

Sintesis dan Karakterisasi CNT (Carbon Nanotube) Berdopan Logam Kobalt

Nur Dwi Lestari ^a, Pardoyo ^{a*}, Agus Subagio ^b

^a Inorganic Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

^b Physic Laboratory, Physic Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: pardoyoku@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
impregnation, CNT,
cobalt, calcination

Kata Kunci:
impregnasi, CNT,
kobalt, kalsinasi

Abstract

Synthesis and characterization of CNT (Carbon Nanotube) has been carried out with doping of cobalt metal. This study aims to determine the CNT character before and after they was doped with variations in metal concentrations of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. The method used in this research was a wet impregnation, which include immersion in metal solution and calcination. The impregnation results were analyzed using Fourier Transform-Infra Red (FT-IR), GSA (Gas Sorption Analysis), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS). The FT-IR analysis showed the vibration of the Co-C and Co-O bonds. GSA results show that CNT loading 30% has the highest surface area of 69.192 m²/g. The SEM-EDS results show that the morphology of the CNT wall surface was covered by cobalt aggregates. In the EDS results the cobalt fraction was 1.96%, whose value was not much different from the Fe fraction of 1.49%. This suggests that CN doping of Co metal using the wet impregnation method is not effective.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian sintesis dan karakterisasi CNT (Carbon Nanotube) dengan doping logam kobalt. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakter CNT sebelum dan setelah didoping dengan variasi konsentrasi logam 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah impregnasi basah yang meliputi perendaman pada larutan logam dan kalsinasi. Hasil impregnasi dianalisis menggunakan Fourier Transform-Infra Red (FT-IR), GSA (Gas Sorption Analysis), Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS). Analisis FT-IR menunjukkan adanya vibrasi ulur dari ikatan Co-C dan Co-O. Hasil GSA menunjukkan bahwa CNT loading 30% mempunyai luas permukaan tertinggi yaitu 69,192 m²/g. Hasil SEM-EDS menunjukkan bahwa morfologi permukaan dinding CNT ditutupi agregat-agregat kobalt. Pada hasil EDS fraksi kobalt dihasilkan adalah 1,96 % yang nilainya tidak jauh berbeda dari fraksi Fe yaitu 1,49%. Hal ini menunjukkan bahwa CNT doping logam Co menggunakan metode impregnasi basah tidak efektif.

1. Pendahuluan

Pengembangan penelitian kini difokuskan pada beberapa hal, diantaranya adalah pengembangan sumber energi dan masalah lingkungan. Kekurangan minyak bumi dan peningkatan *global warming*

mendorong upaya untuk mencari bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar berbasis minyak bumi.

Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah adalah dengan mengeluarkan beberapa kebijakan melalui Instruksi Presiden No. 1/2006, Peraturan Presiden No. 5

tahun 2006. Dalam Inpres dan Pepres tersebut mengamanatkan pengembangan dan penggunaan bahan bakar alternatif lain yang dapat diperbaharui dan mengacu pada Rencana Umum Kebijakan Energi, untuk program jangka panjang sampai tahun 2020 dimana para pelaku energi berkewajiban untuk memanfaatkan energi terbarukan (*non-fossil fuel obligation*) serta penerapan kewajiban penghematan energi dan menggunakan teknologi efisien dan ramah lingkungan. (Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2003).

Banyak penelitian yang mengembangkan material sebagai material penyimpan energi. *Carbon nanotube*, material berbasis nano menarik banyak peneliti. Selain memiliki sifat dan karakter yang unggul, material ini cukup banyak disintesis dengan berbagai metode untuk fabrikasi. CNT dapat dimodifikasi dengan logam oksida untuk meningkatkan kegunaannya sebagai material. Salah satunya adalah CNT yang didoping dengan kobalt. Penggunaan CNT dengan doping kobalt akan meningkatkan adsorpsi gas. Menurut Chen dan Mao [1] menyatakan bahwa kobalt pada CNT berperan untuk menginisiasi molekul hidrogen kedalam CNT dalam bentuk atom yang tersebar pada permukaan maupun didalam CNT. Trépanier *dkk.* [2] menjelaskan bahwa pada CNT yang dimodifikasi dengan kobalt sebagai katalis dalam sintesis *Fischer-Tropsch* dapat meningkatkan adsorpsi gas CO dan Hidrogen.

Dalam pelaksanaan doping CNT menggunakan logam kobalt, bertujuan untuk meningkatkan karakter material penyimpan gas hidrogen. CNT murni diimpregnasi menggunakan larutan kobalt nitrat, kemudian dikalsinasi pada suhu 350°C dibawah aliran gas nitrogen 10 mL/menit. Penggunaan kobalt bertujuan sebagai promotor agar hidrogen masuk ke permukaan CNT.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Gelas beker, timbangan listrik, seperangkat refluks, magnetik stirer, oven, kalsinasi. CNT murni, akuades, HNO₃ 65%, kobalt nitrat heksahidrat/ (Co(NO₃)₂·6H₂O), gas nitrogen, SDS (*Sodium Dodecyl Sulfat*).

Pemurnian CNT (*Carbon Nanotube*)

Memasukkan CNT kedalam labu alas bulat, memasukkan HNO₃ 65% sampai CNT terendam, direfluks selama 5 jam pada suhu 100°C, pencucian CNT sampai pH netral, tahap akhir adalah pengeringan CNT dengan memasukkan CNT kedalam oven selama semalam.

Mengimpregnasi CNT murni

Tahap ini diawali dengan membuat larutan kobalt nitrat heksahidrat/ (Co(NO₃)₂·6H₂O) dengan variasi 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Menimbang CNT murni masing-masing 1 gram, SDS 0,05 gram. Kemudian mencampurkan SDS kedalam larutan kobalt nitrat distirer sampai homogen, tahap selanjutnya adalah

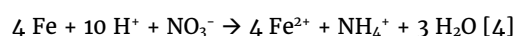
memasukkan CNT murni kedalam larutan tersebut, distirer selama 24 jam, di saring, kemudian dikalsinasi pada suhu 350°C, dengan aliran gas nitrogen.

Karakterisasi

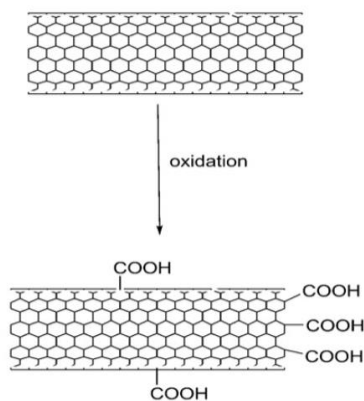
Analisis menggunakan FT-IR (*Fourier Transform-Infra Red*) untuk mengetahui adanya ikatan Co-O dan ikatan Co-C yang mengindikasikan bahwa kobalt menempel pada permukaan CNT. Analisis menggunakan BET (*Brunauer-Emmet-Teller*) untuk mengetahui perubahan luas permukaan pada CNT loading kobalt. Analisis menggunakan SEM-EDS: untuk mengetahui morfologi permukaan CNT murni dan setelah penambahan logam serta mengetahui seberapa banyak fraksi kobalt yang menempel pada permukaan CNT.

3. Hasil dan Pembahasan

Purifikasi *carbon nanotube* dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor yang berada dalam *carbon nanotube* hasil sintesis sebelumnya, di antaranya adalah logam Fe, sisa *ferrocene* dan sisa benzena yang tidak terpirolisis, selain itu purifikasi pada *carbon nanotube* pada dindingnya mengalami *defect / cavity* (pengikisan) yang berdampak pada penambahan luas permukaan CNT [3]. Dalam penelitian ini, purifikasi *carbon nanotube* dilakukan dengan perlakuan *refluks* menggunakan asam nitrat sebagai pelarutnya. Larutan HNO₃ dipilih sebagai larutan pencuci karena sifatnya asam kuat dan merupakan zat pengoksidasi kuat yang mudah terionisasi menjadi H⁺ dan NO₃⁻, mudah menguap, tidak melarutkan atau merusak struktur *carbon nanotube* yang dimurnikan. Purifikasi *carbon nanotube* menggunakan asam dapat mengurangi Fe yang menempel pada ujung permukaan *carbon nanotube*. Reaksi oksidasi Fe oleh HNO₃ adalah sebagai berikut:



Perlakuan refluks dipilih karena kerja oksidasi asam nitrat salah satunya bergantung pada temperatur larutan. Temperatur berpengaruh terhadap kecepatan dan kesempurnaan reaksi pelarutan pengotor [5]. Hal ini dilakukan karena dengan adanya pemanasan, HNO₃ sangat susah bercampur dengan *carbon nanotube*. Setelah dipisahkan dari filtratnya, *carbon nanotube* hasil refluks selanjutnya dicuci menggunakan akuades hingga PH netral (±7). Hal ini bertujuan untuk menghilangkan HNO₃ yang masih tersisa pada *carbon nanotube*.



Gambar 1. Mekanisme CNT yang telah dipurifikasi [6]

Carbon nanotube kemudian dikeringkan di dalam oven selama 12 jam, sehingga diperoleh serbuk carbon nanotube yang kering, bebas HNO₃ dan akuades. Akan tetapi setelah dipurifikasi dinding di sekitar carbon nanotube membuka dan mengikat ikatan -COOH [7]. Carbon nanotube hasil purifikasi kemudian dilanjutkan untuk diimpregnasi menggunakan logam kobalt.

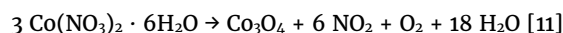
Impregnasi Carbon Nanotube Menggunakan Kobalt

Penelitian ini carbon nanotube direndam menggunakan larutan kobalt nitrat melalui metode impregnasi. Preparasi diawali dengan menyiapkan serbuk logam Co(NO₃)₂.6.H₂O dengan 5 variasi yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%, menimbang surfaktan SDS (Sodium Duodecyl Sulfonat) sebanyak 0,05 gram dan penimbangan CNT 1 gram untuk setiap masing-masing variasi. Kemudian kedua reagen dilarutkan ke dalam akuades masing-masing 50 mL, kemudian diaduk menggunakan stirer sampai homogen, kemudian CNT dimasukkan. Penggunaan surfaktan bertujuan untuk media pendispersi antara carbon nanotube dengan larutan kobalt nitrat. Interaksi yang terjadi adalah CNT membentuk agregat di dalam larutan karena adanya interaksi ikatan kuat π-π antara cincin aromatiknya, oleh karena itulah yang menyebabkan CNT sulit terdispersi [8].

Tujuan impregnasi menggunakan kobalt adalah sebagai promotor agar molekul hidrogen masuk melalui permukaan CNT [9]. Kobalt yang terdispersi akan menempel permukaan CNT, karena partikel Co²⁺ yang besar tidak bisa masuk ke dalam tabung CNT yang hanya berdiameter nanometer.

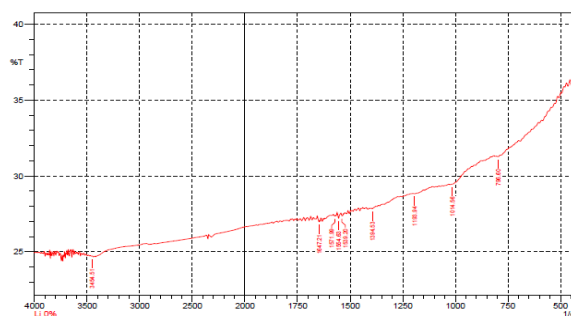
Langkah selanjutnya adalah menyaring larutan CNT/Co menggunakan kertas saring, kemudian dikalsinasi menggunakan gas nitrogen 10 mL/menit dengan suhu 350°C selama 3 jam. Tujuan kalsinasi sendiri adalah untuk menghilangkan sisa-sisa pengotor dan logam-logam pengotor dan sisa-sisa surfaktan yang ada pada CNT dan juga mengubah struktur kristalin pada CNT. Menurut LÜ dkk. [10], menyebutkan bahwa kobalt nitrat akan terdekomposisi menjadi Co₃O₄ pada suhu 200°C. Tujuan dialirkannya gas nitrogen adalah untuk mencegah gas oksigen berada pada permukaan CNT/Co dan mencegah terjadinya pembakaran pada CNT yang menjadikan material

tersebut menjadi arang, disebabkan adanya kehadiran oksigen. Reaksi yang terjadi ketika proses kalsinasi :

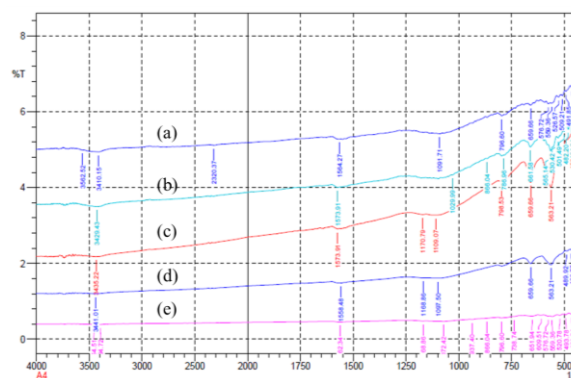


Karakterisasi CNT/Co Menggunakan (Fourier Transform-Infra Red)/FT-IR

Hasil analisis dengan spektroskopi inframerah mengenai serapan gugus fungsional menunjukkan bahwa secara umum spektra CNT murni dengan CNT yang diimpregnasi dengan logam kobalt memiliki perbedaan puncak dan mengalami pergeseran bilangan gelombang. Gambar dibawah ini menunjukkan spektra CNT murni dan CNT dengan penambahan logam.



Gambar Spektra 2. CNT murni (tanpa penambahan logam)



Gambar 3. (a) Spektra IR CNT + Co 10%, (b) Spektra IR CNT + Co 20%, (c) Spektra IR CNT + Co 40%, (d) Spektra IR CNT + Co 50%, dan (e) Spektra IR CNT + Co 30%

Karakteristik serapan gugus fungsional dari CNT murni dan CNT dengan penambahan logam Co (10%, 20%, 30%, 40%, 50%) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1: Data serapan bilangan gelombang CNT murni dan CNT loading Co

Serapan	CNT + Loding Co					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
ν O-H	3454.51	3410.15	3429.43	3454.51	3435.22	3441.01
ν C=C	1571.99	1564.27	1573.91	1562.34	1573.91	1558.48
ν C-O	1194	1091.71	1029.99	1072.42	1109.07	1097.50
ν Co-O	-	659.66	661.58	651.94	659.66	659.66
ν Co-C	-	559.36	565.14	559.36	563.21	563.21

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa ada serapan gugus O-H regangan yaitu sekitar 3454,51 cm⁻¹ pada CNT murni, pada penambahan kobalt 10% mengalami

pergeseran $3410,15\text{ cm}^{-1}$, begitu pula pada penambahan 20%-50% Co juga mengalami pergeseran tidak signifikan. Hal ini menurut Xue dan Li [12], mengindikasikan bahwa pada CNT mempunyai gugus OH dari CNT-COOH, yaitu ketika pada saat pemurnian ternyata ada dinding yang mengalami *defect* (kerusakan) sehingga di dinding CNT terdapat gugus -COOH.

Pada CNT murni panjang serapan bilangan gelombang $1571,99\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi tarik dari C=C, untuk CNT dengan *loading* kobalt 10% - 50% juga tidak mengalami pergeseran yang signifikan. Adanya serapan bilangan gelombang tersebut menginterpretasikan bahwa CNT mempunyai C=C aromatik, dan seperti yang diketahui bahwa CNT merupakan karbon yang tersusun oleh cincin aromatik membentuk lembaran yang menggulung membentuk tabung [9].

Diketahui bahwa bilangan gelombang 1194 cm^{-1} pada CNT murni, menurut Fu *dkk.* [13] pada serapan bilangan gelombang kisaran 1200 cm^{-1} - 1020 cm^{-1} , merupakan indikasi adanya ikatan vibrasi C-O dalam ikatan C-O-Co. Pada CNT murni tidak ada indikasi dari ikatan C-O-Co, akan tetapi bisa ditarik kesimpulan bahwa ikatan C-O dalam -COOH [14].

Menurut Prieto *dkk.* [15], serapan panjang bilangan gelombang antara $700 - 300\text{ cm}^{-1}$ adalah serapan antara karbon-logam dan logam-oksida, disebutkan bahwa serapan gugus anorganik pada *Near Infra Red* (NIR). Dari analisa FT-IR yang didapat dari CNT *loading* terdapat puncak-puncak tajam yang berada pada panjang serapan antara $460-800\text{ cm}^{-1}$. Untuk CNT dengan penambahan kobalt 10% menghasilkan serapan bilangan gelombang $659,66\text{ cm}^{-1}$, diindikasikan adanya ikatan vibrasi tarik Co-O. CNT dengan penambahan kobalt antara 20%-50% juga mempunyai serapan yang tidak jauh berbeda. Menurut LÜ *dkk.* [10], ikatan Co-O bahwa pada permukaan CNT, dipengaruhi oleh perlakuan kalsinasi.

Menurut Prieto *dkk.* [15], disebutkan bahwa vibrasi tarik Co-C dalam bentuk gugus Co-CH₃ dilaporkan pada bilangan gelombang 522 cm^{-1} , sedangkan dalam bentuk Co-C atau kobalt-karbida yaitu 560 cm^{-1} . Sedangkan data yang diperoleh dari CNT pada variasi penambahan kobalt antara 10% adalah $559,36\text{ cm}^{-1}$. Dapat diketahui bahwa serapan yang dihasilkan tidak mengalami pergeseran yang signifikan pada variasi 20%-50%. Dari serapan panjang gelombang yang dihasilkan menandakan adanya gugus Co-C pada CNT yang telah mengalami perlakuan kalsinasi. Logam Co yang menempel di dinding permukaan CNT merupakan promotor hidrogen untuk menempel di dinding CNT.

Karakterisasi CNT/Co menggunakan BET (*Brunauer-Emmet-Teller*)

Hasil analisis menggunakan BET (*Brunauer-Emmet-Teller*) pada CNT dengan penambahan persen Co dalam $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ variasi 10%-50% ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2: Tabel hasil analisis menggunakan BET (*Brunauer-Emmet-Teller*) pada CNT dengan

penambahan persen Co dalam $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ variasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%.

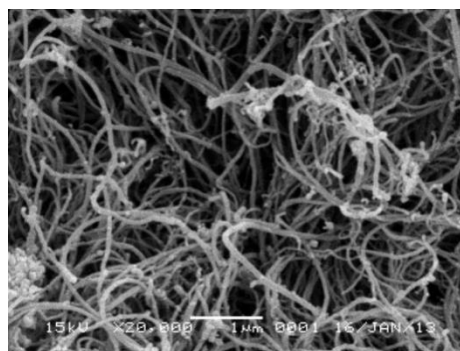
CNT + % logam	Luas Permukaan (m^2/g)
CNT + 10 % Co	67,092 m^2/g
CNT + 20 % Co	67,006 m^2/g
CNT + 30 % Co	69,192 m^2/g
CNT + 40 % Co	64,265 m^2/g
CNT + 50 % Co	63,488 m^2/g

Seperti yang terlihat pada tabel diatas menunjukkan bahwa peningkatan luas permukaan ditunjukkan pada CNT *loading* 30%, yaitu $69,192\text{ m}^2/\text{g}$ kemudian luas permukaan menurun pada CNT *loading* 40% dan 50%, konsentrasi kobalt terlalu tinggi, sehingga terjadi agglomerasi pada CNT, karena partikel- partikel kobalt yang jumlahnya tidak sebanding dengan CNT yang diimpregnasi [2].

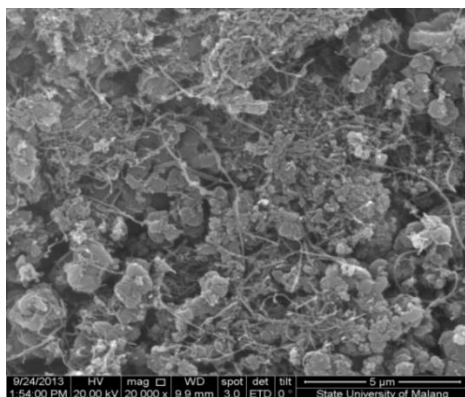
CNT *loading* 30% merupakan *loading* maksimal untuk menyisipkan partikel Co ke permukaan CNT, karena pada *loading* 30% distribusi logam Co tidak terjadi agglomerasi/ penumpukan yang terlalu banyak disekitar permukaan CNT. CNT *loading* Co mengalami distribusi logam Co tidak merata pada permukaan CNT.

Karakterisasi CNT/Co menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)

Analisa SEM-EDS digunakan untuk mengetahui morfologi dari *carbon nanotube* (CNT) dan mengetahui komposisi kobalt yang terdistribusi di permukaan CNT dan elemen-elemen lain. Tidak semua sampel dianalisis menggunakan SEM-EDS, hanya CNT *loading* 30% yang dianalisis menggunakan SEM-EDS. Gambar menunjukkan hasil SEM CNT murni dan CNT *loading* 30% perbesaran 20000X.



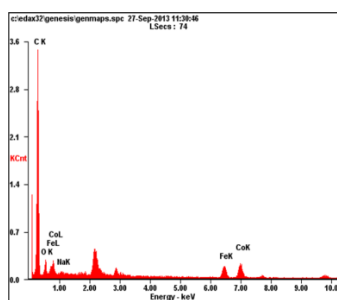
Gambar 4. Hasil SEM CNT murni dengan perbesaran 20000 kali



Gambar 5. Hasil SEM CNT loading 30% kobalt perbesaran 20000 kali

Gambar CNT murni hasil analisis SEM ditunjukkan tabung-tabung CNT, tabung- tabung CNT tampak jelas dan ada sedikit gumpalan kecil yang diketahui bahwa gumpalan tersebut adalah sisa-sisa katalis Fe yang tidak bereaksi dengan HNO₃. Dari hasil SEM diketahui hasil impregnasi CNT loading kobalt 30% gambar menunjukan berbentuk tabung adalah CNT, bulat sperik adalah kobalt.

Morfologi pada gambar ditunjukan adanya agregat- agregat kobalt yang menempel dipermukaan CNT, disebabkan waktu kontak yang cukup lama yaitu 24 jam. Selain itu metode yang dipakai untuk menyisipkan kobalt adalah metode impregnasi, maka partikel kobalt masih berukuran besar, sehingga tidak dapat masuk ke dalam tabung CNT. Menurut Trépanier dkk. [16], metode yang dipakai adalah microemulsi, sehingga ketika analisis menggunakan TEM terlihat bahwa dengan metode microemulsi memperkecil ukuran-ukuran partikel kobalt, sehingga pada gambar terlihat bahwa partikel- partikel kobalt dapat masuk ke dalam tabung CNT. Berikut ini adalah hasil EDS CNT loading 30% kobalt.



Element	Wt%	At%
CK	78.70	90.65
OK	06.55	05.66
NaK	00.41	00.25
FeK	06.01	01.49
CoK	08.33	01.96
Matrix	Correction	ZAF

Gambar 6. Hasil analisis EDS CNT (Carbon Nanotube) loading 30%

Perhitungan persentase logam khususnya kobalt pada analisis EDS menggunakan persen (%) atom, ini karena persen atom menunjukan banyaknya atom yang terdapat dalam serbuk CNT loading 30% kobalt. Hasil EDS merupakan intepretasi dari kobalt yang terjebak di permukaan dinding CNT .

Tabel 2: Hasil perhitungan fraksi Co yang menempel di permukaan CNT

Sampel	% C	%O	%Co	%Fe	%Na
--------	-----	----	-----	-----	-----

CNT loading 30% Kobalt	90,65	5,66	1,96	1,49	0,25
------------------------	-------	------	------	------	------

Dari tabel ditunjukkan bahwa persentase tingkat fraksi kobalt yang menempel di permukaan CNT adalah 1,96 %, ini menunjukkan aktivasi menggunakan impregnasi basah kurang efektif karena jumlah persentase kobalt yang menempel tidak jauh dari jumlah sisa katalis Fe yaitu sebesar 1,49 %. Adanya persentase 5,66 % dari oksigen merupakan CNT yang dipurifikasi dengan HNO₃ pada dindingnya terjadi pengikisan dan terbentuk ikatan -COOH pada cincin aromatik dinding CNT. Kemunculan Na sebesar 0,25% pada fraksi merupakan sisa surfaktan yang tidak menguap ketika proses kalsinasi.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian Sintesis dan Karakterisasi Material CNT (Carbon Nanotube) Berdopan Logam Kobalt dapat disimpulkan sebagai berikut. Telah dibuat CNT (Carbon Nanotube) yang diimpregnasi menggunakan kobalt dengan variasi 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Pada hasil FT-IR CNT loading logam Co menunjukan bahwa adanya serapan gugus anorganik Co-O dan Co-C. Hasil BET menunjukan bahwa CNT loading 30% mempunyai luas permukaan tertinggi. Gambar SEM pada CNT loading 30% menunjukan gambar bulat sperik bahwa adanya agregat- agregat kobalt yang menutupi permukaan CNT. Hasil EDS menunjukan bahwa CNT loading 30% tingkat fraksi kobalt kecil mengindikasikan bahwa metode impregnasi basah kurang efektif.

5. Daftar Pustaka

- Xiaobo Chen, Samuel S Mao, Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications, and applications, *Chemical reviews*, 107, 7, (2007) 2891-2959 <http://dx.doi.org/10.1021/cr0500535>
- Mariane Trépanier, Ajay K. Dalai, Nicolas Abatzoglou, Synthesis of CNT-supported cobalt nanoparticle catalysts using a microemulsion technique: Role of nanoparticle size on reducibility, activity and selectivity in Fischer-Tropsch reactions, *Applied Catalysis A: General*, 374, 1, (2010) 79-86 <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2009.11.029>
- Weihong Xue, Hongping He, Jianxi Zhu, Peng Yuan, FTIR investigation of CTAB-Al-montmorillonite complexes, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67, 3, (2007) 1030-1036 <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2006.09.024>
- Arthur Israel Vogel, G. Svehla, Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis, Longman Scientific & Technical, 1987.
- Kieran MacKenzie, Oscar Dunens, Andrew T. Harris, A review of carbon nanotube purification by microwave assisted acid digestion, *Separation and Purification Technology*, 66, 2, (2009) 209-222 <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2009.01.017>
- Zdenko Spitalsky, Dimitrios Tasis, Konstantinos Papagelis, Costas Galiotis, Carbon nanotube-

- polymer composites: Chemistry, processing, mechanical and electrical properties, *Progress in Polymer Science*, 35, 3, (2010) 357-401 <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.09.003>
- [7] Siva Yellampalli, Carbon Nanotubes: Synthesis, Characterization, Applications, *InTech, Croatia*, (2011)
- [8] Aurélien Gasnier, M. Laura Pedano, Fabiana Gutierrez, Pierre Labbé, Gustavo A. Rivas, María D. Rubianes, Glassy carbon electrodes modified with a dispersion of multi-wall carbon nanotubes in dopamine-functionalized polyethylenimine: Characterization and analytical applications for nicotinamide adenine dinucleotide quantification, *Electrochimica Acta*, 71, (2012) 73-81 <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2012.03.073>
- [9] Chien-Hung Chen, Chen-Chia Huang, Hydrogen storage by KOH-modified multi-walled carbon nanotubes, *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 2, (2007) 237-246 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.03.010>
- [10] Jing LÜ, Chengdu Huang, Suli Bai, Yunhui Jiang, Zhenhua Li, Thermal decomposition and cobalt species transformation of carbon nanotubes supported cobalt catalyst for Fischer-Tropsch synthesis, *Journal of Natural Gas Chemistry*, 21, 1, (2012) 37-42 [http://dx.doi.org/10.1016/S1003-9953\(11\)60330-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1003-9953(11)60330-7)
- [11] Jean-Sébastien Girardon, Anatoly S. Lermontov, Léon Gengembre, Petr A. Chernavskii, Anne Griboval-Constant, Andrei Y. Khodakov, Effect of cobalt precursor and pretreatment conditions on the structure and catalytic performance of cobalt silica-supported Fischer-Tropsch catalysts, *Journal of Catalysis*, 230, 2, (2005) 339-352 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcat.2004.12.014>
- [12] Wei Xue, Pengfei Li, Dielectrophoretic deposition and alignment of carbon nanotubes, in: *Carbon Nanotubes-Synthesis, Characterization, Applications*, InTech, 2011.
- [13] Hai Fu, Zhong-jie Du, Wei Zou, Hang-quan Li, Chen Zhang, Simple fabrication of strongly coupled cobalt ferrite/carbon nanotube composite based on deoxygenation for improving lithium storage, *Carbon*, 65, (2013) 112-123 <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2013.08.006>
- [14] Arup Choudhury, Synthesis and characterization of poly(o-toluidine)/functionalized multi-walled carbon nanotubes nanocomposites with improved electrical conductivity, *Materials Chemistry and Physics*, 130, 1, (2011) 231-236 <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.06.034>
- [15] Gonzalo Prieto, Agustín Martínez, Patricia Concepción, Ramón Moreno-Tost, Cobalt particle size effects in Fischer-Tropsch synthesis: structural and in situ spectroscopic characterisation on reverse micelle-synthesised Co/ITQ-2 model catalysts, *Journal of Catalysis*, 266, 1, (2009) 129-144 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcat.2009.06.001>
- [16] Mariane Trépanier, Ahmad Tavasoli, Sanaz Anahid, Ajay K Dalai, Deactivation behavior of carbon nanotubes supported cobalt catalysts in Fischer-Tropsch synthesis, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCCE)*, 30, 1, (2011) 37-47