat. Laju pengeringan terlalu cepat, kristal akan mengendap di mulut pori [Lestari, 2006].

Tahapan yang tidak kalah penting dalam katalis berpenyangga adalah kalsinasi. Kalsinasi merupakan proses pemanasan setelah pengeringan. Kalsinasi bertujuan mendekomposisi garam menjadi bentuk oksidanya, menaikkan temperatur untuk meningkatkan kekuatan (stabilitas mekanik) serta menghilangkan kadar air yang masih tersisa. Apabila penyangga dibentuk dalam tahapan terpisah sebelum penambahan pada permukaan penyangga, kalsinasi berfungsi untuk mempertahankan luas permukaan penyangga dan struktur pori [Regabulto, 2007]. Waktu kalsinasi berkisar antara 0,1 s.d 30 jam dan disarankan antara 2 s.d 20 jam [Wu dkk, 2000]. Temperatur kalsinasi berkisar 400 s.d 550 °C. Temperatur kalsinasi lebih tinggi dari 550 °C akan menghasilkan katalis dengan Co-Mo rendah dan unjuk kerja yang kurang baik. Temperatur kalsinasi yang sangat tinggi (>700 °C) akan mengakibatkan terbentuknya  $Al_2(MoO_4)_3$  menyebabkan

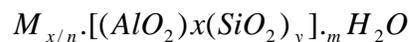
molibdenum oksida menguap dan akan menyebabkan penurunan aktivitas katalitik karena penurunan luas permukaan [Lestari, 2006].

Luas permukaan katalis yang semakin besar dapat mengindikasikan kinerja katalis akan semakin baik. Hasil penelitian Salim [2001] menunjukkan bahwa zeolit yang diimpregnasi dengan logam kobalt disertai oksidasi dan reduksi mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit yang diimpregnasi dengan kobalt tanpa oksidasi dan reduksi.

Penambahan logam dengan cara impregnasi dilanjutkan pengeringan, kalsinasi, oksidasi dan reduksi telah dilakukan Rodiansono dkk [2007]. Rodiansono mengembangkan logam Mo dan Ni pada zeolit alam. Mula-mula dilakukan impregnasi logam Mo dengan melarutkan sejumlah  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dalam 500 mL akuades, direfluks sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama 12 jam pada temperatur  $90^\circ\text{C}$ , kemudian dikeringkan sehingga diperoleh Mo/Z. Selanjutnya dilakukan impregnasi logam Ni menggunakan  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan prosedur yang sama sehingga diperoleh NiMo/Z. Padatan NiMo/Z kemudian dikalsinasi dengan aliran gas  $\text{N}_2$  (10 mL/menit) pada temperatur  $500^\circ\text{C}$  selama 5 jam, dioksidasi dengan gas  $\text{O}_2$  (10 mL/menit) pada temperatur  $400^\circ\text{C}$  selama 2 jam dan direduksi dengan gas  $\text{H}_2$  (10 mL/menit) pada temperatur  $400^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Perbandingan berat Ni/Mo adalah 1/2.

### 3.2. Zeolit

Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang memiliki kerangka struktur tiga dimensi, mikroporous, dan merupakan padatan kristalin dengan kandungan utama silikon, aluminium, dan oksigen serta mengikat sejumlah tertentu molekul air di dalam porinya. Secara umum rumus yang menyatakan komposisi molekul zeolit adalah



dengan,

$M_{x/n}$  : kation bervalensi n seperti Na, Mg, dan Ca, yang menempati posisi bagian luar kerangka

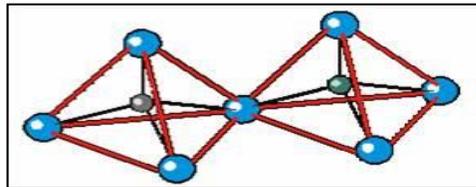
x,y,m : bilangan tertentu

n : bilangan yang menyatakan muatan ion logam

mH<sub>2</sub>O : jumlah mol air yang menempati posisi bagian luar kerangka.

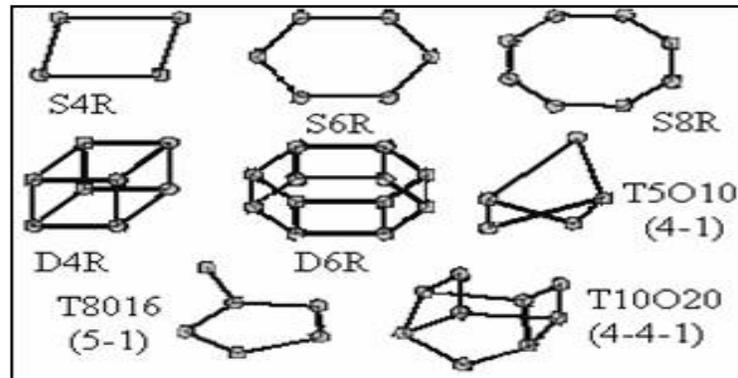
Penemuan zeolit di dunia dimulai dengan ditemukannya Stilbit pada tahun 1756 oleh seorang ilmuwan Swedia bernama A. F. Cronstedt. Cronstedt menggambarkan kekhasan mineral ini ketika berada dalam pemanasan terlihat seperti mendidih karena molekulnya kehilangan air dengan sangat cepat. Sesuai dengan sifatnya tersebut maka mineral ini diberi nama zeolit yang berasal dari kata 'zein' yang berarti mendidih dan 'lithos' yang berarti batuan.

Kerangka dasar struktur (unit bangun primer) zeolit berupa tetrahedra empat atom O yang mengelilingi atom pusat silika atau atom pusat alumina ( $TO_4$ : dengan T adalah tektosilikat yang berupa Si atau Al). Unit bangun primer dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Tetrahedra Alumina dan Silika ( $TO_4$ ) Pada Struktur Zeolit [Laz, 2005]

Bangun tetrahedra silika dan alumina dari kerangka dasar unit bangun primer bergabung membentuk cincin seperti cincin tunggal dari jenis lingkaran 4, 6, 8, cincin ganda lingkaran 4, cincin ganda lingkaran 6, kompleks 4-1 (unit  $T_5O_{10}$ ), kompleks 5-1 (unit  $T_8O_{16}$ ) atau kompleks 4-4-1 (unit  $T_{10}O_{20}$ ) yang disebut unit bangun sekunder. Zeolit hanya dapat diidentifikasi berdasarkan Unit Bangun Sekunder (UBS) sebagaimana terlihat pada gambar 2.2. Struktur kristal dan morfologi yang terdiri dari rongga-rongga yang berhubungan ke segala arah menyebabkan permukaan zeolit menjadi luas. Morfologi ini terbentuk dari unit pembangunan dasar primer yang membentuk unit pembangunan sekunder dan begitu seterusnya [Saputra, 2006].



Gambar 2.2. Unit Bangun Sekunder Struktur Zeolit  
[Laz, 2005]

Zeolit ada dua macam bila ditinjau dari asalnya yaitu zeolit alam dan sintetis. Mineral alam zeolit biasanya masih tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit, gipsum, feldspar dan kuarsa dan ditemukan di daerah sekitar gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas (*hot spring*). Zeolit juga ditemukan sebagai batuan endapan pada bagian tanah jenis basalt dan komposisi kimianya tergantung pada kondisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat dan komposisi air tanah lokasi terjadinya. Hal itu menjadikan zeolit dengan warna dan tekstur yang sama mungkin berbeda komposisi kimianya bila diambil dari lokasi yang berbeda, disebabkan karena kombinasi mineral yang berupa partikel halus dengan impuritis lainnya [Laz, 2005].

Saputra [2006] menyatakan bahwa mineral zeolit sintetis yang dibuat tidak dapat persis sama dengan mineral zeolit alam. Zeolit sintetis mempunyai sifat fisis yang jauh lebih baik. Beberapa ahli menamakan zeolit sintetis sama dengan nama mineral zeolit alam dengan menambahkan kata sintetis di belakangnya, dalam dunia perdagangan muncul nama zeolit sintetis seperti zeolit A, zeolit K-C dan lain-lain. Zeolit sintetis dibentuk dalam kondisi hidrotermal, bahan utama pembentuknya adalah aluminat silikat dan berbagai logam sebagai kation. Komposisi, sifat fisik dan kimia reaktan, serta jenis kation dan kondisi kristalisasi sangat menentukan struktur yang diperoleh.

Zeolit dapat dikenali melalui berbagai tinjauan dan berdasarkan kemiripan tertentu. Pengelompokan Zeolit dapat juga dibuat berdasarkan jenis bangun sekunder yang membentuk struktur, ukuran pori, dimensi saluran pada kristal zeolit atau perbandingan Si/Al. Berdasarkan perbandingan Si/Al, Zeolit dapat dibagi menjadi tiga kelompok (tabel

2.1). Zeolit yang tergolong pada kategori Si/Al rendah memiliki stabilitas kerangka yang rendah, demikian juga kestabilan terhadap asam juga rendah, tetapi memiliki kestabilan yang tinggi terhadap basa. Sebaliknya Zeolit yang tergolong pada kategori Si/Al tinggi memiliki kestabilan yang tinggi terhadap asam, dan mempunyai stabilitas kerangka yang tinggi pula [Mustain, 1997].

Tabel 2.1. Pengelompokan Zeolit Berdasarkan Perbandingan Si/Al

Kategori	Rentang angka perbandingan Si/Al	Contoh Jenis Zeolit
Rendah	1 s.d 1,5	Zeolit A, Zeolit B
Sedang	2 s.d 5	Erionit, Chabazit
Tinggi	10 s.d ~	Silikalit, ZSM-5

Zeolit memiliki sifat-sifat yang khas, diantaranya memiliki luas permukaan yang besar, mampu mempertukarkan kation dengan baik, mempunyai keasaman internal dan tahan terhadap panas yang tinggi.

- Luas permukaan yang besar  
Zeolit memiliki struktur berbentuk kerangka, sehingga memberikan permukaan yang lebar dan luas.
- Penukar kation yang baik  
Kation yang berada di luar kerangka Zeolit dapat dengan mudah dipertukarkan dengan kation lain. Kation tamu yang dipertukarkan tersebut terlokasi berhampiran dengan tetrahedral  $\text{AlO}_4^-$  yang bermuatan negatif, sehingga kapasitas tukar kation Zeolit sebanding dengan konsentrasi ion-ion  $\text{Al}^{3+}$  yang dimilikinya.
- Keasaman Internal  
Sifat asam Zeolit terbentuk apabila kation  $\text{M}^{n+}$  yang terikat dipertukarkan dengan  $\text{H}^+$  (proton) dimana  $\text{H}^+$  mengambil tempat pada posisi tangan O dan bergabung menjadi O-H yang bermuatan positif. Demikian pada kerapatan tertentu membentuk kelompok donor proton yang dikenal sebagai gejala asam Bronsted.

- Kestabilan Termal

Zeolit adalah kristal yang memiliki sifat stabil terhadap panas. Oleh karena reaksi-reaksi kimia umumnya berlangsung lebih cepat pada suhu tinggi maka sifat ini disukai sebagai alternatif katalis. Setiap jenis zeolit mempunyai suhu dekomposisi yang berbeda, secara umum berkisar antara 700°C hingga 1300°C

Kegunaan zeolit sebagai katalis sekarang ini semakin diperhatikan. Sifat katalitik zeolit tergantung pada struktur dan komposisi kimianya. Keberadaan asam yang terbentuk di dalam zeolit memberikan efek perilaku katalitik penting bagi zeolit. Inti asam tersebut dapat terbentuk di sepanjang saluran pori yang berukuran mikroskopik. Ukuran pori ini dapat memberikan efek *shape selective* yang merupakan sifat mampu memilah reaktan dan produk dalam peristiwa reaksi kimia [Mustain, 1997]. Pada dasarnya, ada tiga obyek kemampuan zeolit dalam memilah terjadinya reaksi kimia, yaitu pemilahan terhadap reaktan, produk transitif dan produk utama (gambar 2.3).

- Daya pilah terhadap reaktan

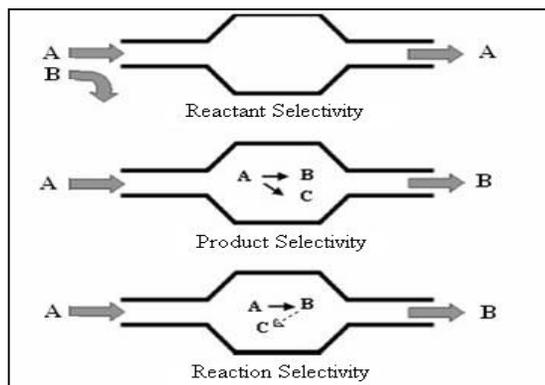
Molekul reaktan yang dapat memasuki pori zeolit harus memiliki bentuk dan ukuran tertentu, dan hanya molekul-molekul reaktan berukuran lebih kecil dapat masuk ke dalam pori Zeolit.

- Daya pilah terhadap produk utama

Pemilahan dimaksud adalah hanya produk yang memiliki bentuk dan berukuran tertentu yang boleh berdifusi keluar dari saluran-saluran zeolit.

- Daya pilah terhadap produk transitif

Senyawa transisi yang mempunyai ukuran molekul lebih besar dari ruang saluran tidak akan terbentuk, sehingga Zeolit berperilaku sebagai pembatas bagi terjadinya produk transitif.

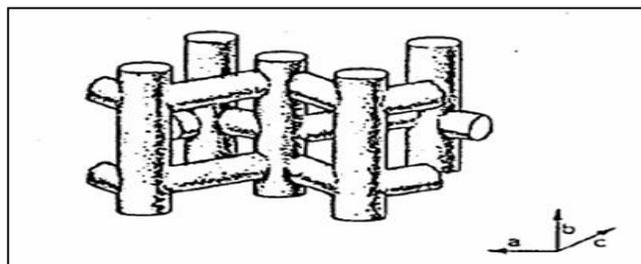


Gambar 2.3. Pemilahan (Selektivitas) Oleh Zeolit  
[Chorkendrof dan Niemantsverdriet, 2003]

Zeolit dapat digunakan sebagai pengemban dalam aplikasinya sebagai katalis. Zeolit digunakan sebagai pengemban karena struktur kristalnya berpori dan memiliki luas permukaan yang besar, tersusun oleh kerangka silika–alumina, memiliki stabilitas termal yang tinggi, harganya murah serta keberadaannya cukup melimpah [Handoko, 2002].

### 3.3. ZSM-5

ZSM-5 (Zeolite Socony Mobile-5) pertama kali diperkenalkan oleh Mobil Oil pada awal tahun 1970-an. ZSM-5 termasuk dalam pengelompokan Zeolit dengan perbandingan Si dan Al yang tinggi yaitu besar dari 10. ZSM-5 merupakan salah satu zeolit yang mempunyai struktur kristal orthombik dan kerangka strukturnya polyhedral yang tersusun dari unit bangun sekunder dengan 5 unit primer. Kristal ZSM-5 yang berbentuk orthombik dengan parameter sel  $a = 20,07 \text{ \AA}$ ,  $b = 19,92 \text{ \AA}$ ,  $c = 13,42 \text{ \AA}$ . ZSM-5 mempunyai saluran tiga dimensi (gambar 2.4) yang terbentuk dari 10 atom oksigen anggota.



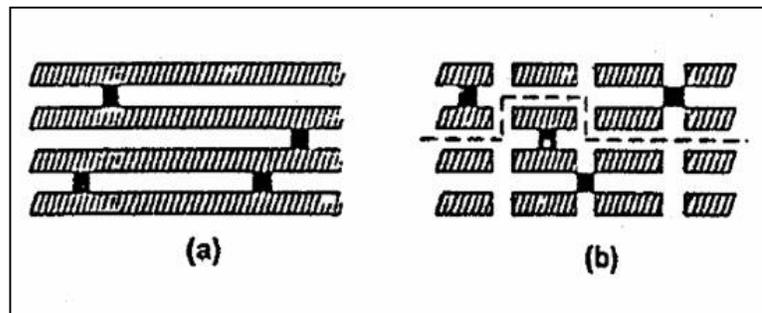
Gambar 2.4. Sistem Saluran Pada ZSM-5

[Mustain, 1997]

Saluran pada ZSM-5 tidak berongga sehingga tidak mudah terdeaktivasi oleh kokas yang biasanya menutupi pori pada kasus berbagai katalis (gambar 2.5). Saluran yang ada memiliki dua macam bentuk, yaitu berbentuk elips (bukaan 0,51 s.d 0,58 nm) yang tersusun secara paralel dan saluran berbentuk lingkaran (bukaan 0,54 s.d 0,56 nm) yang tersusun berkelok. Adanya dua jenis saluran pada ZSM-5 ini menyebabkan reaktan berdifusi melalui salah satu jenis pori dan produknya keluar melalui pori lainnya,

sehingga memungkinkan reaksi dapat terjadi tanpa *counter diffusion*. Pusat aktif katalis terdapat dalam ruang-ruang kosong yang ada pada perpotongan antar saluran. Ruang kosong ini mempunyai ukuran sekitar 0,9 nm.

Luas permukaan ZSM-5 bervariasi. Setiadi (2005) dalam penelitiannya menggunakan katalis ZSM-5 komersil (berukuran partikel 3  $\mu\text{m}$ ) dengan rasio Si/Al masing-masing 25, 75 dan 100. Luas permukaan dari masing-masing rasio tersebut yaitu 321,8  $\text{m}^2/\text{g}$ , 398,1  $\text{m}^2/\text{g}$  dan 408,3  $\text{m}^2/\text{g}$ .



Gambar 2.5. Pembentukan Kokas Pada Saluran Zeolit.

(a) pada sistem saluran yang tidak saling berhubungan; (b) pada sistem saluran tiga dimensi

[Mustain, 1997]

ZSM-5 dapat dibuat dari bahan baku yang mengandung silika dan alumina. Sumber silika dapat berupa natrium silikat, silikat hidrat, *water glass*, silika sol, silika gel, *clay*, silika terpresipitasi dan *calcined silica*. Sumber alumina dapat berupa alumina murni yang dilarutkan dalam NaOH, alumina sulfat, alumina oksida, logam aluminat, aluminium hidroksida, aluminium alkoksida, garam-garam aluminium [Ismail dalam Zahrina, 2006].

Struktur ZSM-5 mempunyai konfigurasi pola yang terdiri dari tiga grup fungsional dasar yaitu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{O}$ . ZSM-5 sering dideskripsikan ke dalam grup fungsional ini dan pola zeolit tergantung pada rasio grup ini. Rasio grup ini khususnya rasio molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  merupakan indikator penting dari sifat-sifat zeolit. Rasio molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  berada pada kisaran 15 sd 150 dan rasio molar  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  kira-kira 2 s.d 10. Kekuatan asam dan stabilitas termal meningkat seiring meningkatnya rasio molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  [Vempati, 2002].

Pada mulanya, ZSM-5 dibuat menggunakan templat organik dalam campuran sintesisnya. Templat organik ini membantu dalam pembentukan struktur pori ZSM-5. Penggunaan templat menjadikan biaya produksi ZSM-5 lebih besar karena 50 % biaya produksi digunakan untuk templat.

ZSM-5 dapat juga dibuat menggunakan basa inorganik seperti NaOH. Penambahan NaOH disesuaikan dengan rasio molar  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  yaitu antara 2 s.d 10. Vempati [2002] menyatakan bahwa rasio molar  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  yang sebaiknya digunakan adalah 7,4.

Vempati [2002] telah mensintesa ZSM-5 menggunakan sumber silika abu sekam padi dan tanpa templat. Sintesis ZSM-5 tanpa menggunakan templat dapat mengurangi biaya produksi ZSM-5. Abu sekam padi tersebut memiliki kandungan karbon 0 s.d 10% dari berat total, dan kandungan  $\text{SiO}_2$  melebihi 90% berat dari total abu silika. Penggunaan produk sisa seperti abu sekam padi sebagai sumber silika tersebut juga akan menurunkan biaya produksi ZSM-5.

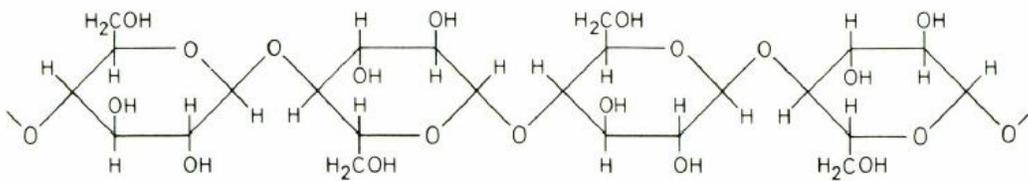
ZSM-5 disintesa pada sistem tertutup. Campuran bahan baku dipanaskan pada temperatur antara  $150^\circ\text{C}$  s.d  $220^\circ\text{C}$ . Waktu pemanasan berkisar antara 6 s.d 40 jam dan Vempati [2002] menyarankan waktu pemanasan antara 18 s.d 24 jam. Zahrina dkk [2006] memperoleh ZSM-5 pada temperatur  $190^\circ\text{C}$ , nisbah molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  25 selama 18 jam dengan menggunakan silika terpresipitasi sebagai sumber silika dan natrium aluminat sebagai sumber alumina.

### **3.4. Pirolisis**

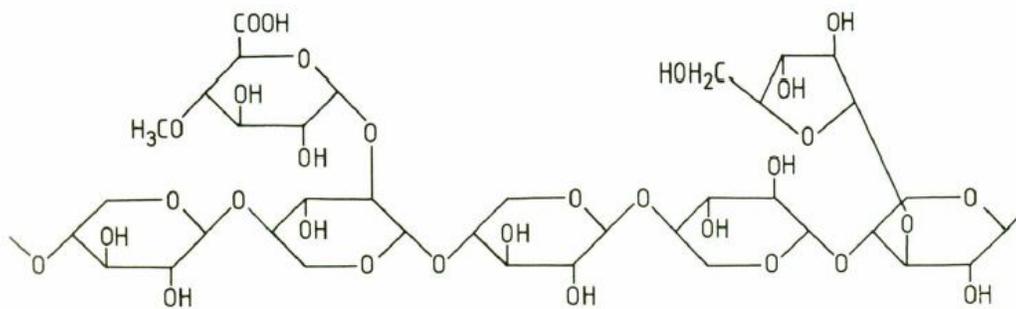
Pyrolisis berasal dari kata Pyro (Fire/Api) dan Lyo (Loosening/Pelepasan) untuk termal dekomposisi dari suatu bahan organik. Jadi pyrolisis adalah proses konversi dari suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pyrolisis merupakan suatu bentuk insinerasi yang menguraikan bahan organik secara kimia melalui pemanasan dengan mengalirkan nitrogen sebagai inert gas [Miura dkk, 2003]. Pemanasan berlangsung pada suhu  $450\text{-}600^\circ\text{C}$ , yang mengkonversi biomasa mencapai 70-75% berat umpan. Proses ini menghasilkan uap organik, gas *pyrolysis* dan arang [BTG, 2004]. Uap organik yang dihasilkan mengandung karbon monoksida, metana, kar-

bon dioksida, tar yang mudah menguap dan air. Uap organik kemudian dikondensasikan menjadi cairan. Cairan hasil *pyrolysis* dikenal sebagai *bio-oil*.

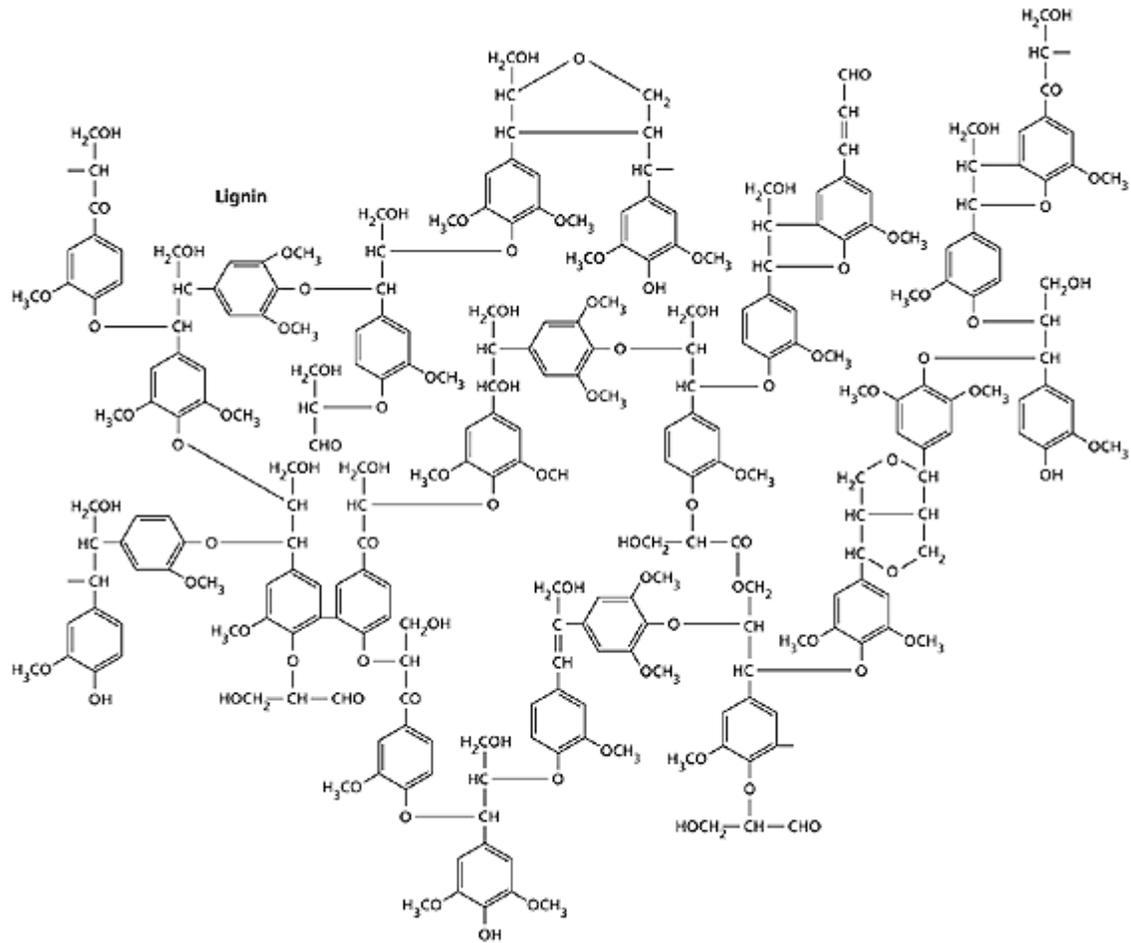
Limbah Tandan Kosong Sawit (TKS) sawit memiliki kandungan holoselulosanya tandan kosong 73,85 % [Anderson dan Khalid, 2000], Kandungan holoselulosa ini akan berpengaruh pada kecepatan pembentukan produk, semakin tinggi kandungan selulosa maka pembentukan produk akan lebih tinggi [Song dkk, 2000]. Pada umumnya biomasa memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin yang berbeda-beda tergantung dari jenis biomasanya, struktur kimia dari kandungan biomasa dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3.1. Struktur Kimia Selulosa  $[C_6(H_2O)_5]_n$



Gambar 3.2. Struktur Kimia Hemiselulosa  $[C_5(H_2O)_4]_n$



Gambar 3.3 Struktur Kimia Lignin [C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>3</sub>]<sub>n</sub>

Selain dengan *pyrolysis*, biomasa dapat diproses dengan pembakaran langsung dan gasifikasi. Jika dibandingkan dengan pembakaran langsung dan gasifikasi, produk yang berbentuk lebih banyak dihasilkan dari *pyrolysis* [New Hampshire, 2004]. Perbandingannya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 3.1. Perbandingan produk yang dihasilkan dari konversi biomasa secara termodinamik

Proses	Liquid	Arang	Gas
Pyrolysis	75%	12%	13%
<i>Pembakaran Langsung</i>	30%	35%	35%
<i>Gasifikasi</i>	5%	10%	85%

▪ Sumber : New Hampshire, 2004

Pada dasarnya jumlah produk yang dihasilkan dari *pyrolysis* tergantung pada suhu proses dan bahan baku yang digunakan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh BTG [(2004)] menunjukkan bahwa maksimum bio-oil yang dihasilkan mencapai 79% berat umpan pada suhu 500<sup>0</sup>C. Hal tersebut menjelaskan bahwa produksi bio-oil akan meningkat dengan bertambah tingginya temperatur, dan arang yang dihasilkan akan turun dengan meningkatnya suhu. *Pyrolysis* yang menggunakan kayu sebagai bahan baku akan menghasilkan jumlah *bio-oil* yang berbeda apabila menggunakan kulit kayu [Ensyn, 2001]. Perbandingannya dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Perbandingan *bio-oil* yang dihasilkan dengan biomasa berbeda

Biomasa	<i>Bio-Oil</i> (%)
Kayu	71 – 80
Kertas Sampah (selulosa yang tinggi)	71 – 93
Kulit kayu (lignin yang tinggi)	60 – 67

▪Sumber : Ensyn Group INC, 2001.

Menurut Ensyn Group INC [2001], *bio-oil* adalah cairan yang dapat larut dalam air, bahan bakar yang dapat dioksigenasi, mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen. Dengan kandungan nitrogen dan sulfur yang sangat sedikit, bahkan kandungan sulfur didalamnya dapat diabaikan. Komponen organik dalam *bio-oil* adalah derivat liquid linin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Kandungan asam organik dalam *bio-oil* memberikan sifat asam pada *bio-oil*. Kandungan lainnya dalam *bio-oil* adalah air, tetapi air tidak bersifat kontaminan seperti pada petroleum, karena air bercampur dengan *bio-oil*. Sedangkan menurut RenewableBioOil [2001], kandungan *bio-oil* tergantung pada biomasa yang digunakan, namun zat-zat kimia yang terdapat pada *bio-oil* terdiri dari kelompok

karbonil, karboksil, hidroksil dan metoksil. Semua kelompok ini mengandung oksigen, dimana minyak yang berasal dari minyak bumi hampir semuanya mengandung hidrokarbon.

Easterly [2004] melaporkan bahwa Bridgwater [2001] menyatakan *bio-oil* yang dihasilkan dari kayu terdiri dari kira-kira 56% karbon, 6% hydrogen, 37% oksigen, dan 0,1% debu. *Bio-oil* diproduksi dengan proses *pyrolysis* menggunakan biomasa dengan pemanasan, tanpa adanya kandungan oksigen. Uap organik yang dihasilkan dari proses *pyrolysis* dikondensasikan menjadi *bio-oil*.

Karakteristik *bio-oil* yang dihasilkan sangat beragam, tergantung pada jenis umpan dan teknologi pengolahan yang digunakan. Artinya spesifikasi bahan baku proses sangat penting dalam menentukan produk yang dihasilkan. Umumnya, *bio-oil* yang dihasilkan merupakan cairan coklat kehitaman, mudah terbakar (*combustible*), tidak bercampur dengan hidrokarbon, bersifat asam, viskositas tergantung kadar air yang dikandungnya [Bain dan Richard, 2004]. Kandungan air dalam *bio-oil* 15 – 30 wt% dan pH 2,8 – 3,8 [BTG,2003]. Untuk sifat fisis *bio-oil* lainnya dapat dilihat pada tabel 2.5.

*Bio-oil* yang dihasilkan dari proses *pyrolysis* menurut Freel dan Graham [2002] dalam US Patent no 6485841B1 mengandung air 15 – 30%, lignin pirolitik 20 – 30%, asam karboksilat 10 – 20% (yang terdiri dari asetat, formik, propionik dan glikol sebagai asam karboksilat terbanyak dan butirir, pentanoik serta hexanoik yang merupakan asam karboksilat yang dihasilkan sedikit), aldehid 14 – 25% (glikodehid, glyoxal, hidroksipropanol, metil glyoxal dan sedikit formaldehid, asetaldehid 2-furaldehid dan syringaldehid), gula 5 – 15% (levoglukosan, fruktosa, *cellobiosan* dan glukosa, dan sedikit mengandung oligosakarida, danydroglukofuranosa), keton 4 – 10% (hidroksipropana, siklopentanon, siklopentena, furanon, hidrosimetilpiron dan sedikit butirolakton, asetiloksipropanon), alkohol 2 – 10% (asetol, metanol, etilen glikol) dan padatan 2 – 8%.

*Bio-oil* merupakan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil yang dapat digunakan untuk pembangkit ” green power “, transportasi dan pemanasan. Sebagai bahan bakar yang tidak menghasilkan polusi, *bio-oil* mempunyai sejumlah keuntungan melebihi bahan bakar petroleum, yaitu:

1. Kandungan oksigen yang tinggi dapat mengurangi emisi/polusi dari karbondioksida ketika *bio-oil* dibakar.
2. Easterly pada tahun 2004 melaporkan bahwa Morris pada tahun 2000 menyatakan kandungan nitrogen yang rendah dapat mengurangi emisi NO<sub>x</sub> sebagai contoh pengujian pembakaran pada turbin memperlihatkan bahwa emisi NO<sub>x</sub> menggunakan bahan bakar diesel dua kali jika dibandingkan dengan *bio-oil*.

3. Kandungan sulfur yang rendah juga dapat mengurangi emisi SO<sub>x</sub> dibandingkan menggunakan bahan bakar diesel.
4. Karena *bio oil* diperoleh dari limbah organik, maka hal ini didasarkan sebagai gas alam rumah kaca.

Berdasarkan DynaMotive Energy System Corporation [2005] dapat diketahui bahwa *bio-oil* memiliki produk yang bermanfaat diantaranya:

1. *Bio-oil* merupakan senyawa yang tidak stabil, sehingga tidak mungkin didistilasi, tapi *bio-oil* dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar. Untuk mendapatkan *bio-oil* yang stabil, maka *bio-oil* direaksikan dengan etanol. Karena reaksi kelompok karbonil dan karboksil dengan etanol dapat menstabilkan *bio-oil*.
2. Reaksi dengan ammonia, urea atau komponen amino lainnya dapat menghasilkan campuran yang tidak beracun yang cocok untuk menghasilkan pupuk seperti amida, amina dan lain – lain.

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

#### A. **Produksi *Industrial Grade Silica* dan ZSM-5**

1. Produksi *industrial grade silica* (IGS) dilakukan dengan mengekstrak fly ash dengan NaOH, dengan perbandingan rasio 1:12,5. Konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 0,21N, ekstraksi dilakukan pada suhu 160°C dan waktu reaksi 6,5 jam. Ekstraksi dilaksanakan pada reaktor/ekstraktor yang dapat bekerja pada suhu dan tekanan tinggi, larutan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang didapat disaring untuk memisahkan filtrat dan cake. Filtrat yang didapat direaksikan dengan asam/HCl teknis pekat secara perlahan-lahan dan diaduk dengan kecepatan 10 rpm sampai pH 11, ini lebih dikenal dengan proses sol/gel. Untuk mengetahui kapan reaksi dihentikan, pada larutan filtrat ditambahkan dengan indikator phenolptalein secukupnya, jika sudah terjadi perubahan warna maka proses sol/gel sudah selesai. Sol/gel kemudian disaring/disentrifuge untuk memisahkan gel/sol dengan larutan NaOH sisa. Sol/gel yang didapat kemudian dikeringkan pada oven pada suhu 110°C. Dari proses tersebut akan didapat IGS dengan kemurnian diatas 80%, hasil tersebut sudah sesuai dengan IGS komersil.
2. Kemudian IGS yang didapat digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi katalis ZSM-5 pada suhu 175, waktu sintesis 18 jam dan rasio Si/Al 30.pada alat reaktor *autoclaf* autogeneus dengan *automatic control temperature*. Sintesis tersebut akan dilakukan dengan cara sebagai berikut:
  - 1). Natrium aluminat dengan jumlah tertentu dicampur dengan aquadest selanjutnya disebut suspensi 1.
  - 2). Kemudian IGS dicampur dengan aluminat dengan rasio Si/Al 30 dicampur dengan aquadest selanjutnya disebut suspensi 2.

- 3). Kemudian Suspensi 1 dicampur suspensi 2 dan disebut suspensi 3. Kemudian suspensi 3 ditambahkan NaOH dengan jumlah tertentu sampai didapat rasio Na/Al 7,4 dan diaduk selama 30 menit.
- 4). Setelah itu dimasukkan kedalam reaktor autoclaf pada temperatur 175 °C selama 18 jam.
- 5). Kemudian padatan yang terbentuk dicuci dengan aquadest dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 110°C selama 6 jam.

#### **B. Sintesis NiMo/ZSM-5.**

Setelah katalis ZSM-5 didapat, kemudian dilakukan modifikasi katalis dengan mengimpregnasi dengan logam Ni-Mo dan akan didapat katalis Ni-Mo/ZSM-5. Impregnasi ZSM-5 dengan logam Ni-Mo adalah sebagai berikut:

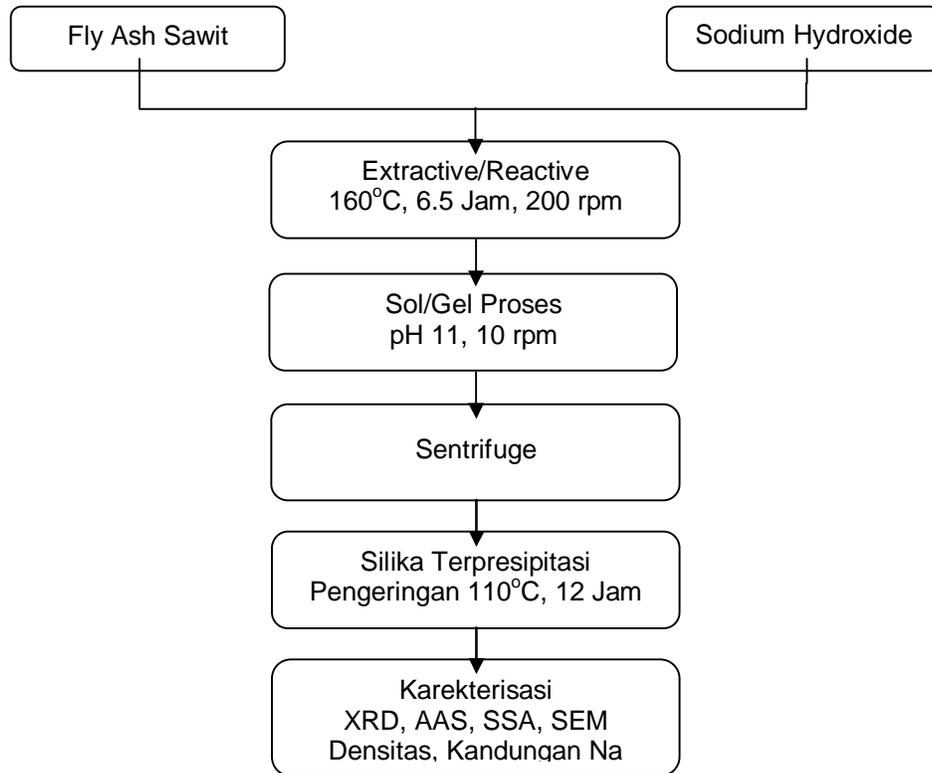
- 1). Senyawa  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  dilarutkan dengan 500 ml air bebas ion.
- 2). Kedalam larutan dimasukkan katalis ZSM-5 sebanyak 24,75 gr kemudian diaduk selama 12 jam dengan *magnet stirer* dengan suhu 90°C.
- 3). Kemudian larutan disaring dan dikeringkan dengan evaporator vakum pada T 80°C selama 2 jam.
- 4). Setelah itu padatan yang didapat dikeringkan lagi dengan menggunakan oven selama 3 jam pada suhu 110°C.
- 5). Setelah itu sampel diambil dan dilakukan impragnasi kembali dengan senyawa Amonium Molibdenum hydrate prosedur dilakukan dengan cara sama seperti pada urain diatas.
- 6). Setelah impregnasi untuk kedua logam maka sampel Ni-Mo/ZSM-5 dikalsinasi pada reaktor kalsinasi pada suhu 500°C sambil dialirkan gas  $\text{N}_2$  dengan laju alir 10 ml/menit selama 2 jam.
- 7). Setelah itu dilakukan dioksidasi pada sampel katalis dengan menggunakan reaktor oksidasi pada suhu 400°C sambil dialirkan gas  $\text{O}_2$  dengan laju alir 10 ml/menit selama 2 jam.
- 8). Setelah itu dilakukan proses reduksi pada suhu 400°C sambil dilirkan gas  $\text{H}_2$  dengan laju alir 10ml/menit selama 2 jam.

- 9). Kemudian katalis Ni-Mo/ZSM-5 yang telah didapat dilakukan karakterisasi dengan menggunakan BET .
- 10). Proses diatas diulangi untuk waktu kalsinasi 4 dan 6 jam.
- 11). Setelah dianalisa dengan BET, masing –masing variabel diuji juga kinerjanya pada proses cracking cangkang sawit dengan media thermo-oil.

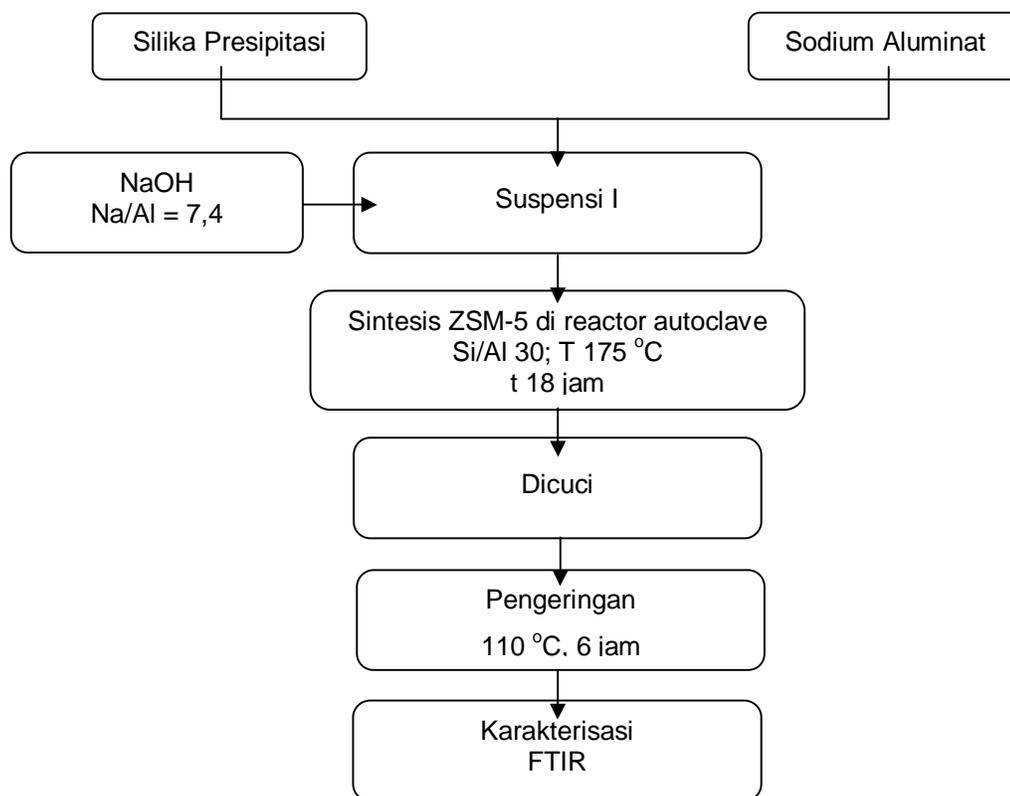
**C. Sintesis Ni/ZSM-5.**

- 1). Senyawa Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dilarutkan dengan 500 ml air bebas ion.
- 2). Kedalam larutan dimasukkan katalis ZSM-5 sebanyak 24,75 gr kemudian diaduk selama 12 jam dengan *magnet stirer* dengan suhu 90°C.
- 3). Kemudian larutan disaring dan dikeringkan dengan evaporator vakum pada T 80°C selama 2 jam.
- 4). Setelah itu padatan yang didapat dikeringkan lagi dengan menggunakan oven selama 3 jam pada suhu 110°C.
- 5). Padatan yang telah kering selanjutnya dikalsinasi pada reaktor kalsinasi pada suhu 500°C sambil dialirkan gas N<sub>2</sub> dengan laju alir 10 ml/menit selama 2 jam.
- 7). Setelah itu dilakukan dioksidasi pada sampel katalis dengan menggunakan reaktor oksidasi pada suhu 400°C sambil dialirkan gas O<sub>2</sub> dengan laju alir 10 ml/menit selama 2 jam.
- 8). Setelah itu dilakukan proses reduksi pada suhu 400°C sambil dialirkan gas H<sub>2</sub> dengan laju alir 10 ml/menit selama 2 jam.
- 9). Kemudian katalis Ni/ZSM-5 yang telah didapat dilakukan karakterisasi dengan menggunakan BET .
- 10). Proses diatas diulangi untuk suhu kalsinasi 450, 500 dan 550°C.
- 11). Setelah dianalisa dengan BET, masing –masing variabel diuji juga kinerjanya pada proses cracking cangkang sawit dengan media thermo-oil.

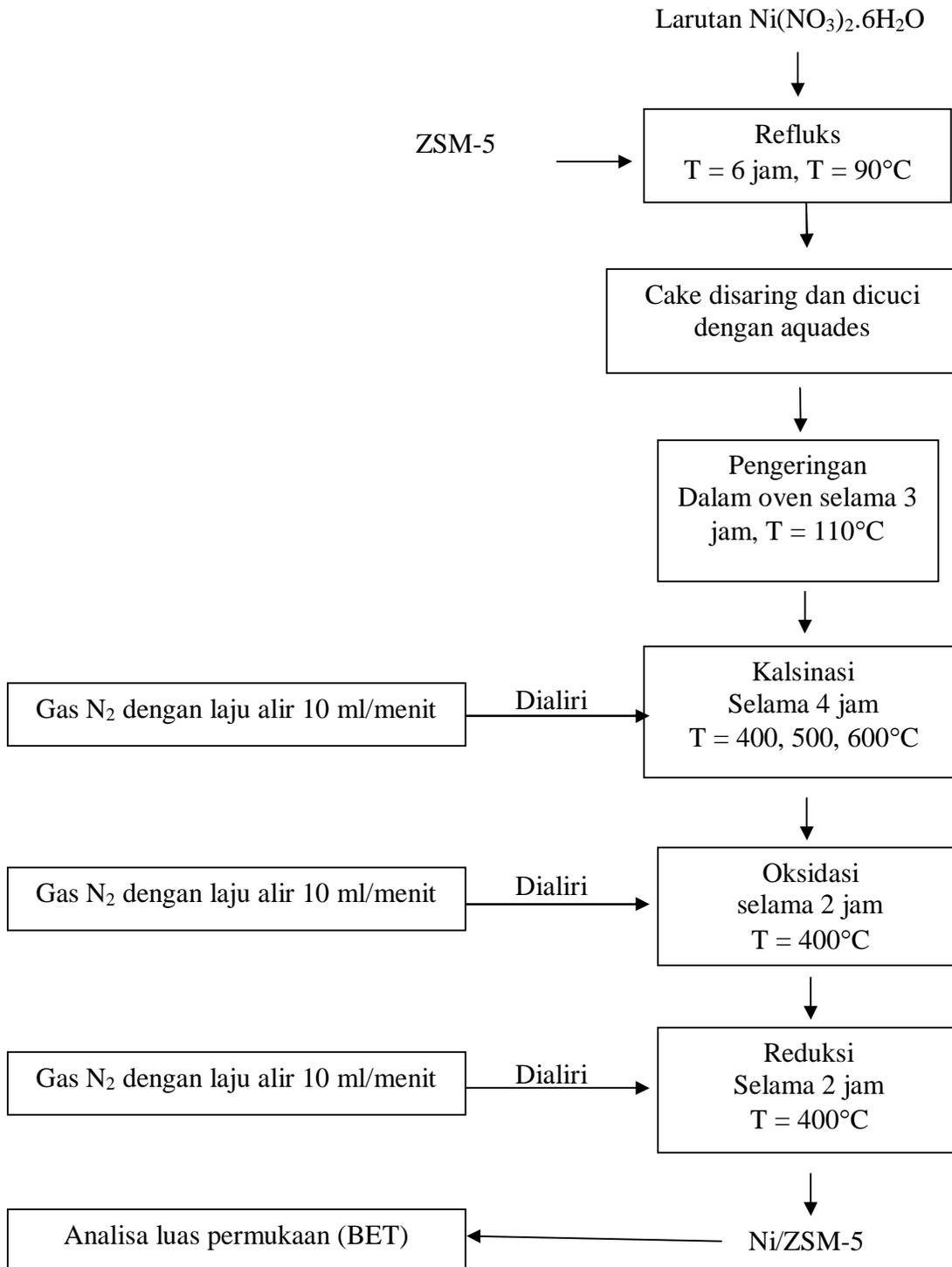
Tahapan-tahapan proses secara rinci dapat dilihat pada blok diagram 4.1 sampai 4.4.



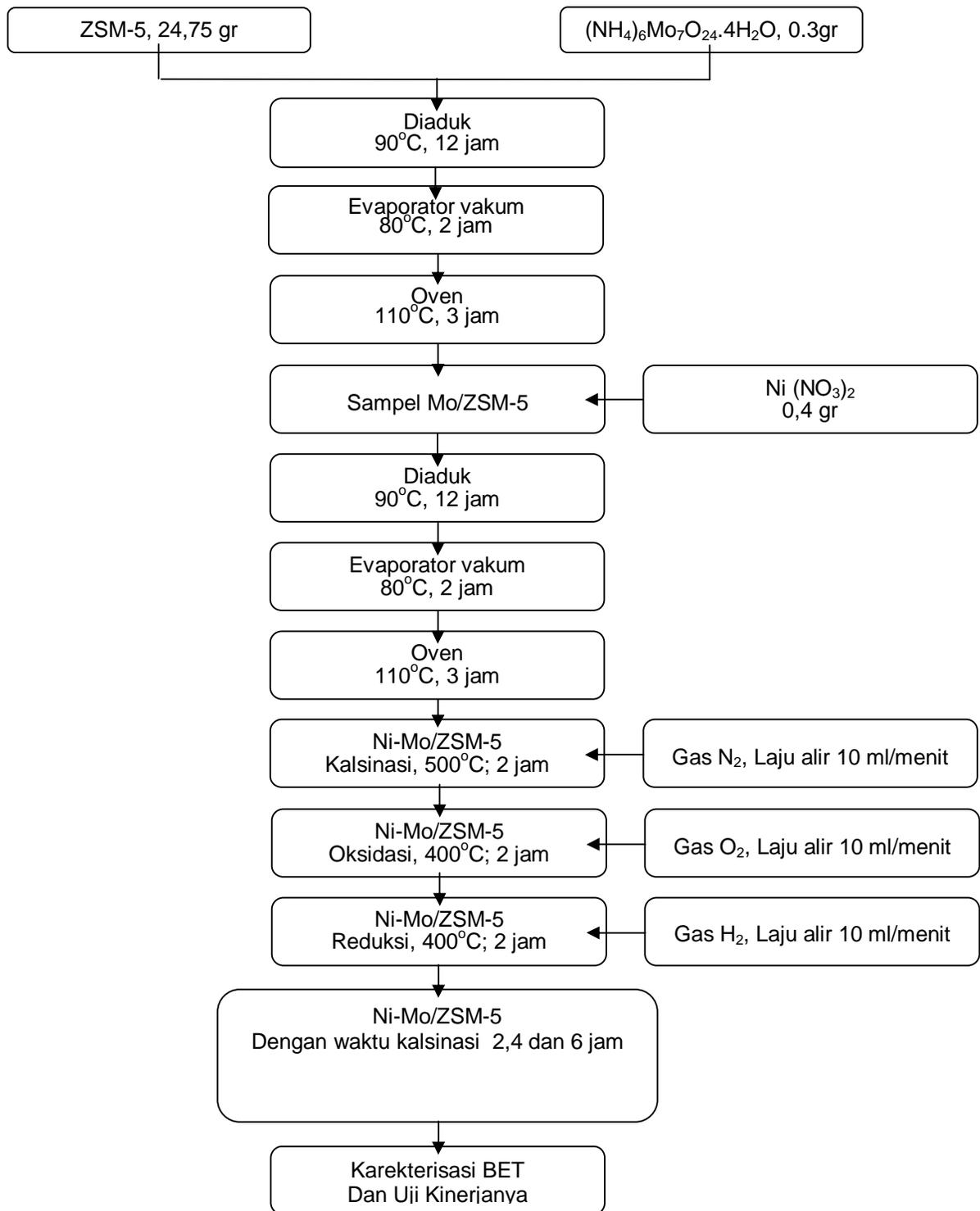
**Gambar 4.1.** Diagram alir pembuatan *Industrial grade silica* dengan proses ekstraktif-reaktif dan sol/gel.



**Gambar 4.2.** Diagram alir pembuatan katalis ZSM-5 dengan menggunakan *industrial grade silica* tanpa templat



**Gambar 4.3.**Blok Diagram Pembuatan Ni/ZSM-5



**Gambar 4.4.** Diagram alir proses pembuatan katalis NiMo/ZSM-5.

# BAB V

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Sintesis Katalis NiMo/ZSM-5

Sintesis katalis ini dilakukan dengan impregnasi logam nikel dan molebdenum pada katalis ZSM5. Pada penelitian pembuatan katalis ini mempelajari pengaruh waktu kalsinasi terhadap luas permukaan katalis NiMo/ZSM-5. Pada tabel 5.1 dapat dilihat pengaruh variabel waktu kalsinasi.

**Tabel 5.1.** Pengaruh waktu kalsinasi terhadap luas permukaan NiMo/ZSM-5

No	Waktu Kalsinasi (Jam)	Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)
1.	2	33.97
2.	4	42.26
3.	6	32.87

Pada tabel 5.1 terlihat bahwa luas permukaan NiMo/ZSM-5 pada waktu kalsinasi 4 jam lebih besar dibandingkan waktu kalsinasi 2 jam. Hal ini dapat disebabkan pada saat kalsinasi 2 jam sebagian pengotor masih terperangkap dalam pori-pori penyangga. Ketika kalsinasi dilakukan selama 4 jam, waktu yang dibutuhkan N<sub>2</sub> untuk mendesak pengotor organik dalam pori-pori penyangga semakin bertambah sehingga jumlah pengotor jauh lebih kecil. Berkurangnya pengotor ini menjadikan luas permukaan katalis menjadi lebih besar. Sedangkan waktu kalsinasi selama 6 jam memperlihatkan luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan kalsinasi selama 4 jam. Berkurangnya luas permukaan NiMo/ZSM-5 ini dapat disebabkan waktu kalsinasi yang lebih dari 4 jam menjadikan fasa aktif (logam) yang belum menempel pada penyangga terdekomposisi. Semakin lama waktu kalsinasi maka suhu pada sampel katalis juga akan semakin meningkat. Putera [2008] menyatakan fasa aktif sangat rentan terdekomposisi pada suhu tinggi sehingga untuk mempertahankan fasa aktif diperlukan penyangga yang stabil terhadap suhu tinggi. Dengan demikian waktu kalsinasi 4 jam merupakan waktu yang optimum pada sintesis katalis NiMo/ZSM-5.

Luas permukaan pada sintesis katalis NiMo/ZSM-5 pada penelitian ini nilai lebih besar dari pada katalis NiMo/ZA hasil penelitian Radiansono dkk(2007) yaitu 19,86 m<sup>2</sup>/gram.

## 5.2. Uji Kinerja Katalis NiMo/ZSM-5

Uji kinerja katalis NiMo/ZSM-5 dilakukan pada proses pirolisis tandan kosong sawit(tks) dengan media thermo oil pada suhu 320<sup>0</sup>C dengan rasio katalis/cangkang sawit sebesar 1%. Pada uji kinerja ini dengan melihat yield crude biofuel dari masing masing katalis yang mempunyai waktu kalsinasi berbeda. Hal ini ditunjukkan pada tabel 5.2.

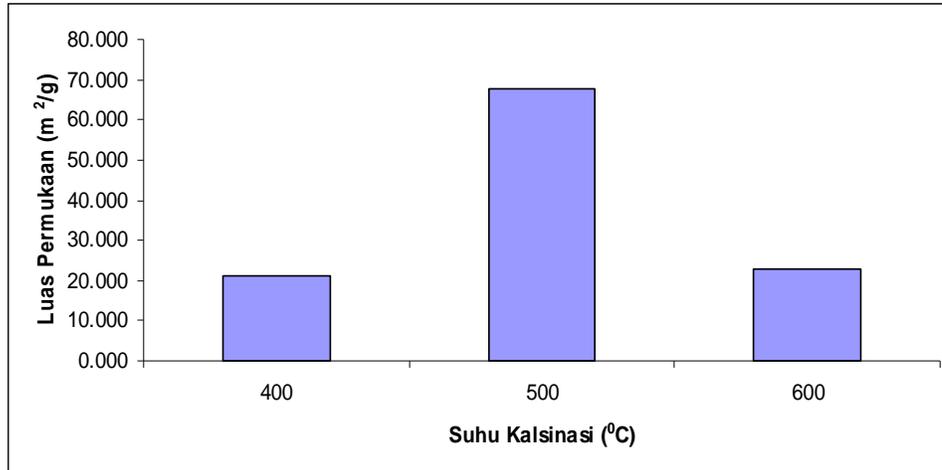
**Tabel 5.2.** Uji kinerja katalis NiMo/ZSM-5 pada proses pirolisis

No	Waktu Kalsinasi (Jam)	Yield Crude Bio-Fuel (%)
1.	2	43,2
2.	4	55,2
3.	6	37,1

Pada tabel 5.2 terlihat bahwa katalis NiMo/ZSM-5 dengan waktu kalsinasi 4 jam menghasilkan yield yang paling besar dibandingkan katalis NiMo/ZSM-5 dengan waktu kalsinasi 2 dan 6 jam. Hal ini berhubungan dengan luas permukaan katalis NiMo/ZSM-5 yang mana waktu kalsinasi 4 jam mempunyai luas permukaan yang terbesar. Makin besar luas permukaan katalis akan mempunyai aktivitas yang besar.

## 5.3. Sintesis Ni/ZSM-5

Pada penelitian ini Ni/ZSM-5 disintesis dengan variasi suhu kalsinasi yaitu 400<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C dan 600<sup>0</sup>C selama 4 jam dan dialiri gas nitrogen. Tujuannya adalah untuk menentukan pengaruh suhu kalsinasi terhadap luas permukaan katalis.



Gambar 5.1 Hubungan suhu kalsinasi terhadap luas permukaan katalis

Dari Gambar 4.1 diketahui bahwa pada suhu kalsinasi 400<sup>0</sup>C luas permukaan katalis 21,300 m<sup>2</sup>/g, suhu kalsinasi 500<sup>0</sup>C dihasilkan luas permukaan 67,874 m<sup>2</sup>/g dan pada suhu kalsinasi 600<sup>0</sup>C dihasilkan luas permukaan 22,959 m<sup>2</sup>/g. Dari hasil yang diperoleh diketahui bahwa suhu kalsinasi mempengaruhi luas permukaan katalis Ni/ZSM-5.

Pada suhu kalsinasi 400<sup>0</sup>C luas permukaan katalis yang diperoleh kecil hal ini disebabkan fasa aktif yang diembankan belum terbentuk secara sempurna. Pendapat ini sesuai dengan penelitian Elmasry [1994] yang menyatakan bahwa fasa aktif terbentuk pada suhu diatas 623 K atau 350<sup>0</sup>C.

Tetapi pada suhu 500<sup>0</sup>C terjadi peningkatan luas permukaan katalis Ni/ZSM-5. Hal ini menunjukkan bahwa fasa aktif telah terbentuk dan pengembangan logam Ni terdistribusi secara merata pada dinding pori. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Marsih, dkk [2006] yang menyatakan bahwa peningkatan luas permukaan katalis terjadi akibat logam yang terdistribusi adanya dengan lebih baik dan lebih banyak berada di permukaan katalis.

Logam yang terdistribusi secara merata menyebabkan jumlah gas nitrogen yang teradsorpsi pada permukaan katalis meningkat sehingga dapat menghilangkan pengotor yang menutupi pori-pori katalis, menyebabkan pori-pori katalis menjadi lebih terbuka, permukaan padatannya lebih bersih dan luas. Kalsinasi yang optimal akan meninggalkan pori yang terbuka sehingga luas permukaan material meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Setyawan [2003] yaitu kalsinasi pada suhu

tinggi dapat menghilangkan pengotor yang menutupi pori-pori zeolit, menyebabkan permukaan padatnya luas.

Sementara pada suhu kalsinasi 600<sup>0</sup>C terjadi penurunan luas permukaan katalis. Penurunan luas permukaan spesifik Ni/ ZSM-5 disebabkan fasa aktif yang diharapkan dari logam yang diimbangkan belum menempel pada penyangga terdekomposisi. Putera [2008] menyatakan fasa aktif sangat rentan terdekomposisi pada suhu tinggi sehingga untuk mempertahankan fasa aktif diperlukan penyangga yang stabil terhadap suhu tinggi. Penurunan luas permukaan katalis dapat disebabkan karena proses pendispersian logam Ni ke dalam pori ZSM-5 tidak merata dan terjadi penumpukan logam yang mengakibatkan tertutupnya saluran pori-pori ZSM-5. Tertutupnya saluran pori dalam ZSM-5 menyebabkan jumlah gas nitrogen yang teradsorpsi pada permukaan ZSM-5 menjadi berkurang.

Penumpukan logam ini akan menyebabkan terjadinya sintering. Sintering merupakan suatu proses berkumpulnya partikel-partikel logam yang membentuk gumpalan-gumpalan pada permukaan pori pengemban sehingga menutup sebagian pori dan sisi aktif katalis. Proses sintering juga menyebabkan luas permukaan efektif logam menjadi menurun. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Bhatia [1999] yang menyatakan bahwa jika dispersi kurang optimal akan menyebabkan logam terakumulasi pada salah satu sisi katalis sehingga akan menutup pori-pori dari katalis sehingga luas permukaan katalis akan berkurang.

#### **5.4. Uji kinerja katalis Ni/ZSM-5**

Uji aktivitas katalis Ni/ZSM-5 dilakukan dengan cara pirolisis cangkang sawit menjadi *bio oil* pada suhu 320<sup>0</sup>C [Anugra, 2010]. Penggunaan katalis Ni/ZSM-5 sebanyak 1% dari biomassa cangkang sawit diharapkan dapat meningkatkan *yield bio-oil*.

Tabel 5.3 Hasil Perolehan *Yield Bio oil* Menggunakan Ni/ZSM-5

No	Suhu Kalsinasi (°C)	Luas Permukaan Katalis (m <sup>2</sup> /gr)	<i>Yield Bio-oil</i> (%)
1	400	21,300	31
2	500	67,874	42
3	600	22,959	34

Tabel 4.1 menunjukkan data hasil perolehan *yield bio oil* pada berbagai variasi suhu kalsinasi pada katalis Ni/ZSM-5. Persentase *yield bio oil* dengan katalis Ni/ZSM-5 dengan berbagai suhu kalsinasi (400°C, 500°C, dan 600°C) dipirolisis pada temperatur 320°C berturut-turut adalah 31%, 42%, dan 34%.

Luas permukaan katalis yang mempengaruhi *yield bio oil* yang dihasilkan. Hal ini ditunjukkan dengan hasil luas permukaan 67,874 m<sup>2</sup>/g menghasilkan *yield bio oil* yang besar yaitu 42%. Luas permukaan katalis akan mempengaruhi aktivitas katalis, semakin luas permukaan suatu katalis maka fasa aktif yang tersebar semakin banyak sehingga akan meningkatkan aktivitas [Putera,2008].

Pada suhu kalsinasi 600°C dan luas permukaan katalis 22,959 m<sup>2</sup>/g, *yield bio oil* mengalami penurunan menjadi 34%. Hal ini mengindikasikan bahwa kinerja katalis yang mengalami penurunan akibat dari tertutupnya permukaan katalis oleh molekul-molekul reaktan yang tidak terdesorpsi.

# **BAB VI**

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **6.1 Kesimpulan**

1. Pada Sintesis katalis NiMo/ZSM-5 diperoleh waktu kalsinasi yang optimum 4 jam dengan luas permukaan 42,26 m<sup>2</sup>/gram.
2. Pada uji kinerja katalis NiMo/ZSM-5 dengan luas permukaan yang terbesar tersebut dihasilkan yield crude biofuel yang terbesar pula yaitu 55,2%.
3. Pada sintesis Ni/ZSM-5 dengan suhu kalsinasi 500<sup>0</sup>C diperoleh luas permukaan katalis yang terbesar yaitu 67,874 m<sup>2</sup>/gram.
4. Pada uji kinerja katalis Ni/ZSM-5 dengan luas permukaan yang terbesar tersebut dihasilkan diperoleh yield crude bio fuel yaitu 42%.

### **6.2 Saran**

Untuk mensintesis katalis yang mempunyai luas permukaan yang besar dan mempunyai kinerja yang lebih baik perlu dicoba proses proses yang lain. .

## DAFTAR PUSTAKA

- Carlson, T. R., Vispute T. P., dan Huber G. W., 2008, *Green Gasoline by Catalytic Fast Pyrolysis of Solid Biomass Derived Compounds*, ChemSusChem, Hal 397- 400, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Chorkendorff, I., dan Niemantsverdriet, J.W., 2003, *Concepts of Modern Catalysis and Kinetics*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Detrina, I., Yusnitawati, Bahri, S., Saputra, E., 2006, *Kajian Bio Oil Dari Limbah Padat Sawit Dengan Metoda Fast Pyrolysis*, Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia.
- Fiz, 2008, *Sawit Riau Masih Cerah*, <http://www.riapos.com/v2/content/view/11255/26/>, 13 Desember 2008.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., dan Hendroko, R., 2007, *Teknologi Bioenergi*, Agromedia, Jakarta.
- Handoko, D. S. P., 2002a, *Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam*, Jurnal Ilmu Dasar, Vol. 3, no. 1, hal 15-23.
- Handoko, D. S. P., 2002b, *Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kromium Pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis*, Jurnal Ilmu Dasar, Vol. 3, no. 2, hal 103-109.
- Laz, Thamzil, 2005, *Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri Radioaktif*, <http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=bookmark&id=jbptitbpp-gdl-web-2006-drthamzill-1844>, 11 Oktober 2008.
- Lestari, H. D., 2006, *Sintesis Katalis Ni/Mo untuk Hydrotreating Coker Nafta*, Tesis, Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Mustain, 1997, *Konversi Zeolit Alam Menjadi ZSM-5*, Tesis Magister, Program Studi Teknik Kimia Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung.
- Palgunadi, J., 2008, *Dari Limbah Sayuran Di Pasar Menjadi Bahan Bakar Terbarukan*, <http://matainginbicara.wordpress.com/category/features/>, 11 Oktober 2008.
- Putera, D. D., 2008, *Sintesis Fotokatalisis CuO/ZnO untuk Konversi Metanol Menjadi Hidrogen*, Skripsi, Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung.
- Regalbuto, J., 2007, *Supported Metal Oxides and The Surface Density Metric, Catalyst Preparation Science and Engineering*, CRC Press Taylor & Francis Group, New York.
- Richardson, J. T., 1989, *Principles of Catalyst Development*, Plenum Press, New York.
- Rodiansono, Trisumaryanti, W., dan Triyono, 2007, *Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin*, Berkala MIPA, Vol. 17, No.2.
- Salim, I., 2001, *Pengaruh Aktivasi dan Impregnasi Logam Kobalt Terhadap Luas Permukaan Zeolit Alam*, Laporan Penelitian, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan alam Universitas Cendrawasih.
- Saputra, E., Utama P. S., dan Aman, 2006, *Pembuatan Industrial Grade Silica Dari Limbah Padat Abu Sabut Sawit dengan Proses Ekstraksi dan Sol-Gel*, Kumpulan Ha-

- sil Penelitian Unggulan Universitas Riau, Lembaga Penelitian UNRI, Hal 199-201.
- Saputra, R., 2006, *Pemanfaatan Zeolit Sintesis Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Industri*,  
<http://pdmnipa.ugm.ac.id/ojs/index.php/bimipa/article/viewPDFInterstitial/21/32>,  
6 Maret 2008.
- Setiadi, 2005, *Uji Kinerja Katalis ZSM-5 dalam Konversi Aseton Menjadi Hidrokarbon Aromatik*, Simposium & Kongres Teknologi Katalisis Indonesia.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S., 2005, *Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit dan Mo-Ni/Zeolit Alam*, TEKNOIN, Vol.4, no. 4, Hal 269 -282.
- Vempati R. K., 2002, *ZSM-5 Made From Siliceous Ash*, US Patent No. 6.368.571 B1.
- Wu, A., Drake C. A., dan Melton, R. J., 2000, *Gasoline Upgrade*, US Patent No. 6.162.352.
- Yanti dan Jaya, S., 2007, *Pengembangan Sintesis Gamma alumina Sebagai Penyangga Katalis*, Penelitian, Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.
- Zahrina, I., Saputra, E., Evelyn, Santoso, I. A., Ramelo, R., 2006, *Sintesis ZSM-5 Tanpa Templat Menggunakan Silika Terpresipitasi Asal Abu Sawit Sebagai Sumber Silika*, Jurnal Natur Indonesia, Volum 9, No. 2, Lembaga Penelitian Universitas Riau, Pekanbaru.