

**SEMINAR NASIONAL
TEKNIK KIMIA “KEJUANGAN”
2017**

***Pengembangan Teknologi Kimia
untuk Pengolahan Sumber Daya
Alam Indonesia***

13 April 2017

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UPN “VETERAN” YOGYAKARTA**



PROSIDING



ISSN 1693-4393

**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL
TEKNIK KIMIA “KEJUANGAN” 2017**

*Pengembangan Teknologi Kimia untuk
Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*

Yogyakarta, 13 April 2017



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNI K INDUSTRI
UPN “VETERAN” YOGYAKARTA
2017**



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL
TEKNIK KIMIA “KEJUANGAN” 2017**

*Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan
Sumber Daya Alam Indonesia
Yogyakarta, 13 April 2017*

Hak Cipta ada pada Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Industri UPN “Veteran” Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta (55283)

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh buku ini atau diperbanyak dengan tujuan komersial dalam bentuk apapun tanpa seijin Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri UPN “Veteran” Yogyakarta, kecuali untuk keperluan penulisan artikel atau karangan ilmiah dengan menyebutkan buku ini sebagai sumber.

Cetakan I : Mei 2017

ISSN 1693-4393





- I06** **Ester Asam Karboksilat Dan Isopropil Alkohol Untuk Bahan Dasar Biopelumas**
*Mahreni**, *Faizah Hadi*, *Renung Reningtyas*, *Gemal Kurniawan*, *Maulana Fahdlurahman Al Abdillah*
Program Studi Teknik Kimia S-1, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Ringroad utara) Condong catur, Yogyakarta
renungreningtyas@yahoo.com
- I07** **Fuel Grade Ethanol Production by Batch Distillation Using Ternary Components**
I Gusti S Budiawan, *Tjukup Marnoto*, *Chintya Rizki Hapsari*, dan *Risqi Angga Yudha Prakosa*
Program Studi Teknik Kimia S-1, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Ringroad utara) Condong catur, Yogyakarta
chintyarizkihapsari@gmail.com

J. Analisis Resiko

- | Kode | Judul, Penulis dan Alamat |
|------------|--|
| J01 | Penentuan Chemicals Kritis pada Industri Migas Menggunakan Analisis ABC (Studi Kasus pada PetroChina Internatioal Jabung Ltd.)
<i>Eka Febriani*</i> dan <i>Nur Indrianti</i>
Jurusan Teknik Industri, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. Babarsari 2, Tambakbayan, Yogyakarta 55281
ekafebriani_s@yahoo.co.id |
| J02 | Life Cycle Assessment Proses Produksi Pulp dari Kayu Akasia (Studi Kasus: PT Tanjungenim Lestari)
<i>Nur Indrianti</i> ^{1*} , <i>Nyayu Ferlina Widya Ningsih</i> ² , dan <i>Partoyo</i> ³
^{1,2*} Program Studi Teknik Industri, UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. Babarsari 2, Tambakbayan, Yogyakarta 55281
³ Program Studi Agroteknologi, UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. SWK 104, Condongcatur, Yogyakarta 55283
^{1*} E-mail: n.indrianti@upnyk.ac.id |
| J03 | Strategi Pengendalian Persediaan Gas Acetylene pada Industri Migas (Studi Kasus pada PetroChina International Jabung Ltd.)
<i>Nur Indrianti</i> ^{1*} dan <i>Fajar Maulana Wijayanto</i> ²
^{1,2*} Program Studi Teknik Industri, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. Babarsari 2, Tambakbayan, Yogyakarta 55281
[*] E-mail: n.indrianti@upnyk.ac.id |

K. Teknik Produk

- | Kode | Judul, Penulis dan Alamat |
|------------|---|
| K01 | Penggunaan Mordan Akhir Terusi Terhadap Hasil Celupan Kain Batik Dengan Ekstrak Kayu Secang
<i>Dwi Suheryanto</i>
Balai Besar Kerajinan dan Batik
Jl Kusumanegara 7 Yogyakarta 55166. Telp. (0274) 546111 Fax (0274) 543582.
Email : pringgading04@yahoo.com |
| K02 | Synthesis Of Palm Oil Based Nano Carbon Using Nebulized Spray Pyrolysis
<i>Arenst Andreas*</i> , <i>Hans Kristianto</i> , <i>Nicholas Orlando</i> and <i>Windy Wilianti</i>
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan Bandung
Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung, arenst@yahoo.com |





- K03** **Synthesis Of Salacca Peel Based Activated Carbons Using Microwave Induced ZnCl₂ Activation**
Jessica Atin, Christiandi Arifin, Arenst Andreas dan Hans Kristianto*
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan Bandung
Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung.
arenst@yahoo.com
- K04** **Curcumin Micronization from Temulawak (Curcuma xanthorrhiza) Extract Using Supercritical CO₂ as Anti-Solvent**
T.W. Christy, S. Showiantari, S. Winardi and S. Machmudah*
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
Kampus ITS Keputih, Surabaya 60111
swinardi@chem-eng.its.ac.id
- K05** **The Effect of pH to Drying Process of Colloidal Silica Using Flame Spray Combustor**
*A.Y. Retnaningtyas, R.R. Hidayat¹, Widiyastuti and S. Winardi**
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
Kampus ITS Keputih, Surabaya 60111
swinardi@chem-eng.its.ac.id
- K06** **Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose (CMC) dan Gelatin sebagai Bahan Pengikat pada Pembuatan Tablet Kulit Manggis (Garcinia Mangostana L)**
Ahmad Shobib¹, MF. Sri Mulyaningsih², Ery Fatarina³
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang
Bendan Duwur, Semarang
E-mail: ahmadshobib@gmail.com; mariafsm61@gmail.com
- K07** **The influence of glycerol as plastisizer in physical properties of bioplastic from bread fruit starch**
Lulu Nurdini I^{1}, Dini Holipah, dan Rida Magfira Maulidina*
^{1*}Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Jl. Ters.
Jenderal Sudirman PO BOX 148 Cimahi, Bandung
E-mail: lulunurdini@gmail.com
- K08** **Pembuatan Edibel Film sebagai Zat Pemplastik dari Pati Ubi Kayu dengan Penambahan Sorbitol**
MF. Sri Mulyaningsih¹, Ery Fatarina², Ahmad Shobib³
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang
Bendan Duwur, Semarang
Email : mariafsm61@gmail.com



Synthesis of Palm Oil Based Nano Carbon Using Nebulized Spray Pyrolysis

Nicolas Orlando, dan Windy Wilianti, Hans Kristianto and Arenst Andreas*

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciembuleuit No. 94, Bandung, Jawa Barat 40141, Indonesia

*) Penulis korespondensi: 1

Abstract

In this experiment, nano carbon material was synthesized with nebulized spray pyrolysis method using palm oil. The catalyst used in this study was ferrocene with a concentration of 0.015 g/ml; 0,020 g/ml; and 0.025 g/ml. The catalyst was contacted with carbon precursors using floating catalyst method. The carrier gas used in this study was nitrogen gas at a rate of 1.21 sccm. Nebulized process was conducted for 30 minutes with an operating temperature of 650°C; 700°C; 750°C; 800°C; 850°C; and 900°C. In this study, nano carbon material was synthesized by deposition directly on the walls of the tube / stainless steel reactor so no need a substrate as a growth medium carbon nano. The characteristics of nano carbon material was analyzed by several methods, such as SEM, EDS and XRD. The XRD analysis of carbon sample synthesized at 0.025 g/ml catalyst and all variations of temperature showed the presence of the C (002) and C (100) peak indicated a graphitic structures. From SEM observation, it can be seen that the structure of carbon nano spheres were found at temperature of 700°C and mixtures of nanotubes and nanospheres were established at temperature above 800°C.

Keywords: carbon nanotube, nebulized spray pyrolysis, catalyst ferrocene

Pendahuluan

Carbon nanotube (CNT) merupakan material yang banyak diteliti saat ini sejak ditemukan pertama kali oleh Sumio Ijima pada tahun 1991 (Paradise & Goswami, 2006). CNT banyak diaplikasikan dalam berbagai hal seperti elektroda pada baterai superkapasitor, bahan penguat pada komposit, dan bahan dalam penyimpanan hidrogen karena CNT memiliki konduktivitas termal serta listrik yang baik, merupakan material yang kuat, dan bersifat stabil (Paradise & Goswami, 2006). Berdasarkan jumlah lembarannya, CNT dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu *single-walled carbon nanotube* dan *multi-walled carbon nanotube* (Kruger, 2010). Umumnya, CNT dapat disintesis menggunakan beberapa metode seperti *arc discharge*, *laser ablation*, *chemical vapor deposition* (CVD), dan *nebulized spray pyrolysis* (NSP) (Dai, 2002; Liu, et al., 2014; Arie & Konstantia, 2016). Dibandingkan dengan metode lainnya, NSP merupakan metode yang menjanjikan untuk mensintesis CNT karena mampu memproduksi CNT dengan kemurnian yang tinggi, mudah dalam pengendalian, dan dapat beroperasi secara kontinu sehingga lebih mudah untuk di *scale up* (Suslick & Kenneth, 2010; Afre, et al., 2006). Metode NSP merupakan variasi dari metode CVD yang menggunakan radiasi *ultra-high frequency* untuk memproduksi *mist* (uap yang mengandung fasa air) dari reaktan yang kemudian akan dialirkan ke dalam *furnace* bersuhu tinggi oleh gas pembawa (Arie & Konstantia, 2016).

Sumber karbon yang umum digunakan dalam mensintesis CNT merupakan hidrokarbon rantai rendah seperti metana, etana, dan senyawa alkohol alifatik (etanol, metanol, propanol, atau butanol) (Ordoñez-Casanova, et al., 2013). Salah satu sumber karbon yang dapat menjadi alternatif adalah minyak goreng kelapa sawit. Selain merupakan senyawa rantai karbon panjang, minyak goreng kelapa sawit juga bersifat *renewable* sehingga mudah didapatkan dan ketersediaanya dapat terus berlangsung.

Pada penelitian ini, CNT disintesis menggunakan metode NSP dari minyak goreng kelapa sawit dengan katalis *ferrocene*. CNT dideposisi secara langsung pada dinding reaktor *stainless steel* tanpa menggunakan substrat sebagai media pertumbuhan. Secara khusus, akan dipelajari pengaruh temperatur dan jumlah konsentrasi katalis terhadap karakteristik karbon nano. Karakteristik tersebut meliputi bentuk morfologi, unsur yang terkandung, dan kristalinitas.



Metode Penelitian

Persiapan Larutan Prekursor

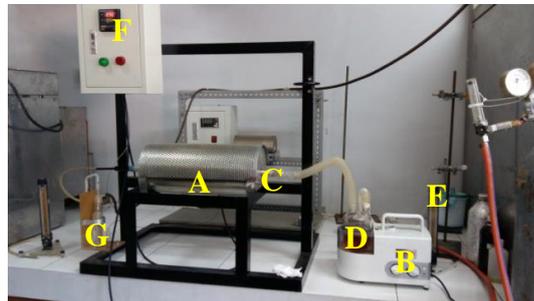
Katalis *ferrocene* dengan jumlah divariasikan (0,015 g/ml; 0,020 g/ml; dan 0,025 g/ml) dilarutkan dalam 250 ml campuran minyak goreng kelapa sawit dan heksana (ratio 1:3). Kemudian larutan karbon prekursor tersebut dimasukkan dalam wadah nebulisasi (D). Wadah nebulisasi kemudian diletakan dalam nebulizer (B).

Proses Sintesis Material Karbon Nano

Rangkaian alat proses sintesis material karbon nano disajikan pada Gambar 1. Tabung reaktor *stainless steel* (C) dimasukkan kedalam *furnace* (A) kemudian salah satu ujung reaktor disambungkan dengan wadah nebulisasi dan ujung lainnya disambungkan dengan *water bubbler* (G). Gas N_2 sebagai gas inert kemudian dialirkan ke dalam reaktor dengan kecepatan 1,21 sccm. *Furnace* dinyalakan hingga temperatur operasi (divariasikan). Setelah temperatur mencapai temperatur operasi, nebulator dinyalakan selama 30 menit dengan frekuensi 1,7 MHz. Setelah 30 menit, *furnace* dimatikan dan proses pendinginan dilakukan selama 3 jam sebelum akhirnya sampel dikeluarkan dari dalam reaktor.

Karakterisasi Material Karbon Nano

Material karbon nano yang telah tersintesis dianalisa karakterisasinya menggunakan analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

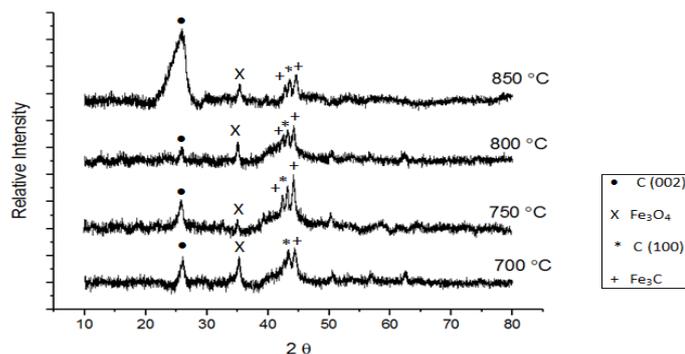


Gambar 1. Rangkaian alat *nebulized spray pyrolysis* (A) *furnace*, (B) nebulator, (C) tabung reaktor *stainless steel*, (D) wadah nebulisasi, (E) *flowmeter*, (F) tampilan temperatur operasi, (G) *water bubbler*.

Hasil dan Pembahasan

Analisa XRD Variasi Temperatur

Analisa XRD dilakukan pada sampel dengan konsentrasi katalis 0,025 g/ml dan temperatur 700°C; 750°C; 800°C; dan 850°C. Hasil analisa XRD disajikan pada Gambar 2. Dapat dilihat pada keempat sampel muncul puncak C (002) dan C(100) pada 2θ sebesar 26° dan 43°. Kedua puncak tersebut menunjukkan adanya struktur grafit (carbon sp^2) (Liu, et al., 2014). Penajaman puncak C khususnya C(002) menunjukkan peningkatan kristalinitas dari sampel yang menandakan tumbuhnya material karbon nano. Pada temperatur 850 °C, puncak C(002) yang dihasilkan memiliki intensitas yang jauh lebih tinggi (kristalinitas tinggi) dibandingkan temperatur lainnya (dapat dilihat pada Gambar 2 dan tabel 1). Tingginya intensitas tersebut menunjukkan bahwa adanya nanokarbon material khususnya CNT pada sampel 850°C.



Gambar 2. Analisa XRD variasi temperatur.

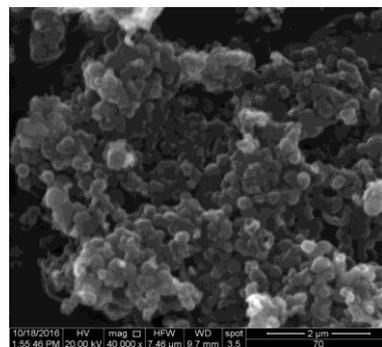
Tabel 1. Kristalinitas Sampel Variasi Temperatur

Sampel	% Kristalinitas	% Amorphous
700 °C	37.6%	62.4%
750 °C	46.6%	53.4%
800 °C	38.4%	61.6%
850 °C	57.4%	42.6%

Selain muncul puncak C, pada keempat sampel juga muncul puncak Fe yang menunjukkan adanya senyawa magnetit (Fe_3O_4) dan sementit (Fe_3C). Kedua senyawa tersebut diduga berasal dari unsur Fe hasil dekomposisi katalis *ferrocene* yang bereaksi dengan hasil dekomposisi karbon prekursor.

Analisa SEM Variasi Temperatur

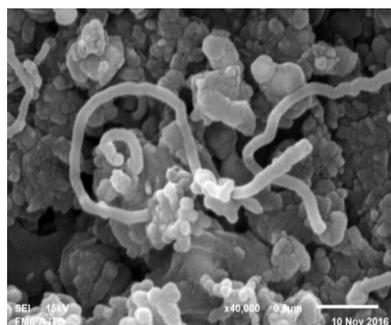
Analisa SEM dilakukan pada sampel dengan konsentrasi katalis 0,025 g/ml dan temperatur 700°C; 850°C; dan 900°C. Perbesaran yang digunakan yaitu 40.000x. Hasil analisa SEM dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Hasil analisa SEM perbesaran 40.000x pada konsentrasi katalis 0,025g/ml dan variasi temperatur: 700°C (A) ; 850°C (B) ; dan 900°C (C)

Dapat dilihat bahwa pada sampel 700°C tersintesis CNS yang membentuk suatu aglomerasi, sedangkan pada temperatur 850°C dan 900°C dapat tersintesis CNT dan CNS dengan diameter yang semakin kecil seiring meningkatnya temperatur operasi. CNT pada temperatur 850°C memiliki diameter berkisar 150-200nm dan pada temperatur 900°C memiliki diameter berkisar 75-100 nm. Peningkatan temperatur akan menyebabkan peningkatan energi pada sistem yang mengakibatkan proses dekomposisi menjadi lebih cepat dan diameter material karbon nano menjadi lebih kecil (Wijaya, 2015).

Analisa EDS Variasi Temperatur

Hasil analisa EDS pada sampel dengan konsentrasi katalis 0,025 g/ml dan temperatur 700°C; 850°C; dan 900°C menunjukkan adanya unsur lain pada sampel yang meliputi unsur Fe, O, dan Cr (hasil disajikan pada Tabel 2). Dapat dilihat bahwa unsur Fe yang dihasilkan pada variasi 850°C dan 900°C memiliki jumlah yang relatif sama (diduga berasal dari katalis *ferrocene*). Namun terjadi penyimpangan pada variasi 700°C dimana unsur Fe tidak muncul. Penyimpangan disebabkan oleh distribusi katalis yang kurang merata pada permukaan sampel. Selain itu, material karbon nanoyang terbentuk memungkinkan untuk menutupi unsur Fe hingga ketebalan tertentu sehingga sinar yang ditembak pada sampel tidak mampu mendeteksi adanya unsur Fe. Pada variasi temperatur 850 °C terdapat unsur Cr (Chromium) dan O. Unsur Cr tersebut diduga berasal dari dinding reaktor yang terbuat dari stainless steel yang ikut terbawa pada saat proses pengerokan sampel. Unsur O yang terbentuk diduga berasal dari proses dekomposisi karbon prekursor yang bereaksi dengan Fe hasil dekomposisi katalis *ferrocene* yang membentuk senyawa magnetit.

Tabel 2. Hasil Analisa EDS

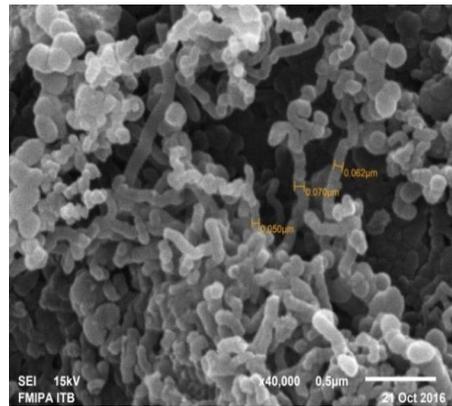
Temperatur (°C)	% atomic			
	C	Fe	O	Cr
700	100	0	0	0
850	96,94	0,83	1,61	0,62
900	99,09	0,91	0	0

Variasi Temperatur

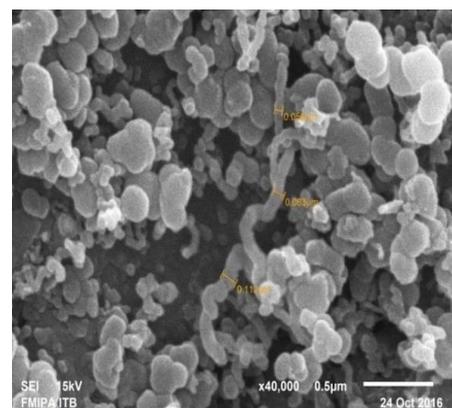
Analisa SEM Variasi Konsentrasi katalis

Variasi konsentrasi katalis dilakukan pada temperatur operasi 850 °C karena temperatur tersebut dinilai paling optimum dalam mensintesis CNT. Berdasarkan hasil analisa SEM (hasil disajikan pada Gambar 4), dapat diketahui bahwa pada ketiga variasi konsentrasi katalis (0,015 g/ml; 0,020 g/ml; dan 0,025 g/ml) dapat tersintesis CNT. CNT yang dihasilkan memiliki diameter yang semakin besar seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis *ferrocene* (Pada konsentrasi 0,015 g/ml diameter yang dihasilkan sekitar 50-70 nm, pada konsentrasi 0,020 g/ml diameter yang dihasilkan sekitar 56-112 nm, sedangkan pada konsentrasi 0,025 g/ml diameter yang dihasilkan sekitar 158-227 nm). Semakin tinggi konsentrasi katalis maka semakin banyak katalis yang terdekomposisi menjadi unsur Fe. Apabila jumlah unsur Fe semakin banyak, maka akan membentuk sebuah *cluster* yang besar sehingga CNT yang tumbuh memiliki diameter yang besar (Wal & Hall, 2002). CNT dengan diameter yang lebih kecil dianggap lebih baik karena mempunyai karakteristik yang unik dimana konduktivitasnya dapat bersifat konduktor atau semikonduktor (Yuan, 2008). Selain itu CNT berdiameter kecil memiliki reaktivitas kimia yang baik (Hadisaputra, 2015).

Selain diameter, dapat diamati pada Gambar 4 bahwa CNT yang terbentuk memiliki bentuk yang berbeda-beda dimana ada CNT lurus dan ada yang bercabang/melengkung. Perbedaan bentuk CNT tersebut tidak lepas dari peranan katalis. Pada saat proses pirolisis berlangsung, katalis *ferrocene* akan turut terdekomposisi menjadi unsur Fe dan akan membentuk suatu *cluster*. Susunan dari *cluster* atom besi tersebut akan menjadi daerah baru untuk pertumbuhan CNT. Hal tersebut memungkinkan CNT untuk tumbuh membentuk suatu cabang pada CNT yang telah tumbuh lurus.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Hasil analisis SEM 850°C perbesaran x40.000, konsentrasi katalis 0,015 g/ml (A); 0,020 g/ml (B); 0,025 g/ml (C)

Analisa EDS Variasi Konsentrasi katalis

Hasil analisa EDS variasi konsentrasi katalis disajikan pada Tabel 3. Pada variasi katalis 0,025 g/ml terdapat unsur O dan Cr dengan % atomik masing- masing sebesar 1,61 % dan 0,62. Munculnya unsur Cr pada sampel tersebut diduga berasal dari dinding reaktor yang terbuat dari stainless steel yang ikut terbawa pada saat proses pengerokkan sampel. Sedangkan unsur O diduga berasal dari proses dekomposisi karbon prekursor yang bereaksi dengan atom Fe dan membentuk magnetite. Pada konsentrasi katalis 0,015 g/ml unsur yang muncul hanya unsur C, pada konsentrasi katalis 0,020 g/ml unsur yang muncul yaitu unsur C dan Fe, sedangkan pada konsentrasi katalis 0,025 g/ml unsur yang muncul adalah unsur C, Fe, O, dan Cr. Perbedaan unsur- unsur tersebut disebabkan karena kurang meratanya unsur- unsur tersebut pada permukaan sampel.

Unsur Fe yang muncul pada analisa EDS pada variasi konsentrasi katalis diduga berasal dari katalis *ferrocene*. Dari hasil analisa dapat dilihat bahwa jumlah unsur Fe semakin lama semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah katalis *ferrocene*. Namun terdapat penyimpangan pada konsentrasi 0,015 g/ml dimana unsur Fe tidak muncul. Penyimpangan tersebut disebabkan karena tidak meratanya unsur Fe pada permukaan sampel dan unsur Fe yang terbentuk tertutupi material karbon nano hingga ketebalan tertentu sehingga tidak dapat terbaca pada analisa EDS.

Tabel 3. Hasil EDS variasi konsentrasi katalis

Konsentrasi katalis (g/ml)	% atomic			
	C	Fe	O	Cr
0,015	100	0	0	0
0,020	99,49	0,51	0	0
0,025	96,94	0,83	1,61	0,62

Kesimpulan

Proses NSP menggunakan minyak goreng sebagai karbon prekursor dan *ferrocene* sebagai katalis dengan deposisi langsung pada dinding reaktor *stainless steel* mampu mensintesis CNT. Berdasarkan karakteristik fisika dan kimia, temperatur operasi 850 °C dan konsentrasi katalis 0,015 g/ml merupakan kondisi optimum karena mampu mensintesis CNT dengan jumlah yang banyak dan diameter yang kecil.

Daftar Pustaka

- Afre R. A. et al. Carbon Nanotubes by Spray Pyrolysis of Turpentine Oil at Different Temperature and Their Studies. Elsevier 2006; 96(1-3): 184-190.
- Arie A. A. & Konstantia, I. D. Synthesis of Turpentine Oil Based Carbon Nanospheres by Nebulized Spray Pyrolysis Method. [HYPERLINK "http://www.ingentaconnect.com/content/asp/jnn;jsessionid=9ma60deaajai.x-ic-live-02"](http://www.ingentaconnect.com/content/asp/jnn;jsessionid=9ma60deaajai.x-ic-live-02) Journal of Nanoscience and Nanotechnology 2016;16 (8): 8701-8704.
- Dai H. Carbon Nanotubes: Synthesis, Integration, and Properties. American Chemical Society 2002; 35 (12): 1035-1044.
- Hadisaputra L. Sintesis Nanokarbon dari Minyak Kelapa Sawit dengan Proses Nebulized Spray Pyrolysis. Universitas Katolik Parahyangan, Master thesis, 2015.
- Kruger A. Carbon Materials and Nanotechnology. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2010
- Liu W.-W. et al. Synthesis and Characterization of Graphene and Carbon Nanotubes: A review on the past and recent developments. Elsevier 2014 ;20(4): 1171-1185.
- Ordoñez-Casanova E. G., Román-Aguirre M. & Aguilar-Elguezabal A. Synthesis of Carbon Nanotubes of Few Walls Using Aliphatic Alcohols as a Carbon Source. Materials 2013; 6 :2534-2542
- Paradise M. & Goswami T. Carbon Nanotubes – Production and Industrial Applications. Elsevier 2006; 28 (5): 1477-1489.
- Suslick B. J. H. & Kenneth, S. Applications of Ultrasound to the Synthesis of Nanostructured Materials. Advanced Materials 2010;22 (10); 1039-1059
- Wal R. L. V. & Hall L. J. Ferrocene as a Precursor Reagent for Metal-Catalyzed Carbon Nanotubes: Competing Effects. Elsevier 2002;130; 27-36.
- Wijaya O. Sintesis Nanocarbon dari Minyak Tanah dengan Proses Spray Pyrolysis, Universitas Katolik Parahyangan, Master thesis, 2015.
- Yuan D. Property Control of Single Walled Carbon Nanotubes and Their Devices, Department of Chemistry Duke University, Ph.D Thesis, 2008