

## Rancang Bangun Autoklaf untuk Mengonversi Bahan Padat Menjadi Katalis

Muhammad Rajab Al-mukarrom<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

Email: [rajabalmukarrom@gmail.com](mailto:rajabalmukarrom@gmail.com)

### Abstrak

Dalam sebuah percobaan tertentu, terkadang diperlukan kondisi proses pada suhu di atas 100°C dan tekanan di atas 1 atm, hal tersebut tidak memungkinkan untuk dilakukan dengan reaktor biasa. Sehubungan dengan itu permasalahan yang timbul adalah bagaimana rancang bangun peralatan autoklaf serta rangkaian dimensinya agar dapat digunakan dalam kondisi temperatur di atas 100°C dan tekanan di atas 1 atmosfer. Dalam rancangan autoklaf ini dilakukan penelitian dengan bahan Silika 300 gram, NaOH 300 ml, dan aquades 300 ml yang selanjutnya dilakukan proses pemanasan dan pengadukan di dalam autoklaf selama 4, 6, 8, dan 12 jam. Terjadi kenaikan kadar perbandingan S/A (Silika Alumina) seiring berjalannya waktu pemanasan dan pengadukan dalam autoklaf. Di mana kadar S/A pada sampel yang diproses selama 8 jam menunjukkan hasil yang mendekati kadar katalis ZSM-5 (30%), yaitu sebesar 26,57%. Sehingga waktu pemanasan yang baik dan pengadukan yang stabil selama lebih dari 8 jam akan mendapatkan kadar S/A mencapai 30%. Dapat dibuktikan setelah 12 jam mampu mencapai angka 49,41%. Waktu pemanasan yang melebihi 12 jam dan pengadukan yang tidak konstan dapat mempengaruhi perubahan struktur kristalisasi.

**Kata kunci:** *autoklaf, katalis, kristalisasi, zeolite.*

### *Design of Autoclave for Converting Solid Material to be a Catalyst*

#### *Abstract*

*In a particular experiment, sometimes it required process conditions at temperatures above 100°C and pressures above 1 atm, it was not possible to do with ordinary reactors. In connection with this, the problem that arises was how to design the autoclave equipment and its series of dimensions so that it can be used in conditions of temperature above 100°C and autogenous pressure. In this autoclave design, research was carried out with 300 grams of Silica, 300 ml of NaOH, and 300 ml of distilled water which were then heated and stirred in an autoclave for 4, 6, 8, and 12 hours. There was an increase in the ratio of S/A (Silica Alumina) as the heating and stirring time went on in the autoclave. Where the levels of S/A in the samples that were processed for 8 hours showed results that were close to the levels of catalyst ZSM-5 (30%), which was 26.57%. So that a good heating time and stable stirring for more than 8 hours would get S/A levels up to 30%. It could be proven that after 12 hours it was able to reach 49.41%. Heating time that exceeded 12 hours and not constant could affect changes in the crystallization structure.*

**Keywords:** *autoclave, catalyst, crystallization, zeolite.*

## 1. PENDAHULUAN

Peralatan yang umum digunakan dalam proses kimia salah satunya adalah reaktor kimia. Reaktor adalah suatu alat proses tempat di mana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau nuklir dan bukan secara fisika. Reaktor kimia merupakan segala tempat terjadinya reaksi kimia, baik dalam ukuran kecil seperti tabung reaksi sampai ukuran yang besar seperti reaktor skala industri. Sedangkan secara umum reaktor kimia dikenal sebagai alat tempat terjadinya reaksi suatu bahan dengan bahan kimia lainnya sehingga menjadi sebuah produk kimia jadi[1].

Keberhasilan operasi suatu proses pengolahan sangat bergantung pada aktifnya pengadukan dan pencampuran zat cair dalam proses itu. Istilah pengadukan dan pencampuran sebetulnya tidak sama satu sama lain. Pengadukan (agitator) menunjukkan gerakan yang tereduksi menurut cara tertentu. Pada suatu bahan di dalam bejana, di mana gerakan ini biasanya mempunyai semacam pola sirkulasi. Pencampuran (*mixing*) ialah peristiwa menyebarnya bahan secara acak, di mana bahan yang satu menyebar ke dalam bahan yang lain dan sebaliknya, sedang bahan-bahan itu terpisah dalam dua fase atau lebih[1].

Istilah pencampuran digunakan untuk berbagai ragam operasi, di mana derajat homogenitas bahan yang "bercampur" tersebut sangat berbeda-beda. Tujuan dari pengadukan antara lain adalah untuk membuat suspensi partikel zat padat, untuk meramu zat cair yang mampu bercampur (*miscible*), untuk menyebarkan (dispersi) gas di dalam zat cair yang lain, sehingga membentuk emulsi atau suspensi butiran-butiran halus, dan untuk mempercepat perpindahan kalor antara zat cair dengan kumparan atau material kalor. Kadang-kadang pengaduk digunakan untuk beberapa tujuan sekaligus, misal dalam hidrogenasi katalitik pada zat cair. Dalam bejana hidrogenasi gas hidrogen didispersikan melalui zat cair di mana terdapat partikel-partikel katalis padat dalam keadaan suspensi, sementara kalor dikeluarkan melalui kumparan atau mantel (McCabe, 2003:251)[2].

Terdapat banyak produk kimia yang bisa didapatkan dengan proses reaksi kimia, mulai dari produk berupa petrokimia, agrokimia, hingga oleokimia. Namun, biasanya produk-produk kimia tersebut hanya diproduksi oleh industri-industri kimia yang besar. Sedangkan pembuatan produk-produk kimia lain dalam skala kecil yang biasanya digunakan dalam percobaan-percobaan di laboratorium sangat terbatas. Hal ini disebabkan kondisi proses reaksi kimia yang diinginkan untuk bisa menghasilkan suatu produk kimia hanya bisa dilakukan dengan reaktor sederhana. Di mana kondisinya ialah dengan temperatur maksimal 100°C dan tekanan 1 atmosfer[1].

Sehubungan dengan itu permasalahan yang timbul adalah bagaimana rancang bangun peralatan autoklaf serta rangkaian dimensinya agar dapat digunakan dalam kondisi temperatur di atas 100°C dan tekanan di atas 1 atmosfer (*autogenous*), selain itu dapat menunjang berbagai percobaan dengan proses reaksi kimia dalam temperatur dan bertekanan tinggi. Serta bagaimana kemampuan dari alat autoklaf untuk mengonversi bahan padat menjadi katalis ini, sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.

Terdapat beberapa bagian pada autoklaf yang dapat digunakan dalam rancang bangun, salah satunya ialah tombol pengatur waktu mundur, *timer* pada autoklaf berfungsi sebagai pengaturan waktu sesuai dengan kebutuhan atau penggunaan yang diinginkan. Terdapat katup uap yang berfungsi sebagai tempat keluarnya uap air. Terdapat pula pengukur tekanan, yang berfungsi untuk mengetahui tekanan uap yang berada di dalam autoklaf saat proses sterilisasi berlangsung. Kelep pengaman berada di bagian atas, yang berfungsi menahan ataupun mengunci dari penutup autoklaf. Tombol *switch on/off* berfungsi untuk menghidupkan serta mematikan mesin autoklaf[3].

Termometer pada autoklaf merupakan komponen yang berfungsi untuk mengetahui suhu yang sudah dicapai pada saat pensterilan. Sedangkan lempeng sumber panas pada alat autoklaf ialah komponen yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi kalor (panas). Pada dasarnya *heater* terbuat dari kumparan/lilitan kawat tembaga yang jika dialiri arus listrik akan menghasilkan energi panas. Komponen lain juga meliputi aquades (H<sub>2</sub>O), skrup pengamanan, dan angsa yang berfungsi sebagai batas penambahan air[3].

Katalisator adalah zat yang ditambahkan ke dalam suatu reaksi dengan maksud memperbesar kecepatan reaksi. Katalis terkadang ikut terlibat dalam reaksi tetapi tidak mengalami perubahan kimiawi yang permanen, dengan kata lain pada akhir reaksi katalis akan dijumpai kembali dalam bentuk dan jumlah yang sama seperti sebelum reaksi. Fungsi katalis adalah memperbesar kecepatan reaksinya (mempercepat reaksi) dengan jalan memperkecil energi pengaktifan suatu reaksi dan dibentuknya tahap-tahap reaksi yang baru. Dengan menurunnya energi pengaktifan maka pada suhu yang sama reaksi dapat berlangsung lebih cepat[4].

Pasir silika dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan feldspar. Pasir silika mempunyai komposisi gabungan dari SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, dan K<sub>2</sub>O yang berwarna putih bening atau warna yang lain bergantung pada senyawa pengotornya (Siswanto, et al., 2012)[5].

Pasir kuarsa biasanya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dengan berbagai ukuran tergantung aplikasi yang dibutuhkan seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, cat, film, pasta gigi, dan lain-lain. Saat ini dengan perkembangan teknologi mulai banyak aplikasi penggunaan silika pada industri semakin meningkat terutama dalam penggunaan silika pada ukuran partikel yang kecil sampai ukuran mikron atau bahkan nanosilika. Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat yang berbeda yang dapat meningkatkan kualitas (Siswanto, et al., 2012)[5]. Pasir kuarsa digunakan secara luas dalam industri keramik dan metalurgi. Pasir kuarsa juga dapat digunakan dalam pembuatan batu tahan api dan digunakan dalam skala besar sebagai pembentuk jaringan dalam industri kaca (McColm, 1983)[6].

*Zeolite Socony Mobile-5* atau yang dikenal dengan ZSM-5 pertama kali diperkenalkan oleh Mobile Oil pada awal tahun 1970, yang dicoba sebagai katalis pada proses hidrokarbon yang ternyata sangat responsif untuk proses-proses skala niaga. ZSM-5 merupakan salah satu Zeolit yang mempunyai struktur kristal ortorombik dan kerangka strukturnya polihedral yang tersusun dari unit bangun sekunder dengan 5 unit primer. ZSM-5 mempunyai saluran tiga dimensi yang terbentuk dari 10 atom oksigen anggota, dan tidak berongga sehingga tidak mudah terdeaktivasi oleh kokas yang biasanya menutupi pori pada kasus berbagai katalis. ZSM-5 adalah katalis penting di industri-industri kimia, dan katalis ini banyak digunakan dalam reaksi-reaksi pada skala niaga. Katalis ZSM-5 mampu mengkatalisis lebih kurang 15 reaksi penting pada skala industri[4].

Adapun tujuan dari rancangan ini adalah dapat mengetahui berapa lama waktu pemanasan dan pengadukan pada autoklaf yang mempengaruhi reaksi konversi bahan padat silika menjadi katalis ZSM-5; serta mengetahui pengaruh pemanasan dan pengadukan pada alat autoklaf dalam perubahan struktur kristalisasi produk bahan padat menjadi katalis.

## 2. METODE PENELITIAN

Terdapat dua pendekatan desain alat yang dilakukan sebelum dilakukannya penelitian. Pertama adalah pendekatan desain fungsional, yang mana dalam pendekatan rancang bangun alat autoklaf berpengaduk ini terdapat beberapa komponen yang memiliki fungsi-fungsi sesuai kebutuhan, yaitu autoklaf biasa yang berfungsi sebagai tempat umpan berupa bahan yang akan dikonversikan menjadi katalis[7].

Termokopel, salah satu komponen yang berfungsi untuk mengamati dan mengetahui temperatur yang telah dicapai pada saat proses. Kemudian terdapat alat pengukur tekanan, komponen yang berfungsi untuk mengetahui tekanan uap yang berada di dalam autoklaf saat berlangsungnya proses

Stop kontak, salah satu komponen yang berfungsi untuk mengatur putaran pengaduk (rpm), serta sebagai tombol untuk menghidupkan dan mematikan alat. Serta lempengan sumber panas, komponen yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi kalor (panas), terbuat dari kumparan atau lilitan kawat tembaga yang jika dialiri arus listrik akan menghasilkan energi panas[8].

Selain itu terdapat pendekatan desain struktural, yang meliputi pendekatan rancang bangun alat autoklaf lengkap dengan detail ukuran dan material beberapa komponen alat. Komponen autoklaf yang terbuat dari bahan stainless steel, dengan ukuran diameter 20 cm dan tinggi 25 cm. Autoklaf ini dibuat berbentuk tabung dengan bagian atas terdapat penutup. Sumber panas untuk autoklaf ini didapat dari bahan yang terbuat dari kumparan/lilitan kawat tembaga yang jika dialiri arus listrik akan menghasilkan energi panas dengan ukuran lebar 18 cm. Pengaduk pada alat ini merupakan komponen yang terbuat dari bahan pelat besi. Dimensi dari pengaduk yaitu dengan tinggi berukuran 20 cm dan lebarnya 3 cm.

Dalam penelitian ini terdapat uji fungsi yang meliputi kemampuan autoklaf untuk mengkonversi bahan padat, yaitu berupa silika yang ditambah bahan kimia berupa NaOH dengan pH 13 dan ditambahkan aquades, di mana perbandingannya adalah 1/3 pada tiap-tiap bahan. Pencampuran ketiga bahan akan terjadi di autoklaf dan pemanasannya diharapkan terjadi pada suhu di atas 100°C serta tekanan di atas 1 atmosfer. Proses ini dilakukan selama lebih kurang 24 jam hingga didapatkan konversi menjadi katalis ZSM-5 dengan mencapai perbandingan  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (S/A) sesuai yang diinginkan[9][10].

Uji fungsi dari rancangan alat autoklaf untuk mengonversi bahan padat menjadi katalis meliputi lama waktu pada saat proses pemanasan dan pengadukan tengah berlangsung. Di mana akan terlihat dan diketahui apakah kemampuan alat telah sesuai yang diharapkan, serta keberhasilan proses konversi bahan padat mencapai kristalisasi katalis terpenuhi dengan mengamati proses awal pemanasan dan pengadukan hingga proses akhir[11].

Selama proses awal pemanasan dan pengadukan pada alat autoklaf berjalan dalam 4 jam, kenaikan suhu dan tekanan dicatat, kemudian diamati apakah selama proses berjalan terdapat tanda-tanda kebocoran pada alat. Perputaran pengaduk (rpm) diatur agar berjalan konstan. Setelah proses awal berjalan baik, dua jam kemudian kenaikan suhu dan tekanan dicatat kembali. Diamati juga apakah selama proses berjalan terdapat tanda-tanda kebocoran pada alat. Pengaduk juga diamati apakah tetap berputar secara konstan. Jika terjadi kebocoran, maka segera hentikan proses dengan mematikan alat[12].

Apabila tidak ada kebocoran pada alat, maka proses bisa dilanjutkan selama 8 jam dengan tetap mencatat kenaikan suhu dan tekanan serta mengamati pengadukannya. Proses konversi bahan padat menjadi katalis di dalam alat autoklaf memerlukan waktu optimal selama  $\pm 12$  jam. Jika kondisi suhu, tekanan, dan pengadukan stabil, maka setelah proses berjalan selama 12 jam alat dapat dimatikan dan produk dapat diambil[13].

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil

Alat autoklaf untuk mengonversi bahan padat menjadi katalis yang dilengkapi dengan pengaduk dan suhu di atas 100°C bertekanan autogenous dirancang memiliki kapasitas volume reaktor (aktual) 1000 cm<sup>3</sup>. Dalam penyelesaian alat autoklaf untuk mengonversi bahan padat menjadi katalis yang dilengkapi dengan pengaduk ini diperlukan beberapa pengukuran diameter dan tinggi alat agar sesuai dengan yang diinginkan. Spesifikasi alat autoklaf yang telah dirancang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Alat Autoklaf

No.	Komponen	Spesifikasi
1	Kapasitas Autoklaf	1000 cm <sup>3</sup>
2	Diameter Autoklaf	20 cm
3	Tinggi Autoklaf	25 cm
4	Tipe pengaduk	<i>Paddles</i>
5	Diameter pengaduk	3 cm
6	Putaran pengaduk	600 rpm
7	Tebal Autoklaf	0.3 cm
8	Kondisi Operasi :	
	-Tekanan	> 1 atm
	- Suhu	> 100°C
	- Waktu	4–12 jam

Setelah proses perancangan dan pembuatan alat autoklaf untuk mengonversi bahan padat menjadi katalis selesai, maka dilanjutkan dengan pengujian kinerja alat. Pengujian alat ini dilakukan dengan menggunakan campuran silika sebanyak 300 gr, NaOH sebanyak 300 ml, dan aquades sebanyak 300 ml. Setelah itu proses pemanasan dan pengadukan pada autoklaf dilakukan dengan variasi waktu 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 12 jam, dengan diamati perubahan temperatur dan tekanannya. Data hasil pengamatan temperatur pada saat reaksi berlangsung di dalam autoklaf dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengamatan Temperatur

Sampel	Temperatur Reaksi (°C)				Tekanan (Bar)
	4 Jam	6 Jam	8 Jam	12 Jam	
Sampel 1	110	-	-	-	1,1
Sampel 2	110	135	-	-	1,5
Sampel 3	110	135	150	-	2
Sampel 4	110	135	150	160	2,3

Pada hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa kenaikan temperatur sedikit lambat setelah memasuki waktu penelitian 6 jam, kemudian waktu reaksi yang berlangsung selama 8 jam hingga 12 jam berhasil menaikkan temperatur 150°C hingga 160°C dalam waktu empat jam.

### 3.2. Pembahasan

Pengujian fungsi dari rancangan alat autoklaf untuk mengonversi bahan padat menjadi katalis meliputi lama waktu pada saat proses pemanasan dan pengadukan tengah berlangsung. Di mana akan terlihat dan diketahui apakah kemampuan alat telah sesuai yang diharapkan, serta keberhasilan proses konversi bahan padat menjadi katalis dengan cara sebagai berikut.

Selama proses awal pemanasan dan pengadukan pada alat autoklaf berjalan dalam 4 jam, kenaikan temperatur sebesar 110°C dan tekanan sudah sedikit di atas tekanan atmosferik. Tidak terdapat tanda-tanda kebocoran pada alat selama proses berjalan. Perputaran pengaduk (100 rpm) berjalan konstan.

Setelah proses awal berjalan baik, dua jam kemudian kenaikan temperatur sebesar 25°C menjadi 135°C dan tekanan sudah sedikit di atas 1,5 bar. Tidak terdapat tanda-tanda kebocoran pada alat selama proses berjalan. Namun, terdapat uap panas yang keluar dari sisi autoklaf. Perputaran pengaduk (100 rpm) berjalan konstan.

Proses awal berjalan baik, dua jam kemudian kenaikan temperatur sebesar 15°C menjadi 150°C dan tekanan sudah sedikit di atas 2 bar. Tidak terdapat tanda-tanda kebocoran pada alat selama proses berjalan. Terdapat uap panas yang keluar dari sisi autoklaf. Perputaran pengaduk (100 rpm) tidak konstan. Pengaduk berputar sekitar 10 menit, lalu berhenti sekitar 5 menit, dan kemudian kembali berputar selama 10 menit.

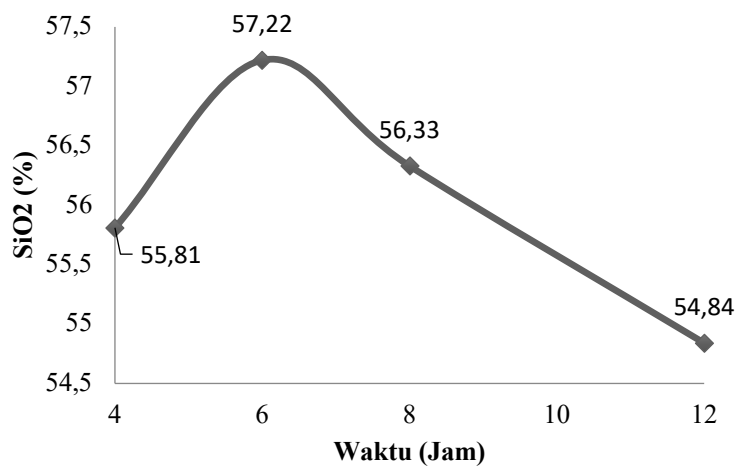
Proses konversi bahan padat menjadi katalis di dalam alat autoklaf memerlukan waktu optimal selama ± 12 jam. Setelah proses berjalan selama 12 jam alat dapat dimatikan dan produk dapat diambil. Kenaikan temperatur sebesar 10°C menjadi 150°C dan tekanan sudah di atas 2 bar[13]. Tidak terdapat tanda-tanda kebocoran pada alat selama proses berjalan. Terdapat uap panas yang keluar dari sisi autoklaf. Kayu alas autoklaf terlihat mengalami kerapuhan akibat panas. Perputaran pengaduk (100 rpm) tidak konstan, di mana berputar sekitar 5 menit, lalu berhenti sekitar 5 menit, dan kemudian kembali berputar selama 5 menit.

Bahan yang telah melewati proses pemanasan dan pengadukan di dalam autoklaf selama 4, 6, 8, dan 12 jam selanjutnya dikeringkan di dalam oven selama lebih kurang 4 jam, kemudian dianalisa dengan menggunakan alat

XRF (X-Ray Fluorescence) untuk mengetahui kadar  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan unsur lainnya dalam produk. Hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 3.

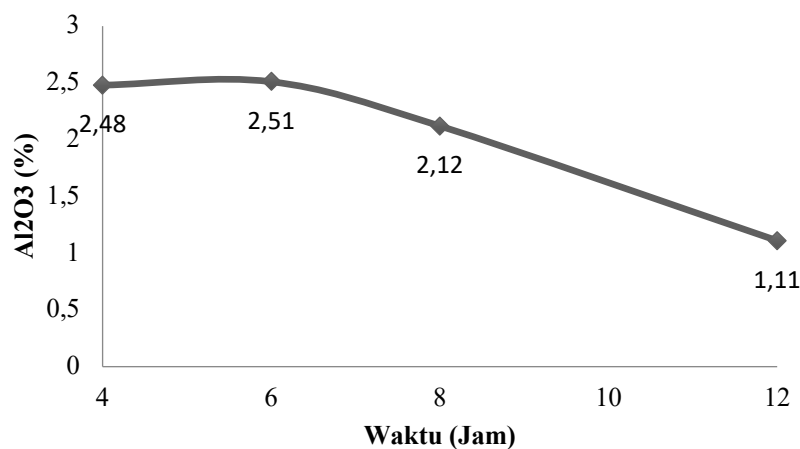
**Tabel 3. Hasil Analisa Kadar  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan Unsur Lainnya Pada Produk**

Analisa		Komposisi Sampel			
		4 Jam	6 Jam	8 Jam	12 Jam
$\text{SiO}_2$	%	55,81	57,22	56,33	54,84
$\text{Al}_2\text{O}_3$	%	2,48	2,51	2,12	1,11
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	%	2,35	2,46	2,12	1,17
$\text{CaO}$	%	1,25	1,04	0,87	0,66
$\text{MgO}$	%	0,06	0,06	0,03	0,01
$\text{K}_2\text{O}$	%	0,58	0,51	0,47	0,31



Gambar 1. Grafik Analisa Kadar  $\text{SiO}_2$

Berdasarkan grafik kadar  $\text{SiO}_2$  pada sampel produk, terlihat penurunan yang cukup signifikan mulai dari sampel 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 12 jam. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada struktur mineral bahan pada saat mengalami pemanasan dan pengadukan di dalam autoklaf dengan temperatur di atas  $100^\circ\text{C}$  dan tekanan *autogenous*, yang mana temperatur dari sumber panas autoklaf cukup lama untuk menaikkan suhu serta pengadukan mulai berjalan tidak konstan. Begitupun yang ditunjukkan pada penurunan kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.



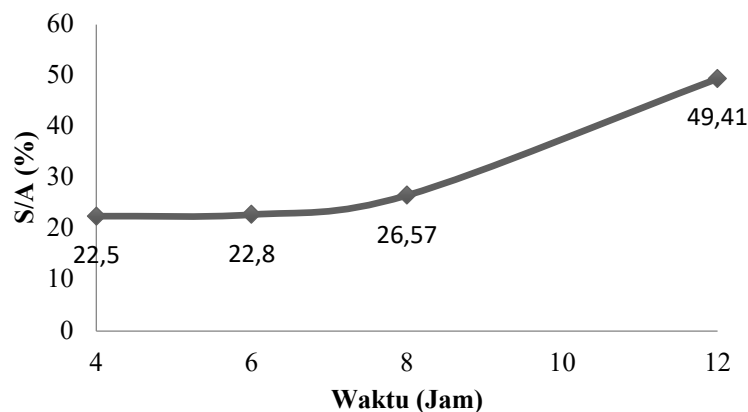
Gambar 2. Grafik Analisa Kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Kadar  $Al_2O_3$  pada produk juga terlihat dalam waktu 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 12 jam di mana ini juga dampak dari lambatnya kenaikan suhu dan tekanan, serta pengadukan yang cenderung tidak stabil setelah alat berjalan selama 6 jam. Sehingga menyebabkan struktur kristal yang akan dibangun pada produk konversi menjadi katalis tidak stabil, bahkan menurun. Namun, hal ini memiliki dampak terhadap kenaikan perbandingan komposisi  $SiO_2/Al_2O_3$  (S/A) pada produk yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kadar S/A dalam Sampel Konversi Bahan Silika Menjadi Katalis

Analisa		Komposisi Sampel			
		4 Jam	6 Jam	8 Jam	12 Jam
$SiO_2$	%	55,81	57,22	56,33	54,84
$Al_2O_3$	%	2,48	2,51	2,12	1,11
Si/Al	%	22,50	22,80	26,57	49,41

Kondisi umum proses konversi yang mempengaruhi arah dan kristalinitas produk di antaranya adalah tekanan, suhu, derajat keasaman (pH), kecepatan putaran pengadukan, sifat alamiah sumber silika, dan kadar Silika Alumina (perbandingan S/A).



Gambar 3. Grafik Analisa Kadar S/A

Terjadi kenaikan kadar perbandingan S/A (Silika Alumina) seiring berjalannya waktu pemanasan dan pengadukan dalam autoklaf selama 4 jam, 6 jam, 8 jam, dan 12 Jam. Di mana kadar S/A pada sampel yang diproses selama 8 jam menunjukkan hasil yang mendekati kadar katalis ZSM-5 (30%), yaitu sebesar 26,57%. Artinya, waktu pemanasan yang baik dan pengadukan yang stabil selama lebih dari 8 jam akan mendapatkan kadar S/A mencapai 30%. Dapat dibuktikan setelah 12 jam mampu mencapai angka 49,41%.

#### 4. KESIMPULAN

Dari rancang bangun alat autoklaf untuk mengonversi bahan padat menjadi katalis dapat disimpulkan bahwa lama waktu pemanasan dan pengadukan pada alat autoklaf sangat mempengaruhi reaksi konversi bahan padat silika menjadi katalis ZSM-5, di mana waktu reaksi dalam autoklaf di atas 8 jam adalah waktu yang tepat untuk mendapatkan hasil produk dengan nilai S/A di atas 30% sesuai dengan spesifikasi katalis ZSM-5.

Waktu pemanasan yang melebihi 12 jam dan pengadukan yang tidak konstan dapat mempengaruhi perubahan struktur kristalisasi pada produk bahan padat menjadi katalis. Hal ini disebabkan karena pada saat pori dari bahan terbuka dan akan dibentuk kristal, pengadukan tidak berjalan dengan baik yang mana fungsi pengadukan sendiri adalah untuk membantu terbentuknya kristal pada pori  $SiO_2$  dan  $Al_2O_3$  yang kosong setelah pemanasan di atas temperatur 100°C.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. Wahyuningsih, dkk, *Pembuatan Autoklaf Berpengaduk Skala Laboratorium*. Jurusan Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [2] W. McCabe, J.C. Smith, and P. Harriot, *Unit Operation of Chemical Engineering*. McGraw Hill Book, Co. United States of America.

- 
- [3] G. D. Presetyo, and Nurrohman, *Rancang Bangun Autoklaf untuk Proses Sterilisasi Peralatan Kedokteran*. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung.
- [4] A. Zamroni, and J. Muslim (Dr. Ir. Subagio), *Kajian Awal Sintesa ZSM-5 dari Zeolit Alam*. Institut Teknologi Bandung.
- [5] Siswanto, M. Hamzah, A. Mahendra, Fausiah, "Perekayasaan Nanosilika Berbahan Baku Silika Lokal Sebagai Filler Kompon Karet Rubber Air Bag Peluncur Kapal dari Galangan", Prosiding InSINas Jakarta.
- [6] I. J. McColm, *Ceramic Science for Materials Technologists*. Chapman and Hall Michigan.
- [7] C. Covarrubias, R. Garcia, R. Arriagada, J. Yanez, and M.T. Garland, "Cr(III) Exchange on Zeolites Obtained from Kaolin and Natural Mordenite," *Microporous and Mesoporous Materials.*, vol 88, pp. 220–231, doi: 10.1016/j.micromeso.2005.09.007.
- [8] J.P. Holman, *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Penerbit Erlangga Jakarta.
- [9] P.J. Angevine, Ph.D., *The Role of ZSM-5 as Catalyst in Petroleum and Petrochemical Industries*. Mobile Research and Development Corporation United States of America.
- [10] H. Hattori, and Y. Onno, *Solid Acid Catalysis: From Fundamentals to Application*. Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. Singapura.
- [11] M. Nurhadi, W. Trisunarya, M.U. Yahya, B. Setiadji, "Characterization And Modification Of Natural Zeolite And Its Cracking Properties On Petroleum Fraction," in *Indonesia Journal of Chemistry* 1, 7–10. ISSN: 9772460–157006.
- [12] Y.D. Ngapa, S. Sugiarti, and Z. Abidin, "Hydrothermal Transformation of Natural Zeolite from Ende-NTT and Its Application as Adsorbent of Cationic Dye," in *Indonesia Journal of Chemistry*, 2016, vol. 16, pp. 138–143, doi: 10.22146/ijc.1091.
- [13] W. Trisunaryanti, *Material Katalis dan Karakternya*. Gadjah Mada University Press Yogyakarta..