



**PENGARUH WAKTU DAN TEMPERATUR PADA REAKSI
ISOMERISASI α -PINENA MENGGUNAKAN
KATALIS Zr^{4+} /ZEOLIT ALAM**

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia

oleh
Tri Handayani
4311411031

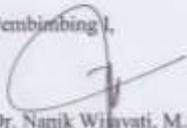
**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2015**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

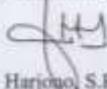
Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Juli 2015

Pembimbing I,


Dr. Nanik Wijayati, M.Si
NIP. 196910281996032002

Pembimbing II,


Harjono, S.Pd, M.Si
NIP. 197711162005011001

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

**Pengaruh Waktu Dan Temperatur Pada Reaksi Isomerisasi α -Pinena
Menggunakan Katalis Zr^{4+} /Zeolit Alam**

disusun oleh

Nama : Tri Handayani

NIM : 4311411031

telah dipertahankan dihadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Universitas Negeri
Semarang pada tanggal:

Hari :

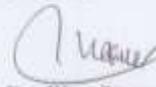
Tanggal :

Panitia Ujian:



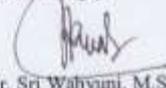
Ketua
Prof. Dr. Wiyanto, M.Si
NIP. 196310121988031001

Sekretaris



Dra. Woro Sumarni, M.Si
NIP. 196507231993032001

Ketua Penguji



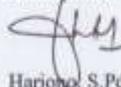
Ir. Sri Wahyuni, M.Si
NIP. 196512281991022001

Anggota Penguji/
Pembimbing I



Dr. Nanik Wahyati, M.Si
NIP. 196910231996032002

Anggota Penguji/
Pembimbing II



Harjono, S.Pd, M.Si
NIP. 197711162005011001

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, Juli 2015

Perusun

Ter Handayani
4311411031

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

Syukur, Sabar, Semangat, Senyum ☺

Lakukan yang terbaik dalam setiap langkah yang kamu tempuh. Allah adalah penulis skenario terbaik.

Orang yang HEBAT tidak dihasilkan melalui kemudahan, kesenangan dan kenyamanan. MEREKA dibentuk dari KESUKARAN, TANTANGAN dan AIR MATA

PERSEMBAHAN :

Ibuku tercinta, Milyanah

Ayahku tercinta, Sutopo

Kakakku tersayang, Diyan dan Dewi

Beasiswa Bidikmisi Indonesia

Almamater tercinta, Unnes

PRAKATA

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “*Pengaruh Waktu dan Temperatur pada Reaksi Isomerisasi α -Pinena Menggunakan Katalis Zr^{4+} /Zeolit Alam*”.

Selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang tulus atas bantuan, saran dan bimbingan dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNNES beserta jajarannya.
3. Kepala Laboratorium Kimia FMIPA UNNES yang telah memberikan izin penelitian.
4. Dr. Nanik Wijayati, M.Si selaku Dosen Pembimbing I yang telah membagikan ilmu, memberikan bimbingan dan arahan dengan penuh kesabaran sehingga Skripsi ini dapat selesai dengan baik.
5. Harjono, S.Pd, M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan masukan dan bimbingan yang membangun dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini.
6. Ir. Sri Wahyuni, M.Si selaku Dosen Penguji Utama yang telah memberikan saran, evaluasi dan pengarahan dalam penulisan skripsi.
7. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah membekali ilmu pengetahuan selama penulis mengikuti pendidikan di kampus UNNES.

8. Teknisi dan laboran di Laboratorium Kimia FMIPA UNNES yang telah membantu dalam penelitian.
9. Sahabat seperjuangan selama penelitian dan penyusunan skripsi, Nico Aditya Wijaya.
10. Teman-teman seperjuangan Kimia Angkatan 2011 Rombel 1 “*Gabreters*” dan segenap Keluarga Besar Jurusan Kimia FMIPA UNNES.
11. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Demikian ucapan terima kasih dari penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi positif bagi khazanah perkembangan ilmu pengetahuan.

Semarang, Juli 2015

Penulis

ABSTRAK

Handayani, Tri. 2015. *Pengaruh Waktu Dan Temperatur Pada Reaksi Isomerisasi α -Pinena Menggunakan Katalis Zr^{4+} /Zeolit Alam*. Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Nanik Wijayati, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Harjono, S.Pd, M.Si.

Kata Kunci: Zr^{4+} /zeolit alam, waktu, temperatur, isomerisasi, α -pinena

Telah dilakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh waktu dan temperatur pada reaksi isomerisasi α -pinena menggunakan katalis Zr^{4+} /zeolit alam. Karakterisasi terhadap katalis meliputi: kristalinitas, yang diamati dengan *X-Ray Diffractometer*, jumlah Zr^{4+} teremban diamati menggunakan *X-Ray Fluorescence*, luas area dan porositas katalis diamati menggunakan *Surface Area Analyzer*, dan keasaman katalis diamati melalui metode gravimetri. Reaksi isomerisasi dilakukan di dalam reaktor *batch* dengan variasi temperatur 90, 120 dan 150° C dan variasi waktu reaksi yaitu 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Hasil isomerisasi paling baik dalam penelitian ini diperoleh pada 150° C dengan waktu reaksi 180 menit. Jenis isomer yang diperoleh diamati menggunakan GCMS. Hasil karakterisasi katalis mengindikasikan bahwa modifikasi katalis dengan logam Zr meningkatkan keasaman dari 2,76 ke 6,64 mmol/g dan tidak merusak struktur kristal secara signifikan. Konversi produk tertinggi dalam penelitian adalah 9,24%, hasil ini kurang maksimal disebabkan oleh perlakuan awal terhadap katalis menghasilkan luas area yang rendah. Dengan demikian, temperatur dan waktu reaksi berpengaruh terhadap konsentrasi produk isomerisasi α -pinena di samping pengaruh katalis yang digunakan.

ABSTRACT

Handayani, Tri. 2015. *Effects of time and temperature on α -pinene isomerization reaction using catalysts Zr^{4+} /natural zeolite*. Undergraduate Thesis, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Semarang State University. Primary Supervisor: Dr. Nanik Wijayati, M.Si., Supervising Companion: Harjono, S.Pd, M.Si.

Keywords: Zr^{4+} /natural zeolite, time, temperature, isomerization, α -pinene

Effects of time and temperature on α -pinene isomerization reaction using catalysts Zr^{4+} /natural zeolite was studied. Characterization of the catalysts include: crystallinity, observed using *X-Ray Diffractometer*, count Zr^{4+} carried observed using *X-Ray Fluorescence*, area and porosity catalyst was observed using the *Surface Area Analyzer*, and acidity catalyst observed through gravimetric method. Isomerization reaction carried out in a batch reactor with temperature variations 90, 120 and 150°C and reaction time variations of 60, 90, 120, 150 and 180 minutes. Best results of isomerisation in this study was obtained at 150°C with a reaction time of 180 minutes. Kinds of isomer obtained was observed using GCMS. Catalyst characterization results indicate that modification of the catalyst by cation Zr^{4+} increases the acidity from 2.76 to 6.64 mmol/g and does not damage the crystal structure significantly. The highest product conversion in this research is 9.24%, less than the maximum results caused by pre-treatment of the catalyst produces a low area. Thus, temperature and reaction time affect the concentration of α -pinene isomerization product in addition to the effect of the catalyst used.

DAFTAR ISI

Halaman	
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB	
1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Minyak Terpentin	7
2.2 α -pinena	8
2.3 Katalis	9
2.3.1 Pengertian Umum Katalis	9
2.3.2 Katalis Heterogen	11
2.4 Zeolit	12
2.5 Logam Transisi Zirkonium	14
2.6 Reaksi Isomerisasi	17
2.7 Mekanisme Reaksi Isomerisasi dengan Katalis Heterogen yang Lain ...	18
2.8 Analisis dan Karakterisasi	20
2.8.1 Analisis Difraksi Sinar-X (XRD)	20
2.8.2 XRF	22
2.8.3 Isoterm BET	24
2.8.4 FTIR	25
2.8.5 GC	26
3 METODE PENELITIAN	
3.1 Variabel Penelitian	28
3.1.1 Variabel Bebas	28

3.1.2	Varibel Terikat.....	29
3.1.3	Variabel Terkendali	29
3.2	Alat dan Bahan.....	29
3.3	Prosedur Penelitian.....	30
3.3.1	Perlakuan awal Zeolit	30
3.3.2	Aktivasi Zeolit Alam	30
3.3.3	Kalsinasi Katalis	31
3.3.4	Impregnasi Zr pada H-zeolit alam	31
3.3.5	Isolasi α -pinena dari minyak terpenin	32
3.3.6	Reaksi Isomerisasi α -pinena	32
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Preparasi Katalis.....	33
4.1.1	Perlakuan Awal Zeolit Alam	33
4.1.2	Aktivasi zeolit alam	34
4.2	Karakterisasi Katalis	37
4.2.1	Analisis Difraksi Sinar-X (XRD)	37
4.2.2	Analisis Perpendaran Sinar-X (XRF)	40
4.2.3	Analisis Isoterm BET	41
4.2.4	Penentuan Keasaman Katalis.....	42
4.3	Analisis α -pinena.....	45
4.4	Analisis hasil reaksi isomerisasi α -pinena	47
4.4.1	Analisis hasil reaksi isomerisasi α -pinena pada temperatur 90°C	47
4.4.2	Analisis hasil reaksi isomerisasi α -pinena pada temperatur 120°C	49
4.4.3	Analisis hasil reaksi isomerisasi α -pinena pada temperatur 150°C	50
4.4.4	Pengaruh temperatur terhadap konsentrasi produk isomer.....	53
5	SIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Simpulan	65
5.2	Saran	65
	DAFTAR PUSTAKA	67
	LAMPIRAN	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sifat minyak terpenin	8
2.2 Sifat senyawa α -pinena	9
2.3 Karakteristik Zirkonium	16
4.1 Posisi puncak khas klinoptilolit pada zeolit alam teraktivasi	38
4.2 Perbandingan intensitas H/ZA dan Zr^{4+} /ZA pada sudut 2θ khas klinoptilolit	39
4.3 Data XRF katalis H/ZA dan Zr^{4+} /ZA	40
4.4 Hasil pengukuran luas permukaan spesifik, rerata jejari pori, dan volume total pori katalis	41
4.5 Keasaman total dan permukaan padatan H-zeolit alam dan Zr^{4+} /ZA	43
4.6 Sifat fisik senyawa α -pinena hasil isolasi	46
4.7 Interpretasi Spektrum IR α -pinena	47
4.8 Interpretasi kromatogram α -pinena	48
4.9 Kadar senyawa hasil isomerisasi α -pinena pada temperatur $90^{\circ}C$	49
4.10 Konversi α -pinena hasil reaksi isomerisasi α -pinena temperatur $90^{\circ}C$	49
4.11 Kadar senyawa hasil isomerisasi α -pinena pada temperatur $120^{\circ}C$	50
4.12 Konversi α -pinena hasil reaksi isomerisasi α -pinena temperatur $120^{\circ}C$	50
4.13 Interpretasi spektrum IR α -pinena hasil reaksi pada temperatur $150^{\circ}C$	52
4.14 Kadar senyawa hasil isomerisasi α -pinena pada temperatur $150^{\circ}C$	53
4.15 Konversi α -pinena hasil reaksi isomerisasi α -pinena temperatur $150^{\circ}C$	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Komponen utama minyak terpenin	8
2.2 Struktur senyawa α -pinena.....	9
2.3 Struktur kerangka zeolit	12
2.4 Jalur isomerisasi α -pinena.....	18
2.5 Model reaksi menurut Clearfield dkk	19
2.5 Usulan mekanisme reaksi isomerisasi α -pinena.....	19
2.6 Difraksi sinar-X pada kisi kristal	21
2.7 Proses Analisa Difraksi Sinar X.....	21
4.1 Zeolit alam Malang (Jawa Timur).....	33
4.2 Reaksi dealuminasi zeolit dengan asam.....	35
4.3 Dekomposisi termal kation NH_4^+ pada zeolit	36
4.4 Zeolit alam teraktivasi hasil kalsinasi	36
4.5 Difraktogram dari katalis H/ZA dan Zr^{4+} /ZA	37
4.6 Isoterm linier sistem adsorpsi gas nitrogen.....	42
4.7 Spektra IR katalis H/ZA adsorpsi piridin.....	45
4.8 Spektra IR untuk katalis Zr^{4+} /ZA dan H/ZA.....	45
4.9 Spektrum IR α -pinena	47
4.10 Kromatogram GC α -pinena.....	48
4.11 Pengaruh waktu reaksi terhadap kadar produk isomerisasi α -pinena	49
4.12 Pengaruh waktu reaksi terhadap kadar produk isomerisasi α -pinena	51
4.13 Spektrum IR hasil reaksi pada temperatur 150°C	52
4.14 Pengaruh waktu reaksi terhadap kadar produk isomerisasi α -pinena	53
4.15 Pengaruh temperatur terhadap konsentrasi produk isomer	54
4.16 Mekanisme reaksi isomerisasi.....	58
4.17 Spektrum massa kamfena.....	60
4.18 Skema fragmentasi kamfena	60
4.19 Spektrum massa β -pinena	61
4.20 Skema fragmentasi β -pinena.....	61
4.21 Spektrum massa 3-karena	62

4.22 Skema fragmentasi 3-karena	62
4.23 Spektrum massa p-simena.....	62
4.24 Skema fragmentasi p-simena	63
4.25 Spektrum massa limonena	63
4.26 Skema fragmentasi limonena	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Kerja Penelitian	74
2. Hasil Analisis XRF H/ZA	79
3. Hasil Analisis XRF Zr ⁴⁺ /ZA	80
4. Hasil Analisis XRD H/ZA	81
5. Hasil Analisis XRD Zr ⁴⁺ /ZA.....	82
6. Hasil Analisis BET H/ZA	83
7. Hasil Analisis BET Zr ⁴⁺ /ZA.....	85
8. Hasil Analisis GC α -pinena.....	87
9. Hasil Analisis IR α -pinena	88
10. Hasil Analisis GC reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr ⁴⁺ /ZA	90
11. Hasil Analisis GC-MS reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr ⁴⁺ /ZA pada temperatur 150°C.....	105
12. Hasil Analisis IR H/ZA sebelum adsorpsi piridin	114
13. Hasil Analisis IR H/ZA sesudah adsorpsi piridin	115
14. Hasil Analisis IR katalis Zr ⁴⁺ /ZA.....	116
15. Hasil Analisis IR produk isomerisasi temperatur 150°C, 180 menit	117

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Produksi minyak terpentin semakin meningkat setiap tahun yang disebabkan adanya peningkatan permintaan dari industri atas minyak terpentin sebagai bahan baku farmasi, parfum, pelarut, resin dan polimer. Hal ini didukung pula oleh kecenderungan “*back to nature*” untuk memenuhi kebutuhan industri di Indonesia bahkan di dunia (Laporan Tahunan Perum Perhutani, 2012). Komponen utama dalam minyak terpentin adalah α -pinena. Minyak terpentin Indonesia mengandung sekitar 57-86% α -pinena, 8-12% 3-karena dan senyawa golongan monoterpena lainnya dengan jumlah minor (Wiyono dkk, 2006; Masruri dkk, 2007). Pemilihan bahan dasar minyak terpentin, khususnya α -pinena sebagai bahan dasar kajian didasarkan pada pemikiran bahwa produksi minyak terpentin sangat besar, maka perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan nilai tambah minyak terpentin.

Sintesis beberapa senyawa berbahan dasar α -pinena menghasilkan terpineol, kamfer, bornil klorida, dan kamfena (Masruri dkk, 2014) yang dalam skala industri memiliki harga jual yang tinggi. Adanya cincin reaktif berupa ikatan rangkap di dalam struktur α -pinena menyebabkan senyawa ini tergolong dalam senyawa organik bahan alam yang menarik dan sangat menguntungkan. Pada prinsipnya α -pinena dapat diubah secara kimia menjadi bahan dasar untuk

pembuatan senyawa yang lebih berguna melalui reaksi adisi, reaksi hidrasi, dan isomerisasi (Jozef-Zsolt, 2011).

Isomerisasi α -pinena dapat menghasilkan senyawa bisiklik, monosiklik, atau produk lainnya. Produk bisiklik seperti kamfena dan trisiklena, sedangkan produk monosiklik yaitu limonena, p-simena, dan terpinolena. Hasil intermediet dari isomerisasi α -pinena ini digunakan sebagai bahan wewangian, industri kosmetik dan makanan, farmasi, perasa, dan juga sebagai pelarut (Wang dkk, 2010).

Katalis yang telah banyak digunakan dalam isomerisasi α -pinena adalah katalis homogen, yaitu asam sulfat, asam klorida, Zr-fosfat, Sn-fosfat, dan halloysit dalam fase cair. Katalis ini sudah terbukti dapat membantu reaksi isomerisasi α -pinena menjadi senyawa-senyawa isomernya, tetapi dalam proses pemisahan katalis dengan produk sukar dilakukan karena produk memiliki fase yang sama dengan katalisnya.

Katalis homogen telah digunakan oleh sebagian besar industri, dan menimbulkan dampak negatif berupa sejumlah besar limbah asam berbahaya. Mengingat keselamatan lingkungan dan alasan ekonomis, ada upaya berkelanjutan untuk menggantikan katalis asam konvensional dengan katalis asam padat heterogen yang baru. Katalis heterogen dapat digunakan sebagai alternatif dengan peluang positif terkait peningkatan hasil dan selektivitas proses yakni melalui reaksi isomerisasi α -pinena (Reddy dkk, 2005).

Beberapa penelitian mengenai isomerisasi α -pinena telah dikembangkan, diantaranya, Severino dkk. (1996) melakukan reaksi isomerisasi α -pinena

menggunakan zeolit sebagai katalisnya, mereka menyatakan bahwa situs asam Lewis pada katalis tersebut (lebih lemah dari situs Brönsted) bermanfaat untuk pembentukan senyawa bisiklik, situs Brönsted bertanggung jawab untuk pembentukan senyawa monosiklik. Yadav dkk. (2004) melakukan reaksi katalisis menggunakan montmorilonit dimodifikasi dengan asam sulfat, diperoleh hasil konversi senyawa α -pinena mencapai 96% dengan selektivitas produk kamfena sebesar 39-49%. Encormier dkk (2003) mempelajari reaksi katalisis dengan zirkonium sulfat, situs asam lemah yang dibentuk mendukung pembentukan kamfena, sedangkan situs asam kuat yang terbentuk mendukung pembentukan limonena.

Salah satu jenis katalis padat yang banyak digunakan saat ini adalah zeolit. Zeolit banyak dimanfaatkan sebagai katalis karena memiliki struktur kerangka tiga dimensi dengan rongga di dalamnya dan luas permukaan yang besar. Menurut Prasetyoko (2005) reaksi yang dikatalisis oleh material padatan banyak melibatkan pori-pori katalis sebagai tempat terjadinya reaksi. Sebagian reaksi katalisis tergantung pada luas permukaan katalis, dan sebagian tergantung pada sisi aktif katalis yang ada dalam pori-pori katalis.

Zeolit alam adalah salah satu material yang banyak terdapat di daerah pegunungan berapi yang berasal dari transformasi abu vulkanik. Lokasi Indonesia yang terletak pada daerah jalur pegunungan vulkanik memberikan kekayaan sumber daya alam mineral yang beragam, termasuk banyaknya lokasi sumber zeolit alam. Zeolit alam memiliki beberapa kegunaan diantaranya dapat digunakan sebagai adsorben, separator, penukar ion dan katalis. Pengolahan zeolit alam

menjadi katalis telah banyak dilakukan diantaranya pengembangan dengan logam Cr (Setyawan dan Handoko, 2002), pengembangan dengan Fe_2O_3 untuk meningkatkan keasamannya (Trisunaryanti dkk, 2007). Logam-logam yang sering digunakan sebagai katalis adalah jenis logam transisi yang memiliki orbital d belum penuh (Augustine, 1996).

Logam zirkonium merupakan logam transisi yang banyak digunakan dalam proses katalitik pada katalis sebagai pendukung dan promotor yang dapat meningkatkan kinerja katalis (Sugiyanto, 2010). Namun, luas permukaan yang relatif rendah dan keasaman lemah menyebabkan terbatasnya aplikasi yang luas dalam katalisis (Anderson dkk, 2000). Dalam rangka meningkatkan luas permukaannya, zirkonium dapat dikombinasikan dengan beberapa bahan yang memiliki luas permukaan yang tinggi seperti silika (Sidhpuria dkk, 2011).

Zeolit alam pada umumnya memiliki stabilitas termal yang tidak terlalu tinggi, ukuran pori tidak seragam dan aktivitas katalitik rendah sehingga perlu dilakukan modifikasi atau aktivasi. Aktivasi zeolit dapat dilakukan dengan perlakuan asam, yaitu mereaksikan zeolit dengan larutan asam seperti HCl, HF, dan HNO_3 (Khairinal & Trisunaryanti 2000), HCl, HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_3PO_4 (Heraldly, 2003). Zeolit alam teraktivasi dapat digunakan sebagai katalis yang bersifat asam dalam reaksi isomerisasi α -pinena.

Pada penelitian ini, penulis mencoba menerapkan penggunaan katalis heterogen berupa Zr^{4+} /zeolit alam (Zr^{4+}/ZA) terhadap isomerisasi α -pinena dan akan dipelajari pengaruh waktu dan temperatur reaksinya. Salah satu parameter penting dalam reaksi isomerisasi adalah temperatur. Kondisi temperatur yang

cukup dan energi yang mencukupi memungkinkan terjadinya tumbukan antar reaktan yang menyebabkan reaksi akan semakin besar, sehingga produk yang dihasilkan juga akan semakin besar (Santi, 2013). Variasi waktu reaksi juga dipelajari agar dapat diketahui pengaruhnya terhadap konversi reaktan menjadi produk yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini dibuat katalis Zr^{4+}/ZA dan uji katalitiknya terhadap isomerisasi senyawa α -pinena. Dari reaksi isomerisasi ini akan diketahui apakah reaksi ini dapat membentuk suatu senyawa hasil dengan presentase yang tinggi.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah temperatur berpengaruh terhadap hasil reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA ?
2. Bagaimanakah waktu berpengaruh terhadap hasil reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA ?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh temperatur terhadap senyawa hasil reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA .
2. Mengetahui pengaruh waktu terhadap senyawa hasil reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA .

1.4 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini diantaranya:

1.4.1 Bagi Peneliti

1. Mengembangkan pengetahuan mengenai penggunaan katalis Zr^{4+}/ZA untuk reaksi isomerisasi α -pinena.
2. Memberi informasi pengaruh waktu dan temperatur reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA terhadap senyawa hasil isomer α -pinena.

1.4.2 Bagi Pengembangan IPTEK

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai acuan dalam pengembangan teknologi katalisis reaksi organik untuk meningkatkan nilai ekonomi bahan alam seperti minyak terpentin.

BAB 2

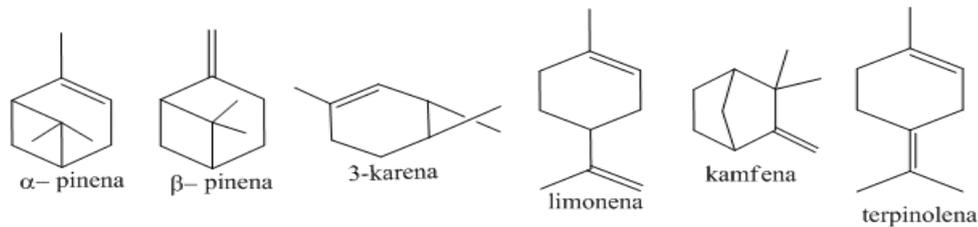
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Terpentin

Minyak terpentin merupakan salah satu jenis minyak atsiri yang dapat diperoleh dari getah pinus dan dapat dihasilkan dari kayu pohon pinus. Minyak terpentin berasal dari pohon pinus yang diambil getahnya dengan cara disadap pada bagian pohonnya dengan menggunakan alat khusus. Komponen yang terdapat dalam minyak terpentin bervariasi tergantung pada jenis pohon penghasil, umur, musim sadap dan cara mengisolasi. Minyak terpentin mempunyai beberapa manfaat, misalnya pada industri farmasi digunakan sebagai obat luar, industri cat digunakan sebagai pengencer (*thiner*), dan juga digunakan sebagai pelarut lilin. Minyak terpentin termasuk dalam kategori minyak atsiri hidrokarbon yang mempunyai sifat-sifat seperti larut dalam alkohol, eter, kloroform, asam asetat glasial, serta bersifat optis aktif (Muharani dkk, 2013).

Minyak terpentin merupakan cairan tidak berwarna (jernih), memiliki bau yang khas dan pedas, dan mudah terbakar. Komposisi minyak terpentin bervariasi tergantung pada jenis pohon penghasil, umur, musim sadap, dan cara isolasi. Terpentin merupakan bagian hidrokarbon yang mudah menguap dari getah pinus. Hidrokarbon ini dipisahkan dari bagian yang tidak menguap (*gondorukem*) melalui cara penyulingan (Sastroamidjojo, 2002). Minyak terpentin Indonesia

memiliki kandungan utama berupa α -pinena, β -pinena, 3-karena, limonena dan kamfena (Haneke, 2002). Komponen tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Komponen utama minyak terpentin

Sifat minyak terpentin (pada umumnya) disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat minyak terpentin

Sifat	Keterangan
Penampakan fisik	cairan tak berwarna
Titik didih	150-160°C
Titik lebur	-60 sampai -50°C
Densitas	0,854-0,868 g/cm ³
Kelarutan dalam air	tidak larut (larut dalam benzena, kloroform, eter, petroleum eter, minyak)
Bau	memiliki bau khas

Sumber: SNI minyak terpentin (2011)

Kini juga telah banyak diketahui bahwa pengolahan lebih lanjut dari minyak terpentin dapat menghasilkan komponen yang bernilai ekonomi lebih tinggi dan menjadi bahan tambahan pada industri kosmetik (parfum), pembasmi serangga, antijamur dan desinfektan, serta industri farmasi (Aguirre dkk, 2005).

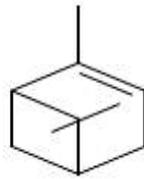
2.2 α -Pinena

Senyawa α -pinena merupakan senyawa organik dari golongan senyawa terpena dan termasuk ke dalam senyawa alkena yang mengandung cincin reaktif karena adanya ikatan rangkap dan dapat ditemukan pada berbagai minyak pohon

jenis konofer terutama pinus. Alfa-pinena berwujud cairan tak berwarna dengan bau khas karakteristik seperti terpentin. Alfa-pinena sangat berguna sebagai bahan dasar untuk pembuatan kamfer sintetik dan monoterpena asiklik seperti geraniol dan sebagainya (Sastrohamidjojo, 2002).

Senyawa α -pinena didapatkan dari proses produksi bubur kertas berbahan dasar kayu pinus dengan kandungan sekitar 92% atau dari hasil isolasi minyak terpentin dengan destilasi pengurangan tekanan (Aguirre, 2005).

Nama IUPAC dari senyawa ini adalah 2,6,6-trimetil bisiklo [3,1,1]-2-heptena dengan struktur seperti yang tersedia dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.2 Struktur senyawa α -pinena

Sifat senyawa α -pinena pada umumnya ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat senyawa α -pinena

Komponen	Keterangan
Rumus molekul	$C_{10}H_{16}$
Kenampakan	Tidak berwarna
Densitas (20°C)	0,858 g/mL
Titik lebur	-64 °C, 209 K, -83 °F
Titik didih	155 °C, 428 K, 311 °F
Kelarutan dalam air	Sukar larut
Indeks bias	1,4656

2.3 Katalis

2.3.1 Pengertian Umum Katalis

Katalis adalah zat lain selain reaktan dan produk, yang ditambahkan pada suatu sistem reaksi untuk mengubah atau meningkatkan laju reaksi kimia

mencapai keadaan kesetimbangan kimianya, tanpa katalis tersebut dikonsumsi oleh proses reaksi. Katalis dapat mempercepat reaksi dengan memberikan mekanisme alternatif yang berbeda dengan mekanisme reaksi tanpa katalis. Mekanisme alternatif tersebut mempunyai energi aktivasi yang lebih rendah daripada reaksi tanpa katalis. Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan campuran reaksi untuk menghasilkan produk (Widjajanti, 2005).

Sifat katalis ideal yang diharapkan dalam suatu reaksi adalah selektif, stabil dan ekonomis. Aktif berarti dapat mempercepat pembentukan intermediet yang terbentuk akibat interaksi antar reaktan. Selektif dapat diartikan memperbanyak hasil atau produk utama yang diinginkan dan memperkecil produk samping dari suatu reaksi katalisis. Stabil berarti katalis tidak berubah sifat fisika dan kimianya setelah reaksi berakhir. Ekonomis berarti bahwa dengan menggunakan jumlah katalis yang sedikit, produk yang dihasilkan lebih baik daripada tidak menggunakan katalis sehingga menghemat biaya (Wibowo, 2004).

Triyono (2002) menjelaskan beberapa karakteristik katalis antara lain: diperlukan dalam jumlah sedikit untuk suatu reaksi, tidak mempengaruhi harga tetapan kesetimbangan, tidak memulai reaksi tetapi hanya mempengaruhi laju reaksi, dan bekerja secara spesifik. Bekerja secara spesifik artinya hanya mengubah satu laju reaksi atau sekelompok reaksi tertentu tetapi tidak untuk reaksi yang lain. Katalis dapat juga dikatakan sebagai suatu zat yang dapat menurunkan energi aktivasi suatu reaksi kimia tanpa mempengaruhi harga konstanta kesetimbangan.

2.3.2 Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fase yang berbeda dengan reaktan. Dengan kata lain, interaksi antara substrat dan katalis berada dalam fase yang berbeda. Reaksinya melibatkan lebih dari satu fase. Umumnya katalis heterogen berada dalam fase padat sedangkan pereaksi atau reaktan pada fase cair. Logam-logam transisi periode keempat adalah contoh katalisator heterogen yang banyak digunakan dalam proses-proses kimia, logam tersebut dapat berada pada keadaan logam murni maupun oksidasinya (Widjajanti, 2005).

Sistem katalis heterogen adalah sistem yang paling luas digunakan dalam bidang industri, hal ini disebabkan karena sistem katalis heterogen memiliki beberapa keuntungan, misalnya dapat digunakan pada suhu tinggi sehingga dapat dioperasikan pada berbagai kondisi dan tidak memerlukan tahap yang panjang untuk memisahkan produk dari katalis. Sakai T dkk (2009) dan de Godoi dkk (2010) mengungkapkan bahwa katalis heterogen dapat memberikan aktivitas katalitik hijau (*green catalytic activity*) dan dapat didaur ulang (regenerasi).

Kelebihan katalis heterogen dibandingkan dengan katalis homogen adalah proses pemisahannya dengan produk yang dihasilkan lebih mudah, diperlukan dalam jumlah yang lebih sedikit, korosi pada reaktor minimal, dan pada umumnya dapat diregenerasi untuk mendapatkan katalis yang hampir sama dengan katalis yang belum dipakai dalam reaksi katalisis (Kurnia, 2007).

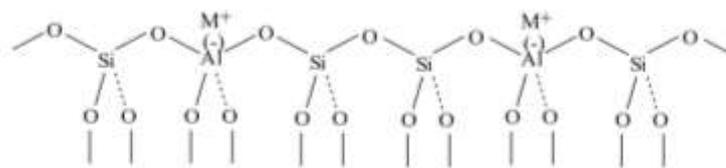
Pada proses katalis heterogen terjadi tahapan reaksi (siklus katalitik) sebagai berikut (Wibowo, 2004):

- a. Transport reaktan ke permukaan katalis

- b. Interaksi antara reaktan dengan katalis (proses adsorpsi pada permukaan katalis)
- c. Reaksi antara spesies-spesies teradsorpsi menghasilkan produk (terbentuk intermediet yang stabil/ reaktif)
- d. Desorpsi produk dari permukaan katalis
- e. Transport produk menjauhi katalis.

2.4 Zeolit

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat dengan rumus struktur $M_{x/n}(AlO_2)_x(SiO_2)_y$, dimana n adalah valensi kation M , $x+y$ jumlah total dari tetrahedral per unit *cell*, dan y/x adalah rasio atom Si/Al yang bervariasi mulai dari minimum 1 hingga tak terbatas. Zeolit merupakan material yang memiliki *lattice* yang besar dan oksigen sebagai pembawa muatan negatif. Silika alumina terasosiasi dengan muatan positif pada struktur antar lapis, seperti ion natrium.



Gambar 2.3 Struktur kerangka zeolit (Tsitsishivili, 1992).

Zeolit secara umum digunakan sebagai katalis dalam berbagai reaksi yang memerlukan katalis asam. Zeolit memiliki aktivitas katalis asam yang tinggi dibandingkan dengan silika/alumina untuk beberapa reaksi. Zeolit juga memberikan aktivitas dan selektivitas yang tinggi dalam berbagai reaksi. Sebagian besar reaksi disebabkan oleh sifat asam katalis. Perlakuan pemanasan

menyebabkan perubahan keasaman zeolit. Zeolit dapat dikembangkan untuk aktivitas katalitik asam yang tinggi, dimana rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 10$. Aktivitas katalitik zeolit berkaitan dengan adanya situs asam dan affinitas proton di dalam kerangka zeolit. Aktivitas katalitik zeolit dapat dipengaruhi oleh situs asam Brönsted dan Lewis. Situs asam Brönsted adalah situs yang dapat melepaskan H^+ dan situs asam Lewis adalah situs yang dapat menerima pasangan elektron (Akpolat dkk, 2004). Zeolit mempunyai kerangka struktur tiga dimensi yang tersusun atas unit tetrahedron $(\text{AlO}_4)^{5-}$ dan $(\text{SiO}_4)^{4-}$ yang saling berikatan melalui atom oksigen, membentuk pori-pori dengan ukuran pori antara 2 sampai 8 Å, bergantung pada jenis mineralnya. Tetrahedron $(\text{AlO}_4)^{5-}$ dan $(\text{SiO}_4)^{4-}$, bilangan oksidasi Al dan Si masing-masing 3 dan 4. Dalam struktur zeolit, Si^{4+} dapat digantikan dengan Al^{3+} sehingga terbentuk muatan berlebih pada Al. hal ini mengakibatkan struktur zeolit kelebihan muatan negatif. Untuk menetralkan muatan negatif kerangka zeolit, zeolit mengikat kation-kation alkali atau alkali tanah seperti Na^+ , K^+ , atau Ca^{2+} . Kation-kation tersebut terletak di luar tetrahedral, dapat bergerak bebas dalam rongga-rongga zeolit dan dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain.

Sintesis zeolit dikembangkan sejak tahun 1960an untuk proses FCC (*fluid catalytic cracking*) yaitu reaksi perengkahan senyawa antara ion karbonium sehingga dikatalisis oleh asam Brönsted. Keasaman zeolit dipengaruhi oleh jumlah ion Na^+ yang terdapat dalam struktur zeolit. Sehingga untuk memperoleh katalis asam padat yang aktivitasnya tinggi, maka ion Na^+ harus disingkirkan dari

struktur zeolit. Pemindahan ion Na^+ dari zeolit umumnya melalui tahap kombinasi dari proses pertukaran kation dengan kalsinasi (Silalahi dkk, 2011).

Zeolit pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} , sedangkan zeolit sintetis biasanya hanya mengandung kation-kation K^+ atau Na^+ .

Keberadaan dan posisi kation pada zeolit sangat penting karena secara signifikan akan mempengaruhi ukuran molekul yang dapat teradsorpsi. Perubahan pada sisi kationik juga akan mempengaruhi sifat adsorptif dan aktivitas katalitik dari zeolit tersebut (Hamdan, 1992).

Keberadaan rongga pada zeolit memberikan luas permukaan internal yang besar sehingga dapat menampung 100 kali molekul lebih banyak daripada katalis amorf dengan jumlah yang sama (Sibarani, 2012). Sifat penyaring molekul dari zeolit dapat mengontrol molekul yang masuk atau keluar dari situs aktif. Karena adanya pengontrolan seperti ini maka zeolit disebut sebagai katalis selektif bentuk (Hamdan, 1992).

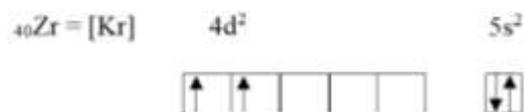
2.5 Logam Transisi: Zirkonium

Zirkonium adalah logam putih keabuan yang jarang dijumpai di alam dalam bentuk bebas. Zirkonium banyak terdapat dalam mineral seperti zirkon <http://id.wikipedia.org/wiki/Zirkon> dan baddeleyit. Zirkonium merupakan salah satu unsur di alam yang memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi.

Zirkonium tidak terdapat dalam bentuk bebas di alam melainkan dalam bentuk zirkonium silikat (ZrSiO_4) dan zirkonium oksida pada badelleyit (ZrO_2). Zirkonium banyak didapatkan dalam batuan vulkanik, basalt, dan batuan granit. Dalam jumlah sedikit zirkonium terdapat pada banyak mineral seperti mineral titanat, tantolo niobat, tanah liat, silikat, dan sebagainya. Dalam jumlah agak besar, zirkonium terdapat pada mineral *badelleyit* dan mineral zirkon atau campuran dari zirkon dioksida dan zirkon silikat (ZrSiO_4).

Zirkonium mempunyai dua bentuk allotropi yaitu α dengan struktur heksagonal, stabil pada temperatur 863°C ke bawah dan bentuk β dengan struktur kubik berkisi-kisi yang stabil pada temperatur 863°C ke atas. Pada temperatur tinggi, zirkonium dapat bereaksi dengan oksigen, nitrogen, halogen, sulfur, hidrogen maupun karbon. Zirkonium hasil pengolahan dari pasir zirkon dalam pemanfaatannya dapat dipadukan dengan unsur-unsur logam lain, yang disebut zircaloy. Logam yang biasa ditambahkan antara lain krom (Cr), besi (Fe), nikel (Ni), timah putih (Sn), dan tembaga (Cu) (Ardiansyah, 2011; Sajima, 2008; Sajima, 2008).

Zirkonium termasuk golongan IV B yang juga disebut golongan dalam unsur transisi yaitu unsur blok d yang konfigurasi elektronnya diakhiri oleh sub kulit d. Konfigurasi elektron dari logam zirkonium adalah sebagai berikut:



Zirkonium dapat dipakai sebagai katalis. Hal ini berhubungan dengan belum penuhnya pengisian elektron pada orbital d. Sesuai aturan Hund, pada

orbital 4d ini terdapat 2 elektron tidak berpasangan. Keadaan inilah yang menentukan sifat-sifat zirkonium, termasuk peranannya dalam reaksi katalitik. Oleh karena itu logam zirkonium mudah membentuk ikatan kovalen koordinat sehingga pembentukan zat antara pada permukaan katalis menjadi lebih mudah.

Logam ini sangat keras dan merupakan konduktor yang mempunyai titik didih dan titik cair yang tinggi. Zirkonium merupakan logam yang mempunyai ketahanan korosi yang besar, baik terhadap asam maupun terhadap basa pada berbagai suhu dan konsentrasi. Selain itu logam zirkonium juga mempunyai titik lebur yang tinggi dan mempunyai sifat mudah dibentuk sehingga kegunaannya dalam industri sangat bervariasi. Zirkonium banyak digunakan dalam proses katalitik pada katalis sebagai pendukung, dan juga sebagai promotor. Jari-jari zirkonium relatif besar sehingga sifatnya lebih tahan terhadap reduksi.

Zirkonium mempunyai titik leleh yang tinggi (2700°C) sehingga membuatnya lebih stabil terhadap panas tinggi (Sugiyarto, 2010). Zirkonium juga merupakan salah satu logam yang penting karena kemungkinan adanya polarisasi yang kuat antara ikatan $\text{SiO}^{\delta-} \dots \text{Zr}^{\delta+}$ (Corma dkk, 2012). Karakteristik zirkonium disajikan dalam Tabel 2.3:

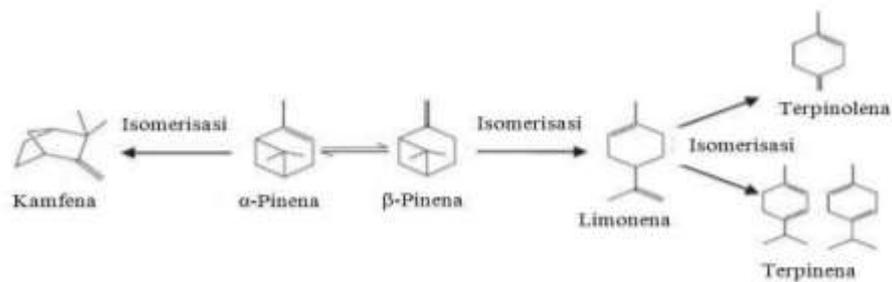
Karakteristik	Zirkonium, ${}_{40}\text{Zr}$
Kelimpahan/ppm (dalam kerak bumi)	220
Densitas/ gcm^{-3}	6,52
Titik Leleh/ $^{\circ}\text{C}$	2700
Titik Didih/ $^{\circ}\text{C}$	4200
Jari-jari atomik/pm	160
Jari-jari ionik/pm	72
Potensial Reduksi: $\text{E}^{\circ}/\text{V}$	-1,43
Konfigurasi elektron	$[\text{}_{36}\text{Kr}] 4\text{d}^2 5\text{s}^2$
Elektronegatifitas	1,4

Nora Comelli dkk (2006) melakukan isomerisasi α -pinena menggunakan zirkonium-sulfat dengan dan tanpa modifikasi Fe dan Mn, zirkonium dengan molibdenum dan tungsten, kaolinitik dan bentonit *clay*. Aktivitas pada reaksi ini terkait dengan keasaman katalis dan jenis situs aktif katalis, serta kekuatan pengaruhnya terhadap rasio selektivitas menjadi produk bisiklik dan produk monosiklik. Diperoleh hasil konversi α -pinena sekitar 50% dengan selektivitas produk kamfena antara 52,6-54,5%. Selektivitas terhadap kamfena lebih tinggi dibandingkan limonena dan turunannya pada reaksi dengan *clay* termodifikasi.

2.6 Reaksi Isomerisasi

Senyawa dengan rumus molekul yang sama, tetapi berbeda beberapa sifat fisika dan kimianya, disebut isomer dan peristiwa dimana terjadi perubahan ulang posisi atom karbon dan atom lainnya dalam satu molekul, disebut isomerisasi. Perbedaan sifat fisika dan kimia tersebut disebabkan karena adanya perbedaan mengenai pengaturan atom karbon dalam isomer-isomernya.

Hasil isomerisasi α -pinena dapat melalui dua jalur paralel (Corma dkk, 2007; Florest-Holguin dkk, 2008), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4 Jalur yang pertama yaitu ekspansi cincin menghasilkan produk bi- dan trisiklik. Produk yang paling menguntungkan dari jalur ini adalah kamfena, yang merupakan senyawa antara untuk memproduksi isoborneol, isobornil asetat, dan kamfer. Jalur yang kedua mengarah pada produk monosiklik seperti limonena dan terpinolena yang juga merupakan bahan kimia industri yang berharga.



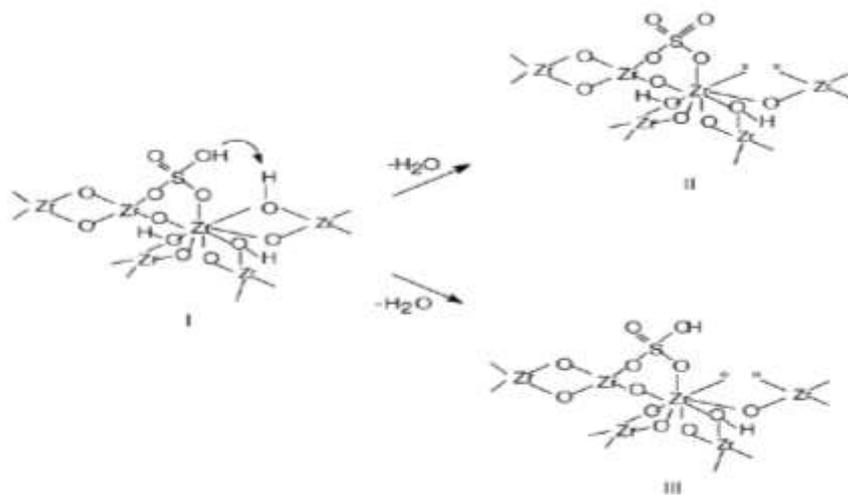
Gambar 2.4. Jalur isomerisasi α -pinena

Proses isomerisasi α -pinena di industri sekarang didasarkan pada katalis TiO_2 termodifikasi yang berlangsung dalam sistem tertutup pada temperatur 150-170°C. Namun, modifikasi TiO_2 dengan asam sulfat masih sedikit dibahas, sedangkan reaksi pada temperatur yang tinggi menyebabkan konsumsi energi yang besar. Oleh karena itu, berbagai katalis heterogen dipelajari dalam rangka menemukan katalis yang stabil pada kondisi reaksi yang ringan, seperti *clay*, katalis hetero-silika, zirkonium sulfat, tanah liat, zeolit yang dimodifikasi, dan beberapa bahan mesopori (Wang dkk, 2010).

2.7 Mekanisme Reaksi Isomerisasi dengan Katalis Heterogen

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang penelitian, telah terjadi peningkatan minat dalam menerapkan katalis heterogen untuk reaksi organik, diantara reaksi tersebut adalah isomerisasi α -pinena. Zirkonium sulfat telah dipelajari secara luas karena mampu mengkatalisis reaksi isomerisasi alkena rantai pendek secara langsung pada temperatur yang relatif rendah. Zirkonium sulfat sangat sensitif terhadap kondisi preparasi dan proses aktivasi yang digunakan sebelum reaksi (Reddy dkk, 2005).

Temperatur aktivasi mempunyai peran yang sangat penting dalam penentuan keasaman katalis karena sifat higroskopis dan pengaruh pada selektivitas reaksinya. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam rangka mencoba untuk membangun model reaksi untuk menjelaskan perilaku katalis ini. Clearfield dkk (1994) mengusulkan suatu model reaksi (Gambar 2.5) berdasarkan anggapan bahwa spesies dominan adalah ion bisulfat bila katalis dibuat dengan asam sulfat, sehingga membentuk spesies I.



Gambar 2.5 Model reaksi isomerisasi menggunakan katalis zirkonium sulfat menurut Clearfield dkk (1994)

Ion bisulfat dapat bereaksi dengan pemanasan terhadap gugus hidroksil yang berdekatan menghasilkan asam Lewis, sehingga membentuk spesies II, atau air dibebaskan dari dua kelompok hidroksil untuk mempertahankan struktur ion bisulfat, spesies III, dan kemudian menghasilkan asam Brönsted. Keasaman ini diproduksi oleh fakta bahwa situs Lewis di sekitar gugus S-O-H dengan kuat menarik elektron, melemahkan ikatan dan memudahkan lepasnya ion H⁺.

Penerapan katalis heterogen untuk reaksi organik juga dilakukan di bawah kondisi homogen. Yadav dkk (2004) melakukan reaksi katalisis isomerisasi α -pinena menggunakan montmorilonit alami India dimodifikasi asam sulfat dengan pertukaran ion. Lebih dari 96% konversi α -pinena diperoleh untuk montmorilonit *clay* dengan selektivitas kamfena mulai dari 39 sampai 49%. Untuk perlakuan asam terhadap *clay* dibuat dengan mereaksikan dengan normalitas asam rendah (1-4N), dengan limonena sebagai produk utama sedangkan untuk asam normalitas tinggi (5-9N), α -terpinena adalah produk utama dari terpena monosiklik.

Reaksi isomerisasi α -pinena menggunakan katalis Zr^{4+}/ZA diperkirakan dapat membentuk dua produk isomer berupa produk bisiklik dan monosiklik. Situs asam Brønsted dari zeolit alam berperan dalam pembentukan produk monosiklik dan situs asam Lewis dari ion logam Zr^{4+} berperan dalam pembentukan produk monosiklik.

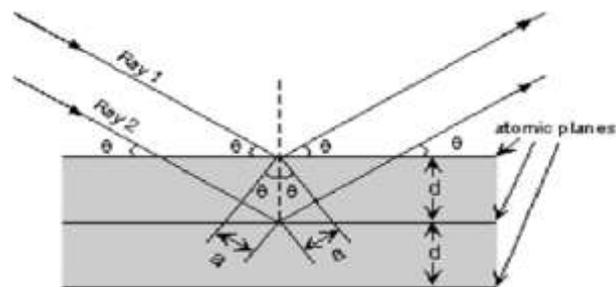
2.8 Analisis dan Karakterisasi

2.8.1 Analisis Difraksi Sinar-X (XRD)

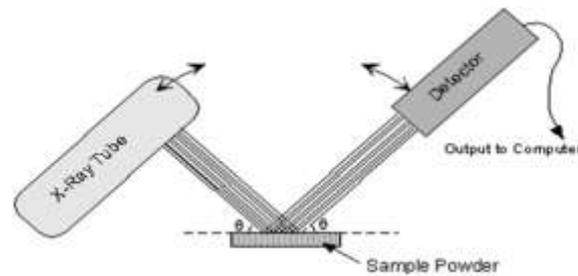
Difraksi sinar-X merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dan menentukan struktur kristal dari suatu padatan, dengan cara hamburan sinar-X. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik berenergi tinggi, dengan kisaran energi antara 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan dari interaksi pancaran elektron eksternal dengan elektron dalam kulit suatu atom. Alat yang digunakan disebut *X-Ray Diffractometer* (XRD).

Prinsip dasar dari XRD adalah hamburan elektron yang mengenai permukaan kristal. Bila sinar dilewatkan ke permukaan kristal, sebagian sinar tersebut akan dihamburkan dan sebagian lagi akan diteruskan ke lapisan berikutnya. Sinar yang dihamburkan akan berinterferensi secara konstruktif (menguatkan) dan destruktif (melemahkan). Hamburan sinar yang berinterferensi konstruktif inilah yang digunakan untuk analisis (Hura, 2007).

Proses difraksi sinar-X seperti disajikan pada gambar 2.6. Sinar-X dibiaskan dan ditangkap oleh detektor kemudian ditejemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola difraktogram mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk semua jenis material (Nelson, 2010).



Gambar 2.6 Difraksi sinar-X pada kisi kristal



Gambar 2.7. Proses Analisis Difraksi Sinar X (Nelson, 2010)

Agar berkas sinar yang dihamburkan atom-atom kristal secara konstruktif maka beda lintasan antara kedua berkas harus sama dengan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombangnya, yaitu λ , 2λ , 3λ dan seterusnya. Selisih jarak antara dua berkas sinar adalah $2d \sin \theta$, maka persamaan matematis untuk terjadinya interferensi konstruktif adalah sebagai berikut:

$$2d \sin \theta = \lambda$$

dengan d = jarak antar bidang, θ = sudut difraksi, λ = panjang gelombang sinar-X, rumus di atas dikenal dengan Hukum Bragg. Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi yang sangat tinggi akibat panjang gelombangnya pendek.

2.8.2 XRF

Spektroskopi XRF adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Teknik ini banyak digunakan dalam analisis batuan karena membutuhkan jumlah sampel yang relatif kecil (sekitar 1 gram). Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam batuan atau material. Sampel yang digunakan biasanya berupa serbuk halus hasil penggilingan atau pengepresan. Prinsip analisis menggunakan XRF adalah apabila elektron dari suatu kulit atom

bagian dalam dilepaskan, maka elektron yang terdapat pada bagian kulit luar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang sesuai karakteristik unsur tersebut. Pada teknik difraksi sinar-X suatu berkas elektron yang digunakan, dihasilkan dari tembakan berkas elektron terhadap suatu unsur di anoda untuk menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang diketahui.

Seperti pada tabung pembangkit sinar-X, elektron dari kulit bagian dalam suatu atom pada sampel analit menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang karakteristik dari setiap atom di dalam sampel. Untuk setiap atom di dalam sampel, intensitas dari sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom di dalam sampel. Dengan demikian, jika kita dapat mengukur intensitas sinar-X karakteristik setiap unsur kita dapat membandingkan intensitasnya dengan suatu standar yang diketahui konsentrasinya, sehingga konsentrasi unsur dalam sampel bisa ditentukan.

Instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran tersebut dinamakan *X-Ray Fluorescence* Spektrometer. Peralatan ini terdiri dari tabung pembangkit sinar-X yang mampu mengeluarkan elektron dari semua jenis unsur yang diteliti.

Kelebihan dari metode XRF adalah memiliki akurasi yang tinggi, dapat menentukan unsur dalam material tanpa adanya standar dan dapat menentukan kandungan mineral dalam bahan biologik maupun dalam tubuh secara langsung. Adapun beberapa kelemahannya adalah tidak dapat mengetahui senyawa apa yang

dibentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam mineral yang diteliti dan tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material ini.

2.8.3 Isoterm BET

Isoterm BET merupakan salah satu metode penentuan luas permukaan zat padat dengan prinsip adsorpsi molekul gas pada permukaan padatan. Isoterm BET menyediakan informasi dasar untuk teknik analisis penentuan luas permukaan spesifik suatu material.

Kriteria luas permukaan yang ditentukan menggunakan metode analisis isoterm BET adalah:

1. Rendah (*Low Surface area*) yaitu kurang dari $10 \text{ m}^2/\text{g}$,
2. Sedang (*Moderate surface area*) yaitu $50\text{-}100 \text{ m}^2/\text{g}$,
3. Tinggi (*High surface area*) yaitu $200\text{-}500 \text{ m}^2/\text{g}$,
4. Sangat tinggi (*Very high surface area*) yaitu lebih dari $800 \text{ m}^2/\text{g}$.

Distribusi pori diklasifikasikan menjadi:

1. Mikropori (berpori kecil) yaitu kurang dari $0,5 \text{ nm}$,
2. Mesopori (berpori sedang) yaitu $1,0\text{-}3,0 \text{ nm}$,
3. Makropori (berpori besar) yaitu lebih dari $5,0 \text{ nm}$ (Wibowo, 2004).

Konsep dari teori ini adalah lanjutan dari teori isoterm Langmuir, dimana teori adsorpsi monolayer molekul ke adsorpsi multilayer dengan diikuti hipotesis:

(a) molekul gas yang teradsorpsi pada permukaan padatan dapat membentuk lapisan tak berhingga, (b) tidak ada interaksi antar masing-masing layer, (c) tiap layer memenuhi teori isoterm Langmuir.

2.8.4 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Spektroskopi inframerah atau *fourier transform infrared* (FTIR) adalah metode analisis yang digunakan untuk identifikasi gugus fungsi dengan berdasarkan spektra absorpsi sinar inframerahnya. Metode ini dapat menentukan komposisi gugus fungsi dari senyawa sehingga dapat membantu memberikan informasi untuk penentuan struktur molekulnya. Sampel yang digunakan dapat berupa padatan, cairan ataupun gas. Analisis dengan metode ini didasarkan pada fakta bahwa molekul memiliki frekuensi spesifik yang dihubungkan dengan vibrasi internal dari atom gugus fungsi.

Dalam spektroskopi inframerah, seperti halnya dengan tipe penyerapan energi yang lain maka molekul akan tereksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi bila menyerap radiasi infra merah. Penyerapan radiasi infra merah merupakan proses kuantisasi dan hanya frekuensi (energi) tertentu dari radiasi infra merah yang akan diserap oleh molekul. Pada spektroskopi infra merah, inti-inti atom yang terikat secara kovalen akan mengalami getaran bila molekul menyerap radiasi infra merah dan energi yang diserap menyebabkan kenaikan pada amplitudo getaran atom-atom yang terikat. Panjang gelombang serapan oleh suatu tipe ikatan tertentu bergantung pada macam ikatan tersebut, oleh karena itu tipe ikatan yang berlainan akan menyerap radiasi infra merah pada panjang gelombang karakteristik yang berlainan.

Akibatnya setiap molekul akan mempunyai spektrum infra merah yang karakteristik pada konsentrasi ukur tertentu, yang dapat dibedakan dari spektrum

lainnya melalui posisi dan intensitas pita serapan, sehingga dapat digunakan untuk penjelasan struktur, identifikasi dan analisis kuantitatif (Sastrohamidjojo, 1992).

2.8.5 Gas Chromatography (GC)

Kromatografi Gas merupakan salah satu teknik pemisahan yang sering digunakan dalam analisis kimia. Proses pemisahan komponen-komponen sampel dalam kromatografi gas berlangsung di dalam kolom berdasarkan interaksi komponen sampel dan fase diam. Komponen-komponen yang dipisahkan, didistribusikan di antara dua fase, yaitu fase diam dan fase gerak. Fase gerak berfungsi membawa sampel, sedangkan fase diam berfungsi untuk mengadsorpsi atau partisi komponen. Interaksi tersebut dapat berupa adsorpsi atau partisi. Jika fase diamnya berupa padatan berpori, maka peristiwanya adalah adsorpsi, dan bila fase diamnya berupa cairan peristiwanya adalah partisi gas-cair.

Proses kromatografi gas mirip dengan peristiwa gabungan antara ekstraksi dan destilasi. Proses pemisahannya dapat dipandang sebagai serangkaian peristiwa partisi, dimana sampel masuk ke dalam fase cair, dan selang beberapa waktu akan teruapkan kembali. Interaksi antara fase gerak dengan fase diam sangat menentukan berapa lama komponen-komponen akan ditahan. Komponen yang mempunyai afinitas lebih rendah (tidak suka) terhadap fase diam akan keluar dari kolom lebih dulu. Sedangkan komponen-komponen dengan afinitas lebih besar (larut dengan baik) terhadap fase diam akan keluar dari kolom kemudian.

Kromatografi gas merupakan metode yang tepat dan cepat untuk memisahkan campuran yang sangat rumit. Waktu yang dibutuhkan beragam, mulai dari beberapa detik untuk campuran sederhana sampai beberapa jam untuk

campuran yang mengandung 500-1000 komponen. Komponen campuran dapat diidentifikasi dengan menggunakan waktu retensi yang khas untuk setiap komponen. Waktu retensi adalah waktu yang menunjukkan berapa lama suatu senyawa tertahan dalam kolom.

Prinsip kerja alat kromatografi gas yaitu sampel diinjeksikan ke dalam injektor, sampel dibawa oleh gas pembawa masuk ke dalam kolom yang berisi padatan sebagai fase diam. Fase diam memiliki sifat dapat berinteraksi dengan komponen-komponen dalam sampel, sehingga dapat menghambat laju alir masing-masing komponen. Besarnya hambatan untuk masing-masing komponen berbeda, sehingga keluarnya sampel di ujung kolom tidak bersamaan. Komponen yang keluar dari kolom dilewatkan ke detektor, signal dari detektor dikirim melalui amplifier ke rekorder dan dicatat sebagai kromatogram (Sunardi, 2004).

Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya.

Kromatografi gas ini juga mirip dengan destilasi fraksional, karena kedua proses memisahkan komponen dari campuran terutama berdasarkan perbedaan titik didih (atau tekanan uap). Namun destilasi fraksional biasanya digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dari campuran pada skala besar, sedangkan kromatografi gas digunakan pada skala yang lebih kecil (Pavia, 2006).

BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia Universitas Negeri Semarang. Penelitian yang dilakukan meliputi preparasi dan karakterisasi katalis zeolit alam hasil aktivasi dan hasil impregnasi ion Zr^{4+} , serta kajian tentang pengaruh temperatur dan waktu terhadap hasil reaksi isomerisasi.

Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit alam yang didapatkan dari Malang Jawa Timur dan telah diaktivasi menggunakan perlakuan asam dan garam. Untuk mengetahui kualitas dan karakteristik dari katalis yang telah dibuat, dilakukan uji sifat-sifat permukaan spesifik, rerata jejari pori, dan volume total pori katalis menggunakan metode BET, uji kristalinitas dan kisi kristal katalis Zr^{4+}/ZA dengan menggunakan XRD dan uji pengembangan ion logam zirkonium ke dalam pori-pori zeolit alam dengan menggunakan XRF, serta uji keasaman zeolit.

α -pinena yang digunakan berasal dari hasil isolasi minyak terpenin Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah yang dikarakterisasi dengan IR dan GC. Reaksi isomerisasi dilakukan dengan memvariasi waktu dan temperatur reaksinya. Produk hasil reaksi kemudian dianalisis menggunakan IR, GC, dan hasil terbaik dengan GC-MS.

3.1 Variabel Penelitian

3.1.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang akan diteliti pengaruhnya terhadap variabel terikat (dapat mempengaruhi variabel terikat). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu dan temperatur reaksi yang digunakan. Temperatur yang digunakan yaitu pada 90, 120, dan 150°C. Sedangkan variasi waktu yang digunakan yaitu 60, 90, 120, 150 dan 180 menit.

3.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang menjadi titik pusat penelitian, dan merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu konversi senyawa α -pinena menjadi produk isomernya.

3.1.3 Variabel Terkendali

Variabel terkontrol merupakan variabel yang dapat mempengaruhi produk hasil reaksi selama reaksi berlangsung, tetapi dapat dikendalikan, sehingga dianggap tidak memberikan hasil yang berbeda selain dari perlakuan variabel bebas. Variabel yang dikendalikan pada penelitian ini adalah kecepatan pengadukan, volume reaksi, cara kerja, dan alat-alat yang digunakan dalam melangsungkan reaksi.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: alat-alat gelas laboratorium, oven, kertas saring, seperangkat alat destilasi, dan seperangkat alat refluks.

Alat-alat analisis yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi: *gas chromatography (GC) Agilent 6890 Series* untuk mengetahui kadar dan jumlah senyawa dalam suatu zat, *gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) Perkin Elmer* untuk mengetahui rumus molekul dan rumus struktur di dalam senyawa hasil. *X-Ray Diffraction (XRD) Philips Expert* untuk karakterisasi katalis yaitu mengetahui struktur kristal, *Surface Area Analyzer* metode BET (Brunauer, Emmet, Teller) Quantachrome ASiQwin 1.11 digunakan untuk karakterisasi porositas katalis, *X-Ray Fluorescence (XRF) PANalytical Minipal 4* untuk mengetahui keberhasilan pengembunan logam ke dalam katalis, uji keasaman katalis dan spektrofotometer FT-IR Shimadzu *Instrument Spectrum One 8400S* untuk mengetahui gugus fungsi suatu zat.

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah minyak terpenin, aquades, aquademin, zeolit alam (Malang), AgNO_3 1% (Merck), Na_2SO_4 anhidrat, HCl 2M (Merck), HF 1%, NH_4Cl (Merck), dan gas N_2 .

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Perlakuan Awal Zeolit Alam

Perlakuan awal zeolit alam mula-mula dilakukan dengan menghancurkan dan menghaluskan zeolit alam dengan ukuran 100 *mesh*. Merendam zeolit alam lolos ayakan 100 *mesh* dengan aquades pada temperatur kamar sebanyak tiga kali. Menyaring lalu mengeringkan zeolit alam dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam. Zeolit alam telah siap diaktivasi.

3.3.2 Aktivasi Zeolit Alam (Trisunaryanti, 2005)

Aktivasi zeolit alam dilakukan dengan perlakuan asam dan garam. Aktivasi zeolit alam dilakukan dengan merendam 80 gram serbuk zeolit alam dengan 100 mL larutan HF 1% selama 30 menit, kemudian mencuci zeolit alam dengan aquademin. Selanjutnya, mengeringkan zeolit alam bebas HF dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam, lalu dihaluskan kembali.

Merendam zeolit bebas HF dengan 100 mL HCl 2M selama 30 menit pada temperatur 50°C sambil diaduk dengan pengaduk magnet. Kemudian mencuci zeolit alam hasil rendaman HCl dengan aquademin sampai ion Cl⁻ hilang (uji dengan AgNO₃ 1%). Kemudian mengeringkan zeolit alam bebas ion Cl⁻ dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam dan dihaluskan kembali. Hasil aktivasi ini disebut zeolit alam teraktivasi asam.

Langkah selanjutnya adalah merendam zeolit alam teraktivasi asam dengan NH₄Cl 1N. Kemudian menyaring zeolit alam. Setelah disaring, zeolit alam direndam dengan aquademin sampai ion Cl⁻ hilang (uji dengan AgNO₃ 1%). Lalu mengeringkan zeolit alam teraktivasi dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam, kemudian dihaluskan kembali. Hasil dari proses ini disebut H-zeolit alam (H/ZA). Zeolit hasil aktivasi dihaluskan kembali kemudian dianalisis luas permukaannya menggunakan BET.

3.3.3 Kalsinasi Katalis

Kalsinasi H/ZA dilakukan pada temperatur 400°C selama 4 jam dalam tanur kalsinasi dengan dialiri gas nitrogen 10 mL/menit.

3.3.4 Impregnasi Zr dari $ZrCl_4$ pada H/ZA

Sebelum melakukan impregnasi logam Zr dalam H/ZA, mula-mula membuat larutan $ZrCl_4$ dengan cara melarutkan 6,9 g bubuk $ZrCl_4$ ke dalam 90 mL aquademin di dalam almari asam. Selanjutnya diaduk sampai homogen. Kemudian, impregnasi dilakukan dengan merendam 27 g zeolit alam dalam 90 mL larutan $ZrCl_4$ pada temperatur $90^\circ C$ sambil diaduk. Impregnasi dilakukan sampai seluruh larutan menguap (diperoleh bubuk), yang selanjutnya disebut katalis Zr^{4+}/ZA . Selanjutnya, mengeringkan Zr^{4+}/ZA dalam oven pada temperatur $90^\circ C$ selama 3 jam. Kemudian mengkalsinasi Zr^{4+}/ZA pada temperatur $400^\circ C$ selama 4 jam. Katalis yang telah dikalsinasi lalu dikarakterisasi dengan XRD, XRF, BET dan uji keasamaan.

3.3.5 Isolasi α -pinena dari minyak terpentin

Menyiapkan minyak terpentin sebanyak 500 mL lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Kemudian menambahkan Na_2SO_4 anhidrat untuk mengikat air di dalam minyak sampai Na_2SO_4 anhidrat tidak larut lagi, kemudian minyak terpentin disaring untuk memisahkan endapan dengan minyak. Memasukkan minyak terpentin yang sudah bebas air ke dalam labu alas bulat lalu dipasang dengan alat destilasi fraksinasi pengurangan tekanan. Selanjutnya, memulai destilasi fraksinasi pengurangan tekanan, minyak terpentin dipanaskan pada temperatur sekitar $60^\circ C$. Hasil destilasi diuji dengan spektroskopi infra merah dan kromatografi gas.

3.3.6 Reaksi Isomerisasi α -pinena (Yadav dkk. 2004)

Reaksi isomerisasi dilakukan dengan memasukkan 10 mL α -pinena ke dalam labu leher tiga. Kemudian dipanaskan sampai temperatur 90°C. Selanjutnya memasukkan katalis Zr^{4+}/ZA sebanyak 0,5 gram dan direaksikan selama 60 menit (Nora A. Comelli dkk, 2005). Melakukan pengambilan sampel setelah katalis ditambahkan pada waktu reaksi 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Produk dipisahkan dengan disentrifugasi selama 15 menit. Katalis dipisahkan dan hasil diuji dengan kromatografi gas. Langkah selanjutnya adalah mengulangi tahapan reaksi yang sama untuk variasi temperatur 120 dan 150°C.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan variasi temperatur reaksi yang digunakan dalam reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA , temperatur berpengaruh terhadap peningkatan konsentrasi senyawa isomer yang dihasilkan. Adapun temperatur reaksi yang paling baik dalam penelitian ini ialah $150^{\circ}C$ dengan senyawa hasil isomer berupa kamfena, β -pinena, 3-karena, p-simena, limonena dan terpinolena.
2. Waktu reaksi berpengaruh terhadap konversi α -pinena menjadi senyawa isomernya yang ditunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi produk isomer. Dalam penelitian ini diperoleh waktu reaksi terbaik ialah 180 menit dengan konversi α -pinena 9,24% dari kadar α -pinena awal.
3. Konversi yang diperoleh dari reaksi isomerisasi α -pinena menggunakan katalis Zr^{4+}/ZA relatif kecil karena luas permukaan dan karakterisasi katalis kurang maksimal.

5.2 Saran

Berdasarkan kajian pengaruh waktu dan temperatur reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA yang telah dilakukan, maka dapat diberikan saran sebagai berikut :

1. Reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA perlu dikaji lagi dengan melakukan variasi lain, seperti metode pengembunan logam, variasi kecepatan pengadukan, variasi temperatur kalsinasi, dan optimalisasi kondisi reaksi sehingga produk yang dihasilkan lebih selektif dan lebih optimal.
2. Perlu dilakukan modifikasi alat reaksi isomerisasi α -pinena menggunakan reaktor alir agar jumlah produk yang dihasilkan lebih banyak.
3. Kalsinasi katalis dilakukan pada temperatur 500 °C agar didapatkan struktur katalis dan sifat permukaan katalis yang lebih baik.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui aktivitas dan selektivitas katalis Zr^{4+}/ZA untuk mengkonversi α -pinena menjadi senyawa isomernya dalam kondisi optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguirre, R., L.De la Torre-Saenz, Wilber A. F., A. Robau-Sanchez, and A.A. Elguezabal. Synthesis of Terpineol from α -Pinene by Homogeneous Acid Catalysis. 2005. *Journal of Catalysis Today*, 107-108: 310-314
- Akpolat, O., G. Gunduz, F. Ozkan, N. Besun. 2004. Isomerization of α -pinene over calcined natural zeolites. *Applied Catalysis A: General* 265: 11-22
- Alexander, E. 2014. *Aktivasi Katalis Fe^{3+} -Zeolit Alam dan Zr^{4+} -Zeolit Alam pada Reaksi Aromatisasi Asetilatif 1,8-Sineol dari Minyak Kayuputih*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Amilia, N. 2013. *Pengaruh Temperatur Pada Reaksi Hidrasi α -Pinena Menjadi α -Terpineol Sistem Hidrogen Dengan Katalis Zeolit Alam Teraktivasi*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Anderson JA, Fergusson C, Rodriguez-Ramos I, Guerrero-Ruiz A (2000) *J Catal* 192:344
- Ardiansyah. 2011. *Ekstraksi Senyawa Zirkonia dari Pasir Zirkon dengan Metode Mechanical Activation*. Skripsi. Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- Ariyanti, D. 2014. *Uji Aktivitas Katalis Mo-Ni/ZA Pada Proses Perengkahan Katalitik Polietilen (PE) Menjadi Fraksi Minyak Bumi*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Augustine, R.L. 1996. *Heterogenous Catalysis for The Synthetic Chemist*, 1st ed., New York: Marck Dekker, Inc
- Badriyah, L. 2012. *Pengaruh Temperatur Pada Reaksi Hidrodenitrogenasi Piridin Dengan Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Clearfield, G.P.D. Serrette, A.H. Khazi-Syed. Sulfated Zirconia-catalyzed One-pot Benign Synthesis of 3,4-Dihydropyrimidin-2(1H)-ones under Microwave Irradiation. 1994. *Catal. Today* 20 295
- Comelli, N., Ponzi, E., Ponzi, M., 2006. α -pinene isomerization to camphene effect of thermal treatment on sulfated zirconia. *Chemical Engineering Journal*, 117 (2): 93–99
- Corma, A., Iborra, S., Velty, A., 2007. Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals. *Chemical Review*, 107 (6): 2411–2502

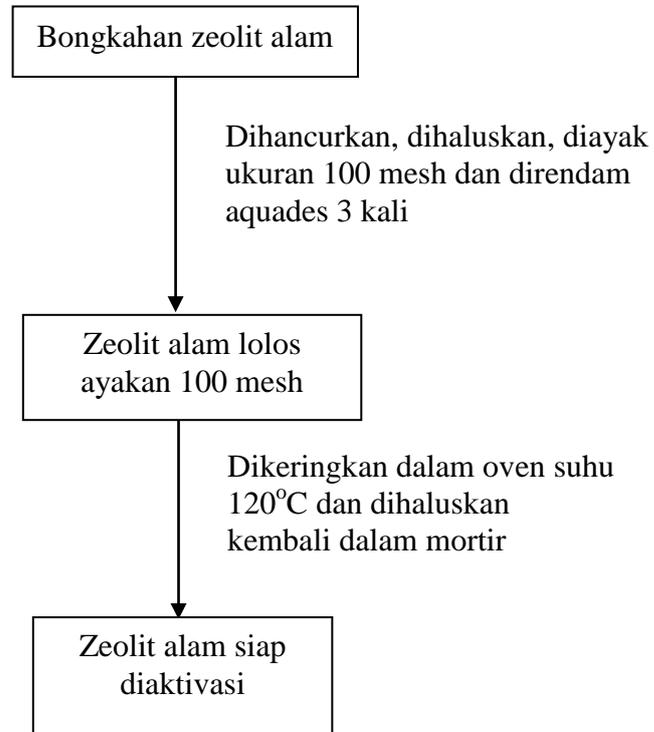
- Corma, A., Navarro, M T. & Perez P J. 2012. Synthesis of an Ultralarge Pore Titanium Silicate Isomorphous to MCM-41 and its Application as a Catalyst for Selective oxidation of Hydrocarbons. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, 2: 147-148
- Damayanti, E. 2011. *Isomerisasi Senyawa α -Pinena Oksida Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- de Godói Silva VW, Laier LO, da Silva MJ. 2010. Novel $H_3PW_{12}O_{40}$: catalyzed esterification reactions of fatty acids at room temperature for biodiesel production. *Catal Lett.* (11) 135:207
- Departemen Kehutanan. 2011. SNI Minyak Terpentin, diakses melalui http://www.dephut.go.id/halaman/standarisasi_&_lingkungan_kehutanan/sni/minyak_terpentin.html
- Encormier, M., K. Wilson, and A. Lee. 2003. Structure–Reactivity Correlations in Sulphated-Zirconia Catalysts for the Isomerisation of α -pinene, *J. Catal.* 215:57–65
- Encormier, M., Lee, A., Wilson, K., 2005. High activity, templated mesoporous $SO_4/ZrO_2/HMS$ catalysts with controlled acid site density for α -pinene isomerisation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 80 (1–3): 301–310
- Fachriyah, E. dan Sumardi. 2007. Identifikasi Minyak Atsiri Biji Kapulaga (*Amomum cardamomum*). *Jurnal Sains & Matematika (JSM)* 15 (2), 83-87
- Flores-Holguín, N., Aguilar-Elguézabal, A., Rodríguez-Valdez, L., Glossman-Mitnik, D., 2008. Theoretical study of chemical reactivity of the main species in the α -pinene isomerization reaction. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 854 (1–3): 81–88
- Hamdan, H. 1992. *Introduction to zeolite synthesis, characterization and modifications*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia
- Handoko, D. S. P. 2005. *Aktivitas Katalis Ni/H5-NZA dan Mekanismenya Pada Konversi Fraksi Solar dan Bensin dengan Umpan Pancingan Jenis Metanol dan Butanol*. Skripsi. Jember: Kimia FMIPA Universitas Jember
- Haneke, K. E. 2002. *Turpentine (Turpentine Oil, Wood Turpentine, Sulfate Turpentine, Sulfite Turpentine), Review of Toxicological Literature*. North Carolina: Integrated Laboratory Systems

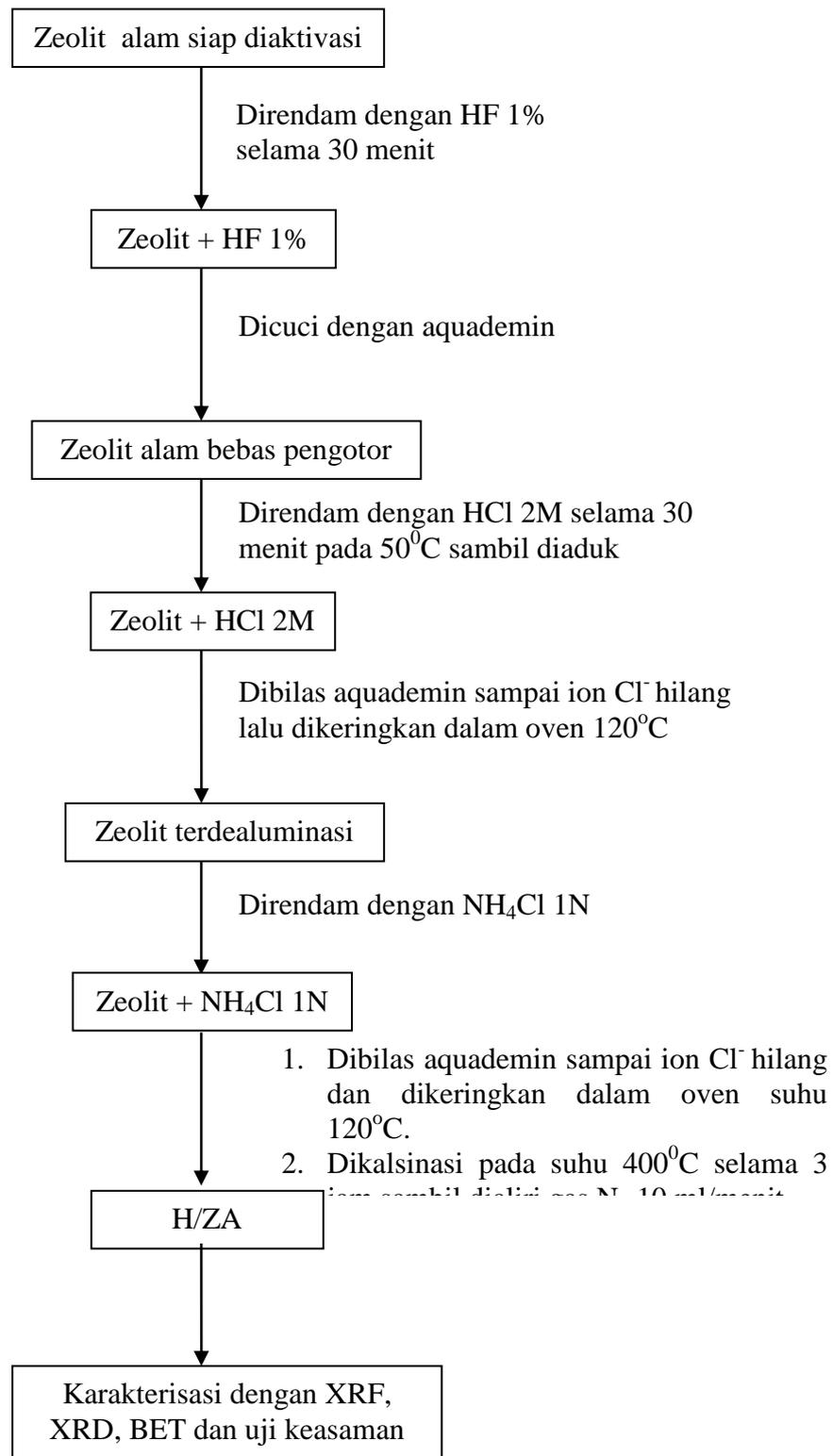
- Herald, E., Hisyam, S.W & Sulistyono. 2003. Karakterisasi dan aktivasi zeolit alam Ponorogo. *Indo J Chem* 3(2):91-97.
- Hura, Calvin. 2007. *Sintesis Biodiesel (Metil Ester) Melalui Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Minyak Jarak Menggunakan Katalis Heterogen Gamma Al₂O₃ dengan Impregnasi KOH dan K₂CO₃*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- Jozef-Zsolt, S. B. 2011. The Study Of α -pinene Isomerization in Acidic Heterogenous Catalysis.
- Kurnia, Apriliyani. 2007. *Pengaruh Perbandingan Mol Mg/Al dalam Katalis Mg-Al Hidrotalsit terhadap Reaksi Heterogen Katalisis Transesterifikasi Minyak Jarak dengan Metanol*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- Laporan Tahunan Perum Perhutani. 2012. Pemantapan proses bisnis menuju perhutani ekselen, diakses pada tanggal 15 Juni 2014 melalui http://perumperhutani.com/wpcontent/uploads/2013/07/ARA_Perhutani_2012_LOW.pdf
- Lestari, Y. D., 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia UNY*
- Masruri dan A. Srihardyastuti. 2005. Reaksi asiloksilasi hidroksilasi terhadap α -pinena: Pemanfaatan Produk Reaksinya sebagai Penghambat Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, *NATURAL*, 9 (1): 6-11
- Masruri, B. Purwono, dan M. Muchalal. 2014. α -pinene in Acidic Conditions: Products Determination and the Reaction Kinetics, *Proceeding of The 4th Annual Basic Science International Conference (BaSIC), February 12-13rd*. Batu, Indonesia
- Masruri, M. F. Rahman, dan T. I. Prasajo. 2007. Identifikasi dan uji aktifitas antibakteri senyawa volatil terpenoid minyak terpenin, *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati (Life Sciences)*, 19 (1): 32-35
- Muharani, D. T. S. Julianto, D. Rubiyanto. 2013. Pengaruh Waktu Reaksi Pada Konversi α -pinen Menjadi Terpeneol Menggunakan Katalis Asam Sulfat. Yogyakarta: FMIPA Universitas Islam Indonesia
- Muthiah, S. 2014. *Aktivitas Dan Selektivitas Katalis Zr⁴⁺-Zeolit Beta Pada Reaksi Asetilasi 2-Metoksinaftalena Dengan Anhidrida Asam Asetat*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang

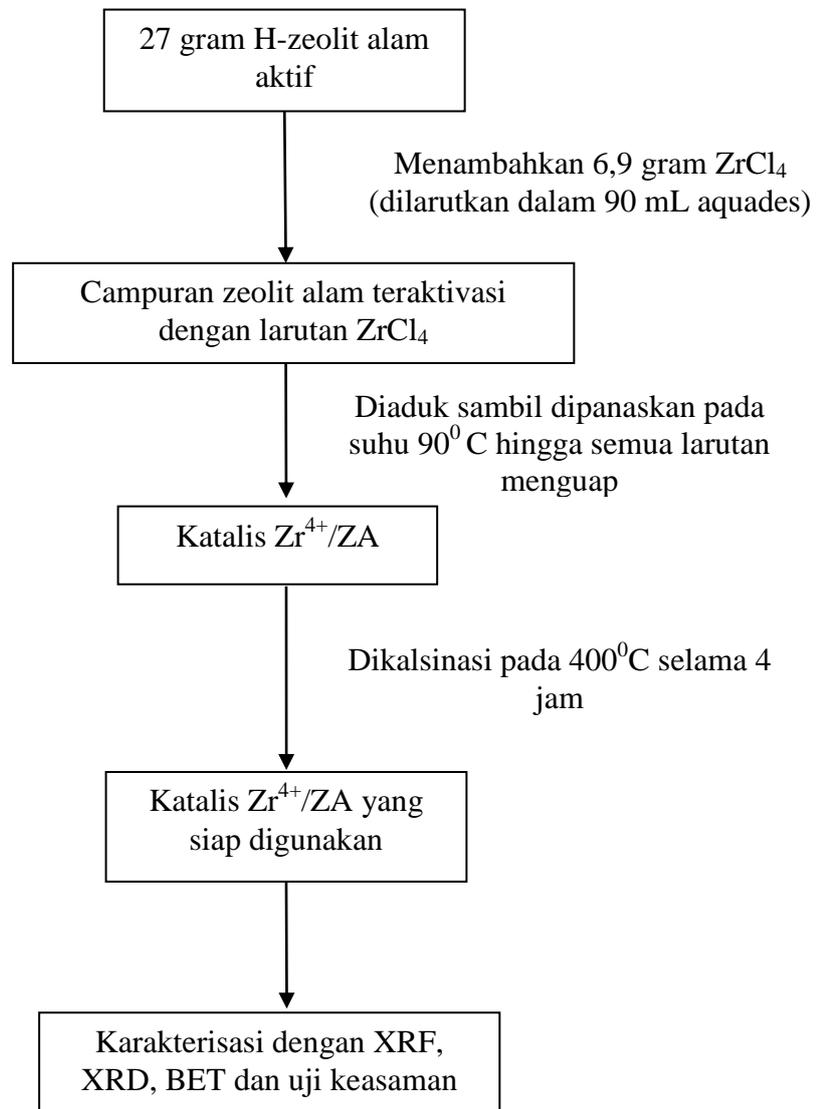
- Nelson, S A. 2010. X-ray Crystallography, www.tulane.edu diakses 19 Juni 2014
- Pavia, Donald L., Gary M. Lampman, George S. Kriz, Randall G. Engel. 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques*. Thomson Brooks/Cole. Pp. 797-817
- Prasetyoko, D. 2005. *Sintesis & Karakterisasi ZSM-5 Mesopori serta Uji Aktivitas Katalitik pada Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Stearin Kelapa Sawit*. Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Rachwalik, R., Olejniczak, Z., Jiao, J., Huang, J., Hunger, M., Sulikowski, B. 2007. Isomerization of α -pinene over dealuminated ferrierite-type zeolites. *Journal of Catalysis* 252 (2), 161–170
- Reddy, B.M., P. M. Srekanth, V. R. Reddy. 2004. Modified zirconia solid acid catalysts for organic synthesis and transformations. *Journal of Molecular Catalysis*. 225, 17-78
- Rianto, L.B., S. Amalia, S.N. Khalifah. 2012. Pengaruh Impregnasi Logam Titanium Pada Zeolit Alam Malang Terhadap Luas Permukaan Zeolit. *Alchemy*, 2(1): 58-67
- Rilian, M. 2009. *Transformasi Minyak Jarak Menjadi Senyawa Metil Ester Menggunakan Katalis Padatan Asam Dan Basa Dengan Reaktor Fixed Bed Distilasi Reaktif*. Skripsi. Depok: FMIPA Universitas Indonesia
- Rodiansono, W. Trisunaryanti, dan Triyono. 2007. Pengaruh Pengembangan Logam Ni dan Nb₂O₅ pada Karakter Katalis Ni/Zeolit dan Ni/Zeolit-Nb₂O₅. *Sains dan Terapan Kimia*, 1(1): 20-28
- Rosika, K., Fatmiah, S., & Arif, N. 2006. Pengembangan Analisis Menggunakan XRF untuk Penentuan Unsur Pb, Fe, dan Ti dalam Larutan dengan Metode Tetes. *Risalah Seminar Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*: 57-62
- Ryczkowski, Janusz. 2001. IR Spectroscopy in catalysis. *Catalysis Today*, 68: 263-381
- Sajima. 2008. *Pengoperasian Reaktor Pelindian, Laporan Kerja, PTAPB-BATAN*. Yogyakarta
- Sajima. 2008. *Pengoperasian Tungku Peleburan, Laporan Kerja, PTAPB-BATAN*. Yogyakarta

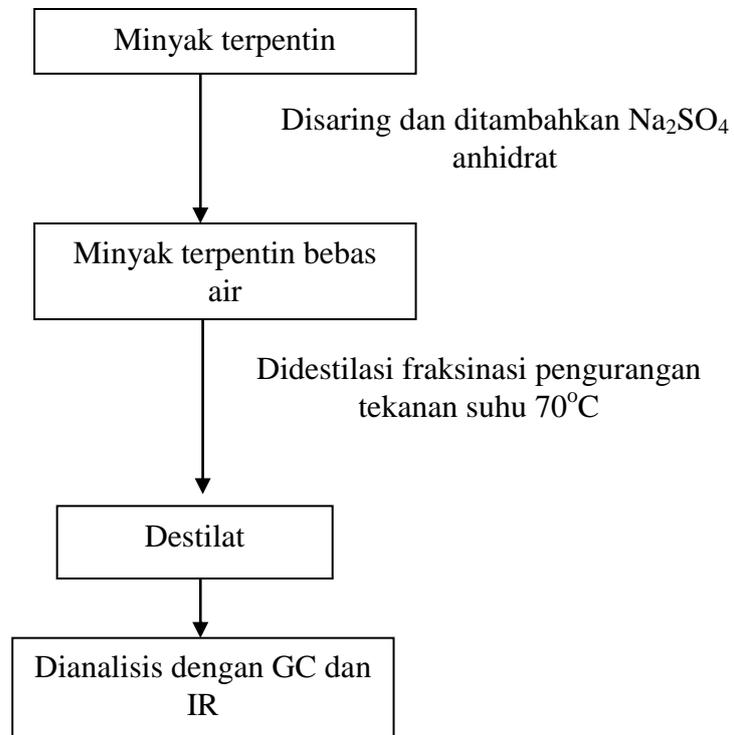
- Sakai T, Kawashima A, Koshikawa T. 2009. Economic assessment of batch biodieselproduction processes using homogeneous and heterogeneous alkali catalysts. *Bioresource Technol* 100:3268–76
- Santi, D. 2013. Modifikasi Zeolit Alam Sebagai Katalis dan Uji Aktivitas Katalis Dalam Reaksi Hidrorengkah Minyak Kulit Jambu Mete (*Anacardium Occidentale*) Menjadi Biogasoline dan Biodiesel. *Istech* 5 (2), Agustus 2013: 104-108
- Sastroamidjojo, Hardjono. 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada
- Sastroamidjojo, Hardjono. 2002. *Buku Ajar Kimia Minyak Atsiri*. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada
- Setyawan D dan P. Handoko, 2002, “Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam”, *Jurnal Ilmu Dasar*, (3): 15-23
- Severino, A., Esculcas, A., Rocha, J., Vital, J., Lobo, L., 1996. Effect of extra-lattice aluminium species on the activity, selectivity and stability of acid zeolites in the liquid phase isomerisation of α -pinene. *Applied Catalysis A General* 142 (2), 255–278
- Sibarani, L. K. 2012. *Preparasi, Karakterisasi, Dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam Pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin*. Skripsi. Depok: FMIPA Universitas Indonesia
- Siddiqui, M.A.B., A.M. Aitani, M.R. Saeed, N. Al-Yassir, S. Al-Khattaf. 2011. *Enhancing propylene production from catalytic cracking of Arabian Light VGO over novel zeolites as FCC catalyst additives*. *Journal Fuel Elsevier*
- Sidhpuria, K. B., B. Tyagi, R. V. Jasra. 2011. ZrO₂-SiO₂ Mixed Oxides Xerogel and Aerogel as Solid Acid Catalysts for Solvent Free Isomerization of α -pinene and Dehydration of 4-Methyl-2-Pentanol. *Catal Lett (2011)* 141:1164-1170
- Silalahi, I. H., A. Sianipar, E. Sayekti. 2011. Modifikasi Zeolit Alam Menjadi Material Katalis Perengkahan. *Jurnal Kimia Mulawarman* 8 (2), Mei 2011: 89-93
- Sugiyanto, K.H. & Suyanti, R.D. 2010. *Kimia Organik Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu

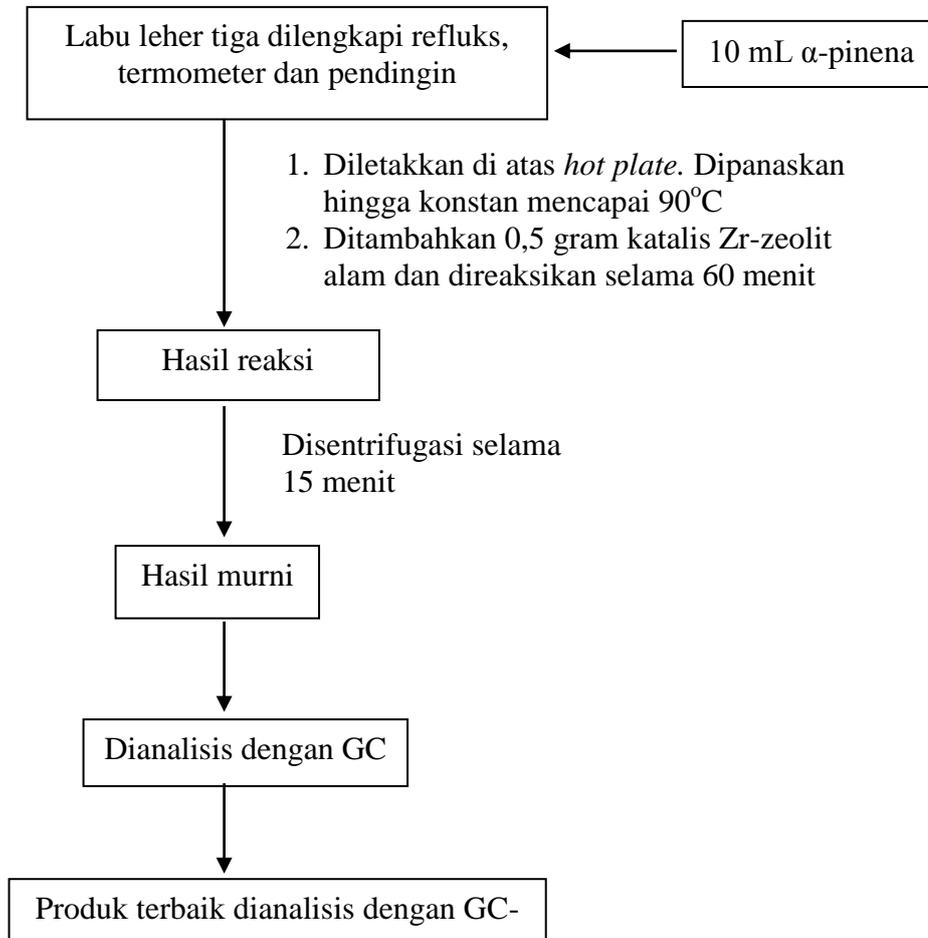
- Sunardi. 2004. *Diktat Kuliah Cara-Cara Pemisahan*. Departemen Kimia FMIPA UI, Depok
- Tsitsishivili, G.V., T.G. Andronikashvili., G.N. Kirov, dan L.D. Filizova. 1992. *Natural Zeolites*. England: Ellis Horwood Limited
- Trisunaryanti, W., E. Triwahyuni., dan S. Sudiono. 2005. Preparasi, Modifikasi, dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam. *TEKNOI 10 (4): 269-282*
- Trisunaryanti, W., S. Purwono, dan Hastanti, 2007, "Preparasi Dan Karakterisasi Katalis Fe₂O₃ Yang Diimbangkan Pada Zeolit Alam Teraktivasi HCl Atau Na₂EDTA", *Prosiding Symposium dan Kongres Masyarakat Katalis Indonesia Kedua*, Jurusan Teknik Kimia FT UNDIP dan Jurusan Kimia MIPA UNNES Semarang, hal. 6-7
- Triyono. 2002. *Kimia Katalis*. Yogyakarta: Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada
- Vogel. 1994. *Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik (edisi 4)* (A. Hadayana P & L. Setiono, Penerjemah). Jakarta: EGC
- Wang, J., W. Hua, Y. Yue, Z. Gao. 2010. MSU-S mesoporous materials: An efficient catalyst for isomerization of α -pinene. *Bioresource Technology 101 (2010) 7224-7230*
- Wibowo, W. 2004. *Hand Out Kuliah Kapita Selekt Kimia Fisik III: Katalis Heterogen dan Reaksi Katalisis*. Depok: Departemen Kimia FMIPA UI
- Widjajanti, E. 2005. *Pengaruh Katalisator Terhadap Laju Reaksi*. Yogyakarta: FMIPA UGM
- Wiyono, B., S. Tachibana, dan D. Tinambuan. 2006. Chemical Composition of Indonesia Pinus merkusii Turpentine Oil, Gum Oleoresins dan Rosins from Sumatra and Java, *Pakistan Journal of Biological Sciences, 9(1), 7-14*
- Yadav, M., Chudasama, C., Jasra, R., 2004. Isomerisation of α -pinene using modified montmorillonite clays. *Journal of Molecular Catalysis. A Chemical 216 (1), 51-59*

LAMPIRAN**Lampiran 1. Diagram Kerja Penelitian**

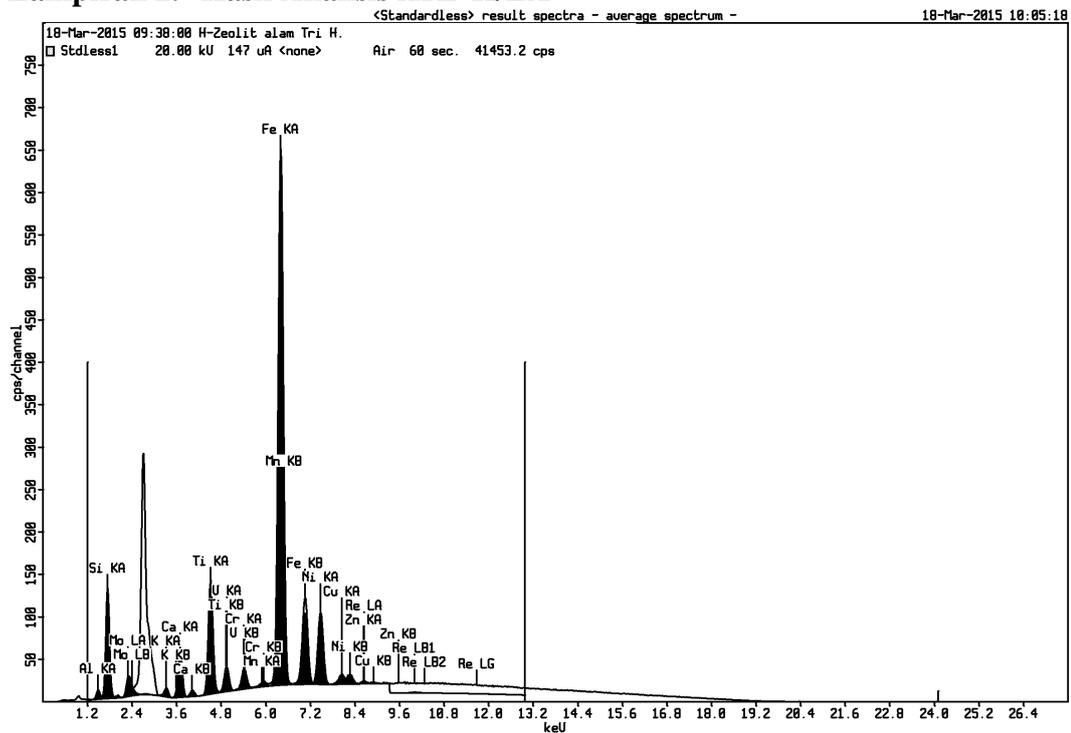








Lampiran 2. Hasil Analisis XRF H/ZA



18-Mar-2015 10:04:48

Sample results - Averages

Page 1

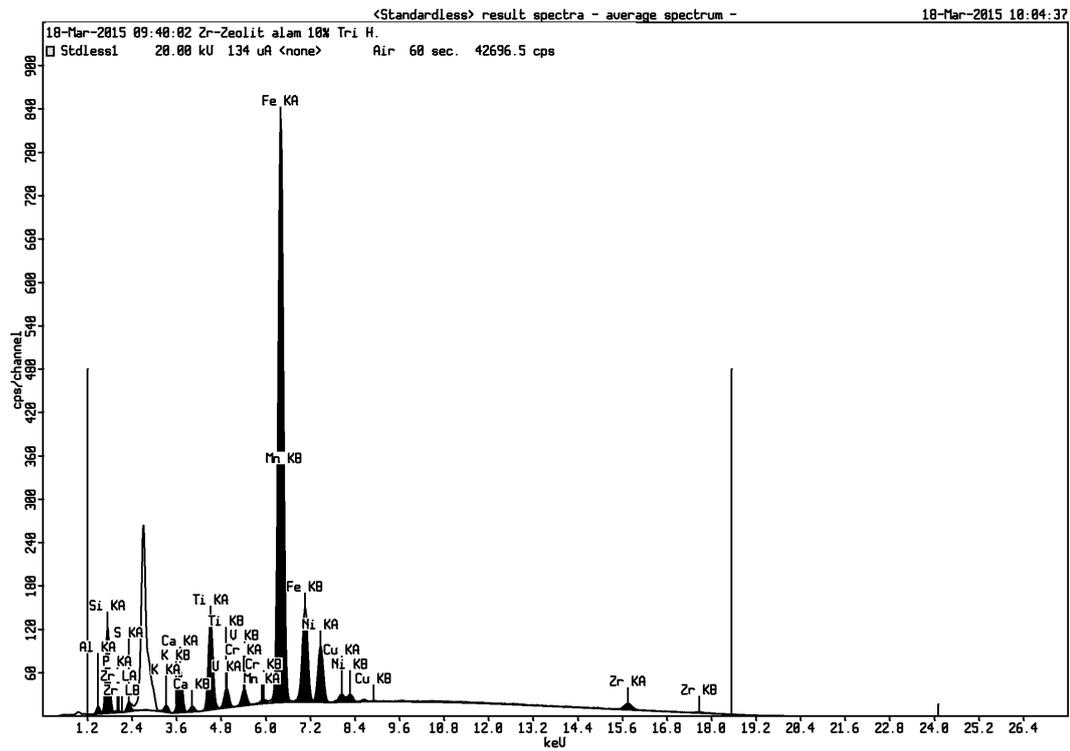
Sample ident
H-Zeolit alam Tri H.

Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	18-Mar-2015 08:55:18
Measurement period - end	18-Mar-2015 09:38:00
Position	4

Compound	Al	Si	K	Ca	Ti	V	Cr
Conc	10 +/- 0.2	47.3 +/- 0.3	0.95 +/- 0.02	3.63 +/- 0.03	5.64 +/- 0.02	0.42 +/- 0.06	0.71 +/- 0.02
Unit	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Mn	Fe	Ni	Cu	Mo	Zn	Re
Conc	0.10 +/- 0.007	18.6 +/- 0.2	2.87 +/- 0.003	0.41 +/- 0.01	8.58 +/- 0.13	0.03 +/- 0.006	0.4 +/- 0.03
Unit	%	%	%	%	%	%	%

Lampiran 3. Hasil Analisis XRF Zr⁴⁺/ZA



18-Mar-2015 10:04:12

Sample results - Averages

Page 1

Sample ident
Zr-Zeolit alam 10% Tri H.

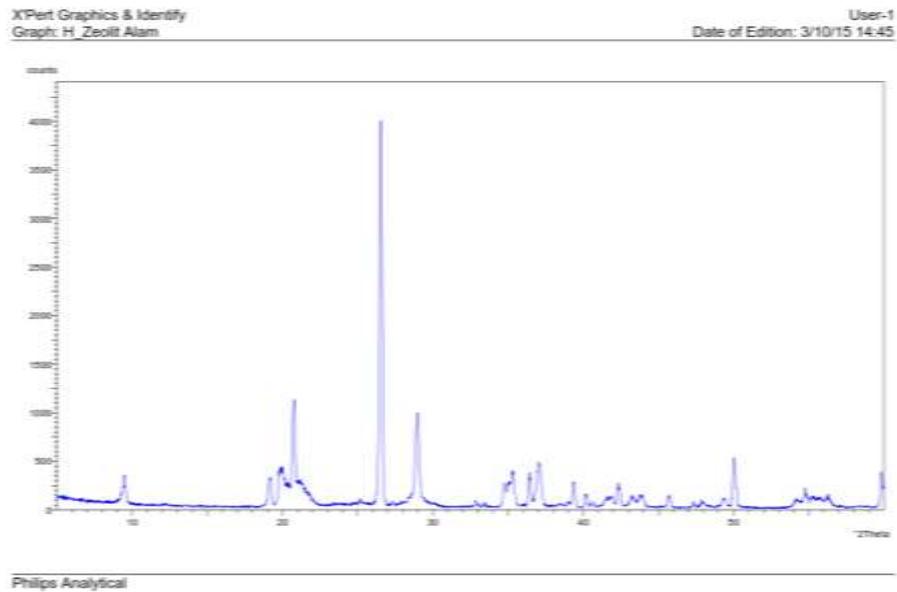
Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	18-Mar-2015 08:57:43
Measurement period - end	18-Mar-2015 09:40:02
Position	5

Compound	Al	Si	P	S	K	Ca
Conc	9.5 +/- 0.2	41.6 +/- 0.1	0.6 +/- 0.05	1.6 +/- 0.03	0.79 +/- 0.02	3.76 +/- 0.05
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni
Conc	4.86 +/- 0.06	0.35 +/- 0.04	0.60 +/- 0.02	0.082 +/- 0.0099	22.3 +/- 0.2	2.55 +/- 0.01
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Cu	Zr
Conc	0.38 +/- 0.0098	11 +/- 0.1
Unit	%	%

Lampiran 4. Hasil Analisis XRD H/ZA



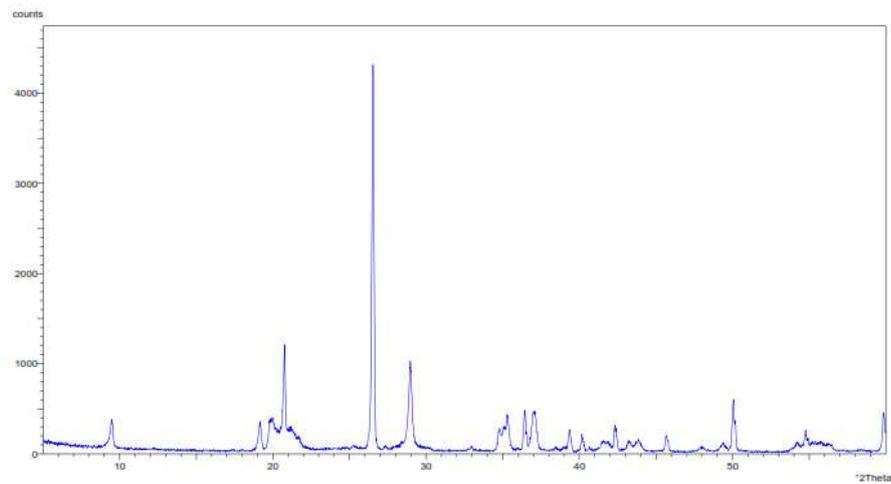
Data 2θ dan Intensitas Empat Puncak Tertinggi dalam H/ZA

Katalis	2θ	Intensitas
H/ZA	20,76	27,85
	26,53	100,0
	28,97	24,20
	50,03	12,09

Lampiran 5. Hasil Analisis XRD Zr⁴⁺/ZA

X'Pert Graphics & Identify
Graph: Zr_Zeolit Alam

User-1
Date of Edition: 3/10/15 14:43



Philips Analytical

Data 2θ dan Intensitas Empat Puncak Tertinggi dalam Zr⁴⁺/ZA

Katalis	2θ	Intensitas
Zr⁴⁺/ZA	20,75	27,23
	26,53	100,0
	28,97	23,22
	50,03	12,74

Lampiran 6. Hasil Analisis BET H/ZA



novaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA Instruments
167, Quantachrome Instruments
version 10.01



Analysis	Date: 2015/04/29	Result	Date: 4/29/2015
Operator: NOVA LNS	Filename:	Operator: NOVA LNS	
Sample ID: Tri Hexylam	Comment:	C:\QC\data\Physicarb\29042015\Zexdl\atom.qm	
Sample Desc: Zexdl atom	Sample Volume: 0 cc		
Sample weight: 0.1345 g	Outgas Temp: 280.0 C		
Outgas Time: 3.0 hrs	Bath Temp: 77.3 K		
Analysis gas: Nitrogen	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)	
Press. Tolerance: 0.050/0.050 (ads/des)	End of run: 2015/04/29 14:59:47	Instrument: Nova Station A	
Analysis Time: 155.8 min			
Cell ID: 92			

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.300K	Liquid Density:	0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²		

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W(Po/P) - 1]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W(Po/P) - 1]
2.62840e-02	0.3776	5.7195e+01	2.04415e-01	0.7095	2.9138e+02
5.30970e-02	0.4976	9.0195e+01	2.28689e-01	0.7622	3.1179e+02
7.91400e-02	0.5403	1.2726e+02	2.53748e-01	0.8053	3.3753e+02
1.04428e-01	0.5688	1.6403e+02	2.78711e-01	0.8741	3.5369e+02
1.29054e-01	0.5927	2.0091e+02	3.03854e-01	0.9409	3.6929e+02
1.54383e-01	0.6364	2.2953e+02	3.29400e-01	1.0407	4.1478e+02
1.79416e-01	0.6863	2.5400e+02			

BET summary

Slope = 1111.649
Intercept = 4.540e+01
Correlation coefficient, r = 0.992607
C constant = 25.435
Surface Area = 3.010 m²/g



NOVAWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA Instruments
907, Quantachrome Instruments
version 10.01



Analysis	Date: 2015/04/29	Report	Date: 4/29/2015
Operator: NOVA UNS	Filename:	Operator: NOVA UNS	
Sample ID: Tri Handayani	Comment:	C:\QC\data\Physisorb\29042015 Zeolit alam.qps	
Sample Desc: Zeolit alam	Sample Volume: 0 cc		
Sample weight: 0.1345 g	OutgasTemp: 280.0 C		
Outgas Time: 3.0 hrs	Bath Temp: 77.3 K		
Analysis gas: Nitrogen	Equil time: 00/00 sec (ads/des)	Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)	
Press. Tolerance: 0.050/0.050 (ads/des)	End of run: 2015/04/29 14:09:47	Instrument: Nova Station A	
Analysis Time: 105.6 min			
Cell ID: 92			

Area-Volume Summary

Data Reduction Parameters Data			
Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. WL: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²
		Liquid Density:	0.808 g/cc

Surface Area Data	
MultiPoint BET	3.010e+00 m ² /g
Langmuir surface area	5.217e+00 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	3.002e+00 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	4.177e+00 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	3.040e+00 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	4.254e+00 m ² /g
t-method external surface area	3.010e+00 m ² /g
DR method micropore area	3.340e+00 m ² /g

Pore Volume Data	
Total pore volume for pores with Radius less than 1095.32 Å at P/Po = 0.991172	2.374e-02 cc/g
BJH method cumulative adsorption pore volume	2.361e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	2.417e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	2.253e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	2.352e-02 cc/g
DR method micropore volume	1.167e-03 cc/g
HK method cumulative pore volume	9.797e-04 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.028e-03 cc/g

Pore Size Data	
Average pore Radius	1.577e+02 Å
BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	1.534e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	1.689e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	1.534e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	1.689e+01 Å
DR method micropore Half pore width	1.629e+01 Å
DA method pore Radius (Mode)	9.900e+00 Å
HK method pore Radius (Mode)	1.636e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	2.201e+00 Å

Lampiran 7. Hasil Analisis BET Zr^{4+}/ZA



novaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA Instruments
107, Quantachrome Instruments
version 16.01



Analysis		Report	
Operator:NOVA UNS	Date:2015/04/30	Operator:NOVA UNS	Date:4/30/2015
Sample ID: Tri Handayani	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\29042015 Zr - Zeolit alam.qps	
Sample Desc: Zr - Zeolit alam	Comment:		
Sample weight: 0.1320 g	Sample Volume: 0 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp: 250.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.000/0.050 (adsides)	Equil time: 00/60 sec (adsides)	Equil timeout: 120/120 sec (adsides)	
Analysis Time: 164.9 min	End of run: 2015/04/30 22:26:33	Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 92			

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²
		Liquid Density:	0.808 g/cc

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]
2.01420e-02	0.4023	5.3393e+01	2.03944e-01	0.7781	2.6345e+02
3.30280e-02	0.5316	5.4249e+01	2.26767e-01	0.8462	2.8050e+02
7.89490e-02	0.9937	1.1953e+02	2.53942e-01	0.8970	3.0363e+02
1.04294e-01	0.6100	1.5105e+02	2.79052e-01	0.9324	3.3219e+02
1.28540e-01	0.6404	1.8594e+02	3.03742e-01	0.9725	3.5893e+02
1.54341e-01	0.6641	2.1990e+02	3.52702e-01	1.0450	4.1720e+02
1.79333e-01	0.7143	2.4477e+02			

BET summary

Slope = 1085.754
Intercept = 3.551e+01
Correlation coefficient, r = 0.996516
C constant = 31.590
Surface Area = 3.100 m²/g



novaWin - Data Acquisition and Reduction
for NOVA Instruments
007, Quantachrome Instruments
version 10.01



Analysis		Date: 2015/04/30		Report		Date: 4/30/2015	
Operator: NOVA UNS		Filename:		Operator: NOVA UNS		Date: 4/30/2015	
Sample ID: Tri Handayani		Comment:		C:\QC\data\Physisorb\29042015 Zr - Zeolit alam.gps			
Sample Desc: Zr - Zeolit alam		Sample Volume: 0 cc		OutgasTemp: 200.0 C			
Sample weight: 0.1320 g		Bath Temp: 77.3 K		Equil time: 00/00 sec (ads/des)		Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)	
Outgas Time: 3.0 hrs		End of run: 2015/04/30 22:26:33		Instrument: Nova Station A			
Analysis gas: Nitrogen							
Press. Tolerance: 0.050/0.050 (ads/des)							
Analysis Time: 164.9 min							
Cell ID: 92							

Area-Volume Summary

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K	Liquid Density:	0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å ²		

Surface Area Data

MultiPoint BET	3.106e+00 m ² /g
Langmuir surface area	5.324e+00 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area	3.204e+00 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area	3.600e+00 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area	3.246e+00 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area	3.670e+00 m ² /g
t-method external surface area	3.106e+00 m ² /g
DR method micropore area	3.539e+00 m ² /g

Pore Volume Data

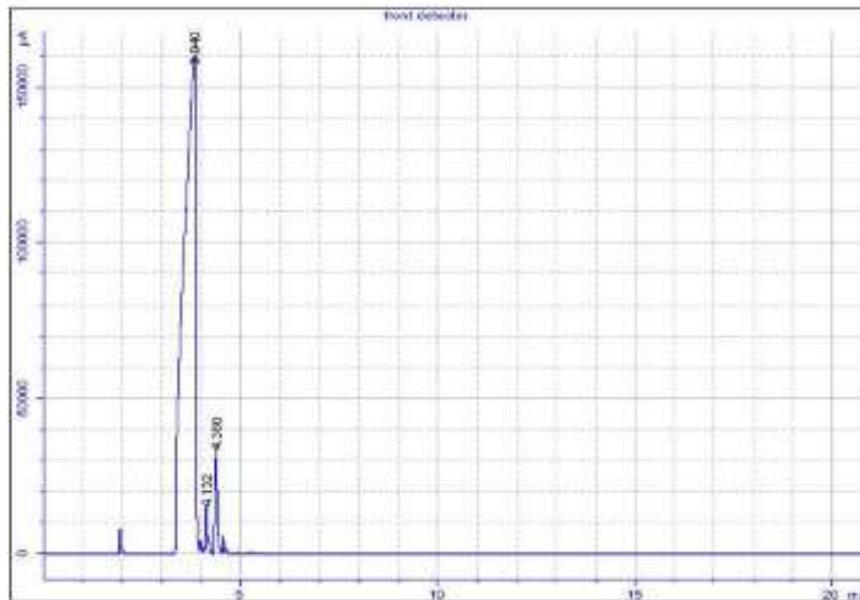
Total pore volume for pores with Radius less than 1320.66 Å at P/Po = 0.992994	2.544e-02 cc/g
BJH method cumulative adsorption pore volume	2.542e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	2.507e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	2.450e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	2.437e-02 cc/g
DR method micropore volume	1.250e-03 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.027e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.003e-03 cc/g

Pore Size Data

Average pore Radius	1.630e+02 Å
BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	1.712e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	1.890e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	1.712e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	1.890e+01 Å
DR method micropore Half pore width	1.005e+01 Å
DA method pore Radius (Mode)	1.000e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	1.035e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	2.261e+00 Å

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: TRI HANDAYANI sample 1 alfa pinena
 Sample note:
 Submission time: Monday, February 02, 2015 11:38:50 AM
 Operator:
 Injection date: Monday, February 02, 2015 11:51:24 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Pinena & Terpena
 Method last saved: Friday, February 06, 2015 10:24:58 AM



Area Percent Report

Calibration last saved: Tuesday, March 19, 2013 1:47:26 PM
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 1.0000 μ L
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.840	BV S	0.261	3329110.11196	94.20826
1	4.132	VV S	0.060	53883.90791	1.52482
1	4.380	VV S	0.076	150783.33477	4.26692

Total Area = 3522777.455

Report summary:
 No analysis errors found.

Instrument run log:
 No deviations found.

Lampiran 9. Hasil Analisis IR α -pinena

Report Details

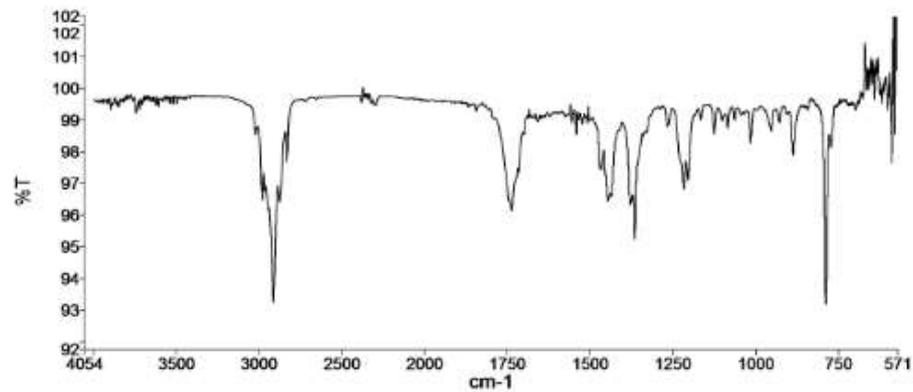
Report Location C:\pel_data\reports\Samples View 1_Tri Handayani.pdf
 Report Creator Nuri Huda, S.Si
 Report Date Thursday, February 26, 2015 12:23 PM

Sample Details

Sample Name Tri Handayani
 Sample Description alfa pinena
 Analyst Nuri Huda, S.Si
 Creation Date 2/9/2015 3:01:05 PM
 X-Axis Units cm-1
 Y-Axis Units %T

Instrument Details

Instrument Model Frontier FT-IR
 Instrument Serial Number 96772
 Software Revision CPU32 Main 00.09.9951 07-September-2011 11:49:41
 Number of Scans 3
 Resolution 4

Spectrum

Name	Description
— Tri Handayani	alfa pinena

Peak Area/Height Results

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1	Base2
1	3902.93	99.35	-12.34	4000	3875.12	4000	3875.12
2	3654.42	99.43	-11.93	3875.12	3779.67	3875.12	3779.67
3	3749.26	99.24	-7.14	3779.67	3735.28	3779.67	3735.28
4	3726.44	99.36	-5.11	3735.28	3676.03	3735.28	3676.03
5	3629.45	99.48	-5.88	3676.03	3620.12	3676.03	3620.12

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00
Thursday, February 26, 2015 12:24 PM

Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1	Base2
6	3610.52	99.44	-4.64	3620.12	3569.63	3620.12	3569.63
7	3525.66	99.52	-4.66	3569.63	3515.5	3569.63	3515.5
8	3503.05	99.54	-7.54	3515.5	3389.11	3515.5	3389.11
9	3025.75	96.55	119.44	3389.11	3014.12	3389.11	3014.12
10	2966.61	96.46	-11.54	3014.12	2977.42	3014.12	2977.42
11	2916.56	93.24	-123.41	2977.42	2690.79	2977.42	2690.79
12	2660.76	96.42	-15.71	2690.79	2644.96	2690.79	2644.96
13	2635.07	97.67	143.1	2644.96	2376.03	2644.96	2376.03
14	2300.24	99.47	-26.96	2376.03	2222.56	2376.03	2222.56
15	1844.96	99.26	-7.34	2222.56	1626.06	2222.56	1626.06
16	1735.72	96.14	-105.27	1626.06	1664.76	1626.06	1664.76
17	1656.89	96.96	-32.21	1664.76	1559.93	1664.76	1559.93
18	1556.14	96.92	-2.63	1559.93	1550.05	1559.93	1550.05
19	1542.27	96.55	-3.24	1550.05	1536.96	1550.05	1536.96
20	1524.04	96.89	-2.6	1536.96	1516.54	1536.96	1516.54
21	1506.17	96.92	-2.51	1516.54	1506.02	1516.54	1506.02
22	1469.1	97.45	-10.4	1506.02	1459.47	1506.02	1459.47
23	1446.4	96.44	-46.46	1459.47	1405.7	1459.47	1405.7
24	1360.36	96.32	0.63	1405.7	1371.63	1405.7	1371.63
25	1365.33	95.25	41.42	1371.63	1262.52	1371.63	1262.52
26	1265.93	96.61	-7.19	1262.52	1252.94	1262.52	1252.94
27	1217.37	96.63	-15.14	1252.94	1210.11	1252.94	1210.11
28	1204.57	97.11	1.25	1210.11	1173.06	1210.11	1173.06
29	1165.55	99.02	-2.49	1173.06	1145.35	1173.06	1145.35
30	1125.41	96.56	-6.64	1145.35	1113.73	1145.35	1113.73
31	1064.5	96.76	-10.11	1113.73	1072.69	1113.73	1072.69
32	1063.12	99	-2.65	1072.69	1054.01	1072.69	1054.01
33	1014.61	96.29	-15.66	1054.01	965.03	1054.01	965.03

Page 2 / 3

PerkinElmer Spectrum Version 10.4.00
Thursday, February 26, 2015 12:24 PM

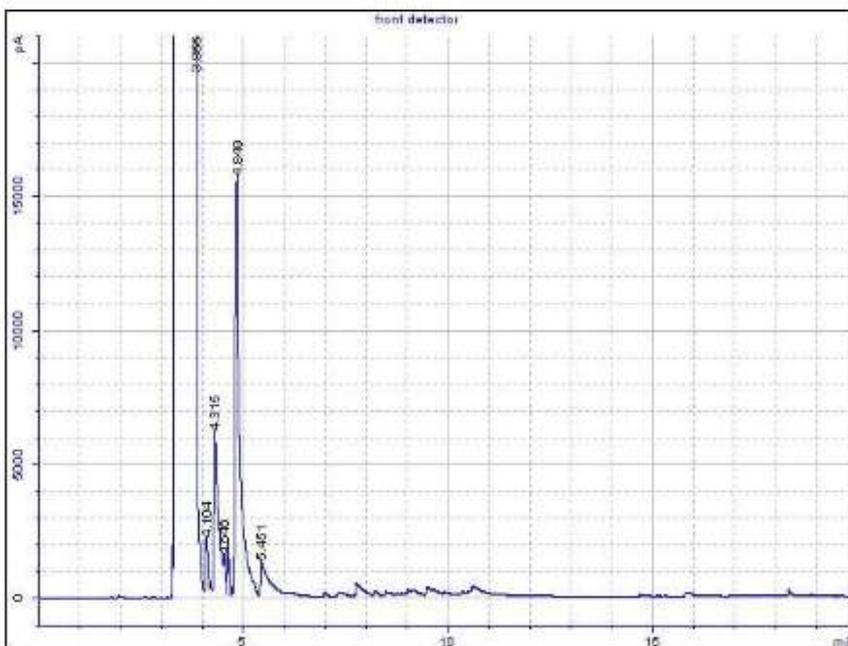
Peak	X (cm-1)	Y (%T)	Area (%T)	Start	End	Base1	Base2
34	952.57	96.66	-10.77	965.03	936.97	965.03	936.97
35	926.09	96.94	-3.64	936.97	917.34	936.97	917.34
36	666.75	97.91	-30.26	917.34	629.56	917.34	629.56
37	767.16	93.16	-43.07	629.56	777.02	629.56	777.02
38	771.44	96.14	-1.11	777.02	745	777.02	745
39	696.93	99.33	-70.46	745	666.6	745	666.6
40	663.36	99.99	-3.52	666.6	660.97	666.6	660.97
41	659.09	100.32	-0.5	660.97	657.36	660.97	657.36
42	655.13	99.96	-2.64	657.36	649.37	657.36	649.37
43	647.13	100.14	-1.67	649.37	645.02	649.37	645.02
44	643.14	100.45	-0.65	645.02	641.7	645.02	641.7
45	639.12	99.67	-3.95	641.7	633.14	641.7	633.14
46	631.25	100.51	-0.67	633.14	629.22	633.14	629.22
47	619.34	99.55	-5.26	629.22	617.07	629.22	617.07
48	615.19	99.74	-1.54	617.07	605.59	617.07	605.59
49	599.05	99.32	-7.22	605.59	593.14	605.59	593.14
50	567.45	97.65	-14.55	593.14	584.96	593.14	584.96
51	563.11	99.54	-4.71	584.96	561.17	584.96	561.17
52	579.39	96.57	-22.34	561.17	576.79	561.17	576.79
53	574.95	107.97	-13.62	576.79	573.16	576.79	573.16

Lampiran 10. Hasil Analisis GC reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+}/ZA

Hasil Reaksi pada Temperatur 90°C waktu reaksi 60 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE2
 Sample note: @-pinena A1*
 Submission time: Thursday, April 02, 2015 11:38:49 AM
 Operator:
 Injection date: Thursday, April 02, 2015 11:45:50 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Thursday, April 16, 2015 9:42:26 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Extension: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.866	BV S	0.276	3082425.17415	93.89111
1	4.104	BV T	0.068	8385.77426	0.25710
1	4.315	VV S	0.097	44328.91933	1.35902
1	4.548	VV S	0.121	10925.91771	0.33498
1	4.849	VB S	0.114	120128.27803	3.68296
1	5.451	BB T	0.151	15487.35617	0.47483

Total Area = 3281677.420

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

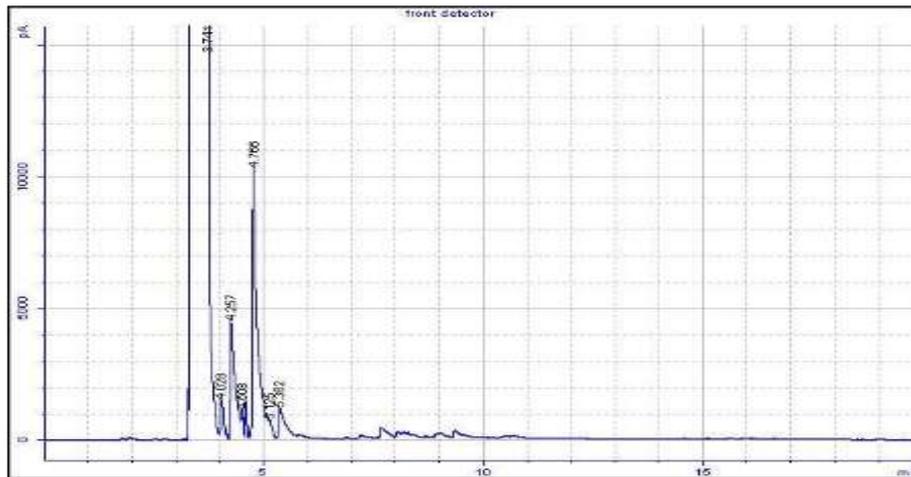
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 90°C waktu reaksi 90 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE5
 Sample note: A2
 Submission time: Monday, April 13, 2015 10:12:20 AM
 Operator:
 Injection date: Monday, April 13, 2015 10:56:04 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Thursday, April 16, 2015 9:48:30 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention		Width [min]	Area [pA*s]	Area %
	Time [min]	Type			
1	3.741	BV S	0.227	2050818.12219	93.38435
1	4.028	BV X	0.066	6848.16036	0.31183
1	4.257	VV S	0.095	33628.37582	1.53127
1	4.508	VV S	0.107	7118.65013	0.32415
1	4.766	VV S	0.102	78047.97702	3.55393
1	5.125	VB S	0.190	8267.34463	0.37645
1	5.362	BV T	0.128	11376.04153	0.51801

Total Area = 2196104.672

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

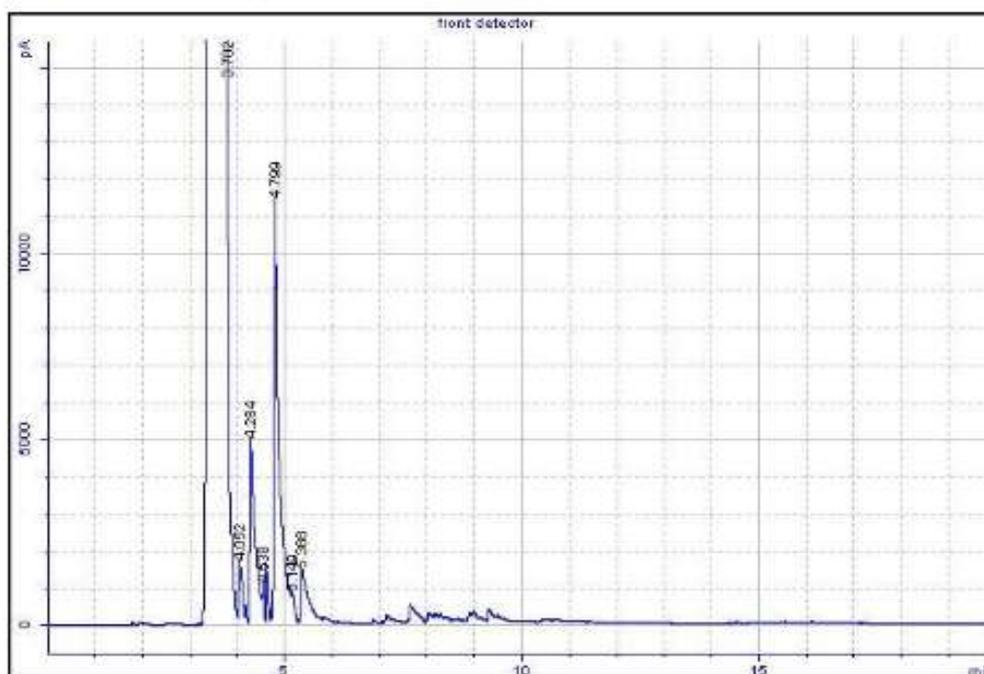
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 90°C waktu reaksi 120 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name:	*Reprocessed: SAMPLE7
Sample note:	A3
Submission time:	Monday, April 13, 2015 10:12:22 AM
Operator:	
Injection date:	Monday, April 13, 2015 11:48:19 AM
GC Description:	GC1 - SN: CN10713006
Signal description:	FID1 A, front detector
Method:	Tri Handayania
Method last saved:	Thursday, April 16, 2015 10:04:52 AM



Area Percent Report

Calibration list saved:	
Multiplier:	1.0000
Dilution:	1.0000
Sample amount:	0.0000 µL
Sample type:	Sample
Sampling source:	Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.782	VV S	0.251	2245094.32379	93.21487
1	4.052	BV X	0.063	7316.51149	0.30376
1	4.284	VV S	0.097	37238.75558	1.54613
1	4.538	VV S	0.117	7800.76076	0.32388
1	4.799	VV S	0.104	86346.61287	3.58506
1	5.149	VB S	0.175	9437.13954	0.39182
1	5.366	BV X	0.133	15280.99480	0.63446

Total Area = 2408515.099

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

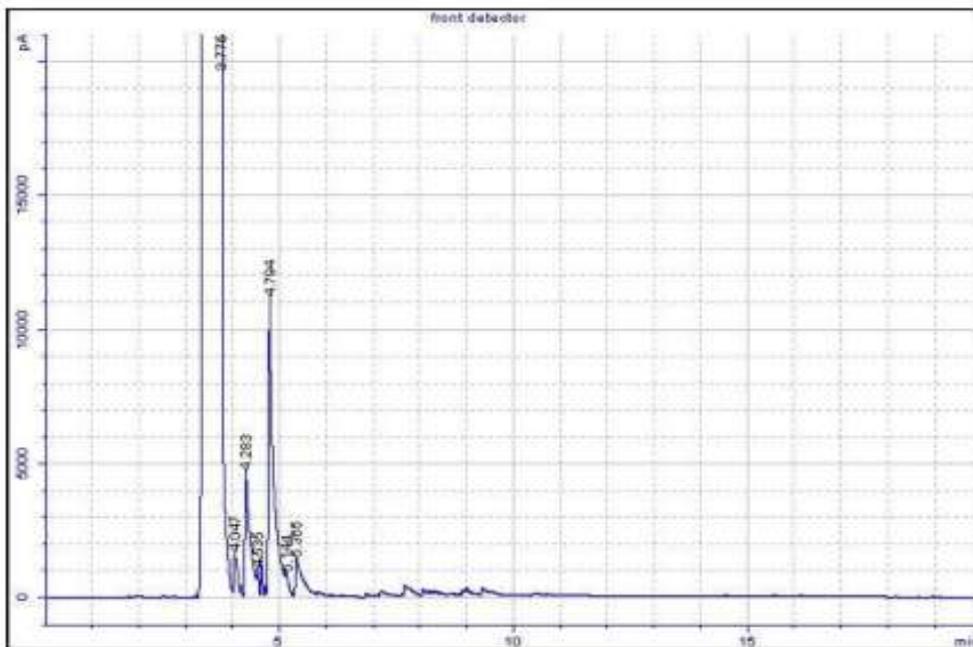
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 90°C waktu reaksi 150 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE6
 Sample note: A4
 Submission time: Monday, April 13, 2015 10:12:21 AM
 Operator:
 Injection date: Monday, April 13, 2015 11:22:01 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Thursday, April 16, 2015 10:03:44 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.775	VV S	0.237	2172553.53094	93.17013
1	4.047	BV X	0.065	7518.88084	0.32246
1	4.283	VV S	0.097	35139.11022	1.50694
1	4.535	VV S	0.117	7724.17349	0.33125
1	4.794	VV S	0.104	84161.93649	3.60929
1	5.144	VB S	0.174	9565.47145	0.41022
1	5.365	BV X	0.136	15150.32877	0.64972

Total Area = 2331813.432

Report summary:
 Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

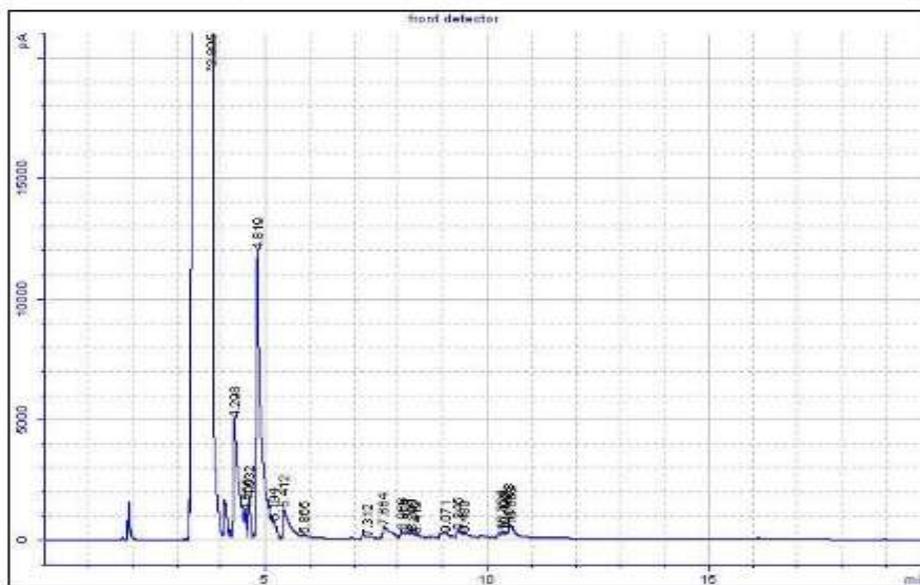
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 90°C waktu reaksi 180 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE4
 Sample note: A5
 Submission time: Monday, April 13, 2015 10:12:19 AM
 Operator:
 Injection date: Monday, April 13, 2015 10:17:04 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Thursday, April 16, 2015 9:47:37 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.805	MM m	0.324	2411302.27915	92.79375
1	4.298	VV S	0.101	39392.78137	1.51595
1	4.555	VV S	0.057	4079.08955	0.15697
1	4.632	BV X	0.034	3826.74917	0.14726
1	4.819	VV S	0.105	91636.80352	3.52644
1	5.104	VB S	0.144	8499.89391	0.32513
1	5.412	BV X	0.134	13235.32515	0.50933
1	5.865	VV X	0.129	1721.43646	0.06625
1	7.312	VV	0.125	1116.48472	0.04297
1	7.664	VV	0.140	8104.93471	0.31494
1	8.066	VV	0.085	2024.84757	0.07792
1	8.181	VV	0.067	1518.01368	0.05842
1	8.296	VV	0.084	1690.32385	0.06505
1	8.419	VV	0.114	1432.28699	0.05512
1	9.071	VV	0.073	1201.11066	0.04622
1	9.345	VV	0.082	1914.51632	0.07368
1	9.489	VV	0.120	2176.19213	0.08371
1	10.324	VV	0.056	1078.93387	0.04152
1	10.405	VV	0.064	1166.34638	0.04488
1	10.498	VV	0.047	1799.28768	0.06924
1	10.552	VB	0.098	3644.31841	0.14024

Total Area = 2599560.958

Report summary:
 Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

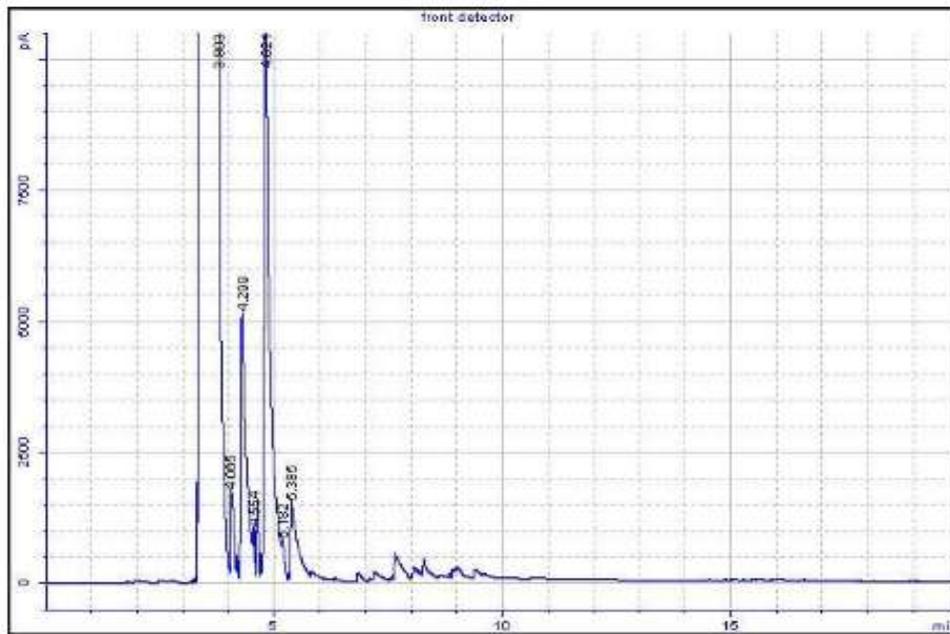
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 120°C waktu reaksi 60 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name:	*Reprocessed: SAMPLE9
Sample note:	B1
Submission time:	Monday, April 13, 2015 10:12:27 AM
Operator:	
Injection date:	Monday, April 13, 2015 12:38:03 PM
GC Description:	GC1 - SN: CN10713006
Signal description:	FID1 A, front detector
Method:	Tri Handayania
Method last saved:	Thursday, April 16, 2015 10:06:14 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:	
Multiplier:	1.0000
Dilution:	1.0000
Sample amount:	0.0000 μ L
Sample type:	Sample
Sampling source:	Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.803	VV S	0.250	2333652.27700	93.07598
1	4.065	BV X	0.062	7366.27476	0.29380
1	4.299	VV S	0.098	38876.91143	1.55058
1	4.554	VV S	0.123	7732.11473	0.30839
1	4.821	VV S	0.108	96004.61256	3.82907
1	5.182	VB S	0.169	8274.07946	0.33001
1	5.385	BV X	0.133	15348.82823	0.61218

Total Area = 2507205.098

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

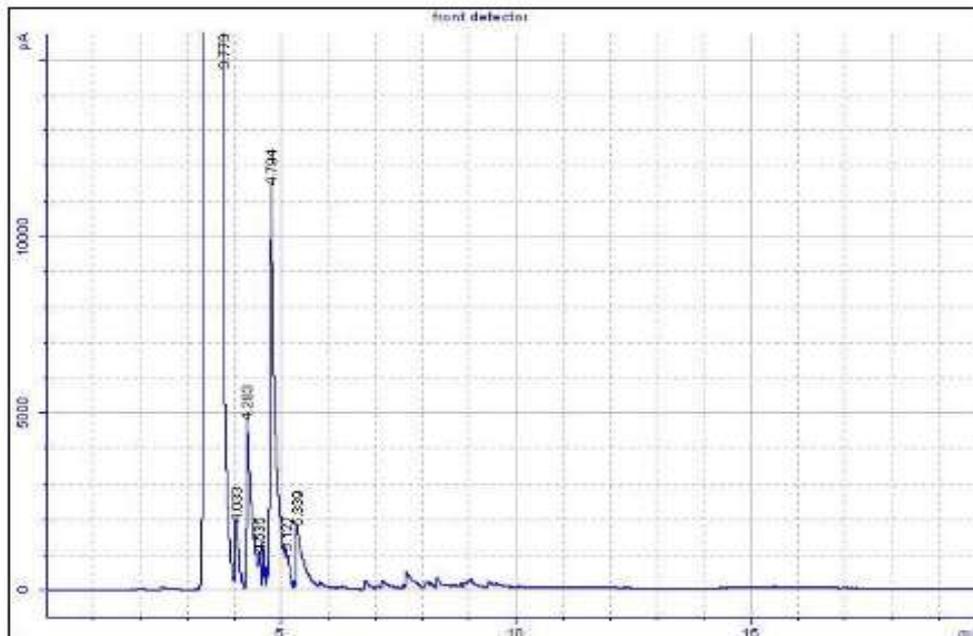
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 120°C waktu reaksi 90 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE8
 Sample note: B2
 Submission time: Monday, April 13, 2015 10:12:26 AM
 Operator:
 Injection date: Monday, April 13, 2015 12:13:38 PM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Thursday, April 16, 2015 10:05:48 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 μ L
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.773	VV S	0.232	2187972.16513	92.04265
1	4.033	VV S	0.099	11239.06414	0.47716
1	4.283	VV S	0.095	34744.15396	1.47509
1	4.535	VV S	0.116	7088.27539	0.30094
1	4.794	VV S	0.106	88183.28069	3.74388
1	5.127	VB S	0.468	29488.40917	1.25195
1	5.339	VV T	0.127	16684.09679	0.70833

Total Area = 2355399.445

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

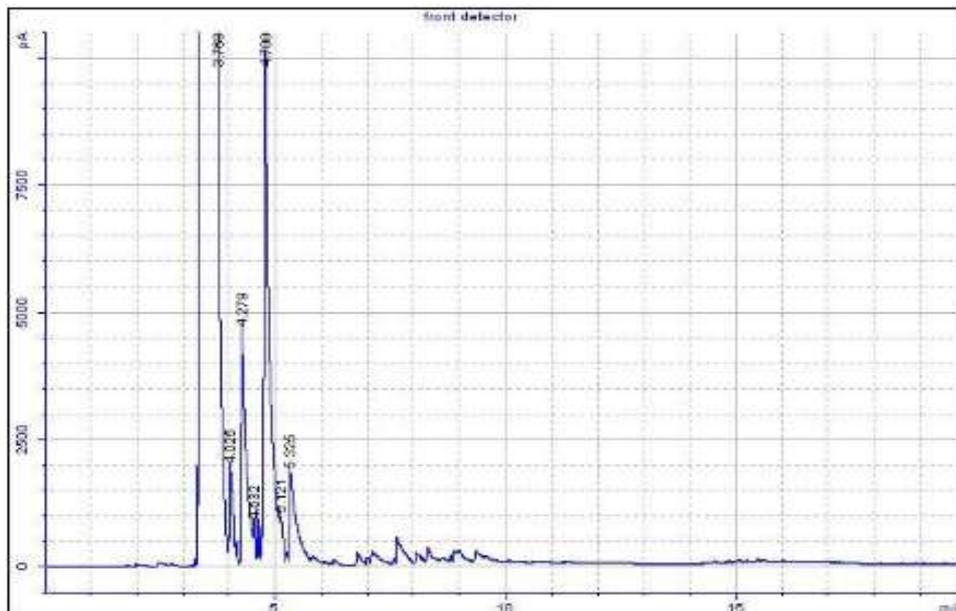
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 120°C waktu reaksi 120 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE11
 Sample note: B3
 Submission time: Monday, April 13, 2015 11:56:55 AM
 Operator:
 Injection date: Monday, April 13, 2015 1:29:03 PM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Thursday, April 16, 2015 10:07:53 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.768	VV S	0.231	2093833.08909	91.96947
1	4.025	VV S	0.099	11818.40687	0.51911
1	4.279	VV S	0.094	33751.19382	1.48249
1	4.532	VV S	0.117	6247.38482	0.27441
1	4.788	VV S	0.108	83128.07605	3.65132
1	5.121	VB S	0.500	30373.28514	1.33412
1	5.325	VV T	0.123	17509.51509	0.76909

Total Area = 2276660.951

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

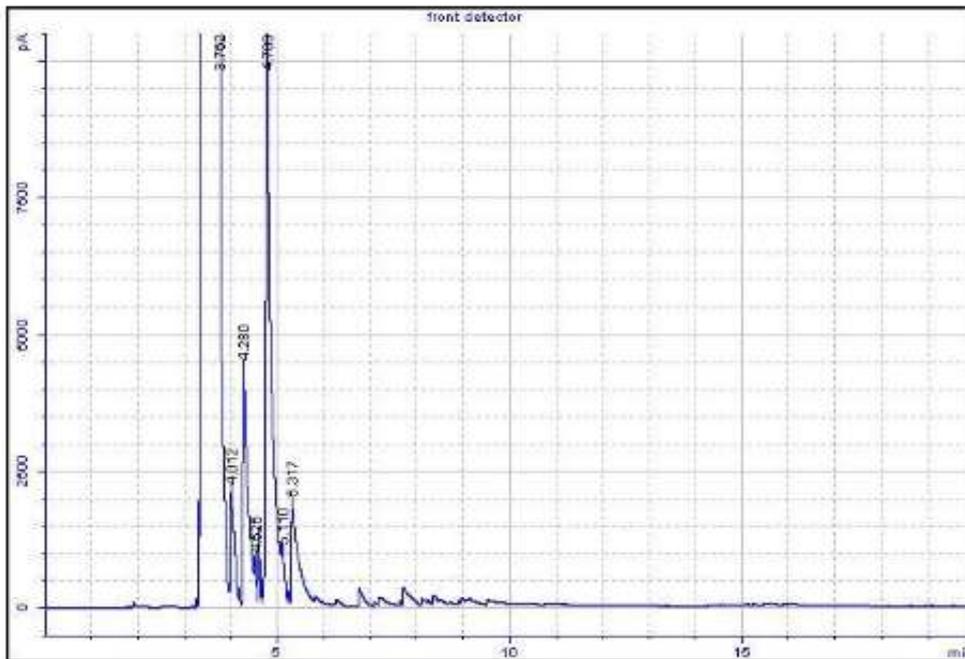
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 120°C waktu reaksi 150 menit

Agilent Cerity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE10
 Sample note: B4
 Submission time: Monday, April 13, 2015 10:12:28 AM
 Operator:
 Injection date: Monday, April 13, 2015 1:03:40 PM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Thursday, April 16, 2015 10:06:54 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.762	VV S	0.222	2045532.87475	91.94954
1	4.012	VV S	0.103	13717.69559	0.61663
1	4.280	VV S	0.092	31669.61460	1.42359
1	4.526	VV S	0.117	6852.25613	0.30802
1	4.783	VV S	0.102	84720.63566	3.80831
1	5.110	VB S	0.341	22983.67419	1.03315
1	5.317	VV T	0.126	19148.75968	0.86076

Total Area = 2224625.511

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

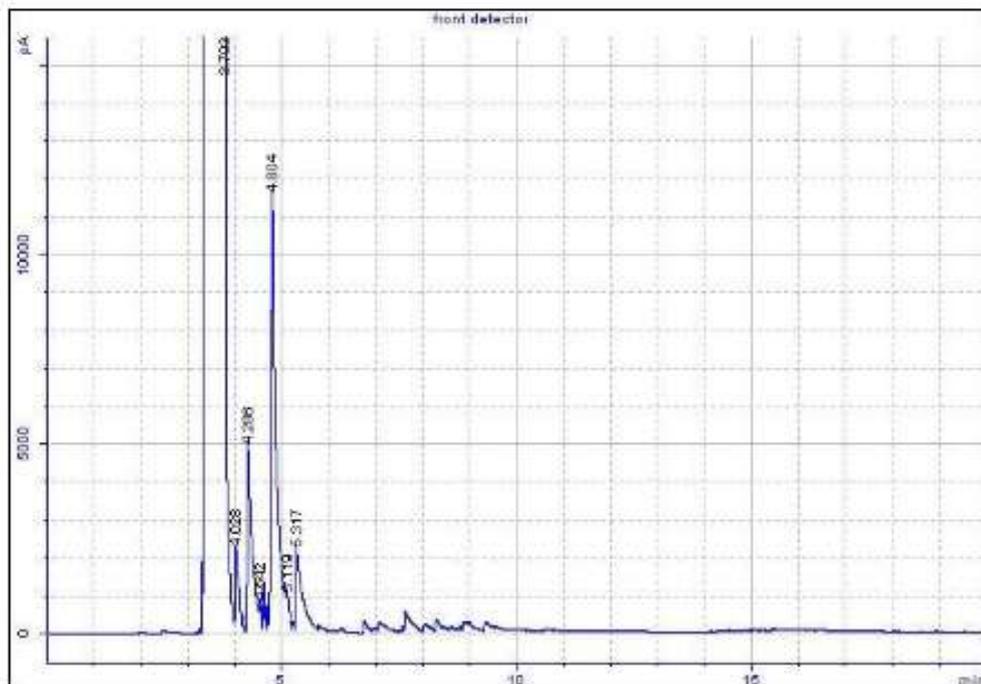
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 120°C waktu reaksi 180 menit

Agilent Cerity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE15
 Sample note: B5
 Submission time: Monday, April 13, 2015 2:46:33 PM
 Operator:
 Injection date: Monday, April 13, 2015 3:14:18 PM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Thursday, April 16, 2015 10:10:09 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.793	VV S	0.235	2245243.06459	91.89347
1	4.028	VV S	0.097	13193.34277	0.53998
1	4.286	VV S	0.098	35926.34207	1.47040
1	4.542	VV S	0.126	6251.29649	0.25585
1	4.804	VV S	0.109	90207.99040	3.69204
1	5.119	VB S	0.519	32458.48802	1.32846
1	5.317	VV T	0.117	20030.30393	0.81980

Total Area = 2443310.826

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

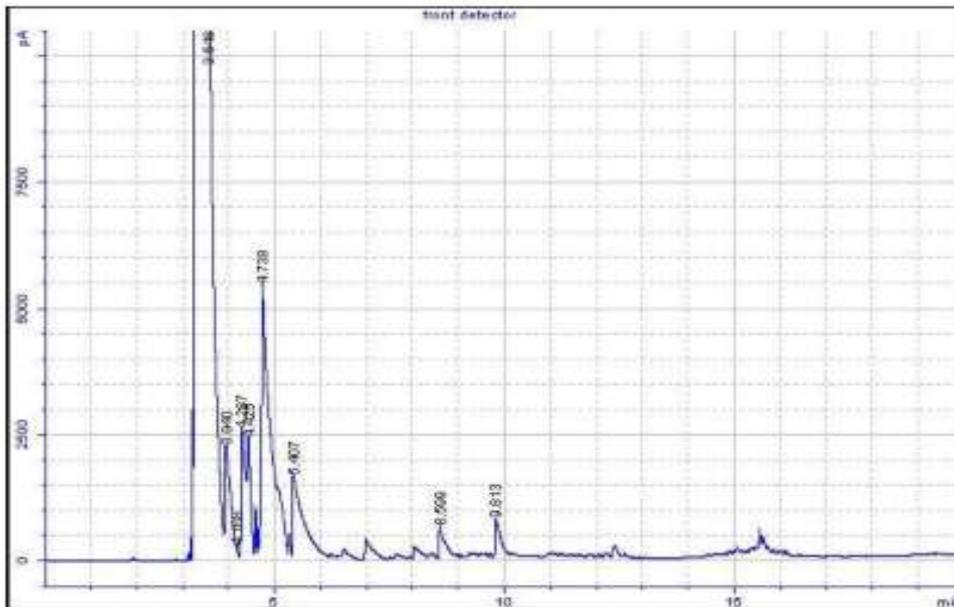
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 150°C waktu reaksi 60 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE32
 Sample note: C1
 Submission time: Wednesday, May 13, 2015 12:48:28 PM
 Operator:
 Injection date: Wednesday, May 13, 2015 1:29:49 PM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Tuesday, June 16, 2015 11:15:39 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	3.548	VV S	0.240	1889342.09168	90.43078
1	3.940	VV S	0.141	19284.13806	0.92301
1	4.168	VV S	0.407	7121.56195	0.34086
1	4.287	BV T	0.082	14638.94298	0.70067
1	4.425	VV T	0.083	11787.24934	0.56418
1	4.738	VB S	0.245	109020.97074	5.21814
1	5.407	VV T	0.198	24956.84420	1.19453
1	8.599	VV T	0.119	6272.07862	0.30020
1	9.813	VV T	0.108	6844.87336	0.32762

Total Area = 2089268.751

Report summary:

Warning(s): Sample amount is zero. Absolute amounts calculated

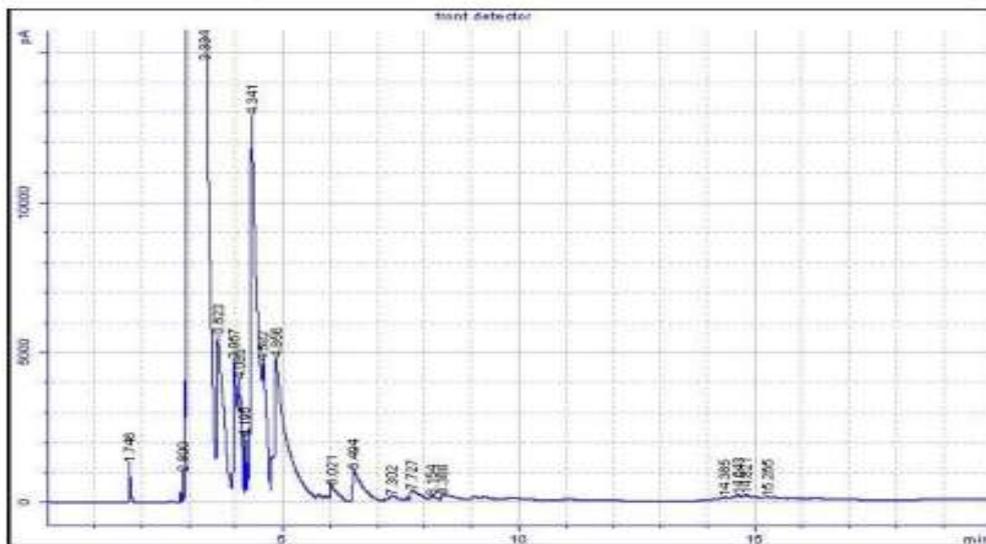
Instrument run log:

No deviations found

Hasil Reaksi pada Temperatur 150°C waktu reaksi 90 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE37
 Sample note: C2
 Submission time: Thursday, May 21, 2015 10:31:06 AM
 Operator:
 Injection date: Thursday, May 21, 2015 10:40:55 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Tuesday, June 16, 2015 11:17:24 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 μ L
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

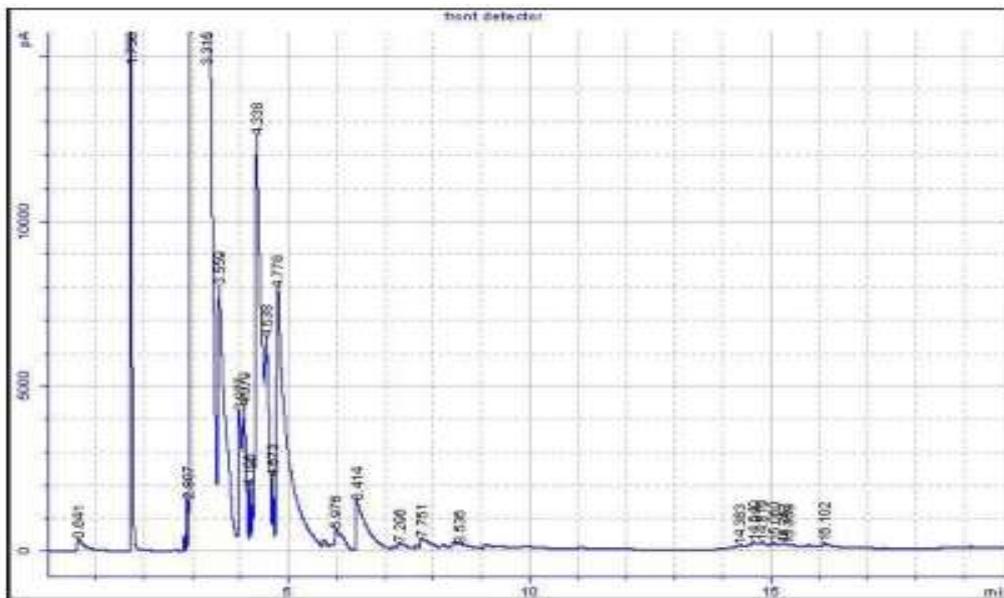
Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	1.746	PB	0.031	2857.71570	0.07609
1	2.890	VV	0.020	1204.35455	0.03207
1	3.334	VV S	0.305	3372354.91845	89.79048
1	3.623	VV S	0.167	56146.10222	1.49492
1	3.967	VV S	0.089	25474.54456	0.67827
1	4.083	VV S	0.076	18629.88831	0.49603
1	4.195	VV S	0.034	4418.69713	0.11765
1	4.341	VV S	0.154	118904.93875	3.16590
1	4.582	VV S	0.112	31510.03152	0.83897
1	4.856	VB S	0.316	90296.16991	2.40418
1	6.021	VV X	0.131	4811.49093	0.12811
1	6.494	VV T	0.167	14258.01725	0.37963
1	7.302	VV T	0.116	1524.48959	0.04059
1	7.727	VV T	0.161	4165.40567	0.11091
1	8.154	VV T	0.111	1017.79740	0.02710
1	8.388	VV T	0.185	2624.64557	0.06988
1	14.365	VV	0.142	1267.69581	0.03375
1	14.643	VV	0.114	1737.44828	0.04626
1	14.821	VV	0.089	1350.15357	0.03595
1	15.265	VV	0.130	1250.23356	0.03329

Total Area = 3755804.739

Hasil Reaksi pada Temperatur 150°C waktu reaksi 120 menit

Agilent Cerity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE36
 Sample note: C3
 Submission time: Thursday, May 21, 2015 10:01:27 AM
 Operator:
 Injection date: Thursday, May 21, 2015 10:08:02 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Tuesday, June 16, 2015 11:16:43 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

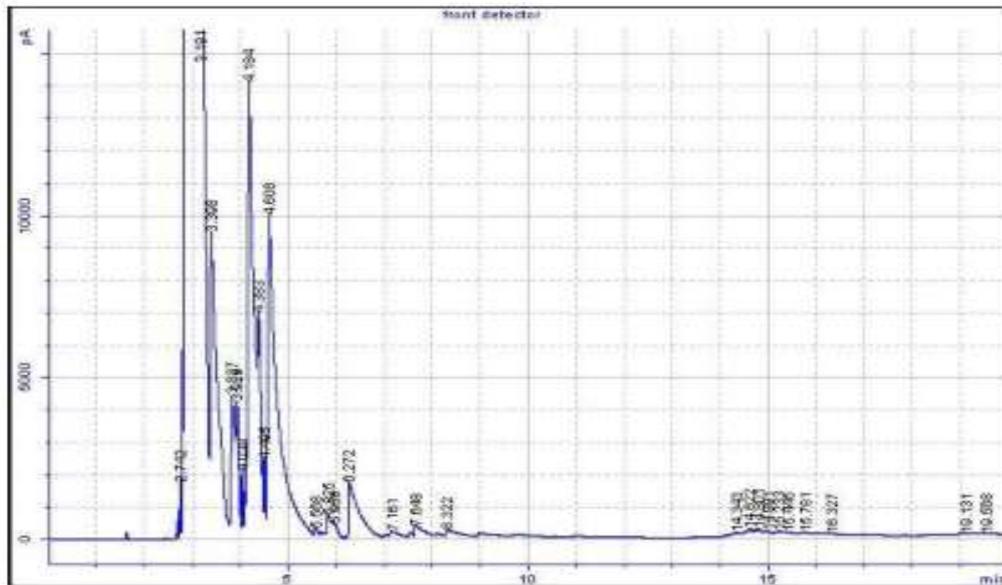
Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	0.641	PB	0.133	3794.75093	0.10753
1	1.730	PB S	0.032	37433.95098	1.06071
1	2.897	VV	0.020	1879.42509	0.05325
1	3.315	VV S	0.286	3027729.17202	85.79215
1	3.559	VV S	0.172	83213.24085	2.35789
1	3.977	VV S	0.081	20429.53166	0.57888
1	4.079	VV S	0.077	20166.49678	0.57143
1	4.196	VV S	0.032	3732.93947	0.10577
1	4.338	VV S	0.141	106599.83931	3.02056
1	4.538	VV S	0.098	37853.89101	1.07261
1	4.673	VV S	0.035	4683.72571	0.13272
1	4.778	VB S	0.284	135060.17148	3.82699
1	5.976	VV X	0.148	6844.88140	0.19395
1	6.414	VV T	0.181	21687.21205	0.61452
1	7.296	VV T	0.136	1784.35782	0.05056
1	7.751	VV T	0.150	3824.56198	0.10837
1	8.536	VB T	0.177	1313.76215	0.03723
1	14.363	VV	0.141	1387.27896	0.03931
1	14.640	VV	0.116	1972.35929	0.05589
1	14.819	VV	0.088	1476.94489	0.04185
1	15.060	VV	0.136	1905.50352	0.05399
1	15.257	VV	0.107	1202.97682	0.03409
1	15.359	VB	0.179	1677.02080	0.04752
1	16.102	VB	0.130	1490.86945	0.04224

Total Area = 3529144.864

Hasil Reaksi pada Temperatur 150°C waktu reaksi 150 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE39
 Sample note: C4
 Submission time: Thursday, May 21, 2015 11:39:15 AM
 Operator:
 Injection date: Thursday, May 21, 2015 11:39:22 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Tuesday, June 16, 2015 11:18:16 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 µL
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

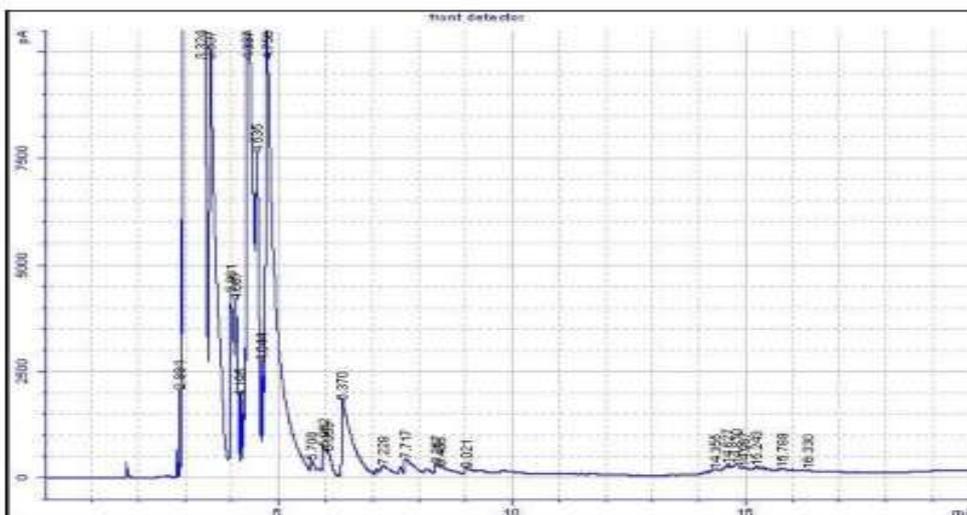
Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	2.742	VV	0.020	2153.69930	0.05935
1	3.181	VV S	0.299	3118443.46608	85.93077
1	3.398	VV S	0.171	97248.81916	2.67976
1	3.827	VV S	0.081	21544.31887	0.59367
1	3.929	VV S	0.074	18855.95819	0.51959
1	4.038	VV S	0.029	3607.81316	0.09942
1	4.184	VV S	0.138	116882.84555	3.22078
1	4.383	VV S	0.084	34955.57450	0.96322
1	4.495	VV S	0.034	5037.37737	0.13881
1	4.606	VB S	0.250	149580.10389	4.12178
1	5.568	BV X	0.075	1051.80039	0.02898
1	5.825	VV X	0.093	4760.39389	0.13118
1	5.958	VV X	0.100	2626.23902	0.07237
1	6.272	VV T	0.184	25771.35751	0.71015
1	7.161	VV T	0.149	2282.55261	0.06290
1	7.648	VV T	0.158	4495.59314	0.12388
1	8.322	VV T	0.197	3083.39051	0.08496
1	14.343	VV	0.155	1713.73520	0.04722
1	14.622	VV	0.113	2309.42792	0.06364
1	14.801	VV	0.098	1808.12349	0.04982
1	14.991	VV	0.145	1693.72969	0.04667
1	15.233	VV	0.129	1746.87870	0.04814
1	15.445	VV	0.139	1462.11708	0.04029
1	15.781	VV	0.141	1530.09545	0.04216
1	16.327	VV	0.206	1332.70434	0.03672
1	19.131	VV	0.289	1437.54324	0.03961
1	19.568	VB	0.368	1602.61070	0.04416

Total Area = 3629018.269

Hasil Reaksi pada Temperatur 150°C waktu reaksi 180 menit

Agilent Certity QA/QC Report

Sample name: *Reprocessed: SAMPLE38
 Sample note: C5
 Submission time: Thursday, May 21, 2015 11:03:49 AM
 Operator:
 Injection date: Thursday, May 21, 2015 11:06:05 AM
 GC Description: GC1 - SN: CN10713006
 Signal description: FID1 A, front detector
 Method: Tri Handayania
 Method last saved: Tuesday, June 16, 2015 11:17:55 AM



Area Percent Report

Calibration last saved:
 Multiplier: 1.0000
 Dilution: 1.0000
 Sample amount: 0.0000 μ L
 Sample type: Sample
 Sampling source: Manual

Signal	Retention Time [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Area %
1	2.884	VV	0.020	2443.38935	0.06618
1	3.324	VV S	0.307	3158872.95169	85.50042
1	3.537	VV S	0.173	107402.32999	2.90887
1	3.981	VV S	0.085	21950.49694	0.59450
1	4.087	VV S	0.072	17900.84184	0.48482
1	4.195	VV S	0.030	3400.79123	0.09211
1	4.337	VV S	0.137	114436.78523	3.09939
1	4.535	VV S	0.081	36801.40050	0.99673
1	4.644	VV S	0.032	5190.24489	0.14057
1	4.756	VB S	0.260	167684.97272	4.54156
1	5.708	BV X	0.082	1248.66944	0.03382
1	5.962	VV X	0.075	3191.17958	0.08643
1	6.053	VV X	0.108	3479.83928	0.09425
1	6.370	VV T	0.187	26427.32659	0.71575
1	7.229	VV T	0.170	2786.49029	0.07547
1	7.717	VV T	0.163	4630.75017	0.12542
1	8.367	VV T	0.085	1287.43793	0.03487
1	8.486	VV T	0.224	2244.16110	0.06078
1	9.021	VV T	0.113	1037.48185	0.02810
1	14.355	VV	0.154	1646.43487	0.04459
1	14.627	VV	0.112	2171.71061	0.05882
1	14.810	VV	0.097	1703.47806	0.04614
1	14.967	VV	0.123	1571.67517	0.04257
1	15.243	VV	0.134	1752.00158	0.04745
1	15.789	VV	0.136	1394.26995	0.03776
1	16.330	VV	0.252	1573.73499	0.04262

Total Area = 3692230.846

Lampiran 11. Hasil Analisis GC-MS reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr^{4+} /ZA pada temperatur 150°C

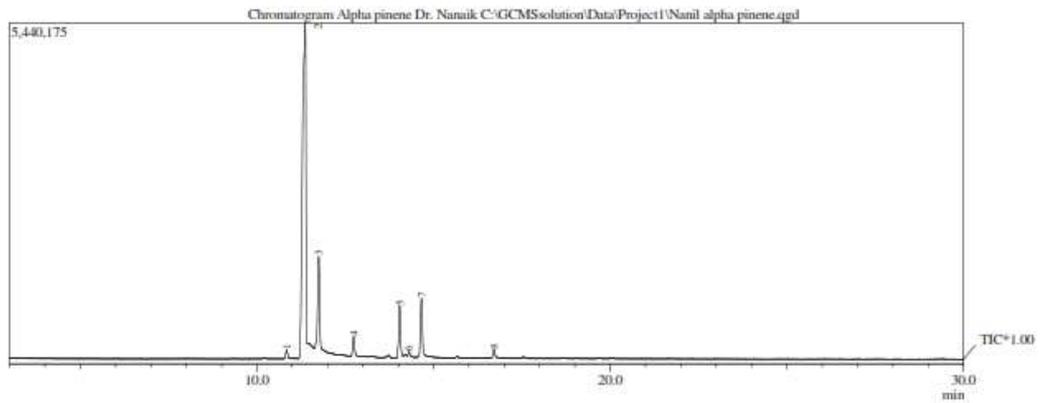
C:\GCMSsolution\Data\Project1\Nanil alpha pinene.qgd



Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM

Sample Information

Analyzed by : Admin
 Sample Name : Alpha pinene Dr. Nanaik
 Sample ID :
 Data File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\Nanil alpha pinene.qgd
 Method File : C:\GCMSsolution\Data\Project1\utsin.qgm
 Tuning File : C:\GCMSsolution\System\Tune1\JUNI 1 2015.qgt



Peak Report TIC						
Peak#	R.Time	LTime	F.Time	Area	Area%	Height Name
1	10.840	10.783	10.933	484960	0.98	132818
2	11.364	11.192	11.433	34674575	70.32	5183756
3	11.751	11.633	11.842	5572352	11.30	1472934
4	12.738	12.667	12.842	1128078	2.29	305894
5	14.038	13.958	14.142	3093143	6.27	823627
6	14.301	14.142	14.383	535978	1.09	83234
7	14.656	14.575	14.775	3385552	6.87	917879
8	16.708	16.650	16.783	433712	0.88	122689
				49308350	100.00	9042831

Library

<< Target >>

Line#1 K.TTime:0.942;Scan#:1060 MassPeak:59

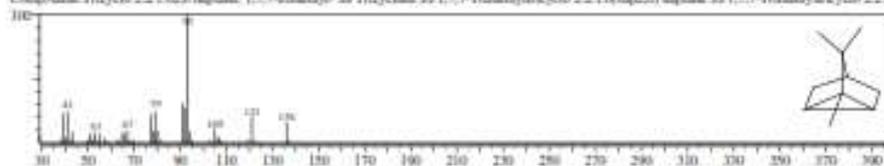
RawData:AverageOf 3(333-10.850) (385-1037) BasePeak:55.000(2136)

BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Entry:19688 Library:NIST12.LIB

SI:97 Formula:C10H16 CAS:508-32-7 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName:Tricyclo[2.2.1.0^{2,6}]heptane, 1,7,7-trimethyl- S5 Tricyclo[5.5.1.1^{0,2,6}]heptane S5 1,7,7-trimethyltricyclo[2.2.1.0^{2,6}]

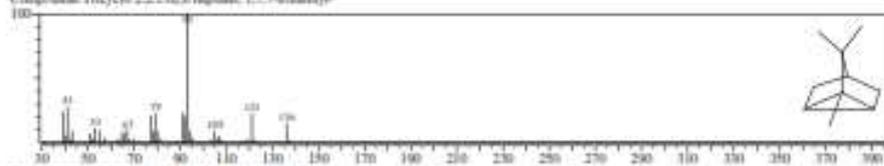
Entry:19694 Library:WILEY254.LIB

SI:96 Formula:C10H16 CAS:508-32-7 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName:Tricyclo[5.5.1.1^{0,2,6}]heptane, 1,7,7-trimethyl- (CAS) 1,7,7-trimethyltricyclo[2.2.1.0^{2,6}]heptane S5 Tricyclo[2.2.1.0^{2,6}]heptane

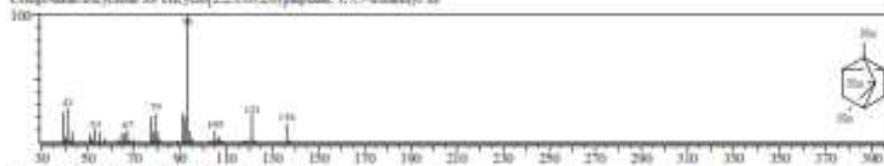
Entry:19696 Library:NIST12.LIB

SI:96 Formula:C10H16 CAS:508-32-7 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName:Tricyclo[2.2.1.0^{2,6}]heptane, 1,7,7-trimethyl-

Entry:19699 Library:WILEY254.LIB

SI:96 Formula:C10H16 CAS:508-32-7 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName:tricyclo[5.5.1.1^{0,2,6}]heptane, 1,7,7-trimethyl- S5

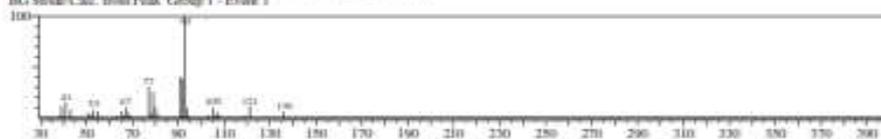
Entry:19700 Library:WILEY254.LIB

SI:99 Formula:C10H16 CAS:500-0 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName:TRICYCLO[2.2.1.0^{2,6}]HEPTANE, 2,2,3-TRIMETHYL- S5

<< Target >>

Line#2: RT:Time:11.2675Scan#:1449 Mass:Peak:32
 RawMode: Averaged [1.334-11.375] [146-1120] BasePeak:33.00 [275496]
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



HM#1 Entry:19707 Library:WILEY220.LIB

M:96 Formula:C10H16 CAS:50-56-6 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName: alpha-PINENE:55



HM#2 Entry:19627 Library:WILEY220.LIB

M:96 Formula:C10H16 CAS:50-56-6 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName: alpha-pinene 55 alpha-pinene 55



HM#3 Entry:3573 Library:NIST1.LIB

M:96 Formula:C10H16 CAS:50-56-6 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName: alpha-Pinene



HM#4 Entry:19541 Library:WILEY220.LIB

M:96 Formula:C10H16 CAS:50-56-6 MolWeight:136 RefIndex:0

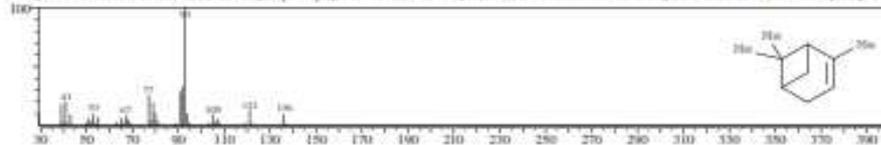
CompName: ALPHA-PINENE, (-)-55 Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6-trimethyl- (CAS) Pinene 55 2-Pinene 55 alpha-Pinene 55 2,6,6-Trimethylbicyclo[3



HM#5 Entry:19557 Library:WILEY220.LIB

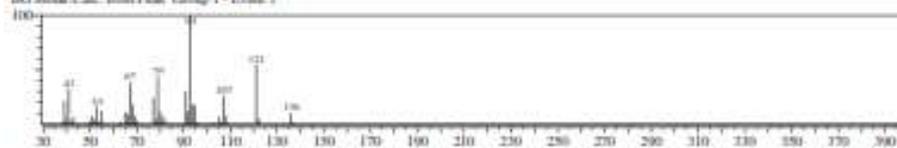
M:96 Formula:C10H16 CAS:50-56-6 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName: ALPHA-PINENE, (-)-55 Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6,6-trimethyl- (CAS) Pinene 55 2-Pinene 55 alpha-Pinene 55 2,6,6-Trimethylbicyclo[3



<< Target >>

Line#3 RT:Time 11.750Scan# 1191 MassPeak#40
 RawMode: Averaged 11.742-11.758(1190-1196) BasePeak: 93.00(237184)
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Front 1



Hit#1 Entry:19907 Library:WILEY2294.LIB

SI:97 Formula:C10H16 CAS:79-92-5 MolWeight:136 RetIndex:0

CompName:Carphane SS Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene- (CAS) 3,3-Dimethyl-3-methylbornane SS 2,2-Dimethyl-5-methylbornane



Hit#2 Entry:3529 Library:NIST12.LIB

SI:97 Formula:C10H16 CAS:79-92-5 MolWeight:136 RetIndex:0

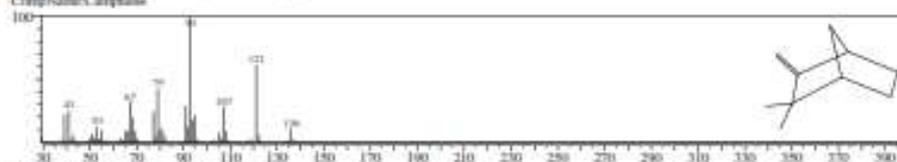
CompName:Carphane



Hit#3 Entry:3530 Library:NIST12.LIB

SI:97 Formula:C10H16 CAS:79-92-5 MolWeight:136 RetIndex:0

CompName:Carphane



Hit#4 Entry:19904 Library:WILEY2294.LIB

SI:97 Formula:C10H16 CAS:79-92-5 MolWeight:136 RetIndex:0

CompName:Carphane SS Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene- (CAS) 3,3-Dimethyl-3-methylbornane SS 2,2-Dimethyl-5-methylbornane



Hit#5 Entry:3531 Library:NIST12.LIB

SI:96 Formula:C10H16 CAS:79-92-5 MolWeight:136 RetIndex:0

CompName:Carphane



<< Target >>

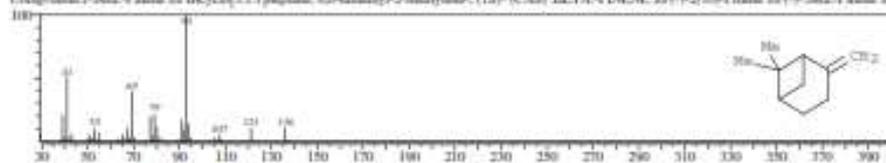
Line#4 R.Time:12.742Scan#:1314 MassPeak:34
 RawMode:Avogadro 12.733-12.758(1315-1315)BasePeak:93.00(64917)
 RG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Exact



Entry:19346 Library:WILEY2291.D

SI:96 Formula:C10H18 CAS:10172-67-3 MolWeight:136 RefIndex:0

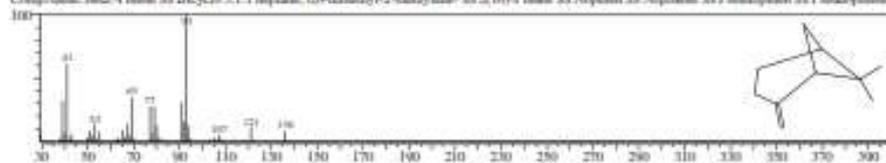
CompName:beta-Pinene SS Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)- (CAS) BETA-PINENE SS (+)-2(10)-Pinene SS (-)-beta-Pinene SS



Entry:6660 Library:NIST02.LIB

SI:96 Formula:C10H18 CAS:127-91-3 MolWeight:136 RefIndex:0

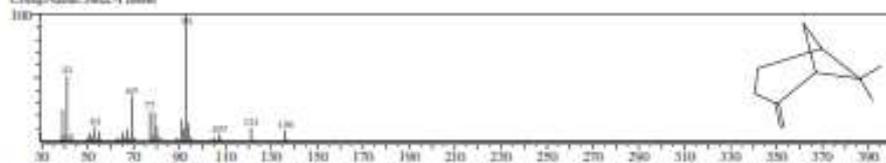
CompName:beta-Pinene SS Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, SS 2(10)-Pinene SS Neopinen SS Neopinene SS Pseudopinene SS Pseudopinene



Entry:1967 Library:NIST12.LIB

SI:96 Formula:C10H18 CAS:127-91-3 MolWeight:136 RefIndex:0

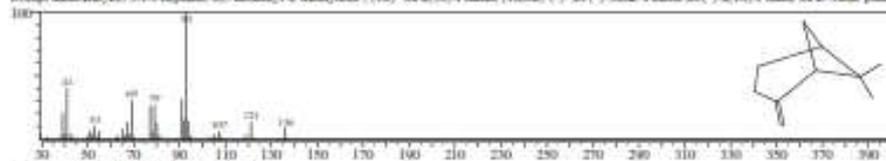
CompName:beta-Pinene



Entry:6902 Library:NIST02.LIB

SI:96 Formula:C10H18 CAS:10172-67-3 MolWeight:136 RefIndex:0

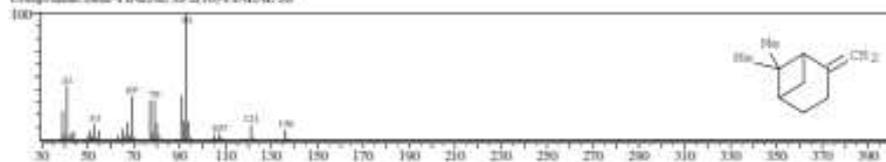
CompName:Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)- SS 2(10)-Pinene, (1R,5S)-(-)-SS (-)-beta-Pinene SS (-)-2(10)-Pinene SS L-beta-pinene



Entry:19004 Library:WILEY2291.D

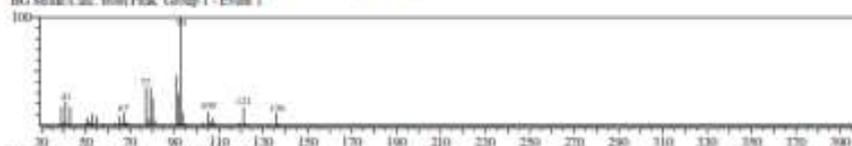
SI:96 Formula:C10H18 CAS:127-91-3 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName:beta-PINENE SS 2(10)-PINENE SS

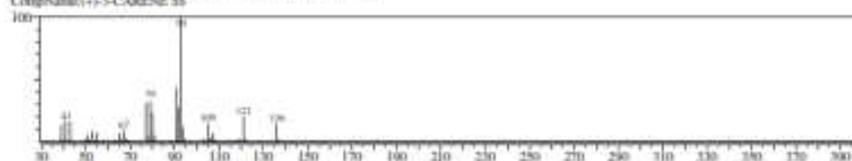


<< Target >>

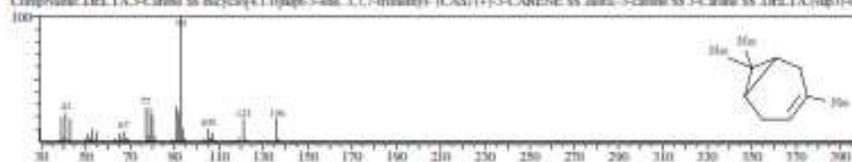
Line# 5 R_Time:14.042 Scan#:1470 MassPeak:38
 RawMode:Average(14.033-14.050) (469-1471) BasePeak:93.00(50000)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



H08.1 Entry:19734 Library:WILEY229.LIB
 SI:97 Formula:C10H16 CAS:0-00-0 MolWeight:136 RefIndex:0
 CompName:(+)-5-CARENENE SS



H08.2 Entry:19573 Library:WILEY229.LIB
 SI:95 Formula:C10H16 CAS:1366-76-9 MolWeight:136 RefIndex:0
 CompName:DELTA-5-Carene SS Bicyclo[4.1.0]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl- (CAS) (+)-5-CARENENE SS Delta-5-carene SS DELTA-(up)-Ca



H08.3 Entry:19676 Library:WILEY229.LIB
 SI:95 Formula:C10H16 CAS:3779-61-1 MolWeight:136 RefIndex:0
 CompName:TRANS-DELTA-OCTIMENE SS



H08.4 Entry:19707 Library:WILEY229.LIB
 SI:95 Formula:C10H16 CAS:80-86-8 MolWeight:136 RefIndex:0
 CompName:alpha-PINENE SS

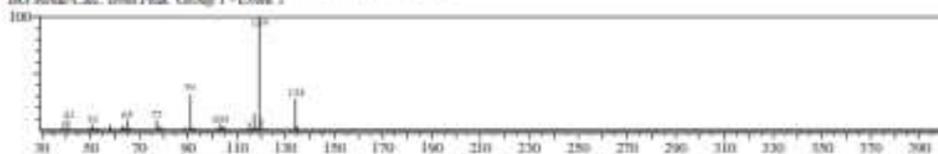


H08.5 Entry:19677 Library:WILEY229.LIB
 SI:95 Formula:C10H16 CAS:27800-71-1 MolWeight:136 RefIndex:0
 CompName:CIS-OCTIMENE SS



<<Target>>

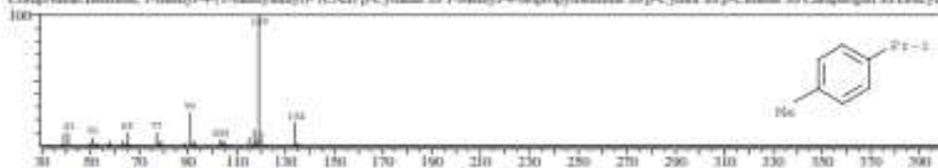
Line#6 R.Time:14.388Scan#1501 MassPeak:30
RawMode: Averaged 14.292-14.386 1500-1502 BasePeak:119.05(54746)
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



H#01 Entry:18176 Library:WILEY274.LIB

SI:96 Formula:C10H14 CAS:99-87-6 MolWeight:134 RefIndex:0

CompName: Benzene, 1-methyl-4-(1-methyl-ethyl)- (CAS) p-Cymene SS 1-Methyl-4-isopropylbenzene SS p-Cymol SS p-Cymene SS Carphogen SS Doleyan



H#02 Entry:19379 Library:WILEY274.LIB

SI:96 Formula:C10H16 CAS:99-85-2 MolWeight:136 RefIndex:0

CompName: Phthalane SS 1,3-Cyclononane, 2-methyl-5-(1-methyl-ethyl)- (CAS) p-Menth-1,5-diene SS alpha-Phthalone SS alpha-Phthalone!



H#03 Entry:18183 Library:WILEY274.LIB

SI:96 Formula:C10H14 CAS:99-87-6 MolWeight:134 RefIndex:0

CompName: p-cymene SS 1-methyl-4-isopropylbenzene SS



H#04 Entry:18191 Library:WILEY274.LIB

SI:95 Formula:C10H14 CAS:99-87-6 MolWeight:134 RefIndex:0

CompName: PARA-CYMBENE SS



H#05 Entry:19057 Library:WILEY274.LIB

SI:95 Formula:C10H14 CAS:527-64-4 MolWeight:134 RefIndex:0

CompName: Benzene, 1-methyl-2-(1-methyl-ethyl)- (CAS) 1-Methyl-2-isopropylbenzene SS o-Cymene SS o-Cymol SS o-Isopropylbenzene SS 2-Isopropyltolu



<< Top >>

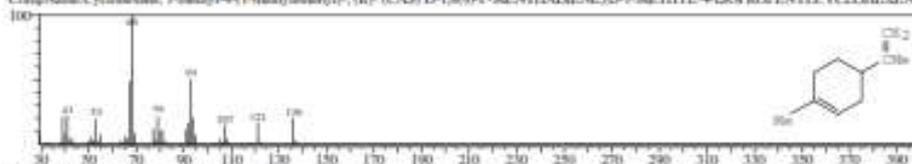
Line: 7 R-Time: 14.659 (Scan#: 1544) MassPeak: 36
 RawMode: Averaged [4.650-14.667] (543-1545) BasePeak: 36 (159558)
 RG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



H18-1 Entry: 19412 Library: WILEY2291.LIB

SI: 96 Formula: C10H16 CAS: 989-27-5 MolWeight: 136 RetIndex: 0

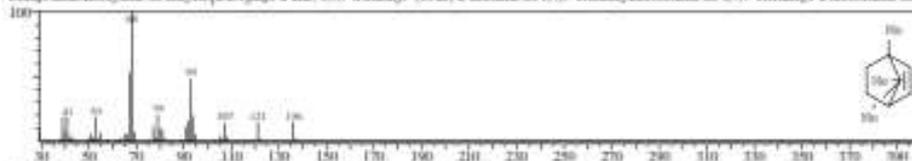
CompName: Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylbutyl)-, (R)- (CAS) D-1,8(1)-P-MENTHADENE, (D)-1-METHYL-4-ISOPROPENYL-CYCLOHEXENE



H18-2 Entry: 19498 Library: WILEY2291.LIB

SI: 96 Formula: C10H16 CAS: 864-17-5 MolWeight: 136 RetIndex: 0

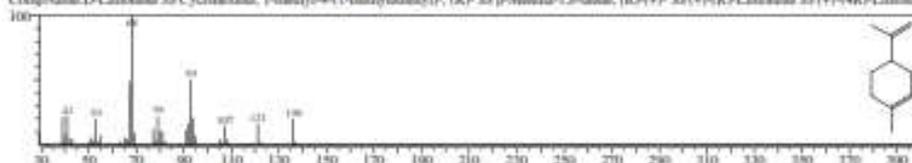
CompName: Bicyclo[2.2.1]hept-5-ene, 1,7,7-trimethyl- (CAS) 2-Therane S5 1,7,7-Trimethylbicyclohexane S5 1,7,7-Trimethyl-2-oxabicyclo[2.2.1]heptane S5



H18-3 Entry: 6664 Library: NIST02.LIB

SI: 96 Formula: C10H16 CAS: 9109-27-5 MolWeight: 136 RetIndex: 0

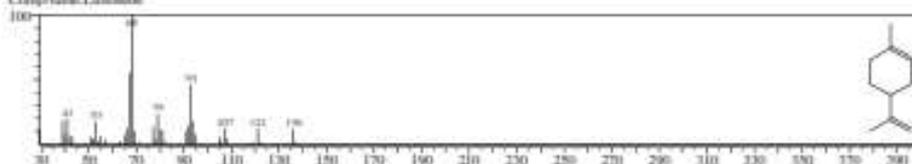
CompName: D-Limonene S5 Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylbutyl)-, (R)- S5 p-Menthyl-1,8-diene, (R)- (+)- S5 (+)- (R)-Limonene S5 (+)- (4R)-Limonene



H18-4 Entry: 3541 Library: NIST12.LIB

SI: 95 Formula: C10H16 CAS: 174-86-1 MolWeight: 136 RetIndex: 0

CompName: Limonene

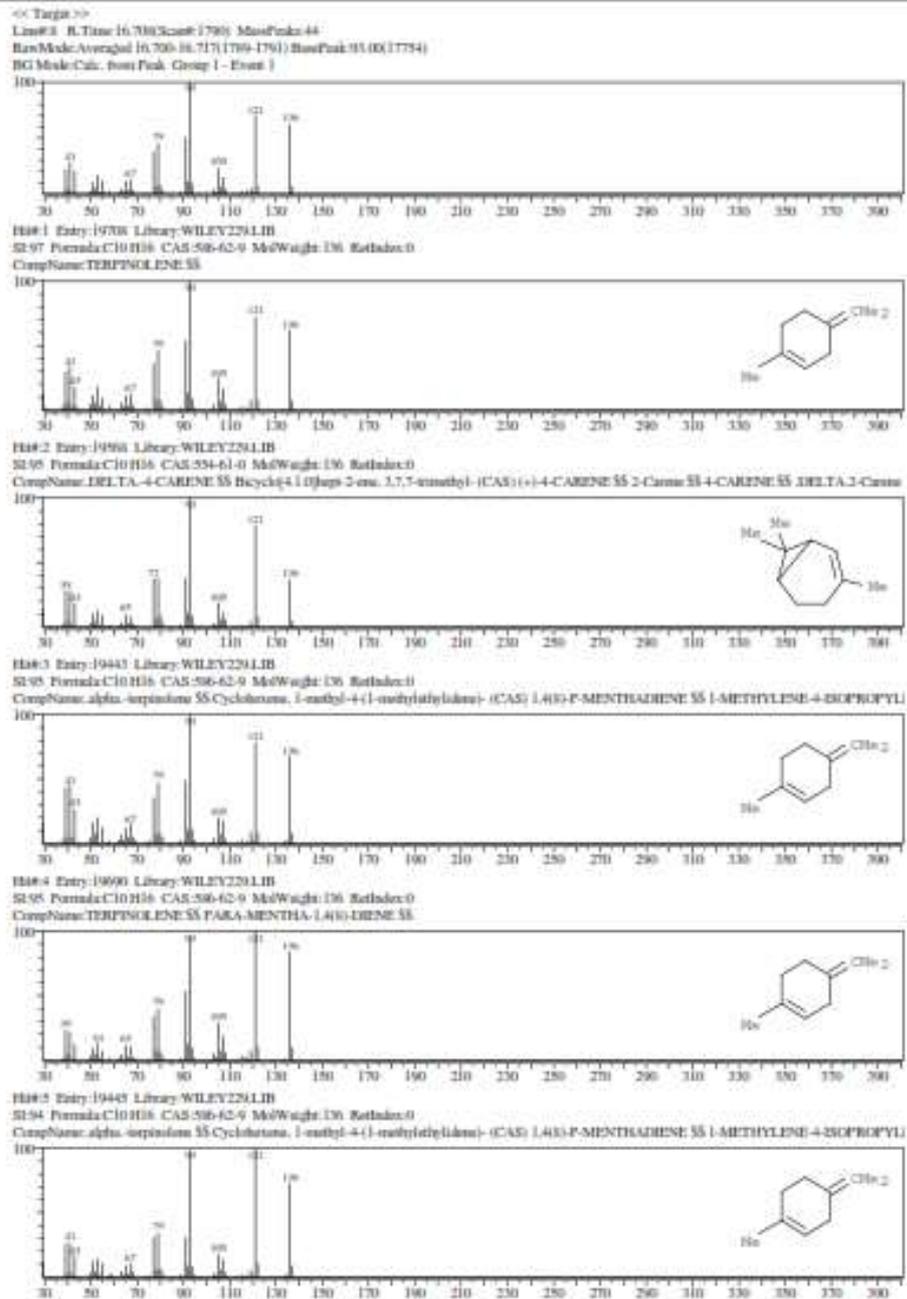


H18-5 Entry: 19416 Library: WILEY2291.LIB

SI: 95 Formula: C10H16 CAS: 130-86-3 MolWeight: 136 RetIndex: 0

CompName: L-Limonene S5 Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylbutyl)- (CAS) 1-P-MENTHIA-1,8-DIENE S5 Limonene S5 Clean S5 Neod S5 Clean S5 L

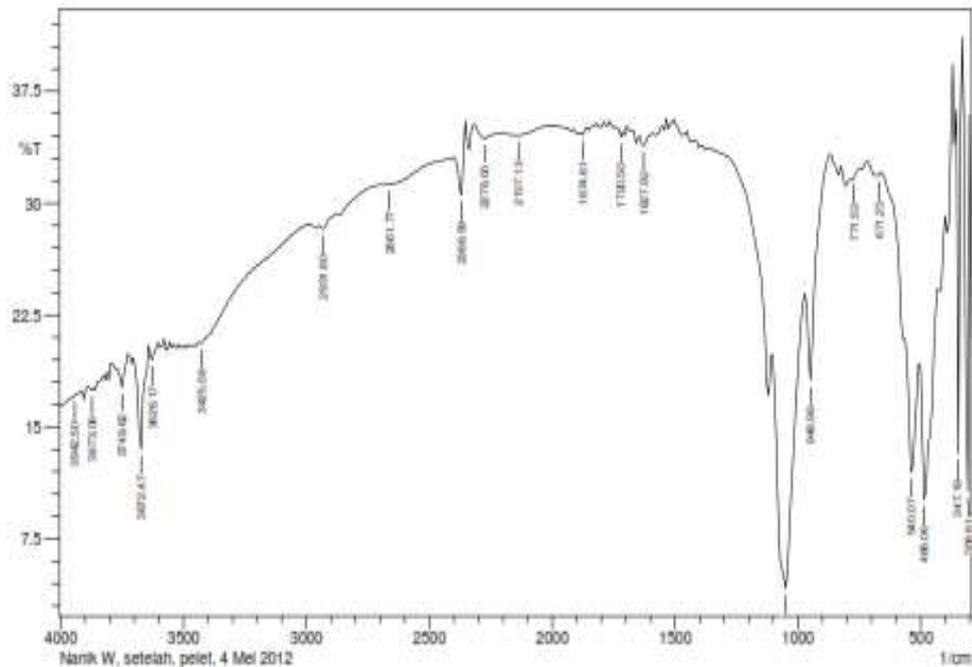




Lampiran 12. Hasil Analisis IR H/Z A sebelum adsorpsi piridin



Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM

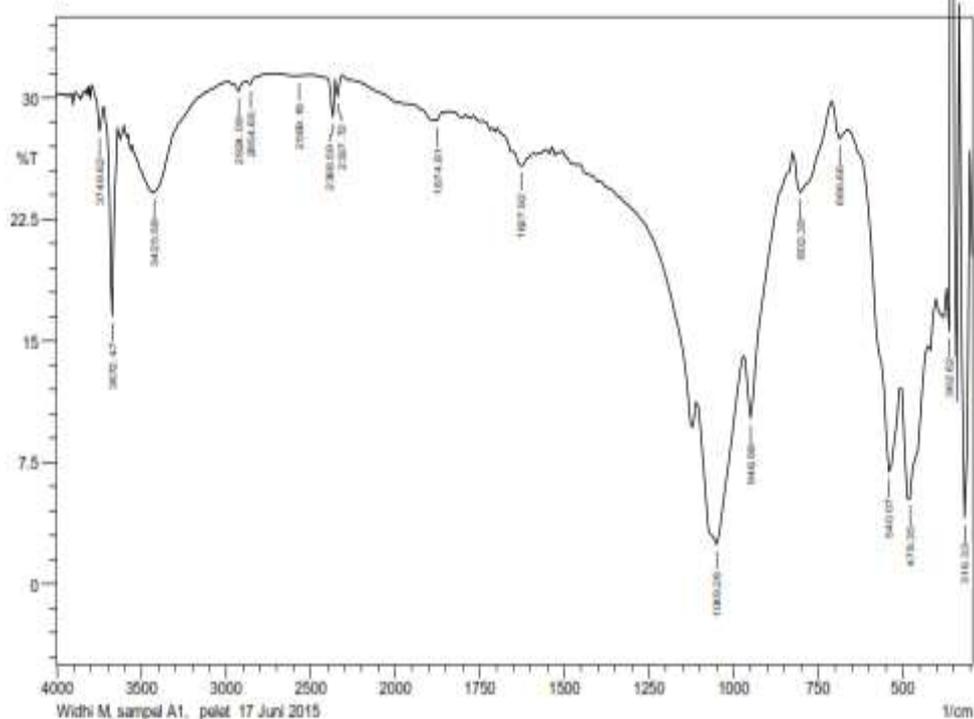


	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	308.61	10.657	24.994	324.04	300.9	16.712	6.344
2	347.19	13.218	24.684	354.5	331.76	13.412	4.003
3	486.06	10.125	10.081	501.49	432.05	55.965	10.019
4	540.07	11.947	9.965	655.8	509.21	96.338	8.233
5	671.23	31.854	0.338	717.52	663.51	26.667	0.233
6	771.53	31.537	0.239	779.24	756.1	11.454	0.068
7	948.98	18.104	6.791	964.41	871.82	52.87	2.57
8	1049.28	4.157	17.398	1103.28	972.12	124.214	37.812
9	1627.92	33.86	0.688	1643.35	1597.06	21.561	0.206
10	1720.5	34.434	0.645	1735.93	1697.56	17.694	0.159
11	1874.81	34.577	0.37	1913.39	1867.09	21.27	0.139
12	2137.13	34.547	0.275	2191.13	2013.68	81.346	0.311
13	2276	34.316	0.691	2314.58	2229.71	39.145	0.394
14	2368.59	30.554	3.94	2391.73	2353.16	18.852	1.008
15	2661.77	31.232	0.681	2669.48	2399.45	132.751	0.142
16	2931.8	28.28	0.405	2947.23	2708.06	125.302	0.214
17	3425.58	20.6	0.219	3433.29	3001.24	239.707	0.098
18	3626.17	19.512	1.059	3641.6	3603.03	26.937	0.471
19	3672.47	13.484	6.744	3718.78	3641.6	58.036	4.425
20	3749.62	17.674	1.588	3765.05	3726.47	28.095	0.677
21	3873.06	17.458	0.366	3888.49	3834.49	40.528	0.247
22	3942.5	16.925	0.131	3950.22	3919.35	23.55	0.017

Lampiran 14. Hasil Analisis IR katalis Zr^{4+}/ZA



Lah. Kimia Organik FMIPA - UGM

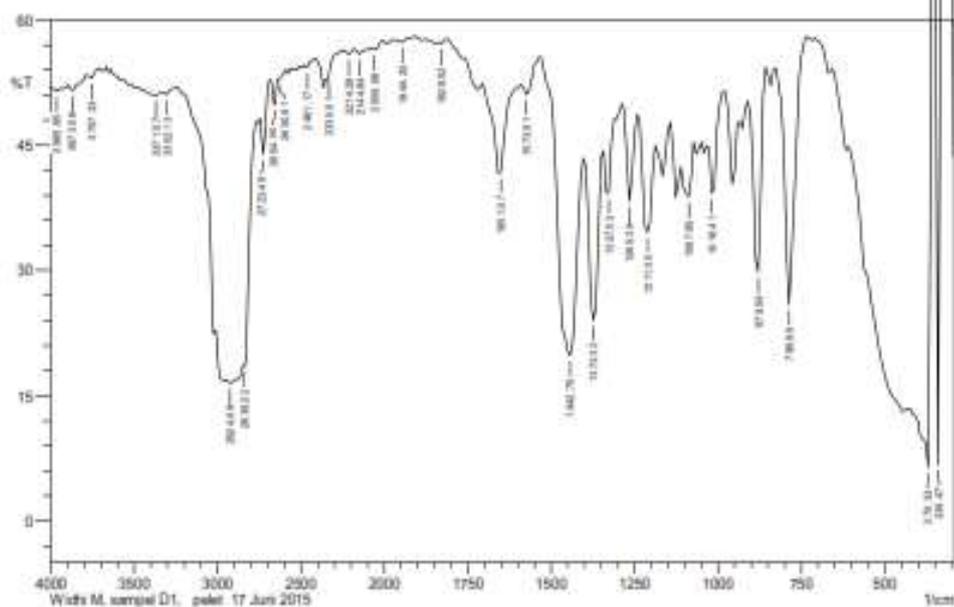


	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	316.33	4.075	14.186	324.04	300.9	23.468	8.044
2	362.62	15.601	39.6	370.33	354.9	6.499	3.238
3	478.35	5.239	7.524	501.49	432.05	75.118	14.08
4	540.07	6.907	8.464	655.8	509.21	117.847	10.981
5	686.66	27.435	1.358	702.09	663.51	21.455	0.444
6	802.39	24.145	2.465	817.82	709.8	62.782	3.077
7	948.98	10.2	5.08	964.41	825.53	100.203	3.885
8	1049.28	2.412	9.818	1103.28	972.12	180.015	41.069
9	1627.92	25.794	0.712	1643.35	1597.06	27.005	0.3
10	1874.81	28.588	0.698	1959.68	1843.95	62.104	0.538
11	2337.72	30.083	1.156	2353.16	2314.58	19.768	0.299
12	2368.59	28.788	2.391	2484.32	2353.16	66.949	0.723
13	2569.18	31.339	0.038	2708.06	2561.47	73.742	0.068
14	2854.66	30.84	0.251	2885.51	2715.77	85.855	0.076
15	2924.09	30.422	0.457	2947.23	2893.22	27.705	0.161
16	3425.56	24.123	3.874	3556.74	3001.24	308.768	10.476
17	3672.47	16.533	12.062	3718.76	3641.6	48.083	6.192
18	3749.62	27.921	1.982	3788.19	3726.47	32.999	0.7

Lampiran 15. Hasil Analisis IR produk isomerisasi temperatur 150°C, 180 menit



Lab. Kimia Organik FMIPA - UGM



Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	330.47	6.77	146.66	354.9	331.76	13.42
2	370.33	6.36	246.76	424.34	364.9	45.15
3	786.06	25.85	29.9	625.53	732.95	9.68
4	879.54	29.8	22.78	910.4	856.39	5.36
5	1018.41	39.23	6.73	1026.13	987.55	1.2
6	1067.65	38.81	5.38	1111	1072.42	1.31
7	1211.3	34.55	11.91	1234.44	1188.15	3.51
8	1265.3	38.26	10.76	1280.73	1242.16	1.37
9	1327.03	39.23	6.68	1342.46	1298.45	1.59
10	1373.32	24.04	18.89	1396.46	1350.17	6.85
11	1442.75	19.79	27.35	1527.62	1404.18	20.01
12	1573.91	51.01	1.46	1561.63	1535.34	0.27
13	1651.07	41.66	10.61	1705.07	1560.34	3.66
14	1626.52	57.16	0.54	1674.81	1613.09	0.14
15	1944.25	57.28	0.44	1967.39	1913.39	0.26
16	2059.98	56.4	0.43	2075.41	2013.68	0.14
17	2144.64	55.9	0.62	2163.42	2098.55	0.16
18	2214.28	55.89	0.44	2229.71	2191.13	0.59
19	2330.01	52.81	0.27	2337.72	2237.43	25.57
20	2461.17	54.29	0.47	2476.8	2422.59	14.11
21	2630.91	52.86	0.26	2638.62	2592.33	12.63
22	2684.05	49.88	2.98	2677.2	2638.62	11.19
23	2723.49	43.86	5.35	2738.92	2684.91	16.99
24	2839.22	18.44	3.08	2846.93	2769.78	37.36
25	2924.09	16.51	4.06	3006.95	2846.93	124
26	3302.13	51.08	0.38	3317.66	3278.99	11.17
27	3371.57	50.96	0.39	3433.29	3325.28	31.47
28	3757.33	53.06	0.6	3786.19	3726.47	16.62
29	3873.06	51.57	0.67	3886.49	3795.91	26.11
30	3965.65	51.45	0.35	3968.79	3942.5	13.3