

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI SILIKA XEROGEL
DARI LUMPUR LAPINDO SEBAGAI PENDUKUNG KATALIS
KOBALT OKSIDA PADA REAKSI ASILASI FENOL**

SKRIPSI



HAIRUN NISA'

**PROGRAM STUDI S-1 KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA**

2022

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI SILIKA XEROGEL
DARI LUMPUR LAPINDO SEBAGAI PENDUKUNG KATALIS
KOBALT OKSIDA PADA REAKSI ASILASI FENOL**

SKRIPSI



HAIRUN NISA'

**PROGRAM STUDI S-1 KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA**

2022

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI SILIKA XEROGEL DARI
LUMPUR LAPINDO SEBAGAI PENDUKUNG KATALIS KOBALT
OKSIDA PADA REAKSI ASILASI FENOL**

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Kimia
Pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

Hairun Nisa'

NIM 081811533069

Disetujui oleh :

Pembimbing I,



Prof. Dr. Hartati, M.Si.
NIP 195911151987032002

Pembimbing II,



Qurrota A'yuni, S.Si., M.Si.
NIP 199008062019032017

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Ekstraksi dan Karakterisasi silika xerogel dari lumpur
Lapindo Sebagai Pendukung Katalis Kobalt Oksida
Pada Reaksi Asilasi Fenol

Penyusun : Hairun Nisa'
NIM : 081811533069

Pembimbing I : Prof. Dr. Hartati, M.Si.

Pembimbing II : Qurrota A'yuni S.Si., M.Si.

Tanggal Ujian : 22 Juli 2022

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



Prof. Dr. Hartati, M.Si.
NIP 195911151987032002

Pembimbing II,



Qurrota A'yuni, S.Si., M.Si.
NIP 199008062019032017

Mengetahui,

Ketua Departemen Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga



Mochamad Zakki Fahmi, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 198307022009121005

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga, diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil'alamin segala puji dan syukur senantiasa penyusun panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Ekstraksi dan Karakterisasi Silika Xerogel dari lumpur Lapindo Sebagai Pendukung Katalis Kobalt Oksida Pada Reaksi Asilasi Fenol”** tepat pada waktunya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penyusun tujukan kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Hartati, M.Si. selaku pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan saran kepada penyusun untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Qurrota A'yuni, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan pengarahan kepada penyusun untuk kelancaran penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Hikmat, M.Si. yang telah membimbing dan memberi kesempatan untuk melaksanakan karakterisasi di Pusat Riset Kimia maju-BRIN, Serpong.
4. Ibu Ika Fitri Ulfendrayani, S.Si., M.Si. yang telah bersedia memberikan masukan dalam melaksanakan karakterisasi di ITS.
5. Bapak Dr. Hery Suwito, M.Si. selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi, saran dan nasihat dalam penyusunan naskah skripsi ini.
6. Bapak Mochamad Zakki Fahmi, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.
7. Segenap dosen Fakultas Sains dan Teknologi khususnya Program Studi S1-Kimia atas ilmu pengetahuan yang sudah diberikan kepada penyusun selama masa kuliah.
8. Ummi, serta keluarga besar H. Rifa'ie yang senantiasa memberikan dukungan moral, doa serta motivasi untuk terus berusaha dan tidak mudah putus asa.
9. Teman-teman satu bimbingan yang selalu memberi semangat dan bertukar pikiran selama penyusunan naskah skripsi ini.

10. Millenia Aisyah S.Z, Aisyah Ninda Khalifah, Erika Setya Dirvani, serta Azalea Rahma Septianti yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi selama menempuh kuliah.
11. Teman-teman H18RID Kimia Angkatan 2018 yang telah memberikan semangat, doa, saran, kesetiaan, dan hiburan dalam penyusunan naskah skripsi.
12. Dosen, staff serta karyawan yang telah banyak membantu dan memberikan informasi selama ini
13. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan ssatu per satu.

Penyusun menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca guna menyempurnakan segala kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Akhir kata, penyusun berharap penulisan skripsi ini berguna bagi pembaca dan pihak-pihak yang berkepentingan.

Surabaya, 11 Juli 2022

Penyusun,

Hairun Nisa'

Nisa', Hairun, 2022, "Ekstraksi dan Karakterisasi Silika Xerogel dari Lumpur Lapindo Sebagai Pendukung Katalis Kobalt Oksida Pada Reaksi Asilasi Fenol.", Skripsi, dibawah bimbingan Prof, Dr. Hartati, M.Si. dan Qurrota A'yuni. S.Si., M.Si. Program Studi S-1 Kimia, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengekstraksi dan mengkarakterisasi silika xerogel dari Lumpur Lapindo yang digunakan sebagai pendukung katalis pada reaksi asilasi fenol. Katalis SiO_2 terimpregnasi Co_3O_4 dapat dinotasikan sebagai $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$. Lumpur dipreparasi dengan proses *acid leaching* dan kalsinasi sehingga diperoleh lumpur dengan kemurnian silikatinggi. Ekstraksi silika xerogel dari lumpur Lapindo dilakukan dengan metode sol-gel. Komposisi silika xerogel dianalisis menggunakan XRF menunjukkan silika xerogel berhasil diekstraksi dengan kemurnian sebesar 80,311%. Sintesis katalis $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ dilakukan dengan metode impregnasi dengan variasi *loading* Co sebesar 5; 10; 15% b/b. selanjutnya struktur katalis dikarakterisasi menggunakan XRD yang menunjukkan bahwa SiO_2 memiliki struktur amorf sesuai dengan JCPDS No.29-0085 dan Co_3O_4 memiliki struktur oktahedron sesuai dengan JCPDS No. 42-1467. Katalis $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ berhasil disintesis dengan ditandai tidak adanya puncak difraksi selain milik Co_3O_4 dan SiO_2 . Keasaman katalis Co_3O_4 , SiO_2 , $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ ditentukan menggunakan metode FTIR-Piridin menunjukkan bahwa katalis memiliki sisi asam Lewis dan Brønsted. Impregnasi dapat meningkatkan nilai keasaman SiO_2 , morfologi dan sebaran unsur dalam katalis dianalisis menggunakan SEM-EDX yang menunjukkan bentuk partikel katalis Co_3O_4 berupa oktahedron dan tetrahedron dan katalis terimpregnasi memiliki struktur nanopartikel yang seragam. Luas permukaan dan porositas katalis $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ terimpregnasi diukur menggunakan adsorpsi-desorpsi dengan gas N_2 menunjukkan bahwa luas permukaan (S_{BET}) yang dimiliki katalis 5% $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, 10% $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, dan 15% $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ masing-masing sebesar 192,427 $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$; 95,578 $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$; dan 44,077 $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ dan uji katalis pada reaksi asilasi fenol dianalisis menggunakan GC-MS yang menunjukkan bahwa katalis dengan penambahan (*loading*) Co 10% b/b memberikan aktivitas katalis yang optimum dengan konversi fenol sebesar 90,021% dengan *yield* produk *p*-HAP dan Fenil asetat masing-masing sebesar 38,091% dan 51,936% Serta selektivitas terhadap produk *p*-HAP sebesar 42,311%.

Kata kunci : Lumpur Lapindo, Ekstraksi, Sol-Gel, $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, Impregnasi, Reaksi Asilasi Fenol.

Nisa', Hairun, 2022, "Extraction and Characterization Silica Xerogel from Lapindo Mud As a Catalyst Support of Cobalt Oxide in Phenol Acylation Reaction", Thesis, Supervised By Prof. Dr. Hartati, M.Si. dan Qurrota A'yuni. S.Si., M.Si. Chemistry Bachelor Degree, Chemistry Department, Faculty of Science and Technology, Airlangga University, Surabaya

ABSTRACT

This study aims to extract and characterize silica xerogel from Lapindo Mud which is used as a catalyst support in the acylation reaction of phenol. Co_3O_4 impregnated SiO_2 catalyst can be denoted as $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$. The sludge is made by acid washing and calcination process to obtain a sludge with high silica purity. Extraction of silica xerogel from Lapindo mud was carried out using the sol-gel method. The composition of silica xerogel which was analyzed using XRF showed that the silica xerogel was successfully extracted with a purity of 80.311%. $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ catalyst was synthesized by impregnation method with various loadings of Co 5; 10; 15% b/w. Furthermore, the structure of the catalyst was characterized using XRD which showed that SiO_2 had an amorphous structure according to JCPDS No.29-0085 and Co_3O_4 had an octahedral structure according to JCPDS No.42-1467. $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ catalyst was successfully synthesized, indicated by the absence of diffraction peaks other than Co_3O_4 and SiO_2 . The acidity of the catalyst Co_3O_4 , SiO_2 , $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ determined by the FTIR-Pyridine method showed that the catalyst had Lewis and Brønsted acid sites. Impregnation can increase the acidity of SiO_2 , morphology and distribution of elements in the catalyst were analyzed using SEM-EDX which shows the shape of Co_3O_4 catalyst particles in the form of octahedron and tetrahedron and impregnated catalyst has a uniform nanoparticle structure. The surface area and porosity of impregnated $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ catalyst were measured using adsorption-desorption with N_2 gas. $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$; 95,578 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$; and 44.077 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ and the catalysis test on the acylation reaction of phenol was analyzed using GC-MS which showed that the catalyst with the addition of Co 10% w/w gave optimum catalyst activity with phenol conversion of 90.021% with the product yield of p-HAP and Phenyl acetate. respectively 38.091% and 51.936% and the selectivity of p-HAP products was 42.311%.

Keywords: Lapindo Mud, Extraction, Sol-Gel, $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, Impregnation, Phenol Acylation Reaction.

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hairun Nisa'
NIM : 081811533069
Program Studi : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan bahwa tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penelitian skripsi saya yang berjudul:

Ekstraksi dan Karakterisasi Silika Xerogel Dari Lumpur Lapindo Sebagai Pendukung Katalis Kobalt Oksida Pada Reaksi Asilasi Fenol

Apabila suatu saat nanti terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 11 Juli 2021



Hairun Nisa'
NIM.081811533069

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
PERNYATAAN ORISINALITAS	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Lumpur Lapindo.....	6
2.2 Metode Sol-Gel	7
2.3 Silika (SiO_2) sebagai pendukung katalis	8
2.4 Logam Kobalt Oksida (Co_3O_4).....	9
2.5 Katalis.....	10
2.5.1 Katalis Homogen.....	11
2.5.2 Katalis Heterogen.....	11
2.6 Variasi <i>Loading</i> Logam.....	12
2.7 Keasaman Katalis	13
2.7.1. Asam Lewis.....	13
2.7.2. Asam Brønsted-Lowry	14
2.8 Metode Impregnasi.....	14

2.9	Reaksi Asilasi Fenol	15
2.10	Katalis pada Reaksi Asilasi Fenol	16
2.11	Tinjauan Instrumen untuk Karakterisasi	18
2.11.1	<i>X-Ray Flourence</i> (XRF)	18
2.11.2	<i>X-ray diffractometer</i> (XRD).....	19
2.11.3	<i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDX).....	21
2.11.4	<i>Brunaur, Emmett and Teller</i> (BET) dengan <i>Surface Area Analyzer</i> (SAA) menggunakan N ₂ adsorpsi-desorpsi	24
2.11.5	<i>Fourier Transform InfraRed-Pyridin</i> (FTIR-Piridin)	26
2.11.6	<i>Gas Chromatography-Mass Spectroscopy</i> (GC-MS)	27
BAB III METODE PENELITIAN.....		30
3.1	Waktu dan Tempat penelitian.....	30
3.2	Bahan dan Alat penelitian	30
3.2.1	Bahan penelitian.....	30
3.2.2	Alat penelitian	31
3.3	Diagram Alir.....	31
3.4	Prosedur Kerja	32
3.4.1	Preparasi Lumpur Lapindo.....	32
3.4.2	Ekstraksi Silika dari Lumpur Lapindo	33
3.4.3	Sintesis katalis Co ₃ O ₄	33
3.4.4	Sintesis Katalis Co ₃ O ₄ /SiO ₂	33
3.4.5	Uji katalisis pada Reaksi Asilasi Fenol.....	34
3.4.6	Karakterisasi.....	34
3.4.6.1	Karakteristik kemurnian SiO ₂ dengan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	34
3.4.6.2	Penentuan struktur katalis dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	34
3.4.6.3	Karakterisasi morfologi dan distribusi unsur dengan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) - <i>Energy dispersive X-ray</i> (EDX).....	35
3.4.6.4	Pengukuran luas permukaan dan porositas dengan Adsorpsi Gas Nitrogen (N ₂).....	35
3.4.6.5	Penentuan keasaman katalis dengan Metode Adsorpsi Piridin-FTIR.....	36
3.4.6.6	Analisis Produk Hasil Reaksi Asilasi Fenol menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	37

3.4.7	Perhitungan katalisis	38
3.4.7.1	Aktivitas/ konversi reaktan	38
3.4.7.2	Selektivitas	38
3.4.7.3	<i>Yield</i>	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Analisis Tahap Preparasi Lumpur Lapindo	39
4.2	Hasil Ekstraksi Silika Xerogel menggunakan Metode Sol-Gel	41
4.2.1	Analisis Komposisi Lumpur Lapindo dan Silika Xerogel menggunakan <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	43
4.2.2	Analisis struktur kristal lumpur dan silika xerogel menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	45
4.3	Hasil Sintesis katalis $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ Menggunakan Metode Impregnasi... ..	46
4.3.1	Analisis struktur kristal katalis menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	49
4.3.2	Analisis kesamaan katalis $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ dengan Metode FTIR- piridin.....	50
4.3.3	Analisis Morfologi dan sebaran unsur pada katalis menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)- <i>Energy Dispersive X-Ray</i> (EDX)	52
4.3.4	Analisis Luas Permukaan dan Porositas pada katalis dengan metode adsorpsi Gas Nitrogen (N_2).....	61
4.4	Hasil Uji Katalisis pada Reaksi Asilasi Fenol	64
4.4.1	Analisis Produk Hasil Reaksi Asilasi Fenol menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		71
DAFTAR PUSTAKA		72
LAMPIRAN.....		78

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul Tabel	Halaman
4.1	Komposisi Lumpur Lapindo dan silika xerogel berdasarkan Analisis XRF	44
4.2	Tingkat Keasaman katalis hasil analisis menggunakan FTIR-piridin	52
4.3	Hasil Analisis EDX <i>point</i> pada lumpur Lapindo dan silika xerogel	56
4.4	Hasil Analisis EDX <i>point</i> pada katalis	57
4.5	Luas permukaan Spesifik, Diameter pori, dan total volume pori pada katalis	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul Gambar	Halaman
2.1	Struktur Silika	9
2.2	Efek penambahan katalis dengan adanya pendukung katalis saat katalis dipanaskan	12
2.3	Jalur Reaksi Pembentukan Senyawa HAP dari reaksi Asilasi Fenol dengan Asetat Anhidrida	16
2.4	Proses pembentukan sinar-X akibat Eksitasi	19
2.5	Prinsip kerja XRD	20
2.6	<i>X-Ray Diffraction</i> untuk (a) Silika gel Murni yang dicuci dan (b) silika gel biru diresapi dengan $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($2,1 \times 10^{-3}$) dan (c) silika gel yang tidak cuci	21
2.7	Rangkaian alat <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	22
2.8	Hasil SEM dari (a) silika dan (b) Pd-benzamide@SiO ₂	23
2.9	Hasil EDX dari (a) silika dan (b) Pd-benzamide@SiO ₂	24
2.10	Struktur Rangkaian Alat BET	25
2.11	Isoterm absorpsi-desorpsi nitrogen dari a) Au-Co@SiO ₂ -RT dan b) Au-Co@SiO ₂ -HT nanosphere	26
2.12	Spektrum FTIR piridin teradsorpsi pada (a) CoMo/G-Al ₂ HAI ₃ , (b) CoMo/FA, (c) CoMo/ZFA, dan (d) CoMo/BFA setelah degassing pada (A) 200°C dan (B) 350°C.	27
2.13	Hasil GC-MS pada Asilasi Fenol	28
4.1	Proses <i>acid leaching</i> dengan HCl 1M	40
4.2	Lumpur Lapindo setelah kalsinasi	41
4.3	Hasil ekstraksi silika xerogel	43
4.4	Difraktogram a) Lumpur Lapindo, b) Lumpur setelah <i>acid leaching</i> , c) Lumpur setelah <i>acid leaching</i> dan kalsinasi, d) Silika Xerogel	45
4.5	Serbuk Co ₃ O ₄ /SiO ₂ sebelum dikalsinasi	48
4.6	Hasil Sintesis katalis Co ₃ O ₄ /SiO ₂	48

4.7	Difraktogram a) katalis SiO_2 , b) katalis Co_3O_4 , c) Katalis $5\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, d) Katalis $10\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, e) Katalis $15\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$,	49
4.8	Hasil Analisis Keasaman a) katalis SiO_2 , b) katalis Co_3O_4 , c) Katalis $5\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, d) Katalis $10\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, e) Katalis $15\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$,	51
4.9	Hasil analisis morfologi a) Lumpur Lapindo, b) Silika Xerogel, c) katalis SiO_2 , d) katalis Co_2O_4 , e) katalis $5\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, f) katalis $10\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, g) katalis $15\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$,	53
4.10	Spektra EDX <i>point</i> a) Lumpur Lapindo, b) Silika Xerogel, c) katalis SiO_2 , d) katalis Co_2O_4 , e) katalis $5\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, f) katalis $10\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, g) katalis $15\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$	55
4.11	Hasil EDX <i>line</i> a) Lumpur Lapindo, b) Silika Xerogel, c) katalis SiO_2 , d) katalis Co_2O_4 , e) katalis $5\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, f) katalis $10\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$, g) katalis $15\%\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$	58
4.12	Hasil EDX <i>mapping</i> unsur pada lumpur Lapindo	59
4.13	Hasil EDX <i>mapping</i> unsur pada silika xerogel	60
4.14	Hasil EDX <i>mapping</i> unsur pada katalis	61
4.15	Isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen pada katalis	62
4.16	Histogram aktivitas Katalitik dan <i>yield</i> produk	65
4.17	Histogram Selektivitas produk Katalis	67
4.18	Hubungan <i>yield p</i> -HAP dengan asam Brønsted	68
4.19	Sisi asam Katalis $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$	68
4.20	Mekanisme pembentukan <i>p</i> -HAP pada tahap asilasi-O	69
4.21	Mekanisme pembentukan <i>p</i> -HAP pada tahap asilasi-C	70

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran
1	Skema Kerja
2	Perhitungan
3	Kurva Kalibrasi AAS
4	Kurva Standar
5	Kromatogram GC-MS Standar
6	Difraktogram lumpur natural, silika xerogel, dan katalis
7	Hasil Adsorpsi-Desorpsi gas N ₂
8	Hasil karakterisasi SEM
9	Fragmentasi GC-MS