

Review: Sintesis *Carbon Nanotubes* (CNT) dari Bahan Terbarukan untuk Komposit *Carbon Nanotube-Polyaniline*

(Review: *Synthesis of Carbon Nanotubes (CNT) from Renewable Materials for Carbon Nanotube-Polyaniline Composites*)

Ayu Miftachul Jan'ah dan Teguh Endah Saraswati*

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No.36 A, Ketingan-Jebres Surakarta, 57126

*E-mail: teguh@mipa.uns.ac.id

Abstrak. Artikel ini berisi tentang sintesis *carbon nanotubes* (CNT) dari material tanaman sebagai upaya untuk mengurangi penggunaan bahan kimia dan pemanfaatan bahan terbarukan. CNT telah berhasil disintesis dari prekursor tanaman seperti cangkang sawit, minyak sawit, bambu, kayu karet, jerami padi, batok kelapa, serat kelapa dan minyak kelapa. Sifat unik dari CNT menyebabkan penelitiannya terus dilakukan dan banyak diterapkan dalam berbagai aplikasi salah satunya material komposit. CNT yang telah disintesis dapat dikompositkan dengan *polyaniline* (PANI) untuk memperoleh konduktivitas, sifat optik, dan kekuatan mekanik yang lebih unggul.

Kata kunci: CNT, CNT-PANI, PANI, tanaman

Abstract. This article contains the synthesis of carbon nanotubes (CNT) from plant materials in an effort to reduce the use of chemicals and the use of renewable materials. CNT has been successfully synthesized from plant precursors such as palm kernel shells, palm oil, bamboo, rubberwood, rice straw, coconut shells, coconut fiber, and coconut oil. The unique properties of CNT have led to continuous research and many applications in various applications, one of which is composite materials. The synthesized CNTs can be composite with polyaniline (PANI) to obtain superior conductivity, optical properties, and mechanical strength.

Keywords: CNT, CNT-PANI, PANI, Plant

1. Pendahuluan

Berkembangnya penggunaan CNT dalam berbagai bidang menyebabkan meningkatnya permintaan CNT yang berakibat pada peningkatan kebutuhan bahan dasar prekursor CNT. Meningkatnya kebutuhan sumber daya mineral menyebabkan kekurangan bahan, energi global dan kerusakan lingkungan [1]. Bahan baku prekursor CNT berbasis minyak bumi atau batu bara merupakan bahan baku tidak terbarukan dan harganya relatif mahal [2, 3]. Biomassa sebagai prekursor CNT merupakan pendekatan baru yang menjanjikan dan ramah lingkungan [2]. Biomassa adalah sumber daya karbon yang berasal dari tanaman maupun limbah pertanian [1]. Goodel dkk.[4] menggunakan bahan terbarukan untuk memproduksi CNT yaitu serat kayu dan tanaman dengan metode pemanasan siklik. Awalnya, bahan baku dipra-karbonasi pada suhu 240 °C sebelum dipanaskan secara siklis hingga 400 °C dibawah tekanan atmosfer dengan adanya oksigen. CNT yang berhasil disintesis memiliki diameter luar 5-20 nm.

Saat ini, banyak komposit yang disintesis dengan penggabungan CNT dalam matriks keramik, logam ataupun polimer [5]. Komposit matriks polimer dengan CNT menjadi populer dalam aplikasi struktural karena struktur atomnya yang unik, rasio aspek yang sangat tinggi dan kekuatan serta fleksibilitas CNT yang luar biasa. Kekuatan ikatan yang tinggi dari ikatan karbon-karbon penyusun *multi-walled* CNT adalah alasan di balik sifat mekaniknya yang luar biasa [6]. CNT dapat memperkuat komposit polimer, sehingga telah diterapkan dalam berbagai aplikasi seperti industri kedirgantaraan, kelautan, kereta api, mobil, elektronik dan alat olahraga [5]. Bahan sintesis CNT yang berasal dari tanaman diharapkan dapat mengurangi penggunaan minyak bumi maupun batu bara dimana tanaman merupakan bahan yang ramah lingkungan, melimpah dan dapat diperbaharui.

2. Pembahasan

2.1. Sintesis Carbon Nanotubes (CNT)

Carbon nanotubes (CNT) pertama kali ditemukan oleh Sumio Iijima dari NEC Corporation pada tahun 1991 saat dirinya mensintesis *fullerene* menggunakan alat *arc discharge*. Jelaga pada alat tersebut diamati dan ditemukan *fullerene* memanjang dengan diameter 0,7 nm dan panjang beberapa mikron yang kemudian disebut CNT [7]. CNT memiliki hibridisasi sp^2 dengan struktur seperti sarang lebah [8]. CNT diklasifikasikan dalam 2 jenis yaitu *single walled carbon nanotubes* (SWCNT) dan *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNT). SWCNT berarti memiliki dinding tunggal dengan diameter sekitar 1,4 nm dan MWCNT berarti memiliki banyak dinding dengan diameter sekitar 2-25 nm. SWCNT dikategorikan dalam 3 bentuk berdasarkan vektor kiralnya, yaitu *armchair*, *zigzag* dan *chiral*. Sedangkan MWCNT memiliki 2 bentuk, *russian doll model* dan *parchment model* [9].

CNT memiliki morfologi dan kombinasi unik dari sifat elektronik, termal, mekanik, dan kimia [10, 11] sehingga memiliki potensi untuk berbagai aplikasi seperti pemancar medan elektron, nanoelektroda, media filter, permukaan *superhydrophobic* [12], elektroda karbon baterai dan sel bahan bakar atau komposit super-kuat [13], elektronik berkinerja tinggi [14], aplikasi emisi medan dan aplikasi kapasitor lapis ganda listrik (*Electric double-layer capacitors*, EDLC) [15]. Berbagai metode telah dikembangkan untuk menghasilkan CNT, seperti *chemical vapour deposition* (CVD) yang membutuhkan suhu yang relatif tinggi yaitu 700-1000 °C [12], *arc discharge* dan *laser ablation* dengan suhu mencapai 3000 °C [2]. Dibandingkan dengan *laser ablation* dan *arc discharge*, CVD merupakan metode yang paling populer dalam sintesis CNT karena serbaguna, paling efisien [16], biayanya rendah, hasil produk tinggi, dan kemudahan dalam peningkatan skala [17]. Metode ini dapat menghasilkan SWCNT maupun MWCNT [16]. Prinsip dasar dari metode CVD adalah pemanasan hidrokarbon pada suhu tinggi dengan adanya katalis.

Parameter yang mempengaruhi pertumbuhan CNT yaitu suhu, komposisi katalis, campuran gas [18] dan waktu [19]. Sumber karbon yang telah digunakan sebagai prekursor untuk pertumbuhan CNT antara lain benzena (C_6H_6), xilena (C_8H_{10}), toluena (C_7H_8), heksana (C_6H_{14}) etanol (CH_3OH), metanol (C_2H_5OH), metana (CH_4), asetilena (C_2H_2), etilena (C_2H_4), karbon monoksida (CO) dll. [20]. Ukuran dan sifat katalis berpengaruh pada pertumbuhan CNT. Ukuran partikel yang lebih kecil (beberapa nm) cenderung membentuk SWCNT, sedangkan ukuran yang lebih besar (puluhan nm) cenderung membentuk MWCNT. Logam yang digunakan sebagai katalis termasuk besi (Fe), nikel (Ni), kobalt (Co), molibdenum (Mo), tembaga (Cu), emas (Au), platina (Pt), dan perak (Ag) [21]. Caglar [8] telah melaporkan penggunaan katalis Fe dalam sintesis CNT menggunakan metode *Plasma Enhanced CVD* (PECVD). PECVD merupakan metode CVD yang dilengkapi dengan plasma dan membutuhkan suhu yang lebih rendah daripada metode CVD tradisional. Dalam penelitian tersebut, ia mengamati bahwa pada suhu tinggi dan ketebalan katalis (Fe) yang rendah menyebabkan Fe berdifusi pada substrat (Si) sehingga tidak cukup untuk melakukan pertumbuhan CNT. Hu dkk. [19] mengamati pengaruh waktu pertumbuhan terhadap CNT yang dihasilkan menggunakan metode CVD yang dimodifikasi dengan asetilena dan hidrogen sebagai sumber karbon dan gas reduksi pada tekanan 80 kPa dan suhu 1023 K. Diamati bahwa waktu sintesis selama 10 menit

menghasilkan CNT yang seragam dan pendek, waktu sintesis 30 menit menghasilkan CNT panjang dan tebal, serta waktu sintesis 60 menit menghasilkan CNT dengan banyak impurities. Waktu sintesis yang semakin lama akan menghasilkan terlalu banyak fase campuran karbon. Hal ini dapat terjadi karena seiring berjalannya waktu, CNT akan terus berkembang sesuai masa pakai pakai katalis dan ketika katalis tidak aktif lagi, akan terbentuk produk sampingan pada permukaan CNT.

Metode sintesis dimulai dengan dekomposisi uap hidrokarbon dengan adanya katalis logam. Ketika uap hidrokarbon berinteraksi dengan logam, maka akan terurai menjadi karbon dan hidrogen. Karbon akan larut dalam katalis logam sementara hidrogen akan menguap. Terdapat dua jenis pertumbuhan CNT yaitu *tip-growth* dan *base-growth*. Perbedaan pertumbuhan CNT disebabkan oleh adanya interaksi substrat-katalis. *Tip-growth* merupakan interaksi substrat-katalis lemah, karena interaksi yang lemah CNT tumbuh dari dasar katalis dan mendorong katalis selama pertumbuhan. *Base-growth* merupakan interaksi substrat-katalis kuat, dimana interaksi yang kuat menyebabkan CNT tumbuh di atas katalis [21]. Adapun substrat yang biasa digunakan dalam sintesis CNT, seperti Si, SiO₂, Cu, Ni, Cu/Ti/Si, *stainless steel*, kaca, grafit dan *tungsten foil* [22].

2.2. Tanaman Sebagai Prekursor dalam Sintesis CNT

2.2.1. Sawit

Minyak sawit memiliki kandungan utama hidrokarbon yang mengandung oksigen misalnya C₆₇H₁₂₇O₈ yang dapat digunakan sebagai prekursor pada CVD katalik untuk pertumbuhan CNT. Adanya atom hidrogen dan oksigen dapat membentuk spesies yang mudah menguap seperti CH_x (x= 1-4) dan CO_y (y= 1,2) sehingga saat diamati dengan SEM hanya sejumlah kecil karbon amorf yang terbentuk. CNT yang disintesis menggunakan prekursor minyak sawit pada suhu 750 °C memiliki panjang 110 µm dan kemurnian 90%. Suhu dibawah 600 °C tidak efisien untuk pertumbuhan CNT menggunakan metode CVD katalik termal [23]. Azmina dkk. [24] juga mengamati efek suhu terhadap produksi CNT dari minyak sawit, hasilnya ditunjukkan bahwa suhu optimum untuk mensintesis CNT dari minyak sawit adalah 800 °C. Pada penelitian ini, digunakan metode *thermal CVD* (TCVD) dengan katalis *ferrocene*. CNT yang disintesis pada suhu 800 °C memiliki bentuk seperti spageti dengan diameter sekitar 15 nm dan jumlah karbon amorf sedikit.

Omoriyekomwan dkk. [2] telah memproduksi CNT dari cangkang sawit (*Palm Kernel Shell*, PKS) menggunakan *microwave pyrolysis*. Sampel PKS yang digunakan memiliki kandungan 33,04 wt% selulosa, 23,82 wt% hemiselulosa, 45,59 wt% lignin dan 9,89 wt% ekstraktif. Komponen biomassa PKS diisolasi menggunakan dua metode berbeda yaitu *alkaline acid* (ALAC) dan *formic acid/acetic acid* (FAAC). Sebelum diisolasi, PKS dicuci menggunakan akuades hangat, disaring dan dikeringkan. Pada metode ALAC dilakukan penambahan NaOH pada sampel dengan pemanasan, filtrasi, pencucian dan pengeringan untuk memperoleh lignin. Sampel kemudian ditambahkan H₂SO₄ untuk menghilangkan hemiselulosa sehingga diperoleh sampel selulosa. Sedangkan pada metode FAAC, sampel biomassa di *treatment* dengan asam organik (asam format dan asam asetat) dan hidrogen peroksida untuk memisahkan fraksi lignin yang kemudian diendapkan dengan penambahan aquades. Sampel padat (selulosa) dipisahkan dari cairan (lignin dan hemiselulosa) dengan filtrasi. Setelah proses *pre-treatment*, sampel dicampurkan dengan silikon karbida (SiC) dan masuk dalam proses pirolisis yang diinduksi *microwave*. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 600 °C selama 60 menit. Dibandingkan dengan metode FAAC, metode ALAC menghasilkan selulosa dan lignin yang lebih tinggi dari PKS. Analisis SEM menunjukkan CNT yang terbentuk selama pirolisis *microwave* dari sampel selulosa yang diisolasi dengan metode ALAC menunjukkan struktur MWCNT dengan diameter berkisar 50-100 nm dan panjang rata-rata sekitar 600-1800 nm. Sebaliknya, pada sampel lignin tidak ada CNT yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa selulosa merupakan komponen yang bertanggung jawab dalam pembentukan CNT selama pirolisis *microwave* PKS. Perbedaan hasil ini dapat terjadi karena adanya

monosakarida dalam senyawa volatil yang berevolusi dari selulosa. Monosakarida merupakan sumber karbon yang efektif dalam sintesis bahan karbon.

2.2.2. *Bambu*

Zhu dkk. [1] telah melakukan sintesis CNT dari arang bambu menggunakan metode CVD dengan adanya uap etanol. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran katalitik unsur anorganik dalam sintesis CNT tanpa menggunakan katalis logam. Batang bambu awalnya dipirolisis pada suhu 1000-1500 °C untuk menghasilkan arang bambu. Pembentukan fase mineral pada arang bambu sangat bergantung pada suhu. Fase mineral ini berfungsi sebagai katalis dalam sintesis CNT. Arang bambu yang dipirolisis pada suhu 1000 °C menunjukkan adanya kristal K₂SO₄; pada suhu 1200 °C dideteksi adanya MgSiO₃, CaSO₄, dan K₂SO₄; pada suhu 1300 °C dideteksi adanya K₂SO₄ dan CaSO₄; pada suhu 1400 °C dideteksi adanya fase kristal seperti SiC, SiO₂ dan CaO. CNT yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki panjang beberapa nanometer hingga mikrometer. Arang bambu yang dipirolisis pada suhu 1500 °C tidak menunjukkan terbentuknya CNT. Sampel yang dipirolisis pada 1200 °C memiliki diameter CNT kurang dari 20 nm, pada 1300 °C menunjukkan struktur *multi-walled* dengan lapisan dinding karbon lebih dari 100 dengan diameter sekitar 60 nm, pada 1400 °C menunjukkan diameter CNT sekitar 100 nm.

2.2.3. *Kayu karet*

Shi dkk. [25] telah melakukan penelitian penggunaan biomassa untuk sintesis CNT tanpa menggunakan katalis. Biomassa yang digunakan adalah kayu karet yang akan bertindak sebagai substrat, katalis bahkan sumber karbon sekaligus. Sintesis dilakukan dengan pirolisis yang diinduksi *microwave* pada suhu 500 °C selama 30 menit. CNT yang dihasilkan memiliki struktur *multi-walled* dengan diameter sekitar 50 nm dan tebal dinding sekitar 5 nm. Dalam proses pirolisis yang diinduksi *microwave*, kayu karet akan terdekomposisi menghasilkan bahan volatil (minyak nabati dan biogas) dan partikel arang. Partikel arang akan bertindak sebagai substrat, mineral yang terdapat dalam arang bertindak sebagai katalis dan bahan volatil bertindak sebagai sumber karbon hingga membentuk karbon nanosfer. Karbon nanosfer memiliki kecenderungan tinggi untuk merakit sendiri (*self-assembly*) sehingga terbentuk CNT.

2.2.4. *Jerami padi*

Fathy dkk. [3] telah melakukan sintesis CNT dari jerami padi melalui dua langkah, yaitu *treatment* hidrotermal dilanjutkan dengan metode CVD. Jerami padi ditambahkan NaOH untuk menghilangkan silika, lignin, hemiselulosa, dan zat pektin lainnya. Kemudian direfluks menggunakan H₂SO₄, dicuci dan dikeringkan. Selanjutnya sampel di *treatment* secara hidrotermal dan dilanjutkan proses sintesis menggunakan metode CVD. Dalam sintesis ini, digunakan dua jenis katalis yaitu Fe (mono katalis *ferrocene*) dan Fe-Ni (campuran *ferrocene* dan nikel nitrat), suhu yang digunakan maksimal 800 °C. Hasilnya menunjukkan penggunaan katalis Fe-Ni menghasilkan CNT dengan diameter luar yang lebih besar dan panjang dibandingkan menggunakan katalis Fe. CNT-Fe memiliki diameter luar ~22 nm sedangkan CNT-Fe-Ni memiliki diameter luar ~66 nm. Kualitas CNT yang dihasilkan layak digunakan dalam berbagai aplikasi industri.

2.2.5. *Kelapa*

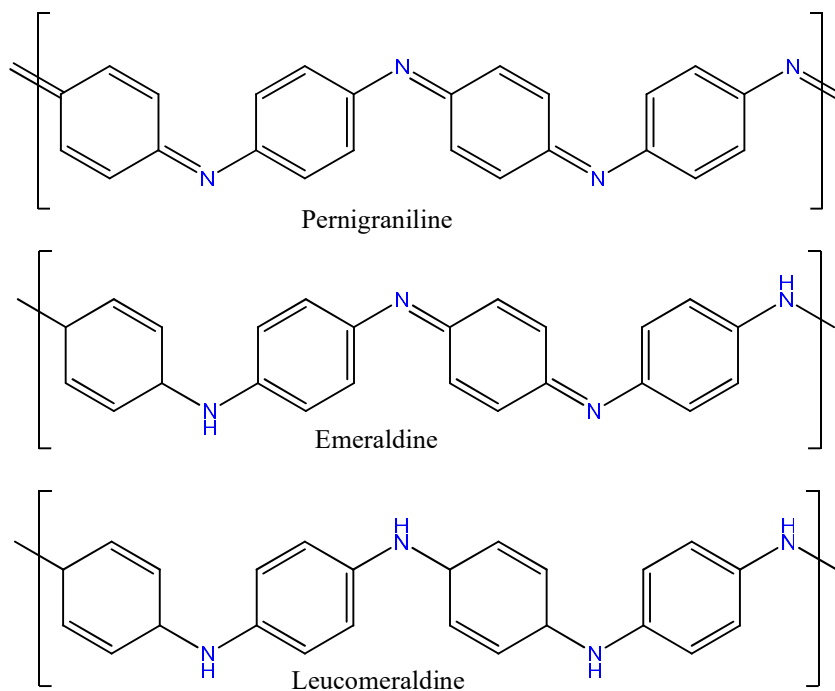
Araga dan Sharma [26] telah memproduksi MWCNT dari arang batok kelapa dengan pirolisis pada suhu 900 °C selama 2 jam. Sintesis CNT dilakukan dengan metode PECVD pada suhu rendah 450 °C dengan daya RF (*Radio Frequency*) 13,56 MHz, asetilena (C₂H₂) sebagai sumber karbon dan H₂ sebagai gas etsa. Adanya kandungan mineral dalam arang batok kelapa, seperti Al, Ca, Na, K, Fe dan Mg memungkinkan sintesis CNT tanpa menggunakan katalis. Hasil penelitian menunjukkan CNT memiliki struktur *multi-walled* dengan diameter sekitar 25-30 nm dan panjang puluhan mikrometer.

Berdasarkan analisis EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*), Fe tidak terlibat dalam sintesis CNT karena penggunaan suhu yang rendah.

Adewumi [27] melakukan sintesis CNT menggunakan serat kelapa tanpa menggunakan substrat dan katalis pada suhu 700 -1100 °C. Berdasarkan analisis SEM, pada suhu 700 °C tidak ada nanomaterial yang terbentuk. Pada suhu 800 dan 900 °C terbentuk MWCNT dengan diameter masing-masing sekitar 40-120 nm dan 40-90 nm. CNT yang terbentuk pada suhu 900 °C lebih jelas dibandingkan pada suhu 800 °C dimana strukturnya tidak terdefinisi dengan baik. Sedangkan pada suhu 1000 dan 1100 °C nanomaterial yang terbentuk adalah *carbon nanospheres* (CNS). Selain seratnya, minyak kelapa juga dapat digunakan sebagai prekursor dalam sintesis CNT seperti yang telah dilakukan oleh Paul dkk. MWCNT dengan diameter sekitar 80-100 nm diperoleh dengan metode CVD pada suhu 850 °C. Desain CVD dibuat 2 bagian dengan bagian pertama berfungsi untuk menguapkan minyak kelapa dan bagian ke-2 sebagai tempat pertumbuhan CNT.

2.3. Komposit CNT-PANI

Polyaniline (PANI) memiliki rumus umum $[-B-NH-B-NH-]_n(-B-N=Q=N-)_{1-n}]_m$ dengan B dan Q melambangkan cincin benzenoid dan quinoid. PANI ditemukan dalam 3 bentuk oksidasi ideal (dapat dilihat pada Gambar 1): tereduksi penuh atau *leucoemeraldine* ($n=1$), teroksidasi penuh atau *pernigraniline* ($n=0$) dan teroksidasi sebagian atau *emeraldine* ($n=0,5$). PANI *leucoemeraldine* dan *pernigraniline* merupakan konduktor yang buruk, sedangkan PANI yang teroksidasi sebagian ($n=0,5$) merupakan bentuk paling menarik: *emeraldine salt* (ES) dan *emeraldine base* (EB). Bentuk garam konduktif PANI (ES, warna hijau) tidak larut, namun menggantikan bentuk garam dengan amonium hidroksida menghasilkan EB terlarut dengan warna biru [28].



Gambar 1. Bentuk oksidasi ideal PANI [5]

PANI merupakan bahan konduktif tipe-p yang memiliki fleksibilitas mekanis yang baik, konduktivitas elektrik dan ramah lingkungan. Karena sifat tersebut, PANI sering digunakan dalam pelapis antikorosi, sensor, elektroda baterai, dan perangkat pelindung elektromagnetik [29]. CNT biasanya mempengaruhi polimerisasi, morfologi, kristalisasi, dan sifat listrik dari nanokomposit CNT-PANI. CNT-PANI menunjukkan sifat optik, listrik dan kekuatan mekanik yang lebih unggul daripada PANI [30]. Sintesis PANI dengan berbagai metode telah dilakukan, seperti polimerisasi elektrokimia, polimerisasi enzimatik, polimerisasi plasma, polimerisasi kimia, dll. Metode yang biasa digunakan dalam preparasi komposit CNT-PANI yaitu polimerisasi in-situ, elektroforesis, polimerisasi antarmuka dan pencampuran larutan [31].

Cochet dkk. [32] telah melakukan sintesis komposit polyaniline/carbon nanotube menggunakan metode polimerisasi in-situ dengan oksidan $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$. Pada penelitian tersebut, diamati bahwa polimerisasi in-situ mendukung transfer muatan antara PANI dan MWNT yang menghasilkan material lebih konduktif daripada komponen awal. Metode yang sama juga digunakan oleh Sainz dkk. [33] dengan hasil bundel MWCNT berlapis EB dan membentuk jaringan tiga dimensi di seluruh matriks EB. Komposit EB-MWCNT mudah diproses, berkonduksi tinggi, stabil secara termal dan bercahaya (*luminescent*). Molekul anilin dapat teradsorpsi pada permukaan CNT melalui interaksi π - π sebelum polimerisasi in-situ. Molekul yang teradsorpsi bertindak sebagai tempat nukleasi dimana polimerisasi dimulai dan lapisan PANI akan terbentuk membungkus permukaan CNT. Morfologi nanokomposit CNT-PANI yang disintesis melalui polimerisasi in situ sederhana bergantung pada *loading* CNT [34].

Pada penelitian Philip dkk. [35] MWCNT yang dioksidasi (o-MWCNT) difungsionalisasikan dengan *p-phenyldiamine* menghasilkan gugus fungsi *phenylamine* pada permukaan CNT (a-MWCNT). Dibandingkan dengan diameter CNT, diameter komposit tubular lebih besar. CNT memiliki diameter 10-15 nm sedangkan komposit yang dihasilkan memiliki diameter 90-105 nm. Komposit menunjukkan konduktivitas yang lebih tinggi daripada PANI. Hal ini dapat dikaitkan dengan adanya nanotube dalam komposit yang meningkatkan delokalisasi muatan oleh efek doping dan juga menyediakan matriks yang efisien untuk transportasi muatan.

Yelappa dkk. [29] juga mensintesis komposit CNT-PANI untuk aplikasi anoda dalam operasi *Microbial Fuel Cell*. Berdasarkan analisis XRD diamati bahwa intensitas puncak komposit CNT-PANI lebih tinggi dibandingkan PANI yang menunjukkan peningkatan kristalinitas dan konduktivitas bahan yang disintesis. Analisis UV-Vis juga dilakukan dan ditemukan puncak spektral pada λ 634 nm yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan transfer muatan antara PANI dan CNT. Karakterisasi bioelektrokimia bahan elektroda menggunakan voltametri siklik dan spektroskopi impedansi elektrokimia menunjukkan aktivitas elektrokatalitik yang tinggi dari elektroda komposit CNT-PANI.

Meng dkk. [36] mencoba meningkatkan sifat termoelektrik komposit CNT-PANI setelah berhasil meningkatkan sifat transpor PANI melalui komposit, karakterisasi morfologi menunjukkan bahwa komponen PANI secara seragam melapisi permukaan CNT dan setiap bundel CNT. Dalam larutan campuran, hidroklorida anilin dioksidasi oleh amonium peroksidisulfat (APS) untuk membentuk oligomer dan polimer polianilin yang tidak larut. Permukaan ikatan- π CNT berinteraksi kuat dengan struktur terkonjugasi *polyaniline* untuk pengendapan rantai polimer pada permukaan CNT, membentuk lapisan pelapis tubular. Dalam upaya peningkatan sifat termoelektrik, faktor daya komposit CNT-PANI masih kalah dengan bahan termoelektrik konvensional, meskipun demikian komposit tersebut telah mengalami peningkatan yang luar biasa.

3. Kesimpulan

Tanaman memiliki potensi untuk dijadikan prekursor CNT dengan kelebihan ramah lingkungan, dapat diperbaharui, ketersediaan yang melimpah, maupun sebagai pemanfaatan limbah. Beberapa bagian tanaman seperti cangkang sawit, minyak sawit, bambu, kayu karet, jerami padi, batok kelapa, serat kelapa dan minyak kelapa telah dijadikan bahan utama pembuatan CNT. CNT yang telah disintesis dari tanaman

dapat dikompositkan dengan PANI memiliki sifat listrik, optik, kristalinitas dan konduktivitas yang lebih unggul dibandingkan PANI murni.

Referensi

- [1] Zhu J., Jia J., Kwong F.L., Ng D.H.L., Tjong S.C., 2012, Synthesis of Multiwalled Carbon Nanotubes from Bamboo Charcoal and The Roles of Minerals on Their Growth, *Biomass and Bioenergy*, 36: 12-9.
- [2] Omoriyekomwan J.E., Tahmasebi A., Zhang J., Yu J., 2019, Mechanistic Study on Direct Synthesis of Carbon Nanotubes from Cellulose by Means of Microwave Pyrolysis, *Energy Conversion and Management*, 192: 88-99.
- [3] Fathy N.A., 2017, Carbon Nanotubes Synthesis Using Carbonization of Pretreated Rice Straw Through Chemical Vapor Deposition of Camphor, *RSC Advances*, 7(45): 2835-2841.
- [4] Goodell B., Xie X., Qian Y., Daniel G., Peterson M., Jellison J., 2008, Carbon Nanotubes Produced from Natural Cellulosic Materials, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 8(5): 2472-2474.
- [5] Kausar A., 2017, Performance of Polyaniline Doped Carbon Nanotube Composite, *American Journal of Polymer Science & Engineering*, 5(1): 43-52.
- [6] Husaen S.I., 2012, Mechanical Properties of Carbon Nanotube Reinforced Epoxy Resin Composites, *Baghdad Science Journal*, 9(2): 330-334.
- [7] Meyyappan M., Delzeit L., Cassell A., Hash D., 2003, Carbon Nanotube Growth by PECVD: A Review, *Plasma Sources Science and Technology*, 12(2): 205-216.
- [8] Caglar B., 2010, Production of Carbon Nanotubes by PECVD and Their Applications to Supercapacitors.
- [9] Eatemadi A., Daraee H., Karimkhanloo H., Kouhi M., Zarghami N., Akbarzadeh A., Abasi M., Hanifehpour Y., Joo S., 2014, Carbon Nanotubes: Properties, Synthesis, Purification, and Medical Applications, *Nanoscale Research Letters* 9(1): 393.
- [10] Sengupta J., 2018, *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*: 172-194
- [11] Song I., Cho Y., Choi G., Park J., Kim D.J., 2004, The Growth Mode Change in Carbon Nanotube Synthesis in Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition, *Diamond and Related Materials*, 13(4-8): 1210-1213.
- [12] Bell M.S., Teo K.B., Lacerda R.G., Milne W., Hash D.B., Meyyappan M., 2006, Carbon Nanotubes by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition, *Pure Applied chemistry*, 78(6): 1117-1125.
- [13] Jung S.H., Kim M.R., Jeong S.H., Kim S.U., Lee O.J., Lee K.H., Suh J.H., Park C.K., 2003, High-Yield Synthesis of Multi-Walled Carbon Nanotubes by Arc Discharge in Liquid Nitrogen, *Applied Physics A*, 76(2): 285-286.
- [14] Li Y., Mann D., Rolandi M., Kim W., Ural A., Hung S., Javey A., Cao J., Wang D. and Yenilmez E., 2004, Preferential Growth of Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes by A Plasma Enhanced CVD Method, *Nano Letters*, 4(2): 317-321.
- [15] Park D., Kim Y.H., Lee J.K.J.C., 2003, Synthesis of Carbon Nanotubes on Metallic Substrates by A Sequential Combination of PECVD and Thermal CVD, *Carbon*, 41(5): 1025-1029.
- [16] Gohier A., Minea T., Point S., Mevellec J.Y., Jimenez J., Djouadi M., Granier A., 2009, Early Stages Of The Carbon Nanotube Growth by Low Pressure CVD and PE-CVD, *Diamond and Related Materials*, 18(1): 61-5.
- [17] Kumar M., Ando Y., 2010, Chemical Vapor Deposition Of Carbon Nanotubes: A Review On Growth Mechanism and Mass Production, *Journal Nanocience Nanotechnology*, 10(6): 3739-3758.

- [18] De Greef N., Zhang L., Magrez A., Forró L., Locquet J.P., Verpoest I., Seo J.W., 2015, Direct Growth Of Carbon Nanotubes On Carbon Fibers: Effect Of The CVD Parameters On The Degradation Of Mechanical Properties Of Carbon Fibers, *Diamond and Related Materials*, 51: 39-48.
- [19] Hu Z.-h., Dong S.-m., Hu J.-b., Zhen W., Bo L., Yang J.-S., Li Q.-g., Bin W., Le G. and Zhang X.-y, 2012, Synthesis Of Carbon Nanotubes On Carbon Fibers By Modified Chemical Vapor Deposition, *New Carbon Materials*, 27(5): 352-361.
- [20] Kumar R., Singh R.K., Singh D.P., 2016, Natural and Waste Hydrocarbon Precursors for The Synthesis Of Carbon Based Nanomaterials: Graphene and CNTs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58: 1976-1006.
- [21] Venkataraman A., Amadi E.V., Chen Y., Papadopoulos C., 2019, Carbon nanotube Assembly and Integration for Applications, *Nanoscale Research Letters*, 14(1): 1-47.
- [22] Prasek J., Drbohlovova J., Chomoucka J., Hubalek J., Jasek O., Adam V., Kizek R., 2011, Methods for Carbon Nanotubes Synthesis, *Journal of Materials Chemistry*, 21(40): 15872-15884.
- [23] Suriani A., Azira A., Nik S., Nor R.M., Rusop M., 2009, Synthesis of Vertically Aligned Carbon Nanotubes Using Natural Palm Oil as Carbon Precursor, *Materials Letters*, 63(30): 2704-2706.
- [24] Azmina M., Suriani A., Falina A., Salina M., Rusop M., 2012, Temperature Effects On The Production Of Carbon Nanotubes from Palm Oil By Thermal Chemical Vapor Deposition Method, *Advanced Materials Research*, 364: 359-362.
- [25] Shi K., Yan J., Lester E., Wu T., 2014, Catalyst-free Synthesis Of Multiwalled Carbon Nanotubes Via Microwave-Induced Processing Of Biomass, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(39): 15012-15019.
- [26] Araga R., Sharma C.S., 2017, One Step Direct Synthesis Of Multiwalled Carbon Nanotubes from Coconut Shell Derived Charcoal, *Materials Letters*, 188: 205-207.
- [27] Adewumi G.A., Inambao F., Eloka-Eboka A., Revaprasadu N., 2018, Synthesis of Carbon Nanotubes and Nanospheres From Coconut Fibre and The Role Of Synthesis Temperature On Their Growth, *Journal of Electronic Materials*, 47(7): 3788-3794.
- [28] Zengin H., Zhou W., Jin J., Czerw R., Smith Jr D., Echegoyen L., Carroll D.L., Foulger S.H., Ballato J., 2002, Carbon nanotube doped polyaniline, *Advanced Materials*, 14(20): 1480-1483.
- [29] Yellappa M., Sravan J.S., Sarkar O., Reddy Y.R. and Mohan S.V., 2019, Modified Conductive Polyaniline-Carbon Nanotube Composite Electrodes For Bioelectricity Generation and Waste Remediation, *Bioresource Technology*, 284: 148-154.
- [30] Yan X.-b., Han Z.-j., Yang Y., Tay B.-k., 2007, Fabrication of Carbon Nanotube– Polyaniline Composites Via Electrostatic Adsorption In Aqueous Colloids, *The Journal of Physical Chemistry C*, 111(11): 4125-4131.
- [31] Kumar A., Kumar V., Awasthi K., 2018, Polyaniline–Carbon Nanotube Composites: Preparation Methods, Properties, and Applications, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 57(2): 70-97.
- [32] Cochet M., Maser W.K., Benito A.M., Callejas M.A., Martínez M.T., Benoit J.-M., Schreiber J., Chauvet O., 2001, Synthesis of a New Polyaniline/Nanotube Composite: “In-Situ” Polymerisation and Charge Transfer Through Site-Selective Interaction, *Chemical Communications*, (16): 1450-1451.
- [33] Sainz R., Benito A.e., Martinez M., Galindo J., Sotres J., Baro A., Corraze B., Chauvet O., Dalton A., Baughman R. Maser W.K., 2005, A Soluble and Highly Functional Polyaniline–Carbon Nanotube Composite, *Nanotechnology*, 16(5): 150-154.

- [34] Yazdi M.K., Saeidi H., Zarrintaj P., Saeb M.R., Mozafari M., 2019, Chapter 9 - PANI-CNT Nanocomposites, *Fundamentals and Emerging Applications of Polyaniline*: Elsevier, 143-63
- [35] Philip B., Xie J., Abraham J.K., Varadan V.K., 2005, Polyaniline/Carbon Nanotube Composites: Starting With Phenylamino Functionalized Carbon Nanotubes, *Polymer Bulletin*, 53(2): 127-138.
- [36] Meng C., Liu C., Fan S., 2010, A Promising Approach to Enhanced Thermoelectric Properties Using Carbon Nanotube Networks, *Advanced Materials*, 22(4): 535-539.