

FABRIKASI AWAL PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS CARBON NANOTUBES DENGAN METODE VHF-PECVD

(PRELIMINARY STUDY ON THIN FILM DEPOSITION BY VHF-PECVD METHOD)

Sri Cicih Kurniasih¹⁾ dan Rasih Yulia Sari²⁾

¹⁾Balai Besar Keramik, ²⁾Fisika ITB

¹⁾Jl. Jendral A. Yani 392-Bandung 40272

sricich @ yahoo.com

ABSTRAK

Saat ini *carbon nanotubes* merupakan salah satu topik nanoteknologi yang menarik di dunia karena memiliki sifat elektronik dan mekanik yang sangat unik dan menarik banyak perhatian untuk diaplikasikan. Fabrikasi awal penumbuhan lapisan tipis *carbon nanotube* telah dilakukan dengan metode *Very High Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition* (VHF-PECVD) pada frekwensi 70 MHz. Sumber karbon yang digunakan adalah gas metan (CH_4) sedangkan sumber hidrogen adalah silan (SiH_4) Perbandingan antara laju aliran metan dan silan 10 : 1 dan tekanan 400 mTorr. Laju deposisi optimum akan diperoleh dengan bervariasi daya rf dari 20 watt – 50 watt yang berperan sebagai sumber pembangkit plasma. Penumbuhan dilakukan pada suhu 250 °C dengan waktu deposisi selama 80 menit. Identifikasi lapisan tipis dilakukan menggunakan SEM dan EDX. Butiran-butiran dengan diameter sekitar 0,1 μm - 0,5 μm . (100 nm – 500 nm), telah tumbuh diatas permukaan substrat meskipun belum terbentuk tube-tube yang mengindikasikan *carbon nanotube*. Komposisi lapisan tipis dengan karbon terbesar dan silikon yang seminimal mungkin terjadi pada daya rf 40 watt yaitu atom karbon 56,25 %, atom silikon 37,22 %

Kata kunci : *Carbon nanotube* , VHFPECVD, daya rf, SEM-EDX.

ABSTRACT

Carbon nanotube is an interesting topic in nano technology, because it is unique and has extraordinary electronic and mechanical properties. The first effort to grow the carbon nanotubes has been done by using Very High Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (VHF-PECVD) technique at 70 Mhz of radio frequency. Methane (CH_4) has been used as carbon source and silane (SiH_4) diluted in hydrogen gas, as gas source. The ratio between CH_4 and SiH_4 was 10:1 and pressure 400 mTorr. The optimum deposition rates of carbon nanotubes were obtained by optimizing the RF power from 20 Watt to 50 Watt as generating of plasma source. The growing temperature is 250 °C by deposition time 80 minutes. The thin film identified using SEM and EDX, showed that the films is obtained by granules at around 0.1 – 0.5 μm in size, although it is not formed the tubes indicated the carbon nanotubes. The optimum of Carbon is 56.25% and the minimum of silicon is 37.72% might be found at Rf power of 40 Watt.

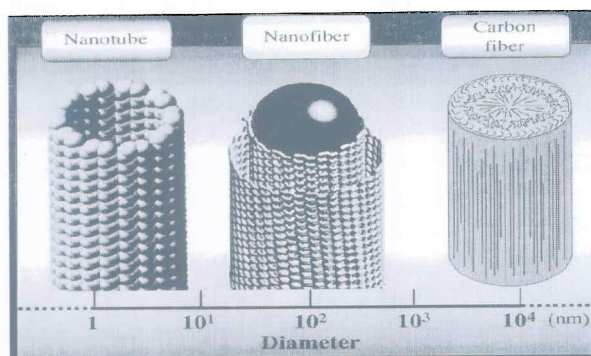
Key words : *Carbon nanotube*, – VHFPECVD , Rf power, SEM-EDX

PENDAHULUAN

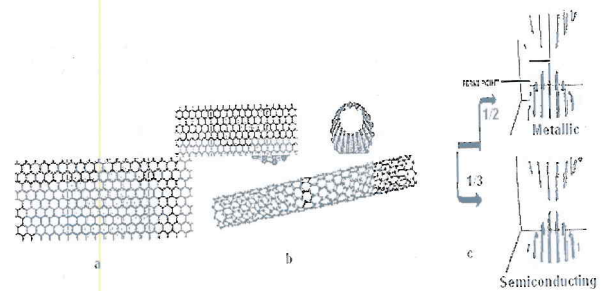
Teknologi nano telah diyakini akan menjadi terobosan untuk kemajuan berbagai bidang, yaitu material, elektronik, teknologi informasi, energi, lingkungan, bioteknologi kedokteran dan lain-lain. Potensi besar inilah yang membuat teknologi nano dikenal sebagai kunci teknologi di abad 21. Pada Tahun 2005, seluruh dunia mengalokasikan US\$ 9,5 miliar untuk R&D nanoteknologi. Amerika Serikat merupakan negara terbesar dalam investasi bidang nanoteknologi dengan *share* 27%, diikuti oleh Jepang (24%). Eropa Barat juga memiliki *share* hampir 25% dengan Jerman sebagai negara yang dominan. Negara lainnya China, Rusia, Korsel, Kanada, dan Australia juga merupakan pemain utama. Pada tahun 2008 diperkirakan kebutuhan total dunia untuk material skala nano, peralatan dan instrumentasi akan mencapai US\$ 28 miliar. Pasar nanoteknologi US diperkirakan mencapai US\$ 3,3 miliar pada tahun 2008 dan terus menaik hingga US\$ 19,8 miliar pada 2013.^[7,8]

Saat ini carbon nanotubes (CNT) merupakan salah satu topik nanoteknologi yang menarik dan menjadi primadona di dunia penelitian karena menjanjikan masa depan yang lebih cerah sekaligus keyakinan akan unggulnya nanoteknologi dimasa depan. CNT merupakan struktur nano yang memiliki sifat mekanik dan elektronik yang unik dan sangat berarti, yang tidak ditemukan dalam material-material karbon lainnya.

Gambar 1 menunjukkan perbandingan diameter dari beberapa tipe carbon yang mempunyai *range* yang cukup luas, yaitu *carbon fiber* 10.000 nm, *nanofiber* 100 nm dan *nanotube* 1 nm. Karbon dengan diameter >1000 nm memiliki sifat-sifat klasik



Gambar 1. Perbandingan diameter dari beberapa tipe carbon



Gambar 2. Tingkat energi *carbon nan otube*

dari grafir sedangkan *carbon nanotube* dengan diameter <10 nm memiliki fenomena kuantum. *Carbon nanotube* cukup potensial baik sebagai ilmu baru ataupun sebagai aplikasi praktis.

Carbon nanotube merupakan lembaran grafit (Gambar 2a) yang digulung membentuk tabung (Gambar 2b), geometri nanotubes membatasi elektron untuk menempatkan tingkat enegi carbon. Tergantung pada diameter tabung, salah satu dari irisan ini dapat menempati jalur yang sempit pada titik khusus yang menghubungkan elektron pada tingkat konduksi. Titik khusus ini, disebut titik fermi (Gambar 2c) yang membuat 2/3 *nanotube* bersifat logam. Sedangkan irisan lainnya, menunjukkan nanotube bersifat semikonduktor.^[12]

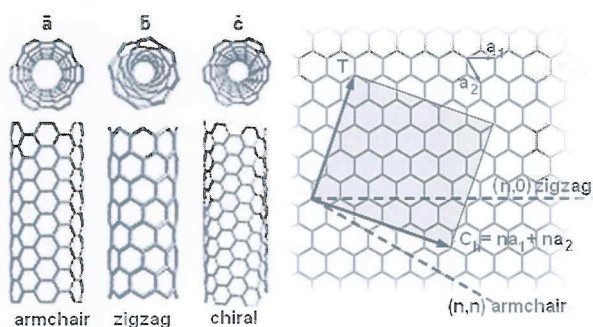
Carbon nanotubes (CNT) sangat berpotensi untuk devais nanoelektronik, *circuits*, dan diramalkan dapat digunakan sebagai kawat transmisi dengan resistansi yang sangat kecil. Saat peralatan elektronik silikon konvensional tidak dipakai lagi, mungkin sepuluh atau 25 tahun mendatang, bisa dipastikan peralatan elektronik teknologi nano akan menggantikannya.

CNT memiliki *tensile strength* 45 bilion Pascal, dapat ditekuk dengan sudut yang cukup besar, Kerapatan 1,33 – 1,40 gram /cm², diameter 0,6 sampai 1,8 nanometer. Paduan CNT ini cocok untuk diaplikasikan pada material komposit.^[2,9,4]

Tipe *Carbon Nanotube*

Carbon Nanotube memiliki berbagai macam tipe diantaranya adalah *Single Walled Nanotubes* (SWNT), yang merupakan lembaran grafit digulung dengan ukuran yang sangat panjang. Perbandingan antara panjang terhadap diameternya sekitar 1000, sehingga nanotubes tersebut dianggap memiliki struktur satu dimensi.

Gambar 3 menunjukkan SWNT dengan chiralitas yang berbeda-beda. Perbedaan



Gambar 3. SWNT dengan chiralitas yang berbeda-beda a) struktur armchair b) struktur zigzag dan c) struktur chiral

tipe tersebut dapat dijelaskan dalam bentuk sel satuan yang disebut sebagai vektor chiral C_h dari nanotube, yang didefinisikan sbb:

$$C_h = n \hat{a}_1 + m \hat{a}_2$$

dengan $\hat{a}_1$ dan $\hat{a}_2$ vektor sel satuan dalam kisi heksagonal dua dimensi, m dan n adalah bilangan bulat. Parameter penting lain adalah sudut *chiral* yaitu sudut antara C_h dan $\hat{a}_1$.

Armchair nanotube terbentuk bila $m=n$ dan sudut *chiral* 30° , zigzag nanotube terbentuk bila $n=0$ atau $m=0$ dan sudut *chiral* 0° . Sedangkan lainnya mempunyai sudut *chiral* antara 0° dan 30° . SWNT yang memiliki chiral vektor yang berbeda akan memiliki perilaku optik, kekuatan mekanik dan konduktivitas listrik yang berbeda pula. [1,4,5,9]

Teknik Deposisi CNT

Teknik deposisi atau penumbuhan material nanotubes yang telah lama digunakan antara lain *arc discharge* dan *laser ablation*. Sumio Iijima pada tahun 1991 dan dua orang peneliti dari laboratorium Riset NEC's pada tahun 1992 melakukan sintesa *carbon nanotube* menggunakan elektroda grafit dengan metoda *arc discharge*. Pada metoda ini elektroda grafit disublimasi pada suhu diatas 3000°C . Hasil untuk metoda ini adalah diatas 30 persen berat dan dengan panjangnya 50 mikron. [4,5]

Di dalam proses ablasi laser yang dilakukan oleh Collins *et al* tahun 2000 pulsa laser menguapkan target grafit didalam reaktor pada suhu tinggi dicampur dengan gas mulia di dalam *chamber*. Metoda ini berhasil sekitar 70% dan menghasilkan *carbon single-walled nanotubes*, namun metoda ini lebih mahal dibanding *arc discharge* [2]

Pada prinsipnya, kedua metode ini dapat menghasilkan material nanotubes

dengan cara menguapkan atom karbon yang berasal dari karbon padat pada suhu $\geq 3000^\circ\text{C}$. [8,9] Kedua metode ini tidak efisien dan hanya dapat menghasilkan *single walled nanotubes* yang terbatas jumlahnya. Selain itu, nanotube yang disintesis dengan metode evaporasi memiliki bentuk yang sulit untuk dimurnikan, dimanipulasi dan dibentuk sesuai dengan struktur nanotube yang diinginkan.

Studi pengembangan dalam penumbuhan CNT telah banyak dilakukan dengan berbagai metode untuk mendapatkan CNT yang berkualitas. Metode - metode tersebut antara lain *Chemical Vapour Deposition (CVD)*, *Radio Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (RF - PECVD)*, *Radio Frequency (RF 13.56 MHz) Magnetron Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (RFM - PECVD)*. Parameter - parameter penting pada penumbuhan CNT dengan metode CVD adalah hidrokarbon, katalis dan suhu penumbuhan. Jenis katalis aktif yang digunakan berasal dari golongan logam transisi. Dengan metode ini, nanotube ditumbuhkan dari bahan dasar gas yang mengandung karbon seperti metan, CH_4 , C_2H_2 , pada suhu sekitar $850 - 1000^\circ\text{C}$. [6,11]

Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition adalah salah satu teknik penumbuhan CNT yang dapat menghasilkan CNT yang lurus secara vertikal terhadap substrat. Penumbuhan CNT dilakukan dengan menggunakan beberapa gas sumber hidrokarbon antara lain metan, etilen, dan asetilen. Gas-gas tersebut didilusikan dalam argon, hidrogen atau amonia dengan perbandingan tertentu. Fraksi hidrokarbon dalam reaktor dapat mencapai 20%. Kemudian tekanan dalam *chamber* diatur, tekanan deposisi yang terlalu rendah akan menyebabkan kecilnya laju deposisi. suhu substrat merupakan salah satu parameter penting, lapisan tipis CNT yang berkualitas biasanya ditumbuhkan pada suhu diatas 550°C . [5,10]

Metode PECVD sendiri telah banyak mengalami perkembangan. Saat ini telah dikembangkan *hot wire PECVD*, dan *very high frequency PECVD (VHF - PECVD)* dengan dan tanpa modulasi. Kelebihan dari metode VHF-PECVD dibandingkan metode lain diantaranya lapisan tipis yang dihasilkan lebih seragam. Dalam teknik PECVD, daya yang dibangkitkan dari frekuensi radio dapat menimbulkan medan listrik diantara anoda dan katoda yang dipasang paralel dalam sistem reaktor. (dapat dilihat pada metode penelitian Gambar 4).

Apabila gas dialirkan diantara kedua elektroda, maka akan terjadi transfer energi dari medan listrik eksternal, sehingga gas tersebut terionisasi oleh tumbukan elektron-elektron dan molekul-molekul gas dan akan terlihat berpijar atau biasa disebut plasma. Proses transfer energi berlangsung melalui tumbukan-tumbukan elastik ataupun inelastik. Tumbukan elastik elektron dengan molekul menyebabkan peningkatan energi kinetik molekul-molekul sehingga terjadi tumbukan-tumbukan inelastik yang menyebabkan adanya ionisasi dan disosiasi molekul-molekul dan pembentukan spesies-spesies plasma seperti radikal bebas, metastabil tereksitasi dan ion-ion. Kompleksitas reaksi yang terjadi dalam plasma, dimana reaksi dapat terjadi secara homogen dan heterogen, menyebabkan mekanisme reaksi yang terlibat dalam pembentukan lapisan tipis belum sepenuhnya diketahui. Reaksi homogen terjadi antara spesies-spesies dalam gas sebagai hasil tumbukan inelastik antara elektron-elektron dan spesies-spesies cepat atau tumbukan antar spesies cepat. Sedangkan reaksi heterogen terjadi antara spesies-spesies dalam plasma dengan permukaan pertumbuhan. Molekul-molekul gas yang terdisosiasi, tereksitasi dan terionisasi dalam plasma umumnya disebabkan oleh tumbukan elektron. Molekul-molekul tersebut selanjutnya berdifusi mencapai permukaan substrat dan bereaksi dengan atom-atom yang lain membentuk formasi sehingga terbentuklah lapisan-lapisan. [6,10]

Pada penelitian ini akan dilakukan fabrikasi awal lapisan tipis CNT dengan metode *VHF PECVD* tanpa modulasi dengan frekuensi 70 MHz. Metode ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan laju deposisi tanpa mempengaruhi sifat lapisan. Diketahui bahwa frekuensi eksitasi berperan dalam proses penguraian gas dalam plasma. Frekuensi yang sangat tinggi dapat meningkatkan fungsi distribusi energi elektron (*Electron Energy Distribution Function, EEDF*) dalam plasma sehingga disosiasi gas lebih cepat terjadi sehingga dihasilkan lapisan yang memiliki laju deposisi yang tinggi. [6,10]

Tujuan dari penelitian ini adalah menumbuhkan lapisan tipis CNT pada substrat Si dengan menggunakan gas metan sebagai sumber karbon, dan diharapkan akan terbentuk CNT yang lebih merata dibandingkan dengan metode yang lain. Permasalahan yang dihadapi pada pene-

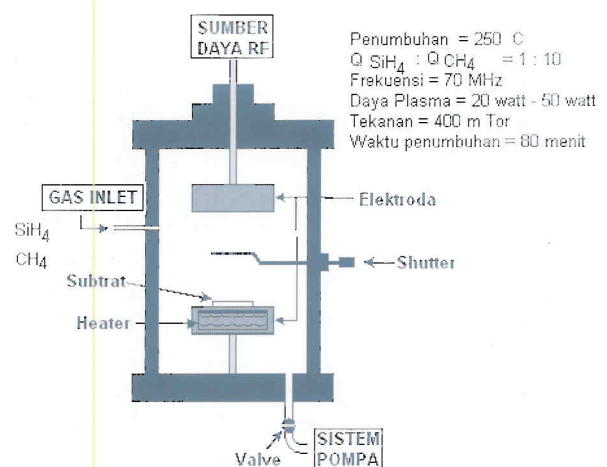
litian ini adalah rendahnya suhu deposisi yang masih merupakan suatu kendala. Padahal suhu deposisi merupakan suatu parameter yang sangat penting pada penumbuhan CNT. Selain itu banyak parameter lain yang perlu dioptimasi.

BAHAN DAN METODA

Diagram skematik penumbuhan lapisan tipis dalam reaktor VHF-PECVD ditunjukkan dalam Gambar 4.

Gas metan (CH_4) dan gas silan (SiH_4) konsentrasi 10% dalam hidrogen (H_2) digunakan sebagai sumber karbon. Lapisan tipis CNT ditumbuhkan diatas substrat silikon yang telah ditumbuhkan Fe sebagai katalis. Substrat dimasukkan dalam reaktor dilanjutkan dengan pemanasan substrat hingga mencapai suhu deposisi yang diinginkan. Selama proses pemanasan substrat, *chamber* divakumkan sampai tekanan pradeposisi sekitar $1,6 \times 10^{-2} - 2,4 \times 10^{-2}$ torr. Setelah suhu deposisi tercapai, gas-gas sumber dapat dialirkan ke dalam *chamber*.

Gas metan (CH_4) dan gas silan (SiH_4) konsentrasi 10% dalam hidrogen (H_2) digunakan sebagai sumber karbon. Lapisan tipis CNT ditumbuhkan diatas substrat silikon yang telah ditumbuhkan Fe sebagai katalis. Substrat dimasukkan dalam reaktor dilanjutkan dengan pemanasan substrat hingga mencapai suhu deposisi yang diinginkan. Selama proses pemanasan substrat, *chamber* divakumkan sampai tekanan pradeposisi sekitar $1,6 \times 10^{-2} - 2,4 \times 10^{-2}$ torr. Setelah suhu deposisi tercapai, gas-gas sumber dapat dialirkan ke dalam *chamber*.



Gambar 4 . Diagram skematik proses penumbuhan CNT dalam reaktor VHF-PECVD

Tabel 1. Parameter deposisi lapisan tipis CNT

No	Q-CH (sccm)	Q-SiH ₄ (sccm)	Parameter Deposisi		
			Suhu (°C)	Tekanan (mTorr)	Daya (Watt)
1	100	10	250	400	20
2					30
3					40
4					50

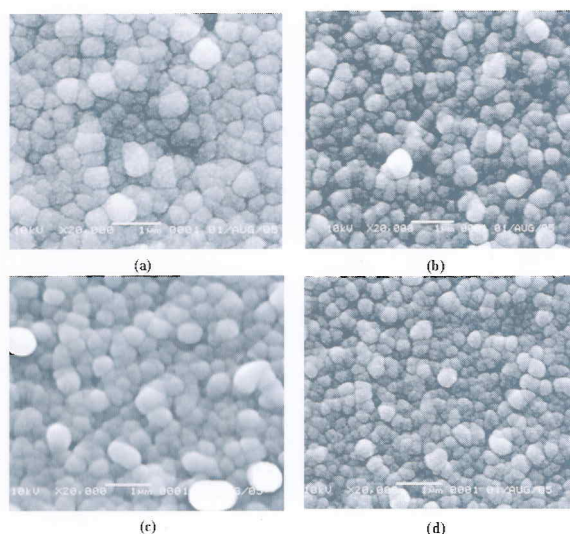
Kemudian tekanan *chamber* dan daya rf dinaikkan sampai plasmanya muncul. Pada saat plasma berhasil dibangkitkan, tekanan dan daya rf serta frekuensi diatur kembali pada keadaan yang diinginkan. Selanjutnya proses deposisi siap dilakukan selama 80 menit. Perhitungan waktu deposisi berjalan setelah penutup substrat (*shutter*) dibuka. Parameter deposisi dapat dilihat pada Tabel 1.

Kualitas lapisan tipis yang telah dideposisikan dapat diketahui melalui karakterisasi struktur permukaan dan cross section menggunakan SEM dan komposisi bahan lapisan dengan EDX

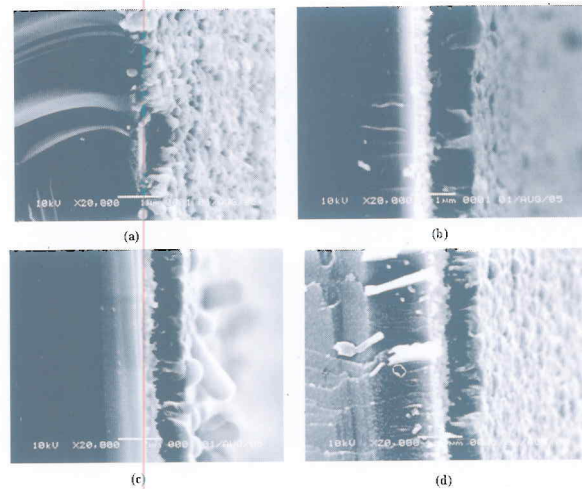
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil deposisi yang dilakukan pada suhu substrat 250°C selama 80 menit, dengan variasi daya rf ditunjukkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 7.

Foto SEM struktur permukaan hasil deposisi dengan VHF-PECVD telah terbentuk lapisan tipis yang seragam/merata. Terlihat bahwa butiran-butiran tidak lebih



Gambar 5. Foto SEM permukaan dengan daya (a) 20 Watt, (b) 30 Watt, (c) 40 Watt dan (d) 50 Watt



Gambar 6. Foto SEM penampang melintang dengan daya (a) 20 Watt, (b) 30 Watt, (c) 40 Watt dan (d) 50 Watt

dari 1 μ m dimana panjangnya lebih panjang dari diameternya. Butiran-butiran dengan diameter sekitar 0,1 μ m - 0,5 μ m. (100 nm - 500 nm), telah tumbuh pada lapisan tipis tersebut

Dari foto SEM penampang melintang pada Gambar 6, ketebalan lapisan yang terbentuk kurang dari satu mikron. Butiran yang terbentuk bervariasi, beberapa ada yang berukuran lebih besar dan ada yang berdiameter kurang dari 1 μ m. Perbedaan butiran yang muncul antara foto SEM struktur permukaan dengan penampang melintang menunjukkan terjadinya proses kristalisasi, meskipun belum tampak tube-tube yang mengindikasikan tumbuhnya karbon nanotube

Pada deposisi lapisan tipis dengan teknik PECVD, daya rf berperan dalam penguraian gas-gas sumber menjadi radikal-radikal bebas yang terionisasi sehingga plasma dapat dibangkitkan. Dari hasil analisa dengan EDX pada data difraktogram yang ditunjukkan pada Gambar 7 tampak bentuk kurva kuantitas relatif dari massa komponen tidak memberikan sensitivitas linier pada hubungan antara puncak intensitas terhadap tegangan pada alat EDX.

Elemen silika memberikan sensitivitas yang lebih tinggi daripada elemen carbon padahal perbandingan persen Si dan C hampir mendekati yaitu pada daya rf 20 Watt diperoleh C=52,08 % dan Si=43,55 %. Hal ini disebabkan oleh mobilitas elektron pada struktur Si dan C yang tidak sama, artinya Si lebih bersifat ikatan logam sedangkan C bersifat ikatan kovalen. Untuk pengotor lainnya Fe memberikan tingkat mobilitas yang tinggi namun kadarnya kecil.

Persentase karbon dalam lapisan film tipis semakin meningkat, seperti terangkum dalam Tabel 2.

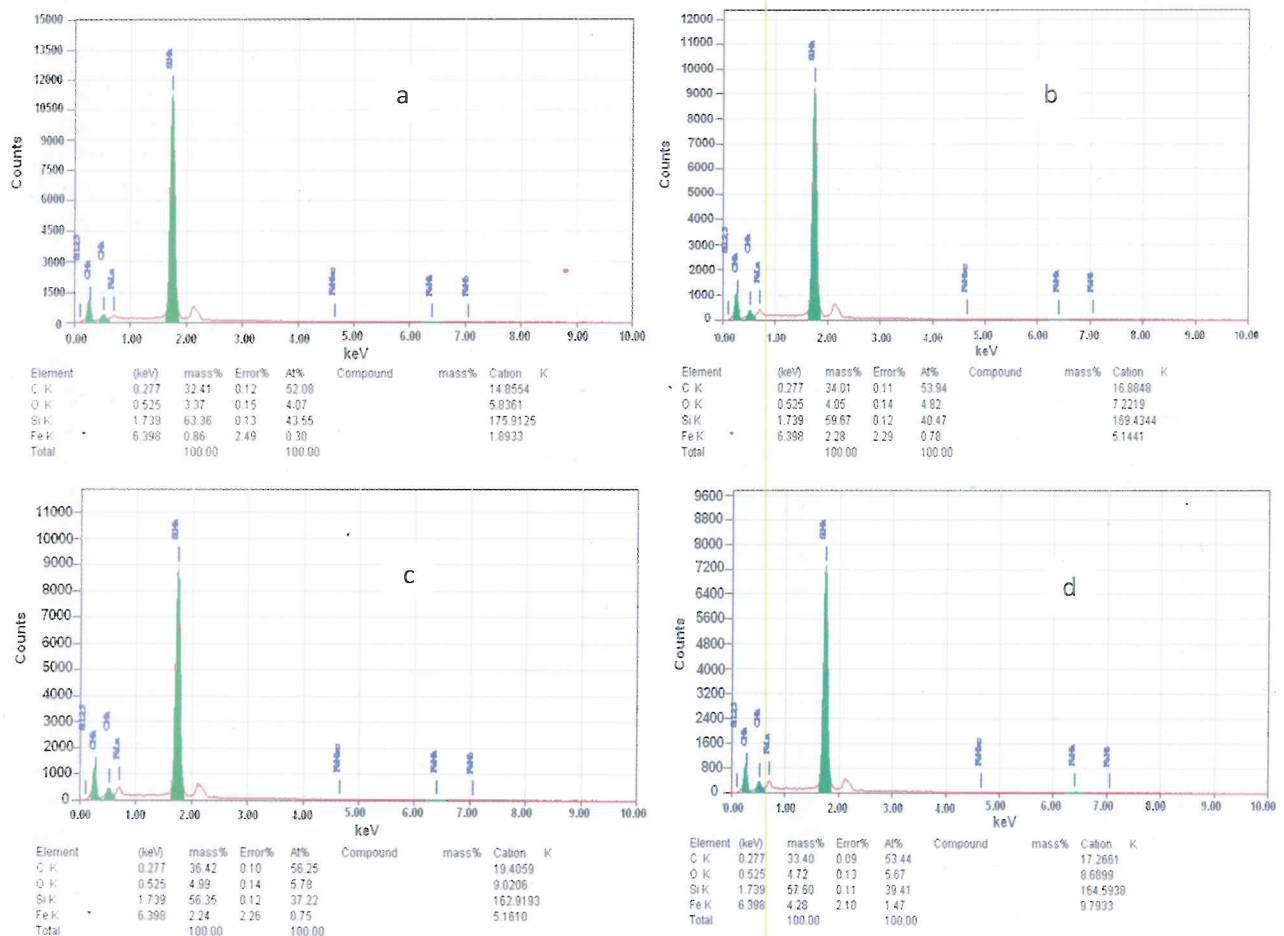
Semakin tinggi daya rf yang dipakai semakin besar persentase carbon dalam lapisan tipis. Artinya semakin tinggi daya yang digunakan semakin tinggi pula laju deposisi lapisan. Tapi, jika dayanya dinaikkan persentase karbon akan berkurang kembali, sedangkan persen Si naik. Hal ini mengindikasikan bahwa penguraian gas-gas sumber akan lebih efektif pada daya tertentu. Pada penelitian ini daya 40 watt menunjukkan hasil yang terbaik yaitu atom carbon 56,25 %, atom silikon 37,22 % dan 0,75 Fe. Tingginya persen silikon selain dari lapisan substrat kemungkinan sebagai pengotor pada saat gas silan didilusikan dan juga digunakan sebagai sumber gas hidrogen selama proses penumbuhan. Munculnya sedikit Fe adalah logam transisi yang digunakan sebagai katalis dalam proses penumbuhan. Sebagian besar Fe diupkan dalam mekanisme penumbuhan CNT. Pada kondisi tersebut, proses reaksi antara ion-ion dalam

Tabel 2. Data persen elemen dari hasil EDX)

No.	Q-SiH ₄ (sccm)	Q-CH ₄ (sccm)	Parameter deposisi			Persen unsur		
			T (°C)	P (mTorr)	Daya(watt)	% C	% Fe	% Si
1	10	100	250	400	20	52.08	0.30	43.55
2					30	53.94	0.78	40.47
3					40	56.25	0.75	37.22
4					50	53.44	1.47	39.41

plasma dengan spesies-spesies pada permukaan pertumbuhan lebih cepat membentuk lapisan.

Menurut Eftekhari nanotube tumbuh di sekitar logam katalis, gas yang berisi karbon terpisah di permukaan partikel katalis, dan karbon diangkut ketepi partikel dimana akan membentuk nanotubes. Partikel katalis dapat tinggal di ujung nanotube sepanjang proses pertumbuhan, atau tinggal di dasar nanotube, tergantung pada adhesi antara partikel dengan substrat. Mekanisme ini masih menjadi bahan diskusi.^[12] Masih banyak parameter yang harus dioptimasi agar dihasilkan CNT yang berkualitas. Beberapa parameter deposisi yang mempengaruhi kualitas lapisan tipis antara lain : suhu substrat masih harus ditingkatkan, tekanan deposisi, laju aliran



Gambar 7. Hasil EDX lapisan tipis dengan daya (a) 20 Watt, (b) 30 Watt, (c) 40 Watt dan (d) 50 Watt

gas dan jenis katalis masih perlu dicari dalam penelitian-penelitian lanjutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil deposisi dengan VHF-PECVD telah terbentuk lapisan tipis yang seragam/merata. Struktur lapisan tipis berbentuk butiran-butiran dengan diameter sekitar 0,1 μm - 0,5 μm . (100 nm – 500 nm), belum muncul *carbon nanotube* yang berukuran 10 nm
2. Komposisi lapisan tipis dengan karbon terbesar dan silikon yang seminimal mungkin terjadi pada saat daya rf sama dengan 40 watt yaitu atom carbon 56,25 %, atom silikon 37,22 %

Saran

Penelitian ini merupakan studi awal penumbuhan lapisan tipis CNT dengan metode VHF-PECVD. Masih banyak parameter yang harus dioptimasi agar dihasilkan CNT yang berkualitas. Beberapa parameter deposisi yang mempengaruhi kualitas lapisan tipis antara lain: suhu substrat masih harus ditingkatkan, tekanan deposisi, laju aliran gas dan jenis katalis masih perlu dicari dalam penelitian-penelitian lanjutan. Untuk itu perlu dilakukan kegiatan sinergi dengan lembaga-lembaga litbang lain secara intensif, mengingat keunggulan keunggulan yang dimilikinya untuk berbagai aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Abrahamson, John; Wiles, Peter G. & Rhoades, Brian L. (1999), "Structure of Carbon Fibers Found on Carbon Arc Anodes", *Carbon* **37** (11): 1873
- 2 Collins, Philip G.; Phaedon Avouris , 2000, "Nanotubes for Electronics". *Scientific American*: 67, 68, and 69
- 3 Eftekhari, A.; Jafarkhani, Parvaneh; Moztafzadeh, Fathollah (2006). "High-yield synthesis of carbon nanotubes using a water-soluble catalyst support in catalytic chemical vapor deposition". *Carbon* **44**: 1343. doi:10.1016/j.carbon.2005.12.006
- 4 Iijima, Sumio (1991) "Helical microtubules of graphitic carbon". *Nature* **354**: 56 - 5
- 5 Iijima, Sumio (1993). "Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter". *Nature* **363**: 603 - 605
- 6 Meyyappan M, Lance Delzeit at al, 2003, 'Carbon nanotubes growth by PECVD: a Review Plasma source Sci tech ,12.
- 7 Nurul, T.R, 2007 'Nanoteknologi: Perkembangan di Dunia dan Implementasinya di Indonesia' Laboratorium Material Lanjut dan Nanoteknologi Pusat Penelitian Fisika- LIPI
- 8 Ratno, N, 2006, 'Peran Teknologi nano di bidang IT, Artikel iptek bidang teknologi dan Material.
- 9 Saito R, G Dresselhaus & M.S Dresselhaus, 1988, 'Physical Properties of carbon nanotube, Imperial College Press. 8.
- 10 Takatsuka. H at al, 2004, 'Development of high efficiency large area silikon thin film modules using VHF-PECVD', www elsevier.com
- 11 Usman. I, 2001, 'Fabrikasi devais sel surya p-i-n berbasis uc-Si : H dengan teknik VHF-PECVD. Teisi Magister Departemen Fisika ITB
- 12 Wikipedia,html, 'Carbon nanotube', The free encyclopedia.