

**PENGARUH JENIS ASAM DAN JENIS BAHAN BAKU
TERHADAP PEMBUATAN KATALIS
KARBON TERSULFONASI
DENGAN METODE HIDROTERMAL SATU TAHAP**

ICE-410 PENELITIAN

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar

sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

Oleh

Syntia(2014620040)

Kevin Siswanto (2014620092)

Pembimbing

Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**

2018



LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL: PENGARUH JENIS ASAM DAN JENIS BAHAN BAKU
TERHADAP PEMBUATAN KATALIS KARBON TERSULFONASI
DENGAN METODE HIDROTERMAL SATU TAHAP**

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 15 Januari 2018

Pembimbing,

Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D.



PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN



SURAT PERNYATAAN

Kami, yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Syntia

NRP : 6214040

Nama : Kevin Siswanto

NRP : 6214092

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**PENGARUH JENIS ASAM DAN JENIS BAHAN BAKU
TERHADAP PEMBUATAN KATALIS KARBON TERSULFONASI
DENGAN METODE HIDROTERMAL SATU TAHAP**

adalah hasil pekerjaan kami, dan seluruh ide, pendapat, dan materi dari sumber lain, telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini kami buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka kami bersedia menanggung sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung , 8 Januari 2018

Syntia

(6214040)

Kevin Siswanto

(6214092)



LEMBAR REVISI

**JUDUL: PENGARUH JENIS ASAM DAN JENIS BAHAN BAKU
TERHADAP PEMBUATAN KATALIS KARBON TERSULFONASI
DENGAN METODE HIDROTHERMAL SATU TAHAP**

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 15 Januari 2018

Penguji,

Tedi Hudaya, S.T.,M.Eng.Sc.,Ph.D.

Susiana Prasetyo, S.T.,M.T.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Mahakuasa karena anugerah-Nya yang luar biasa telah mengizinkan penulis menyelesaikan laporan penelitian ini dengan tepat waktu. Penelitian berjudul “Pengaruh Jenis Asam dan Jenis Bahan Baku Terhadap Pembuatan Katalis Karbon Tersulfonasi dengan Metode Hidrotermal Satu Tahap” ini disusun sebagai salah satu bentuk prasyarat kelulusan Jurusan Proses Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan. Penulis menyadari tanpa orang-orang yang berada di samping penulis, laporan penelitian ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah membantu penulis dalam proses penyusunan laporan penelitian;
2. Orang tua yang sangat penulis banggakan dan sayangi, yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan laporan penelitian;
3. Teman-teman penulis yang telah memberikan semangat, dukungan dan bantuan kepada penulis; serta
4. Semua pihak yang ikut membantu penulis dalam proses penyusunan laporan penelitian.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan penelitian ini. Akhir kata, penulis mengharapkan melalui laporan penelitian ini dapat membantu memperluas pengetahuan para pembaca.

Bandung, 8 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

COVER DALAM.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
INTISARI.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	3
1.3 Premis.....	3
1.4 Identifikasi Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
1.6.1 Bagi Ilmuwan.....	5
1.6.2 Bagi Dunia Industri.....	5
1.6.3 Bagi Lingkungan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengertian Katalis.....	6
2.2 Katalis Berdasarkan Gugus Fungsi.....	7
2.3 Katalis Asam Berdasarkan fungsinya.....	7
2.3.1 Katalis Homogen.....	8
2.3.2 Katalis Heterogen.....	8
2.4 Katalis Asam Heterogen dari Karbon Tersulfonasi (CBSC).....	9
2.5 Biomassa sebagai Bahan pembuatan CBSC.....	10
2.6 Metode-Metode Karbonisasi.....	12
2.6.1 Metode Karbonisasi Tidak Sempurna dengan H ₂ SO ₄	12
2.6.2 Metode Pirolisis-Sulfonasi.....	13
2.6.3 Metode Impregnasi.....	17

2.6.4 Metode Hidrotermal-Sulfonasi.....	18
2.6.5 Metode Hidrotermal Satu Tahap.....	20
2.6.6 Pembuatan Katalis Karbon Silika dengan Metode Hidrotermal.....	22
2.7 Metode Analisis	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Pembuatan Katalis Berbahan Dasar Pati.....	25
3.2 Uji Kinerja Katalis	27
3.3 Uji Acid Site Density	27
3.4 Rancangan Percobaan	28
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Sintesis Katalis Komposit Karbon Silika.....	34
4.2 Penentuan Nilai Acid Site Densities.....	35
4.2.1 Pengaruh Variasi Bahan Terhadap Acid Site Density.....	35
4.2.2 Pengaruh Jenis Asam Terhadap Nilai Acid Site Density.....	36
4.3 Karakterisasi Katalis	37
4.3.1 Pengaruh Variasi Bahan	37
4.3.2 Pengaruh Variasi Asam.....	38
4.4 Uji Kinerja Katalis Komposit Karbon Silika.....	39
4.4.1 Pengaruh Jenis Bahan Terhadap Konversi	42
4.4.2 Pengaruh Jenis Asam Terhadap Konversi	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN A	52
LAMPIRAN B	53
LAMPIRAN C	60
LAMPIRAN D.....	66
LAMPIRAN E	69
LAMPIRAN F	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus katalis.....	6
Gambar 2.2	Reaksi katalis.....	7
Gambar 2.3	Struktur amilosa dan amilopektin pada pati	12
Gambar 2.4	Proses Karbonisasi D-Glukosa dan Sukrosa.....	14
Gambar 2.5	Perbandingan Konversi Pada Reaksi Esterifikasi.....	24
Gambar 2.6	Sintesis Novel Karbon/ Silika.....	25
Gambar 3.1	100 ml <i>Teflon-lined stainless steel autoclave</i>	30
Gambar 4. 1	Hasil Sintesis Katalis Menggunakan Selulosa.....	35
Gambar 4.2	Mekanisme Substitusi Gugus Sulfonat	36
Gambar 4. 3	Pengaruh Jenis Bahan Terhadap Nilai Acid Site.....	38
Gambar 4. 4	Pengaruh Jenis Asam Terhadap Acid Site Density	39
Gambar 4. 5	Pengaruh Variasi Bahan Terhadap Luas Permukaan.....	41
Gambar 4. 6	Pengaruh Jenis Asam Terhadap Luas Permukaan	43
Gambar 4. 7	Reaksi Esterifikassi Asam Asetat dan Butanol.....	43
Gambar 4. 8	Pemisahan Fasa Atas dan Fasa Bawah	44
Gambar 4. 9	Pengaruh Jenis Bahan Terhadap Konversi	46
Gambar 4.10	Pengaruh Jenis Asam Terhadap Konversi	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan katalis homogen dan heterogen	9
Tabel 2.2 Perbandingan Yield, Densitas, dan Luas Permukaan Berbagai Bahan	17
Tabel 2.3 Perbandingan Katalis Padat Asam dari Beberapa Bahan	18
Tabel 3.1 Variasi rancangan percobaan.....	34
Tabel 3.2 Tabel rencana kerja.....	34
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Acid Site Density	37
Tabel 4.2 Hasil Analisa BET	41
Tabel 4.3 Hasil Kecenderungan Konversi Terhadap Variasi Asam dan Variasi Bahan	45

INTISARI

Katalis berperan penting dalam dunia industri karena berfungsi mempercepat laju reaksi. Dalam industri, penggunaan katalis asam lebih umum digunakan. Katalis asam ini terbagi menjadi katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen digunakan dalam industri karena memiliki aktivitas dan selektifitas katalis yang baik namun relatif sulit dipisahkan. Walaupun katalis asam homogen lebih murah, bersifat korosif sehingga alat yang digunakan lebih mahal. Oleh sebab itu sebagai alternatif dapat digunakan katalis heterogen. Katalis heterogen yang berasal dari biomassa mulai dikembangkan seperti katalis karbon tersulfonasi untuk menggantikan katalis komersial yang harganya relatif mahal seperti *Amberlyst*. Katalis karbon tersulfonasi ini bersifat tidak korosif, ramah lingkungan, dan aktivitas tetap baik meski digunakan berulang kali.

Pembuatan katalis karbon tersulfonasi menggunakan proses hidrotermal satu tahap dengan disertai penambahan *support* berupa *tetraethyl orthosilicate* (TEOS). Proses hidrotermal dilakukan dengan pemanasan biomassa pada temperatur 180° C dan waktu hidrotermal selama 24 jam. Jenis asam yang divariasikan sebanyak 3 jenis yaitu *P-toluene sulfonic acid* (TsOH), H₂SO₄, *hydroxyethylsulfonic acid*. Bahan baku divariasikan sebanyak 4 jenis yaitu pati, glukosa, sukrosa, dan selulosa. Aktivitas katalis terbaik diuji dengan reaksi esterifikasi asam asetat dengan butanol menjadi butil asetat. Selain itu, luas permukaan katalis yang diperoleh dianalisa menggunakan metode BET.

Berdasarkan hasil penelitian sintesis katalis karbon tersulfonasi, katalis yang terbentuk melalui proses hidrotermal satu tahap dari ketiga jenis asam dan keempat jenis bahan baku memiliki kinerja yang baik pada reaksi esterifikasi. Nilai konversi reaksi yang dihasilkan pada percobaan ini berada pada rentang 77-81% dinilai sudah cukup baik melihat konversi *Amberlyst* pada reaksi yang sama berada pada nilai 80-85%. Penggunaan asam TsOH dan jenis bahan baku pati menghasilkan konversi yang paling besar yaitu 81,57 %. Nilai konversi ini dipengaruhi oleh nilai *acid site density* dan luas permukaan dimana TsOH dan pati memiliki *acid site density* paling besar yaitu sebesar 1,28 mmol/gram dan luas permukaan 354 m²/g. Nilai konversi paling rendah dihasilkan oleh katalis yang terbuat dari jenis asam H₂SO₄ dan glukosa, dengan nilai sebesar 77,21%. Hal ini juga sesuai dengan nilai *acid site density* yang dimiliki sampel tersebut yaitu 0,45mmol/gram yang merupakan nilai *acid site density* terendah. Selain itu sampel glukosa dan H₂SO₄ juga memiliki luas permukaan paling rendah yaitu 0,55 m²/g.

Kata kunci: katalis, asam, heterogen, aktivitas, karbon, sulfonasi, konversi, biom hidrotermal satu tahap, luas permukaan, reaksi, tingkat keasaman.

ABSTRACT

Catalyst has important role in many industries because it can accelerate chemical reaction rate. It is divided into two types, mainly homogeneous and heterogeneous. Homogeneous catalyst is used oftenly because it has a good activity with large surface area and the price is cheaper than the heterogeneous. But, homogeneous is corrosive so it can cause damaged to the equipment and difficult to separate it from the product. Nowadays, heterogeneous catalyst from biomass is widely used to replace commercial catalyst, such as Amberlyst which is more expensive. Moreover heterogeneous catalyst is environmentally friendly, not corrosive, and has a good activity even though it is used repeatedly.

The purpose of this research to understand the effect of many kind of acids and variation of raw materials to determine the best catalyst activity. Synthesis of carbon-based sulfonated catalyst with one stage of hydrothermal process. The biomass and acid are carbonated at temperature of 180°C with Tetraethyl Orthosilicate (TEOS) as support for 24 hours. There are 3 kinds of acid used in this research, such as sulfonic acid (H₂SO₄), hydroxyethylsulfonic acid, and P-toluene sulfonic acid (TsOH). Beside that, there are 4 variations of raw material used, mainly starch, glucose, sucrose, and cellulose. Then the activity of catalyst is tested with esterification butyl acetic through reaction between butanol and acetic acid.

According to this research of carbon-based sulfonated catalyst synthesis, catalyst is synthesized by one step hydrothermal process which used 3 variations of acid and 4 variations of raw material has a good activity through esterification reaction. The conversion from this reaction has 77-81% which is considered quite good when compared with Amberlyst which is has 80-85% -conversion in the same condition. The mixture of starch and TsOH has the highest conversion of 81,57%. This conversion is related to acid site density which is the mixture of starch and TsOH has the highest acid site density is about 1,28 mmol/g. The lowest value of conversion is resulted by the mixture of sulfonic acid and glucose, which is 77,21%. This result is equal with the lower value of acid site density from this mixture, which is 0,45 mmol/g. The value of conversion is also related to surface area. Catalyst from the mixture of starch and TsOH has the highest value of 354 m²/g.

Keywords: *catalyst, acids, heterogeneous, activity, carbon, sulfonation, conversion, biomass, one-step hydrothermal, surface area, acid site*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Katalis telah banyak digunakan dalam bidang industri kimia. Katalis sendiri berfungsi untuk mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi, sehingga energi yang dibutuhkan untuk menjalankan reaksi lebih rendah (Chorkendorff and Niemantsverdriet 2003). Berdasarkan fasanya katalis dibedakan menjadi katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa yang sama dengan reaktannya, biasanya berbentuk cair atau gas. Kekurangan dari katalis homogen yaitu sulit dipisahkan dan perlu *pretreatment* sehingga membutuhkan biaya lagi. Sedangkan katalis heterogen bersifat tidak korosif, mudah dipisahkan, dan dapat diregenerasi berulang kali dalam jangka waktu yang lama.

Katalis asam merupakan salah satu jenis katalis yang digunakan dalam industri. Katalis asam homogen seperti H_2SO_4 telah banyak digunakan tetapi sulit untuk dipisahkan dan memerlukan biaya lagi (Xiao, Guo et al. 2010). Oleh karena itu katalis asam heterogen dikembangkan untuk mengatasi kekurangan pada katalis homogen. Katalis heterogen biasanya berbentuk padatan, seperti *Amberlyst*, zeolit, dan *Naftion-NR 50* memiliki aktivitas yang baik (Kiss, Dimian et al. 2006). Kelemahan dari katalis komersial ini yaitu stabilitas yang rendah dan harga yang relatif mahal, sehingga mulai dikembangkan katalis asam karbon tersulfonasi. Selain itu bahan dari biomassa lebih murah dan mudah didapat di alam, misalnya pati.

Katalis asam karbon tersulfonasi menggunakan pati memberikan stabilitas termal yang baik (Liang, Li et al. 2011). Katalis berbahan dasar karbon dapat dibuat dengan metode pirolisis-sulfonasi. Metode ini paling umum dengan membentuk struktur polisiklik aromatik dan disulfonasi untuk memasukkan gugus $-SO_3H$. Walaupun menghasilkan tingkat keasamaan dan kestabilan yang baik, tetapi metode ini masih menghasilkan luas permukaan yang kecil sehingga dibutuhkan proses impregnasi.

Impregnasi dilakukan dengan memasukkan aktivator seperti H_3PO_4 dan ZnCl_2 dapat meningkatkan luas permukaan (Kitano, Arai et al. 2009), tetapi penggunaan H_3PO_4 dan ZnCl_2 dapat mencemari lingkungan. Kelemahan pirolisis yaitu waktu yang lama dan temperatur yang tinggi dapat membuat gugus sulfonat terlepas.

Metode karbonisasi hidrotermal merupakan metode yang digunakan untuk membentuk material polisiklik aromatik dan juga memasukkan gugus fungsi tertentu ke dalam kerangka karbon yang dihasilkan dengan menambahkan zat aditif tertentu. Proses hidrotermal dilakukan pada kondisi temperatur yang relatif rendah dibanding metode pirolisis yaitu 180-200°C, murah, prosesnya sederhana, ramah lingkungan, dan tidak memerlukan gas inert untuk menghilangkan oksigen. Pada metode hidrotermal, bahan baku yang digunakan tidak perlu dikeringkan. Tahap selanjutnya yaitu sulfonasi agar gugus SO_3H dapat masuk ke struktur polisiklik aromatik. Proses sulfonasi yang membutuhkan H_2SO_4 masih menimbulkan pencemaran lingkungan. Oleh sebab itu, dikembangkan metode hidrotermal satu tahap. Hidrotermal satu tahap dioperasikan pada suasana asam ($\text{pH} < 7$) supaya tidak terbentuk produk samping dalam kondisi basa. Proses karbonisasi hidrotermal satu tahap dikembangkan untuk mensintesis katalis karbon dari bahan sakarida secara lebih efisien untuk mengurangi limbah kimia yang berbahaya karena meminimalisir penggunaan asam kuat seperti asam sulfat pada proses sulfonasi. Namun, proses hidrotermal satu tahap menghasilkan katalis dengan luas permukaan kecil oleh sebab itu ditambahkan agen support berupa TEOS. TEOS digunakan karena harganya yang relatif murah dibandingkan agen support lainnya. Penambahan asam seperti TsOH dapat berfungsi membentuk kelompok $-\text{SO}_3\text{H}$ sehingga dapat mengurangi penggunaan asam pekat yang dapat merusak struktur katalis.

Dalam penelitian ini, katalis asam heterogen akan dibuat dengan metode hidrotermal satu tahap yang ditambahkan TEOS sebagai support untuk memperbesar luas permukaan. Pada penelitian ini divariasikan bahan baku berupa glukosa, selulosa, dan pati serta variasi jenis asam berupa TsOH, *hydroethylsulphonic acid*, H_2SO_4 0,2 gram. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh bahan baku dan jenis asam mana yang dapat menghasilkan kinerja katalis yang paling baik.

1.2 Tema Sentral Masalah

Katalis komposit karbon silika dapat dihasilkan dari bahan baku biomassa dengan gugus fungsi gula. Dalam penelitian ini akan disintesis katalis komposit karbon silika dengan luas permukaan yang besar menggunakan proses karbonisasi hidrotermal satu tahap. Sintesis dengan menggunakan metode ini tidak membutuhkan suhu yang terlalu tinggi dan waktu yang singkat. Pada percobaan ini ditambahkan TEOS sebagai support untuk memperbesar luas permukaan. Parameter penting dalam percobaan seperti variasi bahan, penambahan jenis asam, dan penambahan TEOS pada karbonisasi hidrotermal perlu diperhatikan untuk memperoleh komposisi yang menghasilkan kinerja katalis yang paling baik.

1.3 Premis

1. Percobaan dengan variasi bahan berupa D-glukosa, sukrosa, selulosa, dan pati. Dengan menggunakan H_2SO_4 selama 15 jam dengan suhu $150^\circ C$ digunakan untuk proses sulfonasi agar gugus sulfonat masuk ke polisiklik aromatik. (Lou, Zong et al. 2008)
2. Percobaan menggunakan sample berupa biomass dan glukosa, xylose, maltosa monohidrat, sukrosa, amilopektin dari pati kentang sebagai standarrd. Samples dihidrotermal pada oven $180^\circ C$ selama 24 jam. (Titirici, Antonietti et al. 2008)
3. Proses karbonisasi hidrotermal satu tahap menggunakan *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) dan *hydroxyethylsulfonic acid* sebanyak 2 gram sebagai aktivator menghasilkan katalis dengan luas permukaan spesifik sebesar $532 \text{ m}^2/\text{gram}$. Luas permukaan spesifik yang dihasilkan tanpa TEOS sebesar $126 \text{ m}^2/\text{gram}$. Luas permukaan dianalisis dengan BET. (Lu, Liang, & Qi, 2012)
4. Proses karbonisasi hidrotermal satu tahap menggunakan asam *p-toluene sulfonic* (TsOH) sebagai agen sulfonasi dengan variasi komposisi asam sebanyak 1-3 gram. Katalis dengan komposisi asam 3 gram memiliki nilai *acid sites* sebesar 1,99 mmol/gram. (Weili Zhang, et al, 2011)
5. Kondisi hidrotermal satu tahap dengan temperatur $180^\circ C$ dan waktu hidrotermal selama 24 jam, dengan asam *p-toluene sulfonic* (TsOH) sebagai agen sulfonasi. (Baoua Zhang, et al, 2010)
6. Katalis karbon komposit yang telah jadi dikeringkan dalam oven pada temperatur $100^\circ C$ selama semalam. (Wang, Xu, Ren, Liu, & Lu, 2011)

7. Katalis dibuat dari campuran glukosa (15 g), air (80 g), dan asam sulfat (0,2 g) dihidrotermal pada suhu 180° C selama 4 jam (Liang, Li et al. 2011).

1.4 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi bahan baku dan jenis asam terhadap *acid density*?
2. Bagaimana pengaruh variasi bahan baku dan jenis asam terhadap luas permukaannya katalis?
3. Bagaimana pengaruh variasi bahan baku dan jenis asam terhadap aktivitas katalis?

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi bahan baku dan jenis asam terhadap *acid density*.
2. Mengetahui pengaruh variasi bahan baku dan jenis asam terhadap luas permukaan katalis.
3. Mengetahui jenis bahan baku dan jenis asam yang paling baik dalam pembuatan katalis.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini mengenai pembuatan katalis komposit karbon silika memiliki manfaat bagi ilmuwan, industri, dan lingkungan

1.6.1 Bagi Ilmuwan

1. Mengetahui jenis bahan baku yang paling baik dan asam yang paling baik untuk sintesis katalis asam heterogen dengan struktur komposit karbon silika.
2. Mengetahui pengaruh variasi bahan baku dan pengaruh jenis asam terhadap kinerja katalis yang dihasilkan

1.6.2 Bagi Dunia Industri

1. Menemukan metode yang efektif untuk mensintesis katalis komposit karbon silika.
2. Menurunkan biaya produksi dari sintesis katalis komposit karbon silika karena bahan dasar yang berasal dari alam sehingga murah dan efisien.
3. Menghasilkan perolehan yang tinggi dari suatu reaksi yang dikatalisasi oleh katalis komposit karbon silika.

1.6.3 Bagi Lingkungan

1. Menciptakan proses yang ramah lingkungan dalam sintesis katalis komposit karbon silika yang berlangsung pada temperatur rendah.
2. Mengurangi dampak yang tidak baik pada lingkungan yang diakibatkan oleh katalis asam homogen