

**LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
OPTIMASI PEMBUATAN GRANUL ZEOLIT *MOLECULAR*
SIEVE DENGAN DRUM GRANULATOR
DI PUSAT TEKNOLOGI SUMBER DAYA ENERGI DAN
INDUSTRI KIMIA-BPPT
(1 FEBRUARI-30 APRIL)**



OLEH:

INDAH KARTIKA DEWI (1512057)

MUTIARA ISTIQOMAH (1512058)

**PROGRAM STUDITEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016**

**OPTIMASI PEMBUATAN GRANUL ZEOLIT *MOLECULAR*
SIEVE DENGAN DRUM GRANULATOR
DI PUSAT TEKNOLOGI SUMBER DAYA ENERGI DAN
INDUSTRI KIMIA-BPPT
(1 FEBRUARI-30 APRIL)**

Diajukan sebagai salah satu syarat akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta



OLEH:

INDAH KARTIKA DEWI (1512057)

MUTIARA ISTIQOMAH (1512058)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN
2016**

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : OPTIMASI DRUM GRANULATOR PADA PROSES
PEMBUATAN ZEOLIT *MOLECULAR SIEVE*

DISUSUN OLEH :

NAMA/NIM : INDAH KARTIKA DEWI (1512057)
MUTIARA ISTIQOMAH (1512058)

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir
Program Studi Teknik Kimia Polimer
Politeknik STMI Jakarta

Jakarta, November 2016

Penguji,

Penguji,

Dr. Erfina Oktariani, ST, MT

NIP. 198210012014022001

Ir. Roosmariharso, MBA

NIP. 195405231980031004

Penguji,

Penguji

Sakri Widhianto, S.Teks, MM

NIP. 195303171978031001

Dr. Ir. Agus Mundiyo

NIP. 195403281982031003

**LAPORAN TUGAS AKHIR PENELITIAN
OPTIMASI PEMBUATAN GRANUL ZEOLIT *MOLECULAR*
SIEVE DENGAN DRUM GRANULATOR
DI PUSAT TEKNOLOGI SUMBER DAYA ENERGI DAN
INDUSTRI KIMIA-BPPT
(1 FEBRUARI-30 APRIL)**



OLEH:

INDAH KARTIKA DEWI (1512057)

MUTIARA ISTIQOMAH (1512058)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN**

2016

ABSTRAK

Dalam proses pengolahan gas alam dilakukan proses dehidrasi. Proses tersebut berfungsi untuk mencegah *free water*, korosi dan tercapainya kualitas gas yang diinginkan. Media yang digunakan dalam proses dehidrasi adalah zeolit *molecular sieve*, yang dibuat dengan Drum Granulator. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi drum granulator pada pembuatan zeolit *molecular sieve*, dengan parameter yang ditentukan sehingga di dapatkan produk zeolit *molecular sieve* yang diinginkan dan mengetahui kemampuan zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan untuk proses dehidrasi udara. Penelitian ini dilakukan dengan variasi konsentrasi binder, sudut drum granulator, dan kecepatan putar drum granulator terhadap ukuran dan kekuatan. Zeolit *molecular sieve* dibuat melalui proses granulasi, pemanasan, kalsinasi, dan sintering. Adapun hasil penelitian menunjukkan produk granul zeolit *molecular sieve* yang optimal didapatkan dengan ukuran 0,5-0,7 mm, memiliki *crushing strength* 38,4 N, dan *moisture content* 0,88% pada konsentrasi binder 20 M, kecepatan putar 9 rpm, dan sudut elevasi 4,5°. Hasil uji *roundness*, XRD, dan SEM zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan menunjukkan hasil *roundness* sebesar 89,34%, terdapat *Silicon Oxide* bentuk kristal *anorthic* dan *Sodium Aluminum Silicate* dalam bentuk kristal tetragonal, serta granul zeolit *molecular sieve* bersifat hidrofilik dan dapat menyerap air dengan baik. Kemampuan zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan dengan menurunkan *humidity* udara bebas sebanyak 30%.

Kata kunci: dehidrasi, drum granulator, granulasi, Natrium Silikat, zeolit *molecular sieve*.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dengan penuh rasa syukur penulis berhasil menyelesaikan penyusunan laporan setelah melakukan penelitian selama kurang lebih 4 bulan di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan Balai Pengujian dan

Identifikasi Barang Bea Cukai (BPIB Bea Cukai). Laporan ini dibuat sebagai persyaratan untuk memenuhi tugas akhir yang merupakan salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains terapan di Jurusan Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta – Kementerian Perindustrian RI.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing, serta mendukung dalam keseluruhan kegiatan penelitian dan penyusunan laporan ini, terutama kepada :

1. Allah SWT karena telah mengabulkan doa-doa penulis untuk bisa menjalani penelitian dan menyusun laporan ini;
2. Orangtua, kakak dan adik penulis yang selalu mendoakan dan mendukung untuk terus semangat dalam melakukan penelitian dan menyusun laporan ini;
3. Dr. Mustofa, ST, MT., selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta;
4. Ir. Roosmariharso, MBA., selaku pembimbing sekaligus ketua jurusan Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta;
5. Dr. Ir. Hens Saputra, M.Eng., selaku pembimbing Penelitian di Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Indusri Kimia Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTSEIK-BPPT);
6. Bapak Jaim dan Bapak Suradi selaku teknisi laboratorium PTSEIK-BPPT yang tetap rela mengorbankan waktunya untuk membimbing meskipun memiliki kewajiban pekerjaan sendiri dikantornya;
7. Bapak Sofyan dan Mas Irhas selaku pembimbing di Balai Pengujian dan Identifikasi Barang Bea Cukai.
8. Rekan–rekan Penelitian BPPT Teknologi Industri, Kirana dan Wiku yang menjadi rekan diskusi selama Penelitian.
9. Rekan–rekan Teknik Kimia Polimer angkatan 2012 yang turut mendukung dan memberi semangat selama pelaksanaan Penelitian berlangsung, dan
10. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan ini. Penulis mengharapkan laporan ini dapat menjadi kontribusi yang bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, 21 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	i
BAB I PENDAHULUAN	11
1.1 Latar Belakang	11
1.2 Rumusan Masalah	12
1.3 Batasan Masalah	12
1.4 Tujuan Penelitian	13
1.5 Manfaat Penelitian	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	14
2.1 Zeolit Alam	14
2.2 Struktur Zeolit	15
2.3 Struktur Kristal	17
2.3.1 Sistem Tetragonal	17
2.3.2 Sistem Triklin	17
2.4 Klasifikasi Zeolit	18
2.5 Fungsi Zeolit	19
2.6 <i>Molecular Sieve</i>	19
2.7 Mekanisme Kerja Zeolit	20
2.8 Natrium Silikat	21
2.9 Aktivasi Zeolit	21
2.10 Kalsinasi dan Sintering	22
2.11 Proses Penyerapan	23

2.11 Adsorpsi Membran Zeolit	24
2.12 <i>Molecular Sieve</i> Komersial	25
2.13 <i>Rotary Drum Granulator</i>	25
2.14 Karakterisasi Sampel	27
2.14.1 X-Ray Diffraction (XRD)	27
2.14.2 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	27
2.14.3 Metode kebulatan (<i>Roundness</i>)	29
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.2 Diagram Alir Penelitian	31
3.3 Tahapan Penelitian	32
3.4 Variabel	32
3.4.1 Variabel Tetap	32
3.4.2 Variabel Bebas	32
3.5 Bahan dan Alat yang digunakan	33
3.5.1 Bahan – bahan	34
3.5.2 Alat – alat	34
3.6 Prosedur Penelitian	36
3.6.1 Persiapan Alat dan Bahan	36
3.6.2 Pembuatan Zeolit <i>Molecular Sieve</i>	36
3.6.3 Granulasi	37
3.6.4 Pengeringan Granul	38
3.6.5 Kalsinasi dan Sintering Granul	38
3.6.6 Uji Karakterisasi Granul	38
3.6.7 Analisis Granul	39
3.6.8 Uji Aplikasi Granul <i>Molecular Sieve</i>	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Hasil Uji XRD	41

4.2 Hasil Uji SEM.....	43
4.3 Hasil Analisis <i>Roundness</i>	45
4.4 Hasil Analisis Distribusi Ukuran Granul.....	46
4.5 Hasil Uji Dehidrasi Zeolit <i>Molecular Sieve</i>	49
4.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Uji Zeolit <i>Molecular Sieve</i>	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Spesifikasi Alat Drum Granulator.....	26
Tabel III.1 Variasi Konsentrasi Binder, Sudut Elevasi, dan Kecepatan Putar.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Unit Pembangun Primer Zeolit.....	16
Gambar II. 2 Struktur Unit Pembangun Sekunder Zeolit	16
Gambar II. 3 Struktur Unit Polihedral	17
Gambar II. 4 Struktur Sistem Tetragonal.....	17
Gambar II. 5 Struktur Sistem Triklin.....	18
Gambar II. 6 Ilustrasi Penyaringan Molekul (<i>Molecular sieve</i>).....	20
Gambar II. 7 Grafik Proses Kalsinasi Zeolit <i>Molecular Sieve</i>	22
Gambar II. 8 Proses Sintering Granul Zeolit <i>Molecular Sieve</i>	23
Gambar II. 9 Spesifikasi Alat Drum Granulator	25
Gambar II.10 Skema SEM.....	28
Gambar III. 1 Diagram Alir Penelitian Pembuatan <i>Molecular Sieve</i>	31
Gambar III. 2 Diagram Perhitungan dan Optimasi Granul Zeolit <i>Molecular Sieve</i> ...	33
Gambar III. 3 Bahan Proses	34
Gambar III. 4 Alat Proses	35
Gambar III. 5 Alat Ukur.....	36
Gambar III. 6 Alat Uji Karakterisasi dan Uji <i>Performance</i>	36
Gambar IV. 1 Hasil XRD pada Sudut 2θ Derajat.....	42
Gambar IV. 2 Hasil XRD Intensitas Peak pada Sudut 2θ Derajat	42
Gambar IV. 3 Hasil Pengujian SEM (a) pada Serbuk <i>Molecular Sieve</i> Zeolit (b) pada Granul <i>Molecular Sieve</i> Zeolit.....	43

Gambar IV. 4 Hasil Pengujian SEM pada Serbuk Zeolit <i>Molecular Sieve</i>	44
Gambar IV. 5 Hasil Pengujian Granul Zeolit <i>Molecular Sieve</i>	45
Gambar IV. 6 <i>Roundness</i> Granul Zeolit <i>Molecular Sieve</i>	46
Gambar IV. 7 Distribusi Ukuran Granul Zeolit Berdasarkan Variasi Kecepatan Putar Drum Granulator.....	47
Gambar IV. 8 Distribusi Ukuran Granul Zeolit Berdasarkan Variasi Sudut Drum Granulator.....	48
Gambar IV. 9 Distribusi Ukuran Granul Berdasarkan Variasi Konsentrasi Binder...	49
Gambar IV.10 Perbandingan <i>Humidity</i> Dehirasi Zeolit <i>Molecular Sieve</i> dengan <i>Humidity</i> Udara Bebas Berdasarkan Waktu.	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, sedikitnya 50 wilayah telah diketahui mengandung mineral zeolit yang tersebar di Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, dan Irian Jaya. Saat ini diperkirakan di Indonesia dapat memproduksi zeolit sebanyak 100.000 ton pertahun dihasilkan oleh sekitar 20 perusahaan (Suwardi 2000). Adapun zeolit yang terkenal terdapat di wilayah Sukabumi, Bogor, Tasikmalaya, Lampung, Bayah, Malang, dan lain-lain. Zeolit tersebut disebut zeolit alam. Selain zeolit alam, banyak peneliti sedang mengembangkan zeolit untuk dimodifikasi secara sintesis.

Zeolit merupakan senyawa kristal alumina silikat dari unsur-unsur golongan IA dan IIA seperti natrium, kalium, magnesium, dan kalsium (Mortimer dan Taylor 2002). Struktur kristalnya mudah diatur, sehingga dapat dimodifikasi sesuai dengan keperluan pemakai dan dapat digunakan untuk tujuan tertentu. Karena keistimewaannya itu sehingga zeolit memiliki keunggulan sifat seperti daya tukar kation atau penukar ion (*ion exchange*), daya serap (*adsorption*), dan katalisator atau daya membran (*catalic activity*) yang baik.

Pada industri sektor migas, dalam proses pencairan gas alam, natural gas atau *associated gas* yang diproduksi mengandung H₂O, H₂S, dan CO₂ sebagai impurities dalam pemrosesan gas, maka kandungan impurities tersebut harus dihilangkan pada unit dehidrasi (*dehydration unit*) dan gas alam yang di produksi harus bebas dari pengotor-pengotor. Proses penghilangan air (dehidrasi) adalah salah satu proses yang terakhir dari pemurnian gas yang bertujuan untuk mencegah terjadinya *free water*, korosi, dan tercapainya kualitas gas yang diinginkan. Untuk menghindari hal tersebut dapat dilakukan dengan teknik dehidrasi proses adsorpsi menggunakan *solid dessicant*. Zeolit dibutuhkan dalam bentuk *molecular sieve* sebagai *solid dessicant* untuk menyerap air yang terdapat pada gas. *Molecular sieve* merupakan *dessicant* dengan kemampuan menyerap air

terbesar. Pemilihan zeolit sebagai bahan penyerap pada proses dehidrasi didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu ketersediaan zeolit alam Indonesia yang melimpah, harga zeolit alam yang murah dan tidak memerlukan input energi yang tinggi.

Penggunaan jenis zeolit alam *molecular sieve* sebagai adsorber dalam unit dehidrasi memiliki karakteristik yang sangat berperan penting dalam penyerapan uap air. Karakteristik yang mempengaruhi zeolit *molecular sieve* sebagai adsorber adalah bentuk dan ukuran, porositas, dan *bulk density*.

Penelitian ini dilakukan untuk membuat zeolit alam *molecular sieve* berbentuk granul pada drum granulator, dengan harapan dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan kerja granulator di industri. Optimasi perlu dilakukan agar diperoleh hasil granulasi dengan bentuk, ukuran, jumlah, dan sifat yang diinginkan. Zeolit alam *molecular sieve* hasil optimasi diharapkan dapat digunakan sebagai adsorber pada unit dehidrasi dalam proses pengolahan kilang/*refinery*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi terbaik (optimal) pada pembuatan zeolit *molecular sieve* dengan variasi konsentrasi binder (Natrium Silikat), variasi sudut drum granulator, dan variasi kecepatan putar menggunakan drum granulator?
2. Bagaimana sifat fisik dan kimia zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan?
3. Bagaimana kemampuan zeolit *molecular sieve* sebagai adsorben air dalam proses dehidrasi?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Pembuatan zeolit *molecular sieve* berbentuk granul dengan alat drum granulator. Bahan zeolit yang masuk drum granulator akan disemprotkan dengan larutan binder dengan variasi konsentrasi, variasi sudut elevasi, dan variasi kecepatan putar.
2. Aktivasi zeolit *molecular sieve* dengan proses pemanasan dan proses sintering
3. Hasil zeolit *molecular sieve* dikarakterisasi dengan empat metode antara lain:

- a. Distribusi ukuran granul menggunakan jangka sorong
 - b. *X-Ray Diffraction* (XRD)
 - c. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
 - d. Metode *Roundness*
4. Uji aplikasi proses dehidrasi untuk mengetahui kemampuan zeolit *molecular sieve* yang telah dibuat.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mendapatkan kondisi terbaik pada pembuatan zeolit *molecular sieve* dengan variasi konsentrasi binder (Natrium Silikat), variasi sudut drum granulator, dan variasi kecepatan putar menggunakan drum granulator.
2. Mendapatkan sifat fisik dan kimia zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan.
3. Mengetahui kemampuan zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan untuk proses dehidrasi udara.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Penulis

Penelitian ini sebagai sarana untuk mengaplikasikan teori-teori dalam bidang teknik kimia yang diperoleh dalam bangku kuliah, sehingga dapat menambah pengetahuan dan wawasan penelitian secara *real* terkait dengan kondisi nyata dalam suatu proses pengolahan.

2. Bagi Pengembangan Ilmu

Penelitian ini diharapkan dapat menjadikan sumbangan pustaka dan bahan referensi atau rujukan dalam optimasi drum granulator pembuatan zeolit *molecular sieve* untuk aplikasi proses dehidrasi, khususnya bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeolit Alam

Zeolit merupakan senyawa kristal alumina silikat dari unsur-unsur golongan IA dan IIA seperti natrium, kalium, magnesium, dan kalsium (Mortimer dan Taylor, 2002). Secara umum, zeolit memiliki struktur molekular yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Pada struktur, atom silikon digantikan dengan atom aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom oksigen. Atom aluminium hanya memiliki muatan 3^+ , sedangkan silikon sendiri memiliki muatan 4^+ . Keberadaan atom aluminium secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation.

Zeolit merupakan *desiccant active* yang terbentuk dari kristal alumina silikat yang berpori, pori-pori di dalam kristal tersebut hampir semuanya mempunyai ukuran seragam.

Zeolit juga sering disebut sebagai '*molecular sieve*'/'*molecular mesh*' (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu.

Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering.

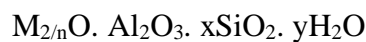
Zeolit dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis (Mortimer dan Taylor, 2002). Zeolit alam adalah zeolit yang diperoleh dari endapan di alam, sedangkan zeolit sintetis adalah zeolit yang direkayasa dari bahan berkemurnian tinggi, mempunyai jenis kation tunggal, mempunyai ukuran pori, saluran dan rongga tertentu (Mortimer dan Taylor, 2002).

Klasifikasi zeolit berdasarkan rasio Si/Al antara lain, zeolit silika rendah dengan perbandingan Si/Al 1 – 1,5, memiliki konsentrasi kation paling tinggi, dan mempunyai sifat adsorpsi yang optimum, contoh zeolit silika rendah adalah zeolit A dan X; zeolit silika sedang, yang mempunyai perbandingan Si/Al adalah 2-5, contoh zeolit jenis ini adalah Mordenit, Erionit, Klinoptilolit, zeolit Y; zeolit silika tinggi, dengan perbandingan kadar Si/Al antara 10 – 100, bahkan lebih, contohnya adalah ZSM-5 (Flanigen, 1980).

2.2 Struktur Zeolit

Zeolit merupakan mineral yang tersusun dari kerangka alumina silikat yang mempunyai rongga yang berisi kation yang dapat dipertukarkan dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Berdasarkan IUPAC yang ditetapkan pada suatu konvensi bahwa klasifikasi padatan-padatan yang diistilahkan dengan dimensi ukuran pori dan ruang berongga terdiri dari : *mikroporous* 2 nm, *mesoporous* 2 nm-50 nm, dan *makroporous* >50 nm (Ozin dan Arsenault, 2005).

Jika zeolit didasarkan pada satu unit sel kristal, maka secara kimia zeolit dapat ditulis dengan rumus empiris (Kirk Othmer, 1978) sebagai berikut :



M = kation alkali atau alkali tanah

n = valensi logam alkali

x = bilangan tertentu (2 s.d 10)

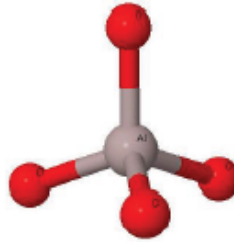
y = bilangan tertentu (2 s.d 7)

Berdasarkan rumus di atas dapat disimpulkan bahwa zeolit terbagi menjadi tiga komponen yaitu kerangka alumina silikat, kation dan molekul air. Kation dan molekul air tidak termasuk pada kerangka alumina silikat, tetapi mengisi rongga di antara kerangka.

Kerangka alumina silikat dari zeolit tersusun atas tiga unit pembangun, yaitu:

- a. Unit Pembangun Primer

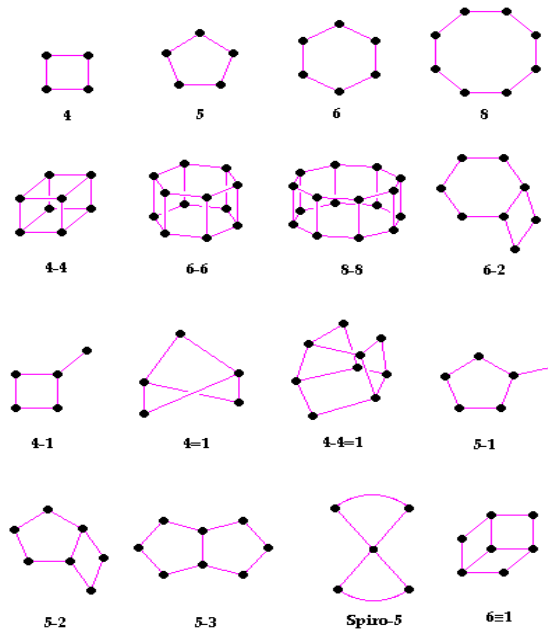
Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral dengan atom pusat silikon atau alumina dan empat atom oksigen pada ujung sudut-sudutnya (D. A. Carret *al.* 2007), seperti yang diilustrasikan pada Gambar II.1.



Gambar II. 1 Unit Pembangun Primer Zeolit
 Sumber : D. A. Carret *al.*, 2007

b. Unit Pembangun Sekunder

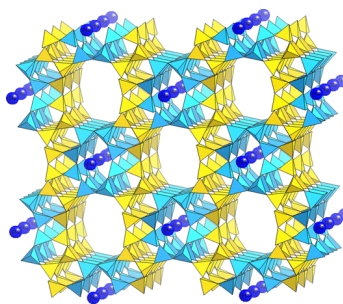
Unit-unit tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 saling berhubungan dengan pemakaian bersama atom oksigen membentuk unit pembangun sekunder yang berupa cincin 4, cincin 5, cincin 6, dan sebagainya seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.2.



Gambar II. 2 Struktur Unit Pembangun Sekunder Zeolit
 Sumber: D. A. Carret *al.*, 2007

c. Unit Polihedral

Unit pembangun sekunder saling berhubungan membentuk suatu polihedral yang merupakan struktur kristal zeolit (Peskov, 2007) seperti yang diilustrasikan



pada Gambar II.3.

Gambar II. 3 Struktur Unit Polihedral

Sumber: Peskov., 2007

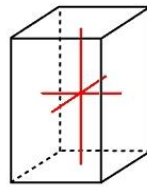
2.3 Struktur Kristal

Zeolit memiliki beberapa struktur kristal yaitu struktur kristal sistem tetragonal dan stuktur kristal sistem triklin.

2.3.1 Sistem Tetragonal

Sistem Tetragonal mempunyai tiga sumbu kristal yang masing-masing saling tegak lurus. Sumbu a_1 dan a_2 mempunyai satuan panjang sama, sedangkan sumbu c berlainan, dapat lebih panjang atau lebih pendek. Tapi pada umumnya lebih panjang.

Pada kondisi sebenarnya, Tetragonal memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a_1 = a_2 \neq c$, yang artinya panjang sumbu a_1 sama dengan sumbu a_2 tapi tidak sama dengan sumbu c , dan juga memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini semua sudut kristalografinya (α , β dan γ) tegak lurus satu sama lain (90°).



Gambar II. 4 Struktur Sistem Tetragonal

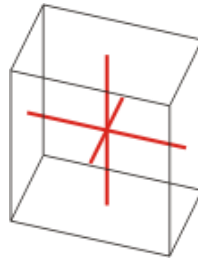
Sumber: Rizqi., 2013

Kristal ini memiliki dua sumbu yang sama, sumbu horizontal yang bersudut 90° dan satu sumbu (yang lebih panjang dibandingkan dengan dua lainnya) tegak lurus terhadap bidang antara dua sumbu yang sama. Dengan kata lain, semua sumbu membentuk sudut siku-siku atau 90° terhadap satu sama lain, dan dua sumbu adalah sama panjang (Rizqi, 2013).

2.3.2 Sistem Triklin

Sistem ini mempunyai 3 sumbu simetri yang satu dengan yang lainnya tidak saling tegak lurus. Demikian juga panjang masing-masing sumbu tidak sama.

Pada kondisi sebenarnya, sistem kristal triklin memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a \neq b \neq c$, yang artinya panjang sumbu-sumbunya tidak ada yang sama panjang atau berbeda satu sama lain dan juga memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$. Hal ini berarti, pada system ini sudut α , β dan γ tidak saling tegak lurus satu dengan yang lainnya.



Gambar II. 5 Struktur Sistem Triklin

Sumber: Rizqi., 2013

Tipe kristal ini memiliki 3 (tiga) sumbu yang tidak sama yang saling berpotongan pada sisi miringnya. *Felspar-Albit* (sebuah natrium silikat dan aluminium) merupakan contoh dari mineral dengan sistem kristal triklin.

Sistem ini mempunyai 3 sumbu simetri yang satu dengan yang lainnya tidak saling tegak lurus. Demikian juga panjang masing-masing sumbu tidak sama. System kristal triklin memiliki *axial ratio* (perbandingan sumbu) $a \neq b \neq c$, yang artinya panjang sumbu-sumbunya tidak ada yang sama panjang atau berbeda satu sama lain dan juga memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$. Hal ini berarti, pada system ini sudut α , β dan γ tidak saling tegak lurus satu dengan yang lainnya (Rizqi, 2013).

2.4 Klasifikasi Zeolit

Berdasarkan cara memperolehnya, zeolit dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu:

1. Zeolit Alam

Zeolit alam dapat ditemukan pada banyak tempat di dunia dimana pada tempat tersebut pernah terjadi aktivitas gunung berapi. Zeolit alam terbentuk melalui proses alam berupa zeolitisasi batuan vulkanik dengan air. Kondisi batuan, tanah dan lingkungan tempat pembentukannya mempengaruhi sifat-sifat fisik,

kimia, dan struktur mineral zeolit alam sehingga muncul beragam jenis zeolit alam.

2. Zeolit Sintesis

Zeolit sintesis diperoleh melalui proses sintesa dan merupakan hasil rekayasa dari manusia.

2.5 Fungsi Zeolit

Karena sifat fisika dan kimia dari zeolit yang unik, zeolit oleh para peneliti dijadikan sebagai mineral serba guna. Fungsi tersebut meliputi dehidrasi dan adsorpsi (Nizar, 2012).

1. Dehidrasi

Zeolit mempunyai dehidrasi (melepaskan molekul H₂O) apabila dipanaskan. H₂O yang berada di dalam mineral zeolit dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu molekul air yang berada di luar sistem dan yang terkait di dalam sistem kristal zeolit. Air yang berada di luar sistem kristal zeolit dapat menguap jika dipanaskan pada suhu 150°C selama 24 jam, sedangkan molekul air yang terikat di dalam sistem kristal hanya dapat terlepas pada pemanasan dengan suhu 300-400°C selama 2-3 jam. Zeolit yang telah kehilangan air kristal dapat menyerap kation dengan efektif ke dalam rongga-rongga tersebut.

2. Adsorpsi

Zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu, kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi.

2.6 *Molecular Sieve*

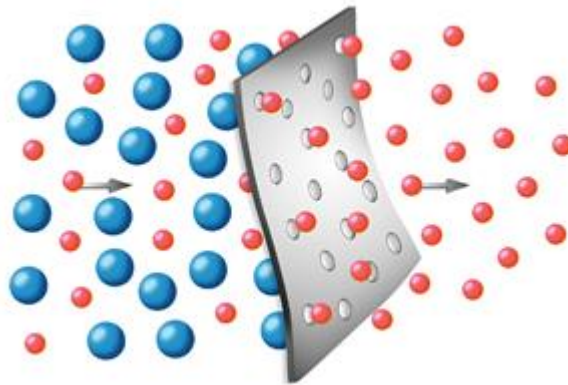
Molecular sieve adalah penyaring molekular yang memiliki pori-pori dengan ukuran yang sama persis dan seragam yang digunakan sebagai adsorben gas dan cairan. Molekul-molekul yang cukup kecil akan diadsorpsi melewati pori-pori, sedangkan molekul-molekul yang lebih besar akan ditolak. Pori-pori ini berfungsi sebagai saringan, hanya molekul dengan diameter tertentu untuk diserap

atau melewatinya. Saringan molekul yang digunakan dalam pengeringan dan penghilangan bau antara lain air penyaringan dan cairan lainnya. Penyaring molekular berbeda dengan penyaring secara umum yang digunakan untuk menyaring molekul pada tingkatan tertentu. Contoh, molekul air yang mungkin cukup kecil sehingga dapat melewatinya. Oleh karena itu, penyaring molekular sering berfungsi sebagai pengering (*dessicant*).

2.7 Mekanisme Kerja Zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori yang tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai adsorben.

Sebagai adsorben zeolit adalah material yang unik, pusat rongga yang besar dan saluran-salurannya terisi oleh molekul-molekul air, membentuk bola-bola hidrat di sekeliling kation. Jika air dihilangkan, molekul zat dengan *cross sectional diameter* tertentu akan dapat melewati dan menempati saluran-saluran dan rongga zeolit. Molekul yang terlalu besar akan ditolak, sehingga zeolit sering dikatakan sebagai penyaring molekul (*molecular sieve*) yang diilustrasikan pada



Gambar II.6.

Gambar II. 6 Ilustrasi Penyaringan Molekul (*Molecular sieve*)

Sumber: Nizar, 2012

Namun kapasitas adsorpsi zeolit terhadap gas tidak sebesar adsorben lain seperti alumina, silika dan karbon teraktifasi, karena ukuran cincin O_2 yang seragam pada struktur rangkanya, sehingga distribusi ukuran pori menjadi relatif

sempit. Kelemahan ini tertutupi dengan selektivitas zeolit yang tinggi terhadap gas-gas yang berkadar rendah (*trace*) dalam suatu sistem. Sifat ini diperlukan dalam aplikasi proses penurunan kadar air hingga kurang dari 0,01 ppm (Nizar, 2012).

2.8 Natrium Silikat (sebagai binder atau sebagai bahan baku sumber Si)

Sifat Fisika

Rumus molekul	: Na_2SiO_3
Massa molar	: 122,06 g/mol (anhydrous); 212,14 g/mol (pentahydrate)
Densitas	: 2.61 g cm^{-3}
pH	: 11.3
Titik lebur	: $1,088 \text{ }^\circ\text{C}$ ($1,990 \text{ }^\circ\text{F}$; $1,361 \text{ K}$)
Kelarutan dalam air	: 22.2 g/100 ml (25°C)
Kapasitas panas	: 111.8 J/mol K
Entropi	: $113,71 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Sifat Kimia :

Natrium silikat (*water glass*) larut dalam steam di bawah tekanan tertentu dan memiliki derajat kelarutan yang bervariasi. Viskositas berkisar antara 0,4 – 600.000 cp dan memiliki *flash point* di bawah air. Untuk gel dapat membentuk asam dengan pH 3 – 9. Dapat terkoagulasi oleh larutan *brine*, dipresipitasi oleh alkalin dan ion logam serta tidak mudah terbakar dan korosif.

2.9 Aktivasi Zeolit

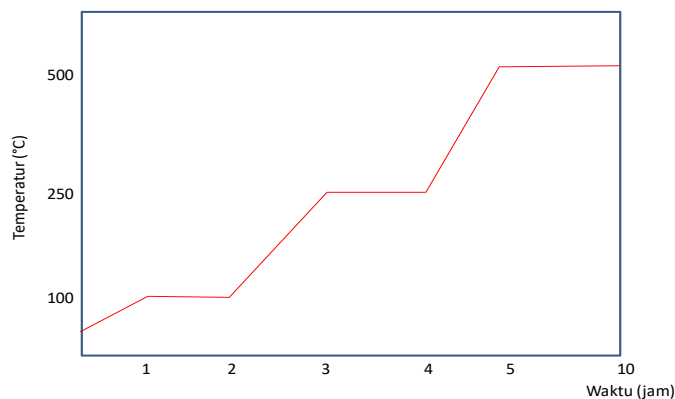
Sebelum digunakan sebagai adsorben, zeolit alam harus diaktifkan terlebih dahulu agar jumlah pori-pori bertambah. Proses aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu secara fisika dan kimiawi.

Aktivasi secara fisis berupa pemanasan zeolit dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga luas permukaan pori-pori bertambah. Pemanasan dilakukan dalam oven biasa pada suhu $100\text{-}120^\circ\text{C}$ (untuk skala laboratorium) atau menggunakan tungku putar dengan pemanasan secara penghampaan selama 3 jam atau penghampaan selama 5-6 jam (skala besar).

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan larutan asam H_2SO_4 atau basa NaOH dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang diperlukan. Zeolit yang cocok untuk adsorben yaitu apabila diaktifkan akan memberikan rasio Si/Al yang tinggi (5-100). Zeolit dengan rasio Si/Al tinggi bersifat hidrofilik (Yoediartiny, 1996).

2.10 Kalsinasi dan Sintering

Kalsinasi adalah proses perlakuan panas pada granul dengan temperatur tinggi, tetapi masih dibawah titik lebur untuk menghilangkan senyawa-senyawa impuritis. Berikut adalah gambar grafik proses kalsinasi zeolit *molecular sieve*.

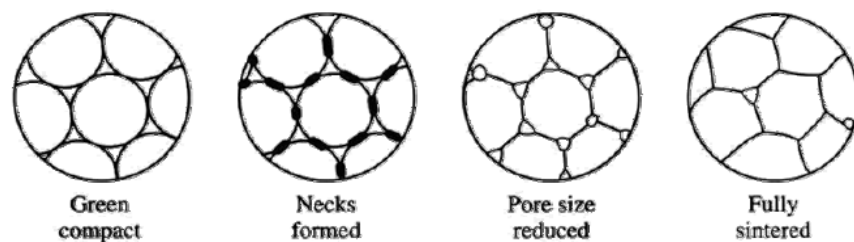


Gambar II. 7 Grafik Proses Kalsinasi *Molecular Sieve* Zeolit

Sumber: PTEISK-BPPT

Sintering adalah proses pemanasan dibawah titik leleh dimana terjadi pembentukan fase padatan dari campuran serbuk dan terbentuknya fase kristal. Hal ini bertujuan agar butiran dalam partikel-partikel yang berdekatan dapat berikatan. Pada proses sintering (Suryana, 1996) terjadi hal-hal pada zeolit *molecular sieve* sebagai berikut:

1. Terbentuk ikatan atomik. Kontak antar partikel akan terbentuk dan menjadi batas butir antar partikel. Pada tahap ini juga terjadi penyusutan permukaan sehingga porositas menjadi lebih halus.
2. Terjadi pertumbuhan partikel yaitu butir-butir kecil akan melebur dan bergabung dengan butir besar. Bentuk butir ini menghasilkan pemadatan yang lebih baik. Pada tahap ini juga berlangsung penghilangan porositas. Akibat pergeseran batas butir, porositas mulai saling berhubungan dan membentuk silinder di sisi butir.
3. Terjadi pertumbuhan butir yang terus berlangsung dengan laju yang lebih rendah dari sebelumnya. Demikian juga dengan proses penghilangan porositas, pergeseran batas butir terus berlanjut hingga granul menjadi lebih padat dan terbentuknya porositas di permukaan.



Gambar II. 8 Proses Sintering Granul *Molecular Sieve Zeolit*

2.11 Proses Penyerapan

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan material penyerap (adsorben) dan materi yang diserap (adsorbat), proses penyerapan dibagi menjadi dua jenis (Nizar, 2012) yaitu sebagai berikut:

1. Penyerapan secara fisika (*physical adsorption*)

Penyerapan secara fisika adalah proses penyerapan yang disebabkan oleh gaya tarik-menarik intermolekular antara molekul adsorben dan molekul adsorbat tanpa terjadi reaksi kimia antara keduanya. Penyerapan secara fisika ini berlangsung relatif cepat dan bersifat reversibel. Pada proses penyerapan secara fisika, adsorbat tidak terikat terlalu kuat pada permukaan adsorben, sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya.

2. Penyerapan secara kimia (*chemisorption/adsorption*)

Penyerapan secara kimia adalah proses penyerapan yang disebabkan oleh interaksi secara kimiawi antara molekul adsorben dan molekul adsorbat. Adanya panas yang dihasilkan pada proses ini merupakan panas yang disebabkan pada proses kimia.

Dalam penelitian ini hanya menitikberatkan pada proses penyerapan secara fisika (adsorpsi) sehingga tidak ada perubahan komposisi kimia pada adsorben.

2.11 Adsorpsi Membran Zeolit

Dalam keadaan normal maka ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul bebas air yang membentuk bulatan di sekitar kation. Bila kristal tersebut dipanaskan selama beberapa jam, biasanya pada temperatur 250-900°C, maka kristal zeolit berfungsi menyerap gas atau cairan. Daya serap zeolit tergantung dari jumlah ruang hampa dan luas permukaan. Beberapa jenis mineral zeolit mampu menyerap gas sebanyak 30% dari beratnya dalam keadaan kering (Wiradini *et al.* 2007).

Adsorpsi terjadi pada permukaan pori membran. Berdasarkan IUPAC, ukuran pori partikel zeolit memiliki tiga tipe, yaitu *macropore* dan *micropore* (masing-masing dengan ukuran >50 nm dan < 2 nm). Diantara keduanya terdapat *mesopore*. *Macropore* merupakan jalan masuk ke dalam partikel menuju *micropore*. *Macropore* tidak berkontribusi terhadap besarnya luas permukaan membran zeolit. Sebaliknya, *micropore* adalah penyebab besarnya luas permukaan membran zeolit, *micropore* tersebut sebagian besar terbentuk selama proses aktivasi. Pada *micropore* inilah sebagian besar peristiwa adsorpsi terjadi (Wiradini *et al.* 2007).

Pada adsorpsi terjadi melalui tiga tahap, yaitu:

1. *Macro transport*: pergerakan material organik melalui sistem *macropore* membran zeolit.
2. *Micro transport*: pergerakan material organik melalui sistem *mesopore* dan *micropore* dari membran zeolit.

3. *Sorption*: melekatnya material organik pada permukaan membran zeolit, yaitu di permukaan *macropore*, *mesopore* dan *micropore* (Wiradini *et al.* 2007).

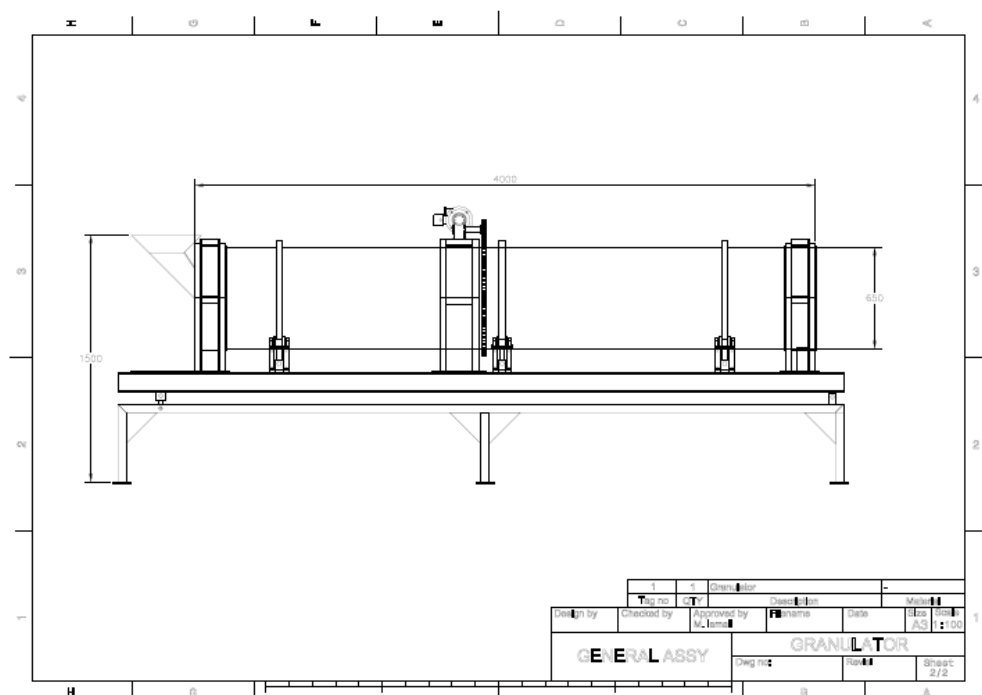
2.12 *Molecular Sieve Komersial*

Molecular sieve komersial yang digunakan industri migas pada unit dehidrasi dengan ISO 9001: 2000 tipe *molecular sieve* 4A yaitu:

1. Berbentuk granul atau *pellet*
2. Berukuran 0,5 – 1,5 mm
3. Memiliki *crushing strength* >30 N.
4. Daya adsorpsi >20,5%

2.13 *Rotary Drum Granulator*

Optimasi drum granulator adalah suatu proses untuk mencapai hasil ideal yang dapat dicapai berdasarkan sudut elevasi dan kecepatan putar pada drum granulator. Optimasi drum granulator dilakukan agar hasil granulasi dengan bentuk, ukuran, jumlah, dan sifat yang diinginkan. Drum granulator berfungsi untuk mengubah bentuk *powder* menjadi granul (bulatan) dengan diameter granul antara 3 – 4 mm. Bahan-bahan input untuk drum granulator berupa zeolit alam dan larutan binder natrium silikat. Drum granulator ini juga dapat diatur kecepatannya dengan menggunakan *invertir*.



Nama Alat	Spesifikasi
Drum Granulator	Kapasitas : 1.000 kg/hari Ukuran produk : 3-5 mm Tipe : Drum Granulator Material : SS 304 Termasuk : <ul style="list-style-type: none"> • Motor penggerak, • <i>inverter</i>, • <i>reducer</i>, • <i>panel</i>, • Pipa sprinkle uap • Pipa sprinkle uap Kemiringan drum dapat di atur

Sumber: PTSEIK-BPPT

Gambar II. 9 Spesifikasi Alat Drum Granulator

Sumber: PTSEIK-BPPT

Tabel II. 1 Spesifikasi Alat Drum Granulator

Parameter Drum Granulator pada Proses Granulasi (Gavin M. Walker, 2007) :

1. Kecepatan Putar

Kecepatan putar pada drum granulator mempengaruhi tumbukkan partikel padat dengan binder. Semakin cepat drum granulator berputar maka granul akan cepat terbentuk dikarenakan adanya kontak antara partikel dengan binder.

2. Sudut Elevasi

Sudut elevasi mempengaruhi kemiringan drum granulator yang berpengaruh pada *retention time* granulasi. Sudut kecil pada drum granulator akan memiliki *retention time* yang lama untuk menghasilkan granul, namun granul akan memiliki permukaan yang lebih halus karena terjadi kontak partikel padat

dengan binder yang baik. Semakin besar atau tinggi sudut drum granulator maka semakin banyak granul yang dihasilkan, namun permukaan granul yang dihasilkan kurang baik.

3. Larutan Binder

Larutan binder dapat mengikat partikel padat dengan cara dibasahi. Pada drum granulator terjadi kontak antara larutan binder dengan partikel padat, jika kontak antara binder yang memiliki konsentrasi besar dengan partikel padat terjadi terus-menerus maka partikel kecil akan menjadi butiran partikel besar. Semakin besar konsentrasi binder, maka semakin mudah granul yang terbentuk dan memiliki nilai *crushing strength* yang besar.

2.14 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi zeolit dengan menggunakan alat XRD dan SEM

2.14.1 X-Ray Diffraction (XRD)

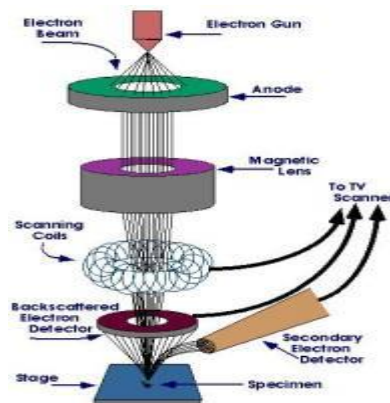
Pengujian difraksi sinar-X (*X-ray diffraction/XRD*) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang memberikan informasi mengenai struktur fasa, dengan pengolahan lebih lanjut, ukuran butir atau kristalit yang dapat diketahui. Salah satu informasi dari reaksi tersebut adalah penghamburan (difraksi). Sifat inilah yang dimanfaatkan sebagai salah satu teknik untuk karakterisasi material.

Tiga komponen dasar dari XRD yaitu: tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar X. Prinsip kerja dari spektroskopi XRD ialah sinar X dihasilkan dari penembakan target (logam anoda) oleh elektron berenergi tinggi yang berasal dari hasil pemanasan filament dari tabung sinar X. Terdapat perbedaan tegangan akan menyebabkan percepatan elektron menembaki objek, kemudian mendifraksikan sinar segala arah. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar X. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu.

2.14.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop electron dimana gambar dari suatu sampel dihasilkan dengan cara memindai

permukaan sampel dengan *high-energy beam of electrons*. Skema dari SEM dapat dilihat pada Gambar II.10.



Gambar II. 10 Skema SEM

Elektron-elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga menghasilkan sinyal yang memberikan informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi kimia (menggunakan EDS), struktur kristal, dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. Karakteristik SEM ini dilakukan dengan tujuan hasil dari gambar SEM akan menggambarkan pori-pori dan sifat permukaan zeolit.

Sampel yang diuji dengan SEM harus memiliki konduktivitas yang baik, semakin baik konduktivitasnya maka akan menghasilkan gambar yang baik pula. Bila sampel tidak cukup konduktif maka sampel harus dilapisi dengan Pt, Au, atau C (inert). Biasanya sampel diberi *carbon tape* konduktif agar sampel tidak bergerak saat dilakukan pengujian. Selain itu, *carbon tape* ini juga berfungsi untuk mengalirkan listrik ke sampel agar sampel tetap konduktif.

Setelah preparasi sampel selesai, sampel akan dimasukkan ke *electron chamber* yang kemudian akan ditembakkan oleh *electron gun* untuk proses scanning. Elektron yang berinteraksi dengan atom akan menghasilkan gambar yang akan diamati dengan monitor. Perbesaran dapat dilakukan untuk kualitas gambar yang lebih baik dan pengamatan permukaan yang lebih detail. Dengan menggunakan SEM maka dapat terlihat pori dan permukaan dari karbon aktif.

Secara ringkas, SEM memiliki beberapa peralatan utama, antara lain:

1. Penembak elektron (*electron gun*)
 - Ada dua jenis atau tipe dari *electron gun* yaitu:

- a. Termal. Dalam proses emisi termal dikenal dua macam jenis katoda yaitu :
 - a. Katoda panas langsung (*Direct Heated Cathode*, disingkat DHC)
 - b. Katoda panas tak langsung (*Indirect Heated Cathode*, disingkat IHC)
 - Tungsten Filamen
 - *Field emission*
2. Lensa Magnetik
3. Detektor
4. *Sample Holder*
5. Monitor CRT (*Cathode Ray Tube*)

Secara singkat, prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut:

1. *Electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT.

2.14.3 Metode kebulatan (*Roundness*)

Kebulatan (*roundness*) adalah kondisi pada suatu permukaan dengan penampang berbentuk lingkaran (silinder, konis dan bola), dimana semua

titik-titik dari permukaan yang dipotong secara tegak lurus terhadap sumbu atau yang melalui pusat (bola) dan mempunyai jarak yang sama dari titik pusat.

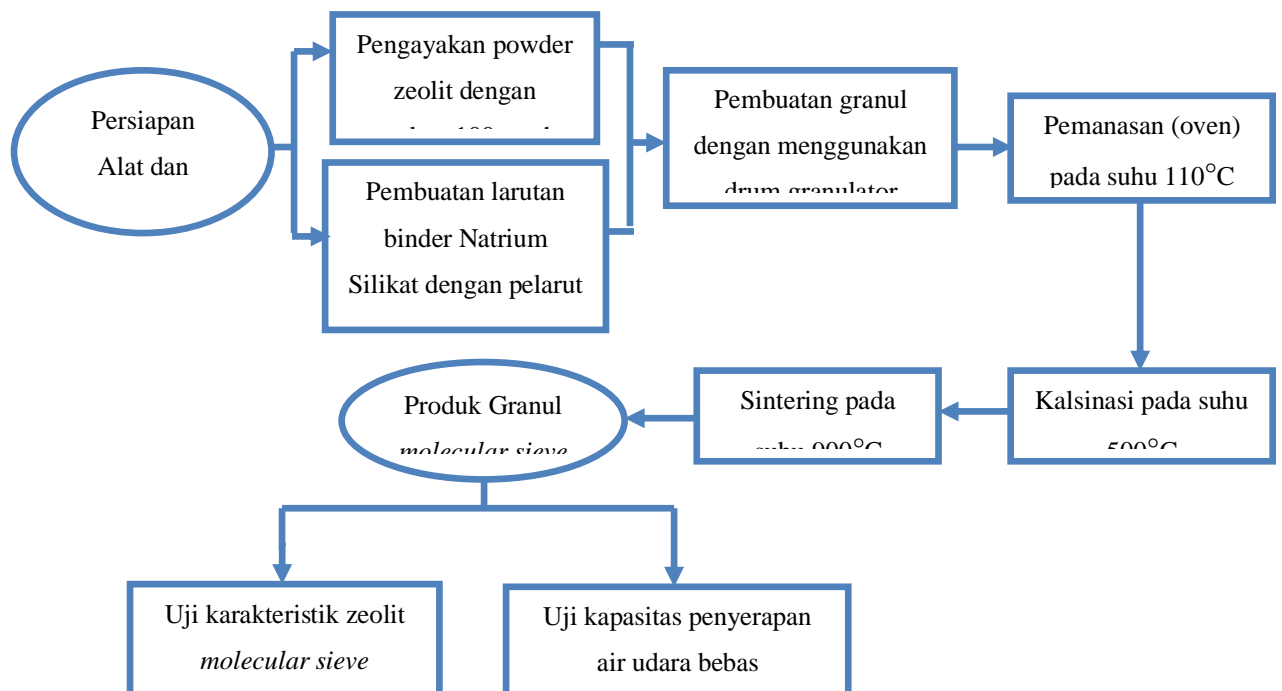
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dan pengujian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Industri Proses – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), di kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang dan di Balai Pengujian dan Identifikasi Barang Bea Cukai (BPIP) pada bulan Februari – April 2016.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan zeolit *molecular sieve* berbentuk granul yang akan digunakan sebagai adsorben air dalam proses dehidrasi udara, yang akan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar III. 1 Diagram Alir Penelitian Pembuatan *Molecular Sieve* dari Zeolit Alam

3.3 Tahapan Penelitian

Untuk membuat produk zeolit *molecular sieve* yang peneliti lakukan adalah tahap pertama, zeolit alam yang sudah berbentuk powder diayak agar ukuran seragam dan membuat larutan binder natrium silikat dengan pelarut aquades. Tahap kedua dilakukan granulasi menggunakan drum granulator. Pada waktu bahan baku zeolit dimasukkan, disemprotkan binder. Sebagai parameter pengamatan adalah variasi konsentrasi dari larutan binder, kecepatan putar granulator dan sudut elevasi drum granulator. Tahap selanjutnya zeolit yang sudah berbentuk granul masuk dalam proses pemanasan (oven) untuk mengeringkan zeolit *molecular sieve* dari kandungan air. Kemudian masuk proses kalsinasi dan proses sintering dengan tujuan untuk membuat template pada *molecular sieve* dari zeolit alam. Didapatkan produk zeolit *molecular sieve*. Produk *molecular sieve* dari zeolit alam di uji karakteristik untuk mengetahui sifat fisik dan sifat kimia. Diuji kemampuan zeolit *molecular sieve* sebagai adsorben (menyerap) kelembaban udara sekitar. Kemudian peneliti menganalisis data dari uji karakteristik dan uji aplikasi untuk nantinya masuk dalam pembahasan dan bisa didapatkan kesimpulan dari hasil penelitian ini.

3.4 Variabel

Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggabungkan variabel tetap dan variable bebas.

3.4.1 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel yang digunakan selama penelitian yaitu:

- Bahan baku : Zeolit alam
- Larutan binder : Natrium Silikat
- Ukuran ayakan : 100 mesh
- Suhu proses pemanasan (oven) : 110°C selama 12 jam
- Suhu proses kalsinasi dan sintering : 900°C secara bertahap

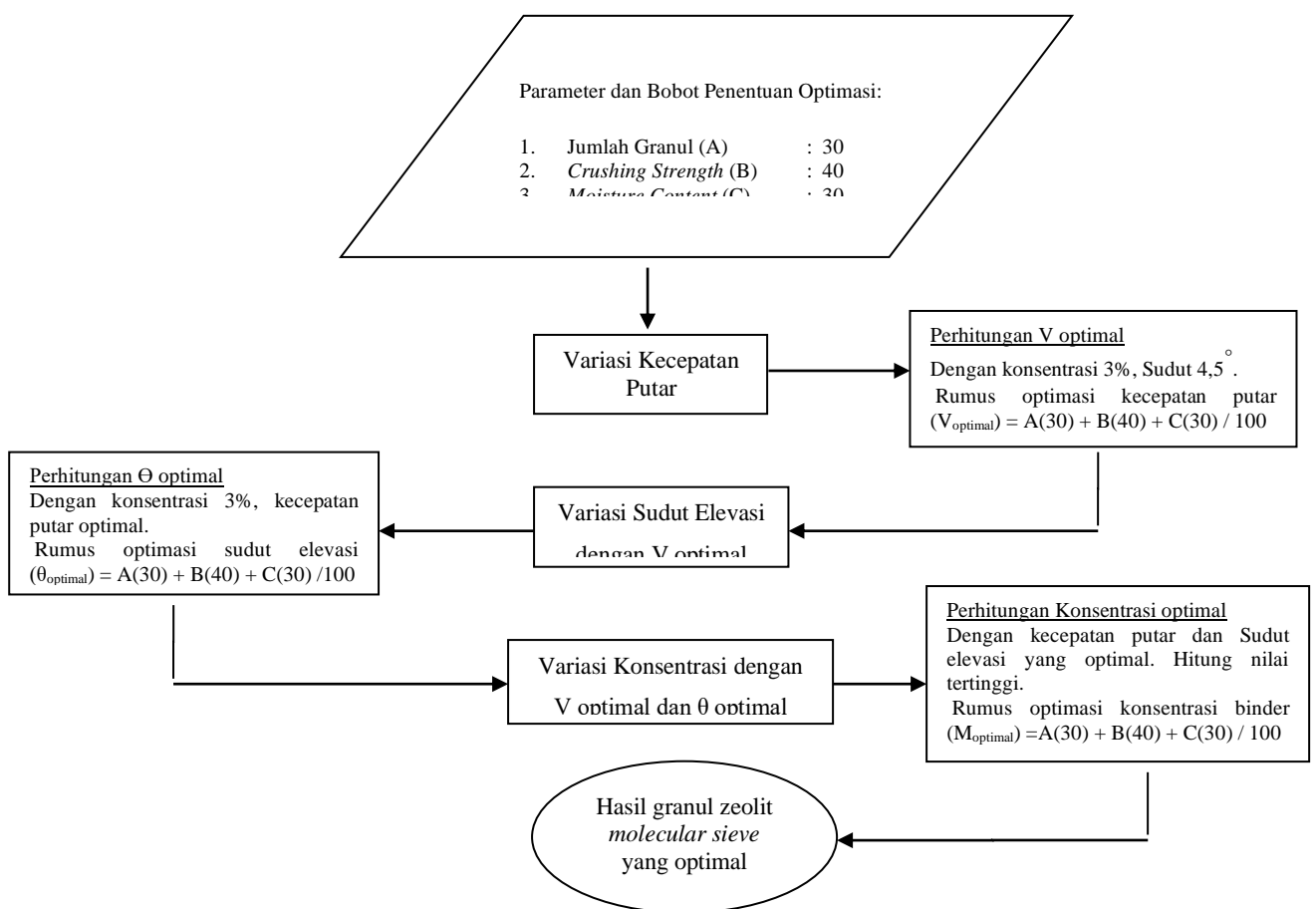
3.4.2 Variabel Bebas

Variabel berubah adalah variabel yang divariasikan selama penelitian berlangsung yang bertujuan untuk mencari titik optimasi pada setiap penelitian.

Variabel berubah yang digunakan yaitu:

- Konsentrasi larutan binder : 3%; 5%; 7%; 20%; 25%.
- Sudut elevasi alat drum granulator : 4,5°; 5°; 5,5°; 6°; 6,5°
- Kecepatan putar alat drum granulator : 5 rpm; 7 rpm; 9 rpm; 10 rpm; 11 rpm

Berikut adalah diagram alir optimasi hasil zeolit *molecular sieve*:



Gambar III. 2 Diagram Perhitungan dan Optimasi Granul Zeolit *Molecular Sieve* pada Drum Granulator

3.5 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan pada penelitian ini:

3.5.1 Bahan – bahan:

1. Zeolit Alam Sukabumi
2. Natrium Silikat
3. Aquades



(a)



(b)

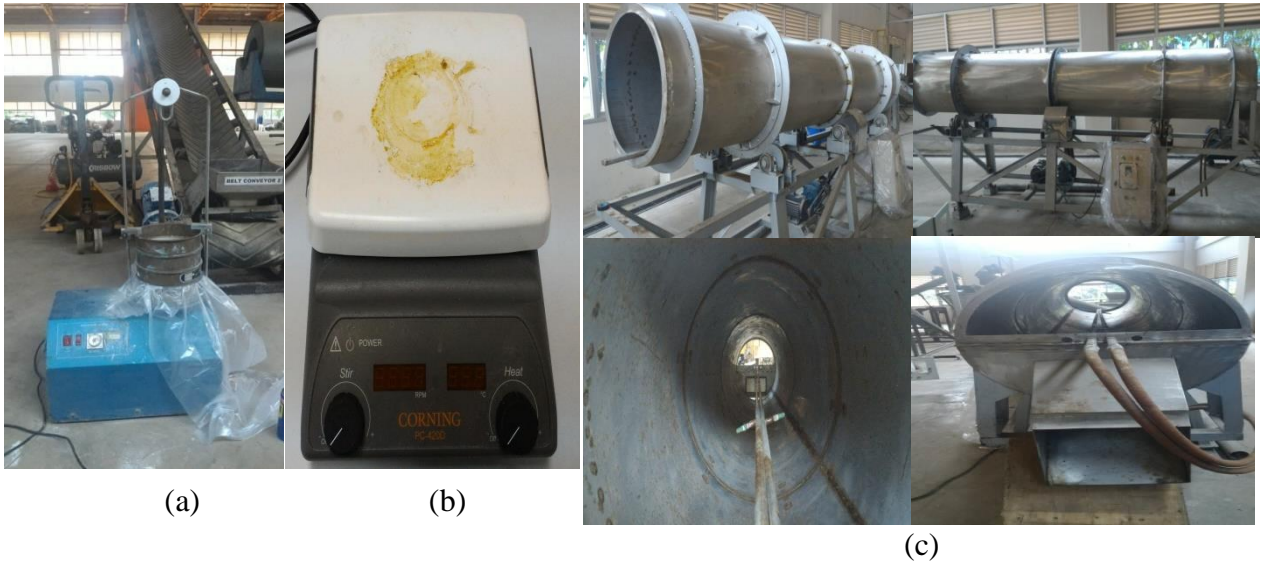


(c)

Gambar III. 3 Bahan Proses : (a) Zeolit Alam Sukabumi (b) Natrium Silikat (c) Aquades

3.5.2 Alat – alat:

1. Ayakan 100 mesh (*sieve shaker*)
2. Stripper
3. Drum granulator
4. Oven
5. *Furnace*
6. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)
7. XRD (*X-ray Diffraction*)
8. *Humidity analyzer*
9. *Moisture content analyzer*
10. *Crushing strength analyzer*
11. *Particel size distribution* (Jangka Sorong)



(a)

(b)

(c)



(d)



(e)

Gambar III. 4 Alat Proses: (a) Sieve Shaker (b) Pengaduk (c) Drum Granulator (d) Oven (e) Furnace



(a)





(b)

Gambar III. 5 Alat Ukur: (a) *Crushing Strength Analyzer* (b) *Particel Size Distribution /Jangka Sorong*, dan (c) *Moisture Content Analyzer*



(a)



(b)



(c)

Gambar III. 6 Alat Uji Karakterisasi dan Uji *Performance*: (a) XRD (b) SEM dan (c) *Humidity Analyzer*

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian optimasi drum granulator pada pembuatan zeolit *molecular sieve* adalah sebagai berikut:

3.6.1 Persiapan Alat dan Bahan

Tahapan prosedur penelitian ini diperlukan alat dan bahan sudah tertera pada point 3.5. maka sebelum dimulai penelitian, dipersiapkan alat dan bahan terlebih dahulu. Bahan utama yaitu zeolit alam yang digunakan adalah zeolit dari Sukabumi.

3.6.2 Pembuatan Zeolit *Molecular Sieve*

Bahan Baku *molecular sieve* yaitu zeolit alam dari Sukabumi diambil sampel 1 gram dan dilakukan uji *water content* untuk mengetahui kandungan air.

1. Pengayakan Zeolit

Zeolit alam yang sudah berbentuk powder kemudian diayak dengan ayakan

Binder	Variasi Konsentrasi (%)	Variasi Sudut Elevasi (°)	Variasi Kecepatan Putar (rpm)
--------	-------------------------	---------------------------	-------------------------------

100 mesh menggunakan alat *sieve shaker*. Tujuan pengayakan untuk memisahkan zeolit dari pengotor dan fungsi utamanya adalah untuk mendapatkan distribusi partikel yang merata. Dengan distribusi partikel yang merata, maka akan memperbesar pori yang mungkin terbentuk diantara partikel zeolit yang akan dibuat granul nantinya.

2. Pembuatan Binder

Dalam pembuatan granul pada drum granulator diperlukan larutan binder yaitu natrium silikat 3%, 5%, 7%, 20%, 25% dalam 1000 ml air aquades. Fungsi dari larutan binder sendiri adalah untuk mengikat zeolit agar membentuk granul dalam drum granulator.

3.6.3 Granulasi

Dalam granulasi menggunakan alat drum granulator, pada waktu bahan baku zeolit alam dimasukkan ke dalam drum granulator, disemprotkan binder berupa natrium silikat pada *powder* zeolit setelah masuk drum granulator. Setelah penyemprotan larutan pengikat, campuran akan lembab dan lanjut terkena aksi pemadatan dari dinding yang berputar terus menerus pada drum granulator.

Berikut adalah tabel variasi konsentrasi binder, sudut elevasi dan kecepatan putar pada drum granulator:

Tabel III. 1 Variasi Konsentrasi Binder, Sudut Elevasi, dan Kecepatan Putar Drum Granulator

Natrium silikat	3	4,5	5
Natrium silikat	5	5	7
Natrium silikat	7	5,5	9
Natrium silikat	20	6	10
Natrium silikat	25	6,5	11

3.6.4 Pengeringan Granul

Granul yang diperoleh dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 110°C selama 12 jam agar senyawa-senyawa impuritis terlepas secara perlahan dari zeolit *molecular sieve*. Selain itu, fungsi pada proses pemanasan adalah agar tidak merusak pori-pori permukaan pada zeolit *molecular sieve* ketika masuk pada proses berikutnya yaitu proses kalsinasi dan sintering.

3.6.5 Kalsinasi dan Sintering Granul

Granul dalam bentuk zeolit *molecular sieve* yang sudah dikeringkan dilanjutkan pada proses kalsinasi pada temperatur 500°C selama 5 jam. Proses kalsinasi setiap satu jam, temperatur dinaikan hingga mencapai temperatur 500°C, dengan tujuan agar larutan binder yang terikat dalam zeolit *molecular sieve* akan lepas secara perlahan.

Kemudian dilakukan proses sintering dengan cara suhu dinaikan hingga temperatur 900°C. Pada proses sintering terjadi proses pembentukan fase baru melalui proses pemanasan, dimana pada saat terjadi reaksi komponen pembentuk masih dalam bentuk padat dari campuran serbuk.

3.6.6 Uji Karakterisasi Granul

- a. Mengetahui struktur kristal granul zeolit menggunakan prinsip kerja XRD (*X-ray diffraction*).

Difraksi sinar-X merupakan salah satu metode kristalisasi material dimanfaatkan sebagai salah satu teknik untuk kristalisasi material. Terdiri dari tiga komponen dasar dari XRD yang digunakan yaitu : tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X. prinsip kerja dari XRD sudut tetha 2

tetha tabung sinar-X menembaki objek sampel serbuk zeolit membentuk sudut memantul kemudian mendisfraksi sinar segala arah. Detektor berputar bersamaan dengan tabung sinar-X untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Pola grafik yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ .

- b. Mengetahui mikrostruktur menggunakan prinsip kerja *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Salah satu jenis mikroskop elektron dimana gambar dari suatu sampel dihasilkan dengan cara memindai permukaan sampel dengan *high-energy beam of electrons*. Elektron-elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga menghasilkan sinyal yang memberikan informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi kimia (menggunakan EDX), struktur kristal, dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. Karakteristik SEM ini digunakan dengan tujuan hasil gambar SEM akan menggambarkan pori-pori dan sifat permukaan zeolit. Sampel zeolit tidak cukup konduktif, maka sampel harus dilapisi dengan Pt, Au, atau C (inert). Ukuran sampel juga kecil karena disesuaikan dengan tempat sampelnya. Sampel diletakkan pada *stub*. Sampel zeolit diberi karbon tape konduktif agar sampel tidak bergerak saat dilakukan pengujian. Selain itu, karbon tape ini juga berfungsi untuk mengalirkan listrik ke sampel agar sampel tetap konduktif.

Setelah preparasi sampel selesai, sampel akan dimasukkan ke *electron chamber* yang kemudian akan ditembakkan oleh *electron gun* untuk proses scanning. Elektron yang berinteraksi dengan atom akan menghasilkan gambar yang diamati dengan monitor. Perbesaran dapat dilakukan untuk kualitas gambar yang lebih baik dan pengamatan yang lebih detail. Dengan menggunakan SEM maka dapat terlihat pori dan permukaan dari karbon aktif.

3.6.7 Analisis Granul

- a. Analisis Distribusi Ukuran Granul

Analisis distribusi ukuran granul prinsip kerja sederhana dengan menggunakan alat jangka sorong, produk granul *molecular sieve* zeolit

diambil 100 sampel asal setiap satu kali *running*, kemudian diukur dari setiap satu granul menggunakan jangka sorong.

b. Analisis *Moisture Content* dan *Crushing Strength*

- Analisis *moisture content* bertujuan untuk menentukan air yang terkandung dalam zeolit *molecular sieve* yang dilakukan setelah proses pemanasan (oven) dan setelah proses sintering.
- Analisis *crushing strength (Hardness YD-1)* adalah kemampuan sampel itu untuk mempertahankan keutuhannya di bawah tekanan. Artinya seberapa besar tekanan yang dapat diterima oleh sampel itu sebelum granul hancur sehingga tidak dapat digunakan lagi sebagaimana yang diperuntukkannya. Analisis *crushing strength* dilakukan setelah proses sintering untuk mengetahui seberapa kuat zeolit *molecular sieve* untuk di aplikasikan.

c. Analisis Kebulatan Menggunakan Metode *Roundness*

Untuk mengetahui rata-rata kebulatan tiap sampel dengan menggunakan *software solidworks*. Prinsip kerja untuk kebulatan produk granul adalah setiap sampel granul di foto menggunakan kamera dengan mengambil dua sisi dari bentuk sampel. Kemudian diolah pada *software solidworks* dengan menghitung luas dari permukaan sampel dengan bentuk bulat sempurna yang sudah dibuat pada *software* tersebut. Maka akan dapat hasil persenan kebulatan dari setiap sampel.

3.6.8 Uji Aplikasi Granul Zeolit *Molecular Sieve*

Untuk mengetahui kemampuan daya serap air di udara bebas dari granul zeolit *molecular sieve* dengan menggunakan *humidity analyzer*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini akan dibahas hasil-hasil yang diperoleh selama tahapan penelitian studi optimasi drum granulator pada proses pembuatan zeolit *molecular sieve*. Optimasi drum granulator dilakukan dengan variasi tiga parameter yaitu, sudut, kecepatan putar, dan konsentrasi larutan binder. Zeolit yang awalnya berupa serbuk disemprotkan larutan binder natrium silikat pada drum granulator hingga menjadi granul yang nantinya akan digunakan sebagai adsorben. Parameter dan bobot penentuan optimasi yaitu jumlah granul, *crushing strength*, dan *moisture content*.

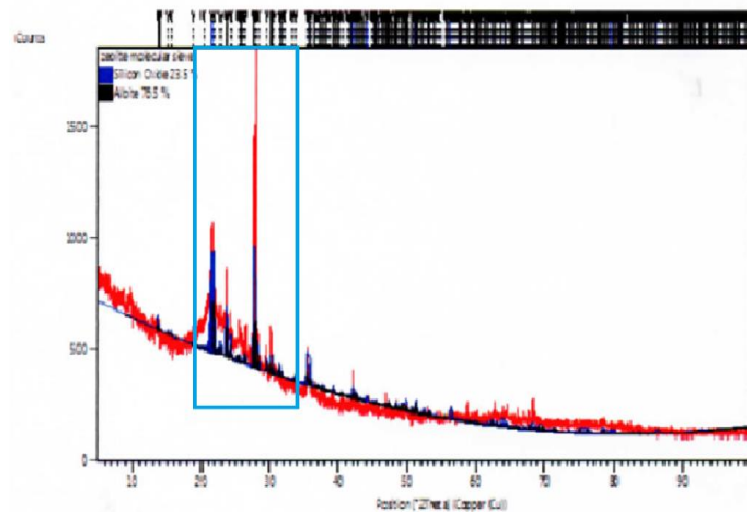
Zeolit *molecular sieve* yang akan diuji adalah zeolit *molecular sieve* yang memiliki nilai optimasi yang diinginkan sebagaimana sesuai tahapan pada Gambar III.2 yaitu zeolit *molecular sieve* dengan ukuran 0,5-0,7 mm, memiliki *crushing strength* 38,4 N, dan *moisture content* 0,88%, yang dilakukan pembuatan granul pada konsentrasi 20%, kecepatan putar 9 rpm, dan sudut 4,5° (Perhitungan optimasi terdapat pada Lampiran).

Untuk mengetahui seberapa besar penyerapan air (dehidrasi), bagaimana struktur kristal yang terbentuk selama pemrosesan dan profil pori dari zeolit ini, dilakukan beberapa pengujian yaitu, struktur kristal zeolit menggunakan XRD, observasi mikrostruktur menggunakan SEM, analisis distribusi ukuran granul, analisis *moisture content*, analisis *crushing strength*, analisis kebulatan menggunakan metode *roundness*, dan pengujian penyerapan air di udara bebas.

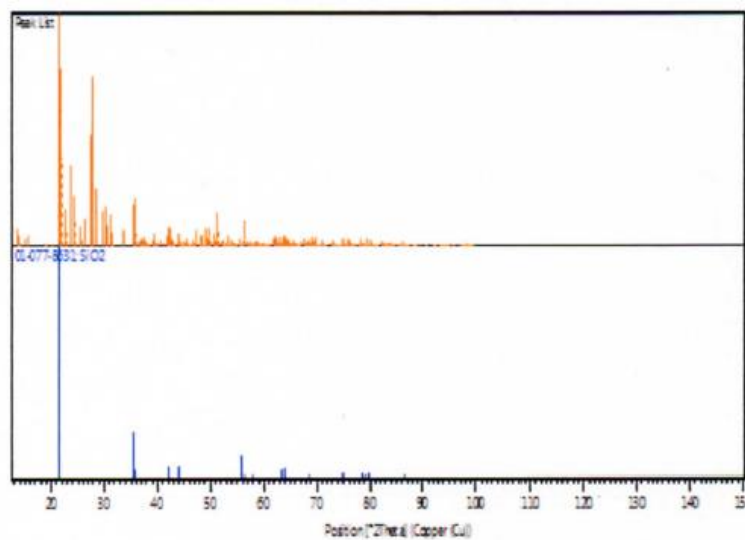
4.1 Hasil Uji XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui komposisi senyawa kimia dan menganalisis struktur zeolit *molecular sieve* terhadap tingkat kristalinitas dari zeolit *molecular sieve*. Hasil pengujian XRD dapat dilihat pada Gambar IV.1.

Berdasarkan data XRD, struktur yang terbentuk pada zeolit tersebut pada posisi 2 θ derajat adalah *Silicon Oxide* (SiO₂) yang memiliki kandungan 23,5% dengan bentuk kristal *anorthic* dan *Sodium Aluminum Silicate* (Na(AlSi₃)) yang memiliki kandungan 76,5% dengan bentuk kristal tetragonal.



Gambar IV. 1 Hasil XRD pada Sudut 2θ Derajat



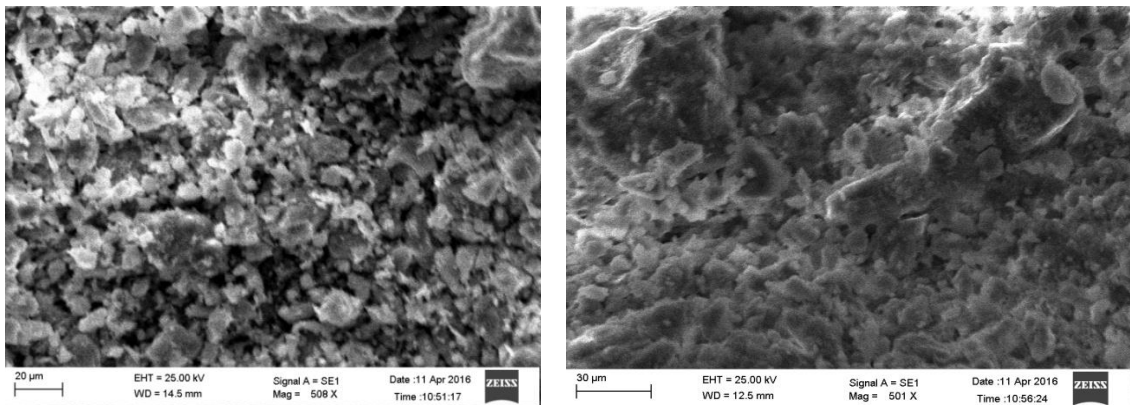
Gambar IV. 2 Hasil XRD Intensitas Peak pada Sudut 2θ Derajat

Pada Gambar IV.2 dapat dilihat intensitas peak dari sampel zeolit *molecular sieve*. Intensitas *peak* pada *Sodium Aluminum Silicate* terjadi pada posisi 2 theta yaitu 27,800 deg dan memiliki panjang ikatan antar atom 3,20650 Angstrom. Sedangkan intensitas *peak* pada *Silicon Oxide* terjadi pada posisi 2 theta yaitu 21,482 deg dan memiliki panjang ikatan antar atom 4,13310 Angstrom. Semakin besar jarak antar atom maka semakin besar juga unit selnya. Intensitas

peak yang dihasilkan merupakan pembuktian bahwa terjadi *amorphization* dan *kristalization* dimana fasa zeolit menjadi *amorphous* dan *kristalin*.

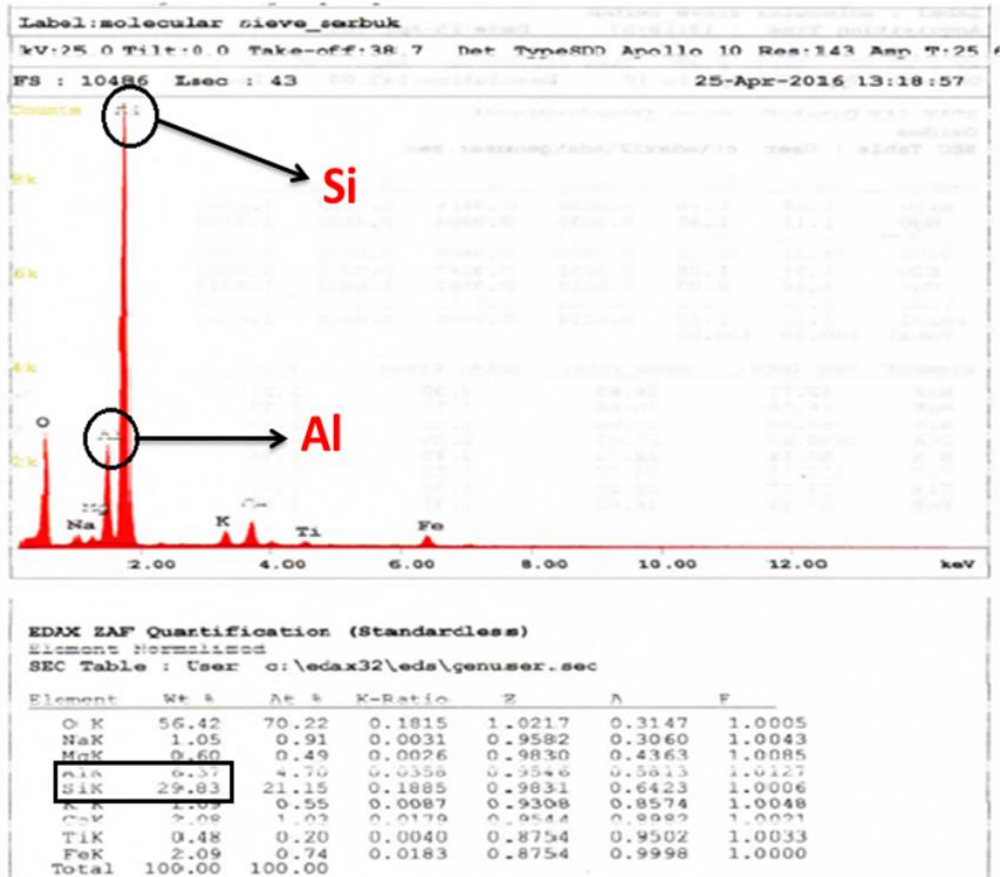
4.2 Hasil Uji SEM

Pengamatan terhadap tekstur, susunan partikel dan bentuk permukaan kristal sampel zeolit *molecular sieve* dapat dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sampel yang dilakukan uji SEM sama dengan pengujian XRD, yaitu dalam bentuk serbuk dan granul. Dibawah ini merupakan beberapa gambar hasil pengujian SEM.



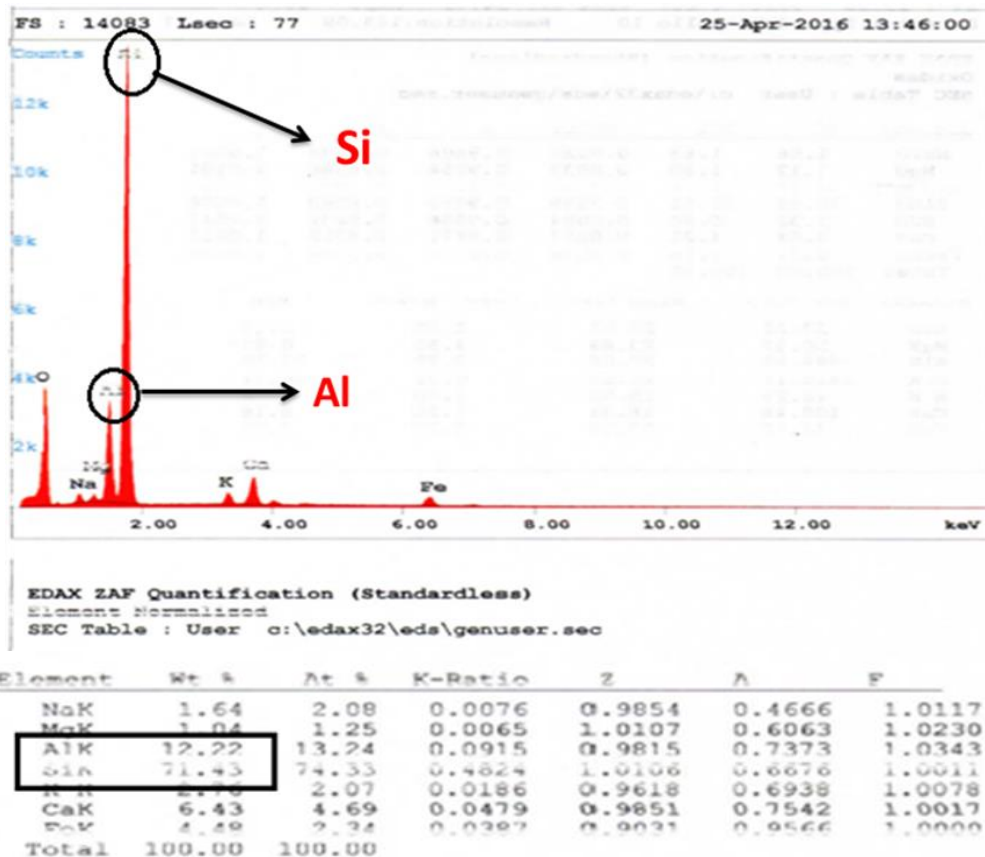
(a) (b)
Gambar IV. 3 Hasil Pengujian SEM (a) pada Serbuk *Molecular Sieve* Zeolit (b) pada Granul *Molecular Sieve* Zeolit

Berdasarkan hasil scanning menggunakan SEM pada Gambar VI.3, maka diperoleh gambaran mengenai morfologi zeolit *molecular sieve* dengan perbesaran 500 kali. Zeolit *molecular sieve* terlihat memiliki pori yang banyak, hal ini sebagai salah satu pembuktian bahwa proses aktivasi (kalsinasi dan sintering), butir-butir kecil pada serbuk akan menempel dan terjadi pembesaran butir sehingga membuat zeolit *molecular sieve* semakin kuat. Hal tersebut juga berfungsi untuk menghilangkan senyawa impuritis dan air pada zeolit *molecular sieve*, sehingga diameter pori zeolit *molecular sieve* semakin besar dan memiliki nilai densitas yang kecil yang nantinya akan meningkatkan nilai kapasitas penyerapan air pada zeolit *molecular sieve*.



Gambar IV. 4 Hasil Pengujian SEM pada Serbuk *Molecular Sieve Zeolit*

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	56.42	70.22	0.1815	1.0217	0.3147	1.0005
NaK	1.05	0.91	0.0031	0.9582	0.3060	1.0043
MgK	0.60	0.49	0.0026	0.9830	0.4363	1.0085
AlK	0.57	4.70	0.0358	0.9546	0.5813	1.0127
SiK	29.83	21.15	0.1885	0.9831	0.6423	1.0006
K K	2.09	0.55	0.0087	0.9308	0.8574	1.0048
CaV	2.09	1.03	0.0170	0.9544	0.9882	1.0021
TiK	0.48	0.20	0.0040	0.8754	0.9502	1.0033
FeK	2.09	0.74	0.0183	0.8754	0.9998	1.0000
Total	100.00	100.00				



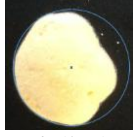
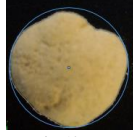
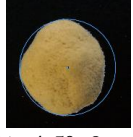
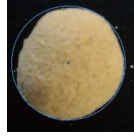

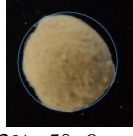
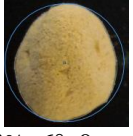

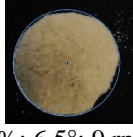


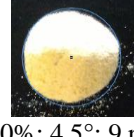

Gambar IV. 5 Hasil Pengujian Granul Zeolit *Molecular Sieve*

Pada Gambar IV.4 terlihat bahwa serbuk zeolit *molecular sieve* mengandung *Silicate* terbanyak yaitu sebesar 0,1885 dan terbanyak kedua yaitu *Aluminum* sebesar 0,0358. Sedangkan pada Gambar IV.5 terlihat bahwa granul zeolit *molecular sieve* mengandung *Silicate* terbanyak yaitu 0,4824 dan terbanyak kedua yaitu 0,0915. Perbandingan Si/Al pada serbuk zeolit *molecular sieve* adalah 5,26 : 1 dan perbandingan Si/Al yang sama pada granul zeolit *molecular sieve* yaitu 5,26 : 1. Hasil perbandingan Si/Al menunjukkan Si/Al > 5 dan masuk dalam kategori zeolit dengan kadar Si tinggi sehingga bersifat hidrofilik dan dapat menyerap air yang sangat baik (Istadi, 2012).

4.3 Hasil Analisis *Roundness*

Metode *roundness* atau kebulatan digunakan untuk mengetahui berapa persen kebulatan granul. Setiap sampel granul zeolit *molecular sieve* yang didapatkan memiliki bentuk kebulatan yang tidak sempurna, hal ini dikarenakan

karena perbedaan konsentrasi binder, kecepatan putar dan sudut pada drum granulator. Berikut sampel yang didapatkan dengan setiap perbedaan parameter.

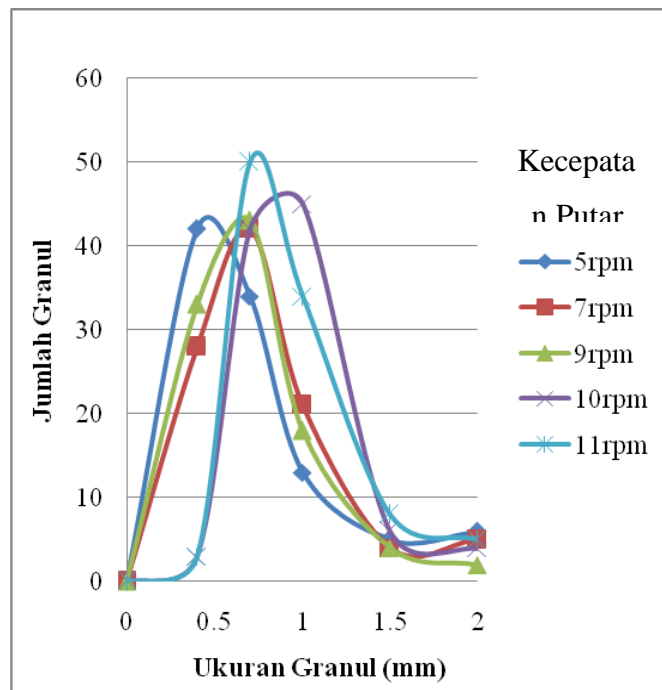
 <p>3%; 4,5°; 5 rpm (Roundness: 79,62%)</p>	 <p>3%; 4,5°; 7 rpm (Roundness: 88,29%)</p>	 <p>3%; 4,5°; 9 rpm (Roundness: 81,17%)</p>	 <p>3%; 4,5°; 10 rpm (Roundness: 90,75%)</p>
 <p>3%; 4,5°; 11 rpm (Roundness: 89,05%)</p>	 <p>3%; 5°; 9 rpm (Roundness: 84,69%)</p>	 <p>3%; 6°; 9 rpm (Roundness: 81,70%)</p>	 <p>3%; 6°; 9 rpm (Roundness: 85,57%)</p>
 <p>3%; 6,5°; 9 rpm (Roundness: 91,59%)</p>	 <p>5%; 4,5°; 9 rpm (Roundness: 85,97%)</p>	 <p>7%; 4,5°; 9 rpm (Roundness: 87,97%)</p>	 <p>20%; 4,5°; 9 rpm (Roundness: 89,34%)</p>
 <p>25%; 4,5°; 9 rpm (Roundness: 83,83%)</p>			

Gambar IV. 6 Roundness Granul Zeolit Molecular Sieve dengan Berbagai Variasi Dilihat dengan Software Solidworks

Pada Gambar IV.6 dapat dilihat *roundness* dari setiap zeolit *molecular sieve* dengan variasi konsentrasi binder, sudut, dan kecepatan drum granulator. Semakin kecil sudut dan kecepatan putar semakin cepat maka dapat menghasilkan bentuk zeolit *molecular sieve* yang lebih bulat sempurna. *Roundness* maksimum dihasilkan pada zeolit *molecular sieve* dengan konsentrasi 3%; 6,5°; 9 rpm yaitu 91,59%. Namun, zeolit *molecular sieve* optimal dipilih pada konsentrasi 20%; 4,5°; 9 rpm, yaitu dengan *roundness* 89,34%.

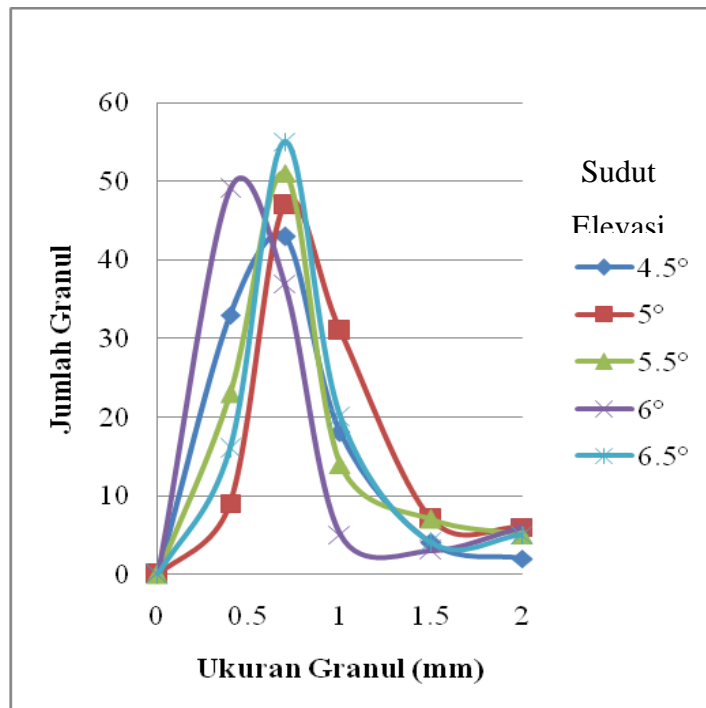
4.4 Hasil Analisis Distribusi Ukuran Granul

Distribusi ukuran granul dilakukan untuk menentukan jumlah granul yang telah dibuat pada drum granulator sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Pengaruh distribusi ukuran granul terhadap parameter drum granulator yaitu, konsentrasi larutan binder, kecepatan putar, dan sudut drum granulator. Metode untuk mendistribusikan ukuran granul antara lain dengan mengambil 100 butir zeolit *molecular sieve* dari setiap sampel yang telah dibuat, kemudian dilakukan pengukuran menggunakan jangka sorong dan dikelompokkan menjadi 5 variasi ukuran yaitu 0-0,4 mm; 0,5-0,7 mm; 0,8-1,0 mm; 1,1-1,5 mm dan 1,6-2 mm. Dilakukan analisis distribusi ukuran granul yang dipilih yaitu 0,5-0,7 mm, dimana ukuran tersebut disesuaikan ukuran zeolit *molecular sieve* secara komersial.



Gambar IV. 7 Distribusi Ukuran Granul Zeolit Berdasarkan Variasi Kecepatan Putar Drum Granulator Konsentrasi 3% dan Sudut 4,5°

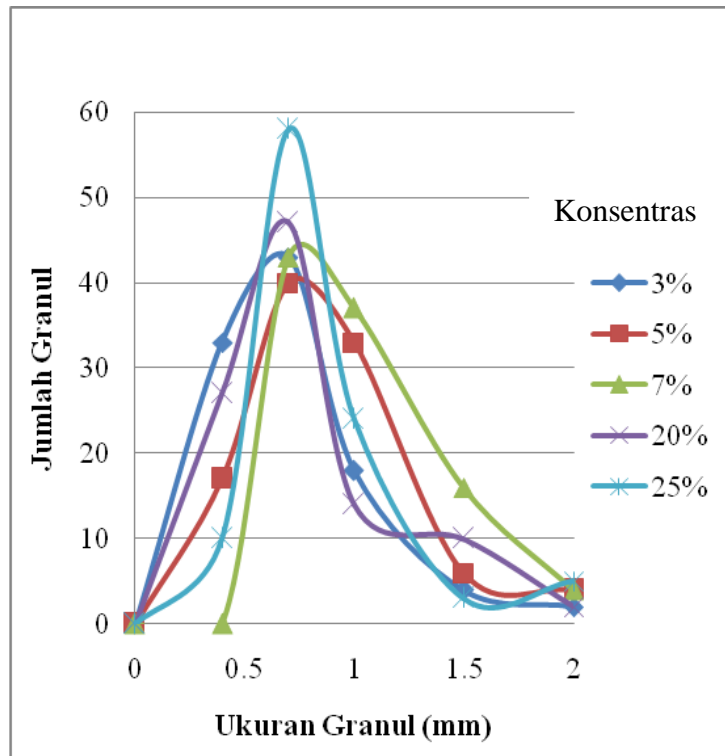
Pada Gambar IV.7 merupakan distribusi zeolit *molecular sieve* ukuran 0,5-0,7 mm dengan variasi kecepatan putar drum granulator, yaitu 6 rpm; 7 rpm; 9 rpm; 10 rpm dan 11 rpm. Semakin cepat kecepatan putar drum granulator maka semakin banyak zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan. Terlihat bahwa zeolit *molecular sieve* terbanyak diperoleh pada kecepatan 11 rpm dengan jumlah 50



granul.

Gambar IV. 8 Distribusi Ukuran Granul Zeolit Berdasarkan Variasi Sudut Drum Granulator Konsentrasi 3% dan Kecepatan Putar 9 rpm

Pada Gambar IV.8 merupakan distribusi zeolit *molecular sieve* ukuran 0,5-0,7 mm dengan variasi sudut drum granulator, yaitu 4,5°; 5°; 5,5°; 6° dan 6,5°. Semakin besar atau tinggi sudut drum granulator maka semakin banyak zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan. Terlihat bahwa zeolit *molecular sieve* terbanyak diperoleh pada sudut 6,5° dengan jumlah 55 granul.

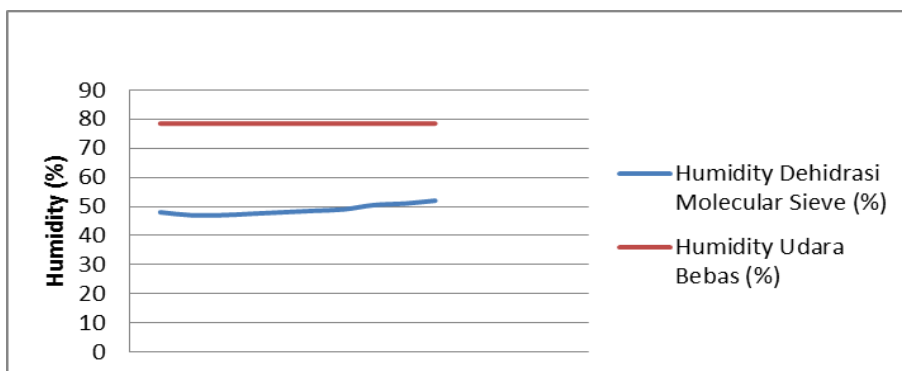


Gambar IV. 9 Distribusi Ukuran Granul Berdasarkan Variasi Konsentrasi Binder dengan Sudut 4.5° dan Kecepatan Putar 9 rpm

Pada Gambar IV.9 merupakan distribusi zeolit *molecular sieve* ukuran 0,5-0,7 mm dengan variasi konsentrasi larutan binder natrium silikat, yaitu 3%; 5%; 7%; 20% dan 25%. Semakin besar konsentrasi binder, maka semakin mudah zeolit *molecular sieve* yang terbentuk. Terlihat bahwa zeolit *molecular sieve* terbanyak diperoleh pada konsentrasi 25% dengan jumlah 58 granul.

4.5 Hasil Uji Dehidrasi *Molecular Sieve* Zeolit

Proses dehidrasi zeolit *molecular sieve* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan zeolit *molecular sieve* dalam menyerap udara bebas yang dilihat dari *humidity*. Berikut adalah grafik hasil dehidrasi zeolit *molecular sieve*.



Gambar IV. 10 Perbandingan *Humidity* Dehidrasi Zeolit *Molecular Sieve* dengan *Humidity* Udara Bebas Berdasarkan Waktu.

Gambar IV.10 menunjukkan perbandingan *humidity* dehidrasi zeolit *molecular sieve* dengan *humidity* udara bebas berdasarkan waktu. Dari gambar tersebut, dengan 1 stage tabung zeolit *molecular sieve* mampu menurunkan *humidity* udara bebas sebanyak 30%.

4.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Uji Zeolit *Molecular Sieve*

Berdasarkan hasil pembahasan, peneliti menyadari adanya kemungkinan yang mempengaruhi hasil penelitian. Berikut uraiannya:

1. Drum granulator yang digunakan belum memenuhi standar industri, seperti tidak adanya *buffle* untuk membentuk granul yang bulat sempurna, tidak berfungsinya penyemprotan binder sehingga penelitian dilakukan penyemprotan secara manual, dan panjang drum granulator yang hanya 4 meter tidak seperti kebanyakan drum granulator pada industri yang memiliki panjang 8 meter. Karena proses pembentukan granul dengan kebulatan yang sempurna dan tidak mudah rapuh membutuhkan waktu tinggal yang lama agar *powder* dan larutan binder lebih merekat.
2. Proses sintering dengan suhu 900°C dapat mempengaruhi pori-pori pada zeolit *molecular sieve* karena semakin tinggi suhu maka zat-zat pengotor kemungkinan dapat menutupi pori-pori sehingga mempengaruhi daya serap zeolit *molecular sieve*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi terbaik pada pembuatan granul zeolit *molecular sieve* dengan menggunakan drum granulator didapatkan dengan ukuran 0,5-0,7 mm, memiliki *crushing strength* 38,4 N, dan *moisture content* 0,88% pada konsentrasi binder 20 M, kecepatan putar 9 rpm, dan sudut elevasi 4,5°.
2. Hasil uji *roundness*, XRD, dan SEM zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan menunjukkan hasil *roundness* sebesar 89,34%, terdapat *Silicon oxide* bentuk kristal *anorthic* dan *Sodium Aluminum Silicate* dalam bentuk kristal tetragonal, serta granul zeolit *molecular sieve* bersifat hidrofilik dan dapat menyerap air dengan baik.
3. Kemampuan zeolit *molecular sieve* yang dihasilkan dengan menurunkan *humidity* udara bebas sebanyak 30%.

5.2 Saran

Disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan drum granulator dengan panjang 2 kali lipat dari drum granulator yang dipakai serta dilengkapi dengan *baffle* agar produk granul berbentuk bulat sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. *Multiple Roads to the Hydrogen Car*. Tersedia : <http://ornl.gov/info/ornlreview/v38105/article06.shtml>. Diakses tanggal 20 April 2016.
- Anonim. *Structure*. Tersedia : <http://www.ch.ic.ac.uk/vchemlib/course/zeolite/structure.html>. Diakses tanggal 20 April 2016.
- D. A. Carr, M. M. Lach-hab, Shujiang Yang. 2007. *Structure-Adaptive Materials Prediction*. Tersedia : <http://www.cmasc.gmu.edu/samproject.html>. Diakses tanggal 20 April 2016.
- Nizar. 2012. *Studi Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Waktu Kalsinasi Terhadap Pellet Zeolit Alam Sebagai Desiccant*. Depok : Universitas Indonesia.
- Peskov, Max. 2012. *Zeolite*. Tersedia : <http://asdn.net/asdn/chemistry/zeolites.shtml>. Diakses tanggal 20 April 2016.
- Rabo J.A. 1976. *Zeolite Chemistry and Catalysis*. Washington D. C : American Chemical Society.
- Rizki. 2013. *Sistem Kristal Triklin*. Tersedia : <http://rizqigeos.com/2013/04/sistem-kristal.html>. Diakses tanggal 24 Mei 2016.
- Rizki. 2013. *Sistem Kristal Tetragonal*. Tersedia : <http://rizqigeos.com/2013/04/sistemtetragonal-sistem-tetragonal-sama.html>. Diakses tanggal 24 Mei 2016.
- Smith J. V. 1976. *Origin of Structure of Zeolite*. Washington D. C : American Chemical Society.
- Walker, G. M. 2007. *Drum Granulation Processes*. Northern Ireland, UK : Queen's University Belfast.
- Wiradini, G., Dwi, K.A.R., Nugroho, P.A. 2007. *Pembuatan Adsorben dari Zeolit Alam dengan Karakteristik Adsorption Properties untuk Kemurnian Bioetanol*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.

Yoediartiny, D. 1996. *Modifikasi Zeolit Alam Malang dan Lampung dengan Pertukaran Kation Menggunakan Larutan NaCl dan CaCl₂ Serta Karakterisasinya*. Depok : Universitas Indonesia.

LAMPIRAN

Perhitungan Optimasi Zeolit *Molecular Sieve*

Parameter dan Bobot Penentuan Optimasi:

1. Jumlah Granul (A) : 30
2. *Crushing Strength* (B) : 40
3. *Moisture Content* (C): 30

1. Variasi Kecepatan Putar

C (%)	θ (°)	V (rpm)	CS Setelah Sintering (N)	M Setelah sintering (%)	Jumlah Granul
		5	5,66	5,48	34
		7	39,36	2,9	42
3	4,5	9	38,4	0,65	43
		10	8,62	3,35	42
		11	8,08	2,4	50

Tabel 1 Variasi Kecepatan Putar

Perhitungan Voptimal

Rumus optimasi kecepatan putar (V_{optimal}) = $A(30) + B(40) + C(30) / 100$

Tabel 2 Perhitungan Kecepatan Putar

Parameter	Bobot	5 rpm		7 rpm		9 rpm		10 rpm		11 rpm	
Jumlah ukuran granul	30	80	24	90	27	90	27	80	24	100	30
<i>Crushing strength</i>	40	10	4	100	40	90	36	10	4	10	4
<i>Moisture content</i>	30	20	6	40	12	100	30	30	9	40	12
	100		34		79		93		37		46

2. Variasi Sudut Elevasi

Tabel 3 Variasi Sudut Elevasi

C (%)	θ (°)	V (rpm)	CS Setelah Sintering (N)	M Setelah sintering (%)	Jumlah Granul
	4,5		38,4	0,65	43
	5		21,66	5,63	47
3	5,5	9	19,6	0,62	51
	6		12,74	2,13	37
	6,5		11,86	2,34	55

Perhitungan θ optimal

Parameter	Bobot	4,5°		5°		5,5°		6°		6,5°	
Jumlah ukuran granul	30	90	27	90	27	100	30	80	24	100	30
Crushing strength	40	100	40	90	36	80	32	40	16	30	12
Moisture content	30	100	30	50	15	100	30	80	24	80	24
	100		97		78		92		64		66

Rumus optimasi sudut elevasi (θ_{optimal}) = A(30) + B(40) + C(30) /100

Tabel 4 Perhitungan Sudut Elevasi

C (%)	θ (°)	V (rpm)	CS Setelah Sintering (N)	M Setelah sintering (%)	Jumlah Granul
3			38,4	0,65	43
5			29,28	0,31	40
7	4,5	9	8,88	2,65	43

3. Variasi Konsentrasi

20			30,94	0,88	47
25			19,3	3,14	58

Tabel 5 Variasi Konsentrasi Larutan Binder

Perhitungan Konsentrasi optimal

Rumus optimasi konsentrasi binder ($M_{\text{optimal}} = A(30) + B(40) + C(30) / 100$)

Tabel 6 Perhitungan Konsentrasi Larutan Binder

Parameter	Bobot	3%		5%		7%		20%		25%	
Jumlah ukuran granul	30	90	27	90	27	90	27	95	28,5	100	30
Crushing strength	40	95	38	90	36	10	4	95	38	70	28
Moisture content	30	100	30	100	30	90	27	100	30	80	24
	100		95		93		58		96,5		82