



## SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOKATALIS $\text{CuO}/\text{TiO}_2$ YANG DIAPLIKASIKAN PADA PROSES DEGRADASI LIMBAH FENOL

Mastuti Widi Lestari\*), Subiyanto Hadi Saputro dan Sri Wahyuni

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima Juli 2013  
Disetujui Juli 2013  
Dipublikasikan Agustus 2013

Kata kunci:  
nanokatalis  
 $\text{CuO}/\text{TiO}_2$   
degradasi fenol  
oksidasi

### Abstrak

Telah dilakukan sintesis nanokatalis  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  dengan metode sol-gel dimodifikasi Polietilen Glikol (PEG).  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  disintesis, dikarakterisasi dan diaplikasikan pada degradasi fenol.  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  disintesis dengan variasi temperatur kalsinasi, yaitu 400, 500 dan 600°C, kemudian diberi nama K-400, K-500 dan K-600. Data XRD K-400 menunjukkan fasa *anatase* sedangkan K-500 dan K-600 terdapat puncak *rutile*. Perhitungan ukuran partikel masing-masing  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$ , yaitu 6,89; 17,716 dan 41,877 nm. Semakin tinggi temperatur kalsinasi menyebabkan kenaikan ukuran partikel dan terbentuknya fasa *rutile*. Karakterisasi menggunakan metode BET menunjukkan masing-masing luas permukaan  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  yaitu 89,2; 76,87 dan 29,94  $\text{m}^2/\text{g}$ . Semakin tinggi temperatur kalsinasi mengurangi luas permukaan  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$ . Dari hasil karakterisasi menggunakan XRD dan BET dipilih K-400 untuk diaplikasikan sebagai katalis. K-400 dikarakterisasi dengan SEM-EDX menunjukkan morfologi kristal yang terbentuk tidak homogen dan terdapat residu karbon. Uji aktifitas katalis menunjukkan waktu optimum degradasi  $t = 50$  menit dengan persentase degradasi 60,625%. Proses degradasi menggunakan oksigen sebagai oksidator pada reaktor *slurry*. Hasil analisis GC-MS menunjukkan terbentuknya 2-propanon yang diduga merupakan hasil oksidasi fenol.

### Abstract

$\text{CuO}/\text{TiO}_2$  nanocatalyst were synthesized by sol-gel method modified Polyethylene Glycol (PEG).  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  synthesized, characterized and applied for phenol degradation.  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  synthesized by various calcination temperature; 400, 500 and 600°C, then called K-400, K-500 and K-600. XRD data of K-400 showed *anatase* phase while K-500 and K-600 are *rutile* peak. Particle size of each  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  6.89, 17.716 and 41.877 nm. The higher calcination temperature causes an increase of particles size and the formation of *rutile* phase. Characterization using BET method showed surface area of each  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  89.2, 76.87 and 29.94  $\text{m}^2/\text{g}$ . The higher calcination temperature reduces the surface area of  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$ . From the results of XRD and BET characterization, K-400 was selected to be applied as a catalyst. K-400 characterized by SEM-EDX showed the crystal morphology is not homogeneous and there are elements of carbon. Catalyst activity test showed optimum degradation time  $t = 50$  min with a percentage degradation of 60.625%. The process of degradation uses oxygen as an oxidant in the reactor slurry. The result of GC-MS showed the formation of 2-propanone were suspected as compound of phenol oxidized.

## Pendahuluan

Aktivitas perindustrian yang semakin pesat menghasilkan berbagai jenis limbah logam berat dan organik yang menjadi permasalahan serius bagi kesehatan dan lingkungan (Slamet, *et al.*; 2005). Senyawa organik yang berbahaya diantaranya adalah fenol yang terdapat dalam limbah cair dari industri penyulingan minyak bumi, gas, farmasi, tekstil dan rumah tangga. Jumlah fenol yang besar dalam air dapat menyebabkan turunnya kadar oksigen terlarut. Menurut Baron dalam Sari (2011), berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam sistem perairan akan mengganggu ekosistem kehidupan hewan dan tumbuhan dalam air, juga dapat mematikan secara langsung bakteri aerob.

Degradasi senyawa organik dalam katalis padat telah dikembangkan. Senyawa organik dapat diubah menjadi karbondioksida dan air pada temperatur dan tekanan yang relatif rendah melalui proses oksidasi katalitik (Stuber, *et al.*; 2001). Sebagai oksidator, digunakan gas seperti oksigen, ozon,  $H_2O_2$ , permanganat, klorin dan hipoklorit (Hamilton, *et al.*; dalam Harmankaya dan Gündüz; 1998). Namun perkembangan penggunaan katalis untuk proses oksidasi katalitik masih belum memuaskan. Seperti misalnya, katalis yang digunakan untuk mengoksidasi hanya bekerja pada konsentrasi rendah dalam media encer dan tidak dapat dipisahkan pada akhir proses (Sadana dan Katzer; dalam Massa, *et al.*; 2004). Umumnya katalis yang digunakan adalah katalis heterogen. Katalis heterogen yang digunakan biasanya dalam bentuk logam murni atau oksidanya. Kesulitan yang sering dijumpai dalam penggunaan katalis logam murni antara lain memiliki stabilitas termal yang rendah dan mudah mengalami penurunan luas permukaan akibat pemanasan dan sintering. Hal inilah yang mendorong untuk memperbaiki kinerja dan mengatasi kelemahan katalis logam murni dengan mendispersikan komponen logam pada pengemban yang memiliki luas permukaan besar. Pemakaian pengemban dapat memperpanjang waktu pakai katalis dan luas permukaan pengemban yang besar akan meningkatkan dispersi logam. Pada temperatur 160-250°C, tembaga oksida merupakan katalis yang paling aktif untuk oksidasi fenol dan aktivitasnya dapat bertambah jika dicampur dengan Co, Zn dan Ti (Pintar dan Levec; 1992 dalam Silva, *et al.*; 2003).

Penelitian ini mencoba mensintesis  $CuO/TiO_2$  berukuran nanometer yang

diharapkan dapat diaplikasikan pada proses oksidasi katalitik.  $CuO/TiO_2$  disintesis dengan metode sol-gel dimodifikasi larutan polimer Polyethylene Glycol (PEG). PEG berfungsi sebagai zat pendispersi. Kelebihan dari metode ini adalah prosesnya yang tidak rumit, tidak membutuhkan waktu yang lama dan ukuran kristal mencapai nanometer (1-100 nm).

## Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas (Pyrex), *magnetic stirrer* (IKAMAG), cawan crus, termometer, *hot plate*, *oven* (Memmert), *furnace* (Barnstead Thermolyne 1400), *X-Ray Diffractometer* (XRD) (PANalytical PW3373), *Gas Sorption Analyzer* NOVA 1000 (Quantachrome), *Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer* (GC-MS) (Shimadzu QP-2010s), *Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX) (LEO 1530VP) dan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai *grade pro analyst* meliputi  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ , polyethylene glycol, HCl, etanol, fenol,  $NH_3$ ,  $K_2HPO_4$ ,  $KH_2PO_4$ , 4-aminoantipirin,  $K_3Fe(CN)_6$  buatan Merck, titanium isopropoxide (TiIPP) buatan Sigma Aldrich, larutan  $Ca(OH)_2$ , aquademin, dan gas oksigen (PT. Samator Gas).

Preparasi nanokatalis  $CuO/TiO_2$  dilakukan dengan metode sol-gel modifikasi. Metode diadaptasi dari penelitian Tuan, *et al.* (2009) dan Lihertinah, *et al.* (2009). Pada gelas kimia A, garam  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$  sebanyak 0,76 gram dilarutkan dengan 2,2 mL aquademin. Pada gelas kimia B, campuran 3,6 mL etanol dan 1,2 mL HCl diaduk selama 30 menit. Kemudian ditambahkan 18,4 mL TiIPP. Campuran diaduk sebentar dan ditambahkan dengan 4,5 mL aquademin. Campuran pada gelas B diaduk selama 1 jam. Larutan pada gelas piala A dimasukan kedalam gelas piala B sambil terus diaduk. Campuran ditambahkan dengan larutan PEG (5 gram dalam 50 mL aquademin). Penambahan PEG dilakukan tetes demi tetes sambil terus diaduk. Hasilnya dituang ke cawan porselin untuk diuapkan ke dalam oven. Setelah kering, campuran dipindahkan ke dalam cawan krus untuk dipanaskan pada suhu 400, 500 dan 600°C selama 2 jam. Padatan  $CuO/TiO_2$  yang dihasilkan dibiarkan dingin kemudian digerus menggunakan lumpang alu sampai halus. Katalis  $CuO/TiO_2$  yang telah disintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk

mengetahui fase kristal, kristalinitas dan ukuran kristal, *gas sorption analyzer* NOVA-1000 untuk mengetahui luas permukaan, rerata jari-jari pori dan volume pori, dan SEM-EDX untuk melihat morfologi permukaan kristal dan komposisinya.

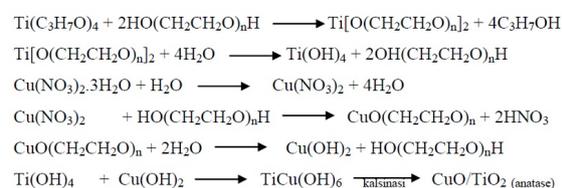
Larutan fenol 100 ppm sebanyak 250 mL ditambah dengan 0,5 gram katalis CuO/TiO<sub>2</sub> ditempatkan ke dalam labu leher tiga alas bulat. Campuran diaduk hingga homogen. Botol berisi larutan Ca(OH)<sub>2</sub> dihubungkan pada reaktor labu alas bulat untuk mengetahui adanya gas CO<sub>2</sub> yang terbentuk. Campuran fenol dan katalis dipanaskan hingga temperatur 70°C. Pada saat temperatur mencapai 70°C, gas oksigen dialirkan dengan kecepatan 200 mL/menit. Pemanasan dilanjutkan hingga suhu 90°C. Reaksi dilakukan dengan variasi waktu 8, 15, 30, 50, 110 dan 155 menit pada suhu 90°C. Setelah reaksi selesai, campuran dibiarkan dingin dan di-sentrifuge, selanjutnya filtrat sebanyak 10 mL diencerkan dengan aquademin sampai volume 200 mL. Larutan ini digunakan sebagai sampel pada uji fenol terdegradasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam fenol terdegradasi, filtrat diuji menggunakan GC-MS.

Pengujian fenol sisa degradasi dilakukan dengan metode adisi standar. Metode adisi standar dilakukan dengan menambahkan larutan standar (Vs) pada salah satu dari dua duplikan sampel (Hendayana; 1994). Sampel fenol terdegradasi pada masing-masing variasi waktu (8, 15, 30, 50, 110 dan 155 menit) diambil 10 mL kemudian ditempatkan dalam labu ukur 200 mL. Masing-masing sampel diencerkan dengan aquademin sampai tanda batas. Ke dalam labu ukur 500 mL, dimasukkan larutan fenol 100 ppm sebanyak 25 mL kemudian diencerkan dengan aquademin sampai tanda batas. Larutan ini disebut larutan standar fenol. Pada sampel 8 menit, diambil sebanyak 25 mL dan ditempatkan ke dalam erlenmeyer A dan 25 mL ke dalam erlenmeyer B. Pada erlenmeyer A ditambahkan aquademin sampai volume total 50 mL. Pada erlenmeyer B ditambahkan 25 mL larutan standar fenol. Masing-masing larutan ditambahkan 1,25 mL NH<sub>4</sub>OH 0,5 N dan pH diatur menjadi 7,9 ± 0,1 dengan larutan penyangga fosfat. Larutan dikomplekskan dengan 0,5 mL 4-aminoantipirin 2% dan ditambah dengan 0,5 mL larutan kalium ferisianida 8% sambil terus diaduk sampai timbul warna merah. Untuk pengujian sampel 15, 30, 50, 110 dan 155 menit dilakukan

hal yang sama seperti pada sampel 8 menit. Masing masing larutan diukur absorbansinya menggunakan UV-Vis.

### Hasil dan Pembahasan

Sintesis nanokatalis CuO/TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode sol gel dimodifikasi menggunakan PEG sebagai zat pendispersi. Prekursor yang digunakan adalah TiIPP dan garam Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O. Pada saat HCl dan etanol diaduk, didapat campuran tak berwarna. Sol berwarna putih didapat ketika TiIPP ditambahkan pada campuran HCl dan etanol. Sol putih memadat ketika ditambahkan air. Hal ini dikarenakan terjadinya hidrolisis TiIPP oleh air. Padatan putih menjadi biru ketika ditambahkan larutan Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Tahapan reaksi sintesis TiO<sub>2</sub> secara sol-gel menurut Sanchez, *et al.* (2011) adalah sebagai berikut:

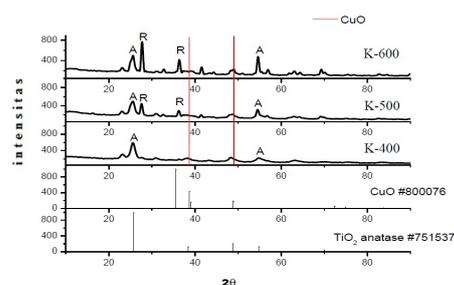


CuO/TiO<sub>2</sub> disintesis dengan variasi temperatur kalsinasi. Hasil kenampakan CuO/TiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perubahan warna dan kenampakan CuO/TiO<sub>2</sub> berdasarkan perlakuan temperatur kalsinasi

Sampel	Temperatur Kalsinasi (°C)	Kode Sampel	Warna	Kenampakan
CuO/TiO <sub>2</sub>	400	K-400	Hitam	Halus
CuO/TiO <sub>2</sub>	500	K-500	Hitam	Halus
CuO/TiO <sub>2</sub>	600	k-600	Abu-abu	Halus

Pada Tabel 1, K-400 dan K-500 berwarna hitam yang menunjukkan adanya Cu. Warna hitam K-400 lebih pekat dibandingkan dengan K-500. Sedangkan K-600 sampel yang dihasilkan berwarna abu-abu. Pemanasan dengan suhu semakin tinggi menyebabkan warna nanokatalis CuO/TiO<sub>2</sub> semakin muda. Menurut Yang (2008), warna abu-abu disebabkan karena auto-reduksi Cu(II) menjadi Cu(I).



**Gambar 1.** Pola difraksi sinar-X CuO/TiO<sub>2</sub>

Gambar 1 menunjukkan pengaruh temperatur kalsinasi terhadap pola difraksi dari katalis CuO/TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan metode sol gel modifikasi.

Pada K-400, K-500 dan K-600 muncul puncak difraktogram pada  $2\theta = 25,6^\circ$  yang menunjukkan kecocokan difraktogram PDF standar TiO<sub>2</sub> anatase #751537 yaitu pada  $2\theta = 25,69^\circ$ . Selain itu pada K-400,  $2\theta = 54,72^\circ$  menunjukkan kecocokan terhadap difraktogram standar yaitu pada  $2\theta = 54,775^\circ$ . Pada K-500 dan K-600,  $2\theta = 54,72^\circ$  mengalami pergeseran ke  $2\theta = 54,48^\circ$  dan  $54,59^\circ$ . Namun pada K-500 dan K-600 terbentuk fase TiO<sub>2</sub> rutil yang ditunjukkan pada masing-masing  $2\theta = 27,56^\circ$ ;  $36,16^\circ$  dan  $27,46^\circ$ ;  $36,34^\circ$  mirip dengan PDF standar TiO<sub>2</sub> rutil #781510. Hal ini menunjukkan bahwa pemanasan terlalu tinggi menyebabkan terbentuknya fase rutil pada TiO<sub>2</sub>.

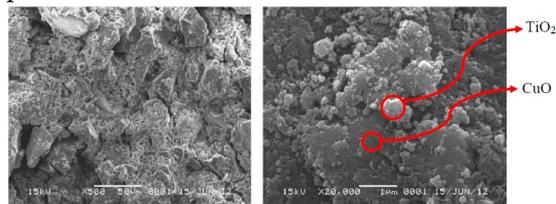
Berdasarkan data difraktogram standar CuO PDF #800076 puncak khas CuO terlihat pada  $2\theta = 35,54^\circ$ ,  $38,97^\circ$  dan  $48,85^\circ$ . Difraktogram pada K-500 dan K-600 menunjukkan kecocokan dengan difraktogram standar CuO pada masing-masing  $2\theta = 38,94^\circ$  dan  $38,95^\circ$ . Pada K-400, terdapat pergeseran difraktogram pada  $2\theta = 38,18^\circ$  dan  $48,47^\circ$ . Dari hasil analisis fasa kristal TiO<sub>2</sub>, K-400 memiliki kriteria untuk diaplikasikan sebagai support karena mempunyai fasa anatase lebih banyak dibandingkan dengan K-500 dan K-600. Puncak CuO pola difraksi K-400 yang tidak terlihat pada  $2\theta = 38,9^\circ$  disebabkan CuO terdispersi pada permukaan TiO<sub>2</sub>. Hasil analisis ukuran kristal K-400, K-500 dan K-600 masing-masing yaitu 6,890; 17,716 dan 41,877 nm. Ukuran kristal menunjukkan kenaikan seiring dengan penambahan temperatur kalsinasi. Hal ini disebabkan pemanasan pada suhu terlalu tinggi menyebabkan terjadinya sintering. Data hasil karakterisasi kristal CuO/TiO<sub>2</sub> menggunakan metode BET ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil karakterisasi luas permukaan spesifik, rerata jari-jari pori dan volume total CuO/TiO<sub>2</sub>

Kode Sampel	Luas Permukaan Spesifik (m <sup>2</sup> /g)	Rerata Jari-jari Pori (Å)	Volume Pori (cc/g)
K-400	89,20	36,53	0,1667
K-500	76,87	52,91	0,2033
K-600	29,94	102,50	0,1505

Pada Tabel 2, luas permukaan nanokatalis CuO/TiO<sub>2</sub> semakin rendah pada kenaikan suhu pemanasan. Hal ini disebabkan terjadinya sintering pada pemanasan yang terlalu tinggi. Data tersebut menyatakan bahwa terdapat hubungan antara ukuran kristal dan luas

permukaan nanokatalis CuO/TiO<sub>2</sub>. Kenaikan suhu pemanasan menyebabkan ukuran kristal nanokatalis CuO/TiO<sub>2</sub> semakin besar dan memiliki luas permukaan yang semakin kecil. Ukuran rerata jari-jari pori semakin besar pada kenaikan suhu pemanasan. Hasil pengujian XRD dan BET, padatan yang mempunyai ukuran partikel paling kecil dan luas permukaan paling besar ditunjukkan pada K-400. Padatan tersebut kemudian dianalisis menggunakan SEM-EDX. Hasil analisis SEM ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Foto SEM K-400 dengan perbesaran 500 kali dan 20.000 kali

Pada Gambar 2, warna abu-abu menyebar hampir pada seluruh permukaan partikel. Hal ini menunjukkan bahwa partikel CuO hanya tersebar pada permukaan TiO<sub>2</sub>, tidak sampai terdopan pada pori TiO<sub>2</sub>. Kristal yang dihasilkan memiliki bentuk yang tidak homogen dan masih terdapat agregat. Hal ini disebabkan oleh pengadukan yang kurang lama dan penambahan PEG yang belum optimal. Tabel 3 menunjukkan komposisi CuO dan TiO<sub>2</sub> pada padatan CuO/TiO<sub>2</sub> hasil analisis EDX.

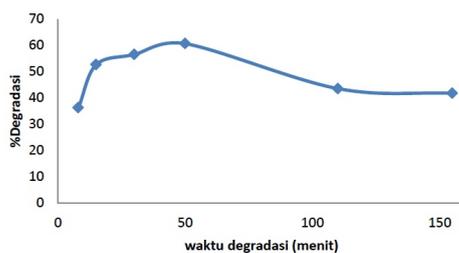
**Tabel 3.** Komposisi padatan CuO/TiO<sub>2</sub>

Senyawa	%Massa
C	7,75
Cl	2,33
TiO <sub>2</sub>	85,64
CuO	4,29

Dari data EDX juga menunjukkan bahwa masih adanya unsur karbon dalam kristal CuO/TiO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan pada saat akan dilakukan kalsinasi padatan belum kering. Maka senyawa organik dari reaktan pada saat sintesis tidak terdekomposisi sempurna. Hasil analisis kadar fenol tersisa bergantung waktu disajikan dalam Tabel 4 dan Gambar 3.

**Tabel 4.** Analisis kadar fenol sisa degradasi menggunakan katalis CuO/TiO<sub>2</sub>

Sampel	Absorbansi	Kadar fenol sisa (ppm)	%D
8 menit	A <sub>1</sub>	0,034	10,625
	A <sub>2</sub>	0,05	36,25
15 menit	A <sub>1</sub>	0,03	7,895
	A <sub>2</sub>	0,049	52,623
30 menit	A <sub>1</sub>	0,029	7,25
	A <sub>2</sub>	0,049	56,5
50 menit	A <sub>1</sub>	0,021	6,563
	A <sub>2</sub>	0,037	60,625
110 menit	A <sub>1</sub>	0,032	9,412
	A <sub>2</sub>	0,049	43,529
155 menit	A <sub>1</sub>	0,033	9,706
	A <sub>2</sub>	0,05	41,765
Sebelum	A <sub>1</sub>	0,04	16,667
	A <sub>2</sub>	0,052	



**Gambar 3.** Kurva persentase degradasi berbanding waktu degradasi

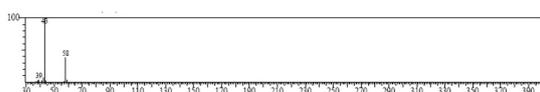
Hasil pengukuran kadar fenol tersisa dalam proses degradasi fenol menggunakan nanokatalis  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  menunjukkan waktu optimum pada saat  $t = 50$  menit yaitu sebanyak 60,625%. Gambar 3 menunjukkan penurunan persentase degradasi pada  $t = 110$  menit. Hal ini kurang sesuai dengan teori bahwa semakin lama waktu degradasi, maka semakin banyak persentase degradasi yang diperoleh. Waktu optimum proses degradasi didapat dari data persentase degradasi yang tidak mengalami perubahan signifikan dengan bertambahnya waktu proses. Ketidaksiesuaian ini diakibatkan oleh fenol yang telah jenuh oleh  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$ , maka pemisahan fenol dengan  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  menjadi lebih sukar. Larutan yang jenuh mempengaruhi proses pembacaan absorbansi pada sampel.

Analisis senyawa hasil degradasi fenol dilakukan dengan menggunakan instrumen GC-MS. Hasil yang dipilih untuk dianalisis adalah hasil degradasi dengan waktu reaksi 50 menit. Analisis kromatogram GC senyawa hasil degradasi fenol disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Analisis kromatogram senyawa hasil degradasi fenol

Puncak	Waktu Retensi (menit)	Kelimpahan (%)	Kemungkinan Senyawa
1	2,152	36,53	3-nonuna-2-ol
2	2,319	63,47	2-propanon

Dari keterangan pada Tabel 5, kromatogram GC hasil degradasi fenol memunculkan 2 puncak dengan puncak paling dominan yaitu nomor 2 dengan kelimpahan 63,47% dan waktu retensi 2,319 menit. Puncak nomor 1 dengan kelimpahan 36,53% diduga adalah pengotor dari sampel fenol sisa degradasi. Analisis MS menunjukkan puncak nomor 2 adalah 2-propanon. Spektrum massa puncak nomor 2 disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Spektrum massa senyawa hasil degradasi fenol

Munculnya puncak ion molekul pada  $m/z = 58$  menyatakan bahwa massa molekul senyawa tersebut sama dengan massa molekul 2-propanon. Puncak tersebut diduga sebagai senyawa hasil degradasi fenol. Senyawa hasil degradasi fenol berupa 2-propanon diduga diperoleh dari oksidasi fenol menjadi alkohol sekunder yang teroksidasi lebih lanjut menjadi 2-propanon.

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa kristal  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  yang disintesis dengan metode sol-gel modifikasi larutan polimer PEG, mempunyai fase  $\text{TiO}_2$  anatase pada temperatur kalsinasi  $400^\circ\text{C}$  dan pada kenaikan temperatur kristal akan berubah fase menjadi  $\text{TiO}_2$  rutil. Kenaikan temperatur kalsinasi mengakibatkan kenaikan ukuran kristal  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  karena terjadi sintering. Pada pengukuran menggunakan metode BET, luas permukaan nanokatalis  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  mengalami penurunan pada kenaikan temperatur kalsinasi. Analisis menggunakan SEM-EDX menunjukkan bahwa nanokatalis  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  yang disintesis menggunakan metode sol-gel modifikasi mempunyai bentuk yang belum homogen dan pendistribusian  $\text{CuO}$  pada  $\text{TiO}_2$  juga belum homogen. Nanokatalis  $\text{CuO}/\text{TiO}_2$  dapat diaplikasikan sebagai katalis degradasi fenol dengan waktu optimum  $t = 50$  menit sebesar 60,625%.

### Daftar Pustaka

- Harmankaya, M. & G. Gündüz. 1998. Catalytic of Phenol in Aqueous Solution. *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*. 1998:9-15
- Hendayana, S., Kadarohman, A., Sumarna. 1994. Kimia Analitik Instrumen. Semarang: IKIP Semarang Press
- Liherlinah *et al.* 2009. Sintesis Nanokatalis  $\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  untuk Mengubah Metanol Menjadi Hidrogen untuk Bahan Bakar Kendaraan Fuel Cell. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. ISSN 1979-0880
- Sanchez, K. D. A., Cuchillo, O. V., Villanueva, M. S., Ramirez, J. F. S., Lopez, A. C., and Elguezabal, A. A. 2011. Preparation, Characterization and Photocatalytic Properties of  $\text{TiO}_2$  Nanostructured Spers Synthesized by Sol-Gel Method Modified with Ethylene Glycol. *J. Sol-Gel Technol*. 58:360-365
- Sari, A. P. 2011. Penurunan Kadar Fenol Secara Fotokatalitik Menggunakan  $\text{SrTiO}_3$  Dalam Limbah Industri Tekstil di Sungai Jenggog Kota Pekalongan. Tugas Akhir 2. Semarang: Universitas Negeri Semarang

- Silva, A. M. T., Branco, I. M. C., Ferreira, R. M. Q., and Levec, J. 2003. Catalytic Studies in Wet Oxidation of Effuents From Formaldehyde Industry. *Chemical Engineering Science*: 963-970
- Slamet, R. Arbianti & Daryanto. 2005. Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam ( $\text{Cr}^{6+}$  atau  $\text{Pt}^{4+}$ ) Secara Simultan Dengan Fotokatalis  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO-TiO}_2$ , dan  $\text{CdS-TiO}_2$ . *Makara Teknologi*, Vol. 9 No. 2
- Stuber, F., Polaert, I., Delmas, H., Font, J., Fortuny, A., and Fabregat, A. 2001. Catalytic Wet Air Oxidation of Phenol Using Active Carbon: Performance of Discontinuous and Continuous Reactors. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 76:743-751
- Tuan, N. M., Nha, N. T., and Tuyen, N. H. 2009. Low Temperature Synthesis of Nano- $\text{TiO}_2$  anatase on Nafion Membrane for Using on DMFC. *Journal of Physics: Conference Series* 187
- Yang, X. 2008. Sol-Gel Synthesized Nanomaterials for Environmental Applications. Dissertation. Manhattan: Kansas State University