

## **SINTESIS SILIKA TERMODIFIKASI SULFONAT DARI SENYAWA ALKOKSISILAN MELALUI PROSES SOL-GEL**

**Siti Sulastri \*, Nuryono \*\*, Indriana Kartini\*\*, dan Eko Sri Kunarti \*\***

*\*Mahasiswa S3 Kimia UGM dan Jur.Dik. Kimia FMIPA UNY*

*\*\* Jurusan Kimia FMIPA UGM*

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh senyawa silika termodifikasi sulfonat sebagai salah satu adsorben yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai kepentingan. Sebagai sumber silika dipakai salah satu senyawa alkoksisilan yaitu tetrametoksiortosilikat ( disingkat TMOS ). Proses sol gel dilakukan untuk menghasilkan silika termodifikasi merkupto dilakukan dengan mereaksikan senyawa 3 merkaptopropiltrimetoksisilan ( disingkat MPTMS) dengan TMOS dengan dan tanpa tambahan methanol. Selanjutnya silika termodifikasi merkupto yang diperoleh diubah menjadi silika termodifikasi sulfonat dengan proses oksidasi. Bahan oksidator yang dipakai adalah hidrogen peroksida dan asam nitrat. Hasilnya dikarakterisasi untuk menentukan gugus fungsi ( spektroskopi FTIR ), kapasitas pertukaran ion ( titrasi volumetri sesudah direndam dalam larutan NaCl ), luas permukaan ( metode BET ) dan analisis komponen ( spektroskopi EDX ). Sebagai pembanding juga dilakukan analisis yang sama terhadap silika termodifikasi merkupto dan terhadap silika gel dari TMOS. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas pertukaran kation dari hasil oksidasi dengan asam nitrat lebih tinggi dari hasil oksidasi dengan hidrogen peroksida. Walaupun demikian luas permukaan dari hasil oksidasi dengan hidrogen peroksida lebih tinggi dari pada hasil oksidasi dengan asam nitrat. Hasil spektroskopi EDX menunjukkan bahwa hasil oksidasi silika termodifikasi merkupto dengan asam nitrat tidak mengandung komponen nitrogen.

Kata kunci : silika termodifikasi sulfonat - TMOS

### **PENDAHULUAN**

Silika gel merupakan salah satu bahan kimia berbentuk padatan yang banyak dimanfaatkan sebagai adsorben. Hal ini disebabkan oleh mudahnya produksi dan juga beberapa kelebihan yang lain, yaitu : sangat inert, hidrofilik, mempunyai kestabilan termal dan mekanik yang tinggi serta relatif tidak mengembang dalam pelarut organik jika dibandingkan dengan padatan resin polimer organik. Kualitas yang berkaitan dengan pemanfaatannya ditentukan oleh berbagai faktor, yaitu struktur internal, ukuran partikel, porositas, luas permukaan, ketahanan dan polaritasnya. Sifat sebagai penjerap yang disebut juga sifat adsorptif adalah karena adanya situs aktif pada permukaan.

Walaupun mempunyai berbagai kelebihan, ternyata silika gel juga mempunyai beberapa kelemahan. Kelemahan tersebut adalah karena pada silika gel jenis situs aktif hanya berupa gugus silanol atau  $\equiv\text{Si-OH}$  dan siloksan atau  $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ . Gugus silanol ini mempunyai sifat keasaman yang rendah, disamping mempunyai oksigen sebagai atom donor yang sifatnya lemah ( Tokman, 2003; 202). Adanya kelemahan ini dapat diatasi dengan cara modifikasi permukaan. Pada modifikasi ini diharapkan jenis situs aktifnya akan berubah sehingga menjadi lebih luas bidang pemanfaatannya.

Modifikasi silika gel untuk merubah gugus fungsi pada situs aktifnya secara umum dilakukan dengan menambahkan pereaksi dengan diberi suatu perlakuan fisis. Proses modifikasi untuk menghasilkan silika termodifikasi sulfonat juga dilakukan dengan menambahkan modifier yang dapat memberikan substituen yang mengandung gugus sulfonat dan apabila perlu juga diberi perlakuan fisis. Modifikasi permukaan silika gel atau modifikasi silika gel berhubungan dengan keseluruhan proses yang bertujuan untuk mengubah komposisi kimia pada permukaan. Proses

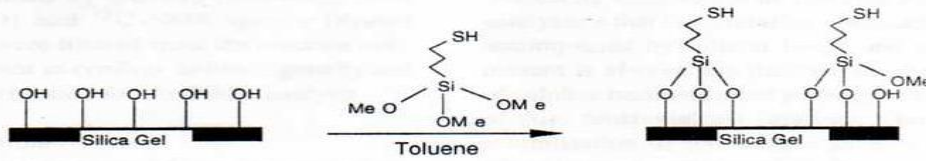
modifikasi adalah dengan mengubah gugus  $\equiv\text{Si-OH}$  menjadi  $\equiv\text{Si-OM}$ .dimana M adalah beberapa spesies baik sederhana ataupun kompleks selain H(El Shafei, 54). Modifikasi akan mempengaruhi secara signifikan terhadap proses adsorpsi. Menurut Jal,dkk (2004; 1011), berdasarkan jenis senyawa yang digunakan, modifikasi silika gel dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu organofungsionalisasi jika zat pemodifikasinya adalah gugus organik dan anorganofungsionalisasi jika gugus yang terikat pada permukaan adalah senyawa organologam atau oksida logam.Dinyatakan juga bahwa permukaan silika gel dapat dimodifikasi dengan perlakuan fisik (*physical treatment*) atau dengan perlakuan kimia (*chemical treatment*). Perlakuan fisik dapat berupa proses termal atau hidrotermal , yang bertujuan untuk mengubah perbandingan konsentrasi gugus silanol dan siloksan.

Modifikasi dengan perlakuan kimia bertujuan mengubah karakteristik permukaan silika gel Modifikasi gugus fungsi pada permukaan silika gel dapat dilakukan dengan berbagai teknik, antara lain ( Jal,dkk,2004;1011),.melalui impregnasi.yang berkaitan dengan adanya interaksi fisik antara bahan pemodifikasi dengan permukaan padatan, baik dengan cara memasuki pori padatan atau dengan interaksi adhesif atau elektrostatis, modifikasi dengan pembentukan ikatan kovalen yang tekniknya dapat dilakukan dengan berbagai proses, antara lain proses imobilisasi pereaksi silan dan proses sol – gel. Molekul – molekul organik yang akan membentuk khelat dengan ion biasanya terikat pada permukaan silika melalui proses silanisasi yang melibatkan pembentukan ikatan kovalen. Meskipun demikian beberapa gugus pembentuk khelat dengan ion tidak mengandung gugus fungsi yang reaktif dan sesuai untuk proses silanisasi pada permukaan. Apabila dijumpai keadaan ini, maka perlu adanya senyawa pendukung atau penghubung, yaitu pereaksi silan. Proses silanisasi yang dilakukan terhadap silika gel, biasanya dilakukan dalam suasana non air.Imobilisasi dengan cara di atas memiliki beberapa kelemahan antara lain efektivitas pengikatan gugus rendah dan kondisi reaksi harus bebas air. Cara lain adalah dengan proses sol – gel. Pada proses modifikasi dengan cara ini reaksi dilakukan bukan dengan silika gel , tetapi dilakukan terhadap bahan dasar pembentuk silika gel, yang lazim disebut silika prekursor. Sebagai silika prekursor dapat dipakai senyawa silikat anorganik maupun organosilan. Proses modifikasi dilakukan pada saat pembentukan gel. Modifier atau pereaksi yang akan mensubstitusi gugus silanol ditambahkan pada silika prekursor pada saat proses pembentukan gel, bukan setelah terjadi silika gel. Pada proses ini akan dihasilkan senyawa yang mengandung gugus siloksan, silanol serta gugus silika termodifikasi yang diberi notasi –Si-OM.

Seperti halnya pada proses modifikasi silika secara umum, silika termodifikasi sulfonat juga dapat diperoleh dengan berbagai cara sintesis, yaitu impregnasi, imobilisasi dengan pereaksi silan, imobilisasi melalui proses sol gel serta sintesis memakai senyawa penghubung. Cano Serano,dkk ( 2002;246) telah melakukan impregnasi berbagai macam modifier senyawa merkapto silan pada silika gel sehingga dihasilkan senyawa silika termodifikasi merkapto. Beberapa senyawa merkaptosilan yang dipakai ., yaitu merkaptopropiltrimetoksisilan dan merkaptopropilmetildimetoksisilan dengan dan tanpa dicampur feniltrimetoksisilan. Proses impregnasi dilakukan selama 24 jam, hasil yang diperoleh direaksikan dengan hidrogen peroksida sehingga diperoleh silika termodifikasi sulfonat.Karakterisasi yang dilakukan secara spektroskopi FTIR terhadap hasil impregnasi sebelum dan setelah reaksi dengan hidrogen peroksida menunjukkan bahwa gugus fungsi merkapto atau tiol telah teroksidasi menjadi gugus sulfonat. Hasil karakterisasi dengan metoda BET menunjukkan adanya penurunan luas permukaan setelah proses modifikasi ( luas permukaan spesifik silika 224 m<sup>2</sup>/g , setelah modifikasi mengalami penurunan secara bervariasi tergantung pada jenis senyawa merkaptosilan yang dipakai dan dapat turun sampai menjadi 97 m<sup>2</sup>/g)

Shylesh, dkk ( 2004;220 ), Gupta ,dkk (2007;51) telah melakukan modifikasi dengan cara imobilisasi pereaksi silan Prosesnya sama yaitu, dengan mereaksikan 3

merkaptopropiltrimetoksisilan (3 MPTS) dengan salah satu jenis silika, yaitu aerosil dalam media toluena Reaksinya seperti berikut ( Shylesh2004, 220 )



Hasil reaksinya adalah silika termodifikasi merkapto, yang kemudian dioksidasi dengan hidrogen peroksida sehingga menjadi silika termodifikasi sulfonat. Shylesh, dkk melakukan karakterisasi secara spektroskopi FTIR dan menentukan luas permukaan spesifik dengan metode BET. Karakterisasi yang dilakukan secara spektroskopi FTIR terhadap hasil impregnasi sebelum dan setelah reaksi dengan hidrogen peroksida menunjukkan bahwa gugus fungsi merkapto atau tiol telah teroksidasi menjadi gugus sulfonat. Hasil karakterisasi dengan metoda BET menunjukkan adanya penurunan luas permukaan setelah proses modifikasi ( luas permukaan spesifik silika 444 m<sup>2</sup>/g , setelah modifikasi mengalami penurunan secara bervariasi tergantung pada jumlah senyawa 3 MPTS yang dipakai dan dapat turun sampai harganya menjadi 362 m<sup>2</sup>/g).

Peneliti yang lain ( Tingyang Dai.dkk, 2007;3143) mereaksikan 3 merkaptopropiltrimetoksisilan (3 MPTS) dengan salah satu jenis silika koloid dalam media pelarut DMF. Proses oksidasi selanjutnya memakai tertier butil hidroperoksida. Karakterisasinya memakai metoda spektroskopi FTIR dan metode *transmission electron microscopy* (TEM)

Penelitian lain pada sintesis silika termodifikasi sulfonat adalah dengan mereaksikan silika gel dengan senyawa 4- amino- 5-hidroksi-2,7 disulfonat memakai senyawa glisidoksi-propiltrimetoksisilan sebagai pereaksi silan penghubungnya ( Azmiyawati.dkk, 2004;32). Karakterisasinya dilakukan secara spektroskopi FTIR.

Ruirong Guo.dkk ( 2007;154) memakai senyawa organosilan yaitu TMOS dengan adanya senyawa surfaktan. Proses sol-gel dilakukan pada pembentukan silika termodifikasi merkapto yang selanjutnya dilakukan reaksi oksidasi dengan hidrogen peroksida sehingga menjadi silika termodifikasi sulfonat. Karakterisasi yang dilakukan adalah penentuan luas permukaan dengan metoda BET, analisis morfologi secara *scanning electron microscopy* (SEM) dan *transmission electron microscopy* (TEM). Luas permukaan senyawa silika termodifikasi sulfonat yang diperoleh lebih besar jika dibandingkan senyawa silika dengan volume pori yang sama.

Peneliti yang lain, yaitu Margolese.dkk ( 2000;2449) dan Morales.dkk ( 2008;206) memakai TEOS sebagai silika prekursor . Caranya dengan mereaksikan sekaligus senyawa MPTMS dengan hidrogen peroksida dengan TEOS yang telah dihidrolisis dan ditambah surfaktan. Karakterisasi yang dilakukan untuk penentuan luas permukaan secara BET, dan menentukan kristalinitas secara XRD. Luas permukaan senyawa ternyata bervariasi tergantung pada waktu hidrolisis TEOS, yaitu antara 500 m<sup>2</sup>/g – 850 m<sup>2</sup>

Pemakaian TEOS sebagai bahan dasar pembuatan silika gel yang selanjutnya diproses menjadi silika termodifikasi sulfonat juga telah dilakukan ( Paisanjit dan Punyapalaku,2009; 149). Pada pembuatan silika gel dari TEOS tersebut ditambahkan senyawa dodekilamin.

Penelitian ini akan mempelajari sintesis silika termodifikasi sulfonat dari salah satu senyawa alkoksisisilan, yaitu TMOS, melalui proses sol gel tanpa penambahan surfaktan. Hasil silika termodifikasi sulfonat yang diperoleh dikarakterisasi dengan beberapa metoda.

## CARA PENELITIAN

### 1. SINTESIS SILIKA TERMODIFIKASI SULFONAT

Prosesnya didahului dengan sintesis silika termodifikasi merkapto dengan dan tanpa penambahan metanol. TMOS sebanyak 4,5 mL ditambah dengan 5,7 mL MPTMS dengan dan tanpa tambahan methanol, diaduk sambil ditambah 10 mL aqua demineralisata selama 30 menit. Didiamkan selama semalam, disaring dan dikeringkan pada suhu kamar. Gel kering yang diperoleh dicuci, disaring dan dikeringkan. Hasilnya padatan, diberi notasi HMS TMOS dan HMS TMOS (M).

Pembuatan silika termodifikasi sulfonat dibuat dengan proses oksidasi. Sebagai oksidator dipakai hidrogen peroksida dan asam nitrat. Bahan yang dioksidasi adalah HMS TMOS dan HMS TMOS (M). HMS TMOS / HMS TMOS(M) sebanyak 2 gram ditambah dengan 32 mL oksidator dan diaduk selama 60 menit. Padatan yang diperoleh dipisahkan dan direndam dalam asam sulfat 10 % selama 60 menit. Hasilnya dicuci sampai netral dan dikeringkan. Hasil dari proses ini adalah 4 macam silika termodifikasi sulfonat, yang diberi notasi HSS TMOS Peroksida, HSS TMOS Nitrat, HSS TMOS (M) Peroksida dan HSS TMOS (M) Nitrat.

Sebagai pembanding juga dilakukan sintesis silika gel dari TMOS.

### 2. KARAKTERISASI

Beberapa karakterisasi yang dilakukan, yaitu :

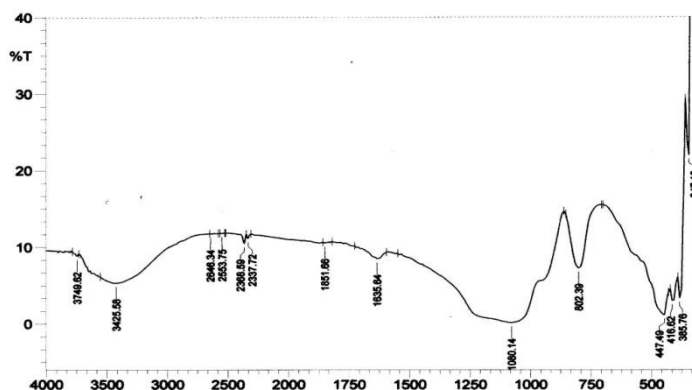
1. Karakterisasi untuk mengetahui jenis gugus fungsi dilakukan secara spektroskopi FTIR.
2. Karakterisasi untuk mengetahui kapasitas pertukaran kation dilakukan secara titrasi volumetri asam – basa dengan larutan indikator universal. Titrasi ini dilakukan setelah perendaman dalam larutan NaCl
3. karakterisasi untuk mengetahui jenis dan jumlah komponen dilakukan secara spektroskopi EDX
4. Karakterisasi untuk mengetahui luas permukaan dan pori dilakukan dengan *surface analyzer*.

Karakterisasi dilakukan terhadap silika termodifikasi sulfonat dan pembandingnya, yaitu silika termodifikasi merkapto dan silika gel yang disintesis dengan silika prekursor yang sama, yaitu TMOS.

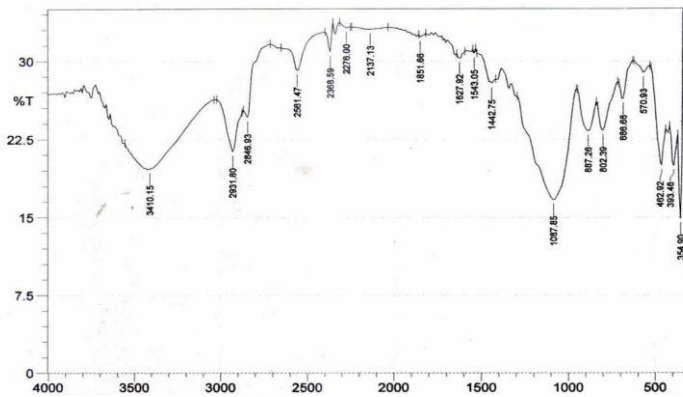
## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi secara spektroskopi FTIR memberikan data yang ditunjukkan pada gambar berikut :

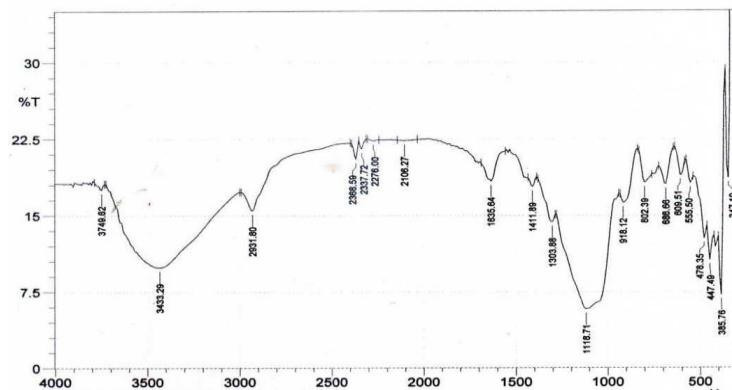
(A)



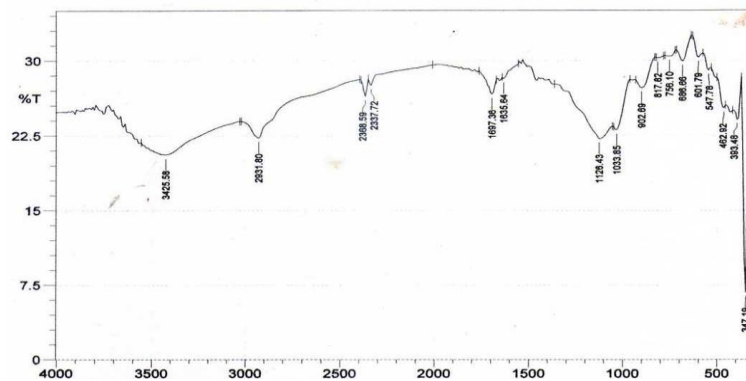
(B)



(C)



(D)



Gambar Spektra SG TMOS (A), HMS TMOS (B).  
HSS TMOS Peroksida (C), HSS TMOS Nitrat (D)

Keberhasilan proses modifikasi dapat diketahui dengan mengadakan analisis memakai berbagai macam metoda, misalnya spektrofotometri FTIR yang dapat menunjukkan jenis gugus fungsi pada suatu senyawa pada spektranya. Pola spektra absorpsi dari silika gel menunjukkan pita lebar dengan puncak pada bilangan gelombang  $3427,3 \text{ cm}^{-1}$  merupakan pita absorpsi vibrasi gugus - OH pada silanol. Absorpsi pada  $1083,9 \text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur asimetri dari -Si-O pada

siloksan ( silverstein, 1981;169). Absorpsi pada  $968,2\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur Si-O pada silanol. Vibrasi tekuk gugus –OH pada silanol ditunjukkan pada bilangan gelombang  $1622\text{ cm}^{-1}$  dan vibrasi tekuk dari gugus siloksan ( Si-O-Si) ditunjukkan dengan pita serapan pada  $418,5\text{ cm}^{-1}$ . Secara umum pita absorpsi yang muncul pada spektra silika gel menunjukkan bahwa gugus –gugus fungsi pada silika gel tersebut adalah silanol atau Si-OH dan siloksan atau Si-O-Si. Setelah proses modifikasi berhasil, maka pola spektra akan mengalami beberapa perubahan. Pada modifikasi dengan gugus merkapto, jika dibandingkan dengan spektra infra merah silika gel, ternyata ada beberapa puncak absorpsi yang tidak timbul pada spektra infra merah silika gel. Pita absorpsi yang timbul pada bilangan gelombang sekitar  $3400\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur –OH dari silanol, sedangkan pita serapan pada bilangan gelombang sekitar  $920\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur Si-O dari silanol. Adanya pita absorpsi pada bilangan gelombang sekitar  $400\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi tekuk gugus siloksan atau Si-O-Si.. Hal ini menunjukkan bahwa pada silika termodifikasi merkapto masih terdapat gugus silanol dan siloksan. Munculnya puncak baru pada bilangan gelombang sekitar  $2950 - 2850\text{ cm}^{-1}$  memberikan indikasi adanya vibrasi ulur –C-H (Arakaki, dkk 2000; 371 dan Margolese, dkk 2000; 2451) untuk indikasi adanya vibrasi –C-H dari rantai propil. Pita absorpsi pada bilangan gelombang sekitar  $1400\text{ cm}^{-1}$  merupakan indikasi adanya vibrasi –C-C- dari rantai CH<sub>2</sub> pada gugus propil. Pita absorpsi lemah yang muncul pada bilangan gelombang sekitar  $2500\text{ cm}^{-1}$  merupakan indikasi adanya gugus –SH, karena merupakan frekuensi vibrasi –SH. ( Margolese dkk ,2000; 2451 dan Airoidi dkk , 2001;931). Apabila terjadi proses oksidasi sehingga gugus –SH berubah menjadi gugus sulfonat , maka pita absorpsi lemah pada bilangan gelombang sekitar  $2500\text{ cm}$  akan menghilang ( Margolese, dkk, 2000;2451). . Demikian juga yang terjadi pada hasil sintesis ini, yaitu munculnya pita- pita absorpsi yang menunjukkan vibrasi ulur –CH vibrasi –C-C- yang menunjukkan rantai mutilen serta vibrasi – SH pada spektra (B). Pita absorpsi yang menunjukkan –CH dan –C-C- ini masih muncul pada spektra (C) dan (D) tetapi pita absorpsi –SH sudah tidak tampak lagi. Hal ini menunjukkan terjadinya proses oksidasi gugus –SH menjadi gugus sulfonat. Pada ke tiga spektra tersebut tentunya masih muncul juga pita absorpsi yang menunjukkan gugus – Si-O , gugus –OH dan gugus –Si-O-Si- seperti pada spektra (A), yaitu silika gel.

Hasil karakterisasi yang menunjukkan harga kapasitas pertukaran kation, disajikan pada tabel berikut :

Tabel 1 Kapasitas Pertukaran Katon ( mmol/gram ) Silika Termodifikasi sulfonat Hasil Sintesis

No	Hasil sintesis	Kapasitas Pertukaran Ion
1	SG TMOS	0
2	HMS TMOS	0
3	HMS TMOS (M)	0
4	HSS TMOS Perksida	0,200
5	HSS TMOS Nitrat	1,300
6	HSS TMOS (M) Peroksida	0,233
7	HSS TMOS (M) Nitrat	0,933

Berdasarkan tabel tersebut dapat dinyatakan bahwa hasil sintesis yang memiliki harga kapasitas pertukaran tertinggi adalah HSS TMOS Nitrat, sedangkan senyawa silika gel maupun silika termodifikasi merkapto mempunyai harga kapasitas pertukaran ion = 0

Karakterisasi untuk mengetahui komposisi unsur dilakukan dengan analisis secara spektroskopi EDX ( Energi Dispersif sinar X ), hasilnya disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2 Komposisi unsur Hasil sintesis (%)

No	Notasi Hasil sintesis	Si	C	O	S	N
1	SG TMOS	61,99	6,33	31,59	0	-
2	HMS TMOS	35,12	23,87	27,36	13,65	-
3	HMS TMOS (M)	48,72	23,24	17,81	12,23	-
4	HSS TMOS Peroksida	29,04	24,95	27,95	18,06	
5	HSS TMOS Nitrat	34,79	24,18	19,85	21,18	0
6	HSS TMOS (M) Peroksida	38,85	20,80	29,40	10,95	-
7	HSS TMOS (M) Nitrat	39,56	18,57	31,40	10,48	0

Berdasarkan hasil analisis ini dapat dinyatakan bahwa kecuali SG TMOS semua hasil sintesis mengandung 4 macam komponen, yaitu unsur Si, C, O dan S. Tidak adanya komponen N pada hasil sintesis menunjukkan bahwa proses oksidasi dengan asam nitrat tidak menghasilkan gugus fungsi baru yang mengandung N.

Karakterisasi yang menunjukkan luas permukaan, volume pori dan diameter pori memberikan hasil pada tabel berikut :

Tabel 3 Luas Permukaan, Volume Pori dan Radius Pori Hasil Sintesis

No	Notasi Hasil Sintesis	Luas Permukaan	Volume Pori	Radius Pori
1	SG TMOS	301,881	0,652	32,461
2	HMS TMOS	9,953	0,012	15,304
3	HMS TMOS (M)	44,579	0,182	15,179
4	HSS TMOS Peroksida	23,639	0,284	16,464
5	HSS TMOS Nitrat	12,004	0,021	15,344
6	HSS TMOS (M) Peroksida	264,173	0,670	15,261
7	HSS TMOS (M) Nitrat	54,054	0,091	15,258

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat dikemukakan beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Proses sintesis telah menghasilkan silika termodifikasi sulfonat.
2. Hasil sintesis dengan kapasitas pertukaran ion tertinggi adalah HSS TMOS Nitrat
3. Hasil sintesis dengan luas permukaan paling tinggi adalah HSS TMOS (M) Peroksida
4. Proses oksidasi dengan asam nitrat tidak menghasilkan gugus fungsi baru yang mengandung N.

### B. Saran

Agar dapat diketahui karakter yang lebih lengkap perlu dilakukan beberapa analisis lagi, antara lain : XRD ( untuk mengetahui kristalinitas ), DTA dan TGA ( untuk mengetahui pengaruh suhu ), XPS ( untuk mengetahui letak ikatan antar atom ) dan dipelajari sifat adsorptifnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azmiyawati.C, Nuryono dan Narsito ( 2004), Modifikasi Silika Gel dengan Gugus Sulfonat untuk Pemisahan Mg(II) dari Ni(II) dan Cd(II), *Prosiding Seminar Nasional Kimia XIV*, Yogyakarta
- Cano Serano.E, Campos Martin.J.M dan Fierro.J.L.G (2003), Sulphoic Acid Functionalized Silica through Quantitative Oxidation of Thiol Groups, *The Royal Society of Chemistry*
- D. Margolese, J.A.Melero, S.C.Christiansen, B.Fchmelka dan G.D.Stucky (2000), Direct Synthesis of Ordered SBA -15 Mesoporous Silica Containing Sulfonic Acid Groups, *Chem. Mater. Volume 12*, Santa Barbara, Mat. Research Lab
- Gabriel Morales, George Athens, Bradley F Chmelka, Rafael van Grieken dan Juan A Melero ( 2008), Aqueous Sensitive Reaction Sites in sulfonic Acid functionalized silicas, *Journal of Catalysis*, 254
- P.K.Jal, S. Patel dan B.K.Mishra ( 2004), Chemical Modification of Silica Surface by Immobilization of Functional Group for Extractive Concentrations of Metal Ions, *Talanta, Volume 62*, Jjioti Vihar, Elsevier
- Raman Gupta, Satya Paul dan Rajive Gupta ( 2007), Covalently Anchored Sulphonic Acid as an Efficient and Recoverable Catalyst for the Synthesis of 3,4 dihydropyrimidinones/thones, *Journal of Molecular Catalysis*, Jamanu, Elsevier
- Ruirong Guo dan Mingyu Ding (2007), Preparation and characterization for a New Sulfonic Acid Functionalized Mesoporous Silica Stationary Phase, *Colloids and Surfaces*, 292, Beijing, Elsevier
- Shylesh.S, Sahida Sharma, Mirajkar.S.P dan Singh.A.P ( 2004), Silica Functionalized Sulphonic Acid Groups: Synthesis, characterization and Catalytic Activity in Acetalization and Acetylation Reactions, *Journal of Molecular Catalysis*, Volume 212, Pune, Elsevier
- Silverstein , Bassler dan Morrill ( 1981 ), *Spectroscopic Identification of Organic Compounds* , 4 th Ed, New York, John Wiley & Sons
- Paisanjit.W and Punyapalaku.P, Selective adsorption of Metal and non Ionic surfactant on mesoporous Silicates, *Proceeding of PACCON 2009*, Thailand, 2009
- Tingyang Dai, Xiaoming Yang dan Yun Lu ( 2007) Conductive Composites of Polypyrrole and Sulphonic Functionalized Silica Spheres, *Material Letters*, 61, Nanjing, Elsevier