

CARBON NANOTUBE

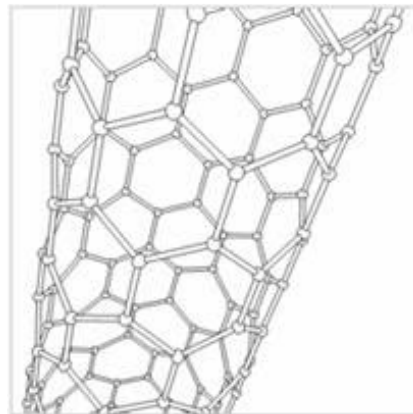
Tugas Kuliah: Amiril Mu'minin

Dosen Pengampu: Eka Maulana, ST, MT, MEng.

Carbon nanotube adalah salah satu struktur *carbon* yang berbentuk seperti silinder dengan diameter dalam orde nanometer. Salah satu keunikan dalam struktur ini adalah kelebihanannya dalam hal kekuatan, sifat keelektrikannya, dan juga sifat dalam penghantaran panas yang baik. Struktur ini memiliki bermacam bentuk turunan yang masing-masing memiliki sifatnya tersendiri. Keistimewaan *carbon nanotube* membuatnya menjadi harapan baru dalam perkembangan teknologi nano.

carbon nanotube merupakan turunan dari struktur *carbon*. *Carbon nanotube* dapat dideskripsikan sebagai lembaran grafit setebal 1 atom yang digulung menyerupai silinder dan memiliki diameter dengan orde nanometer. Lembaran ini memiliki struktur seperti sarang lebah (*honeycomb*) yang terdiri dari ikatan-ikatan atom *carbon*.

Struktur *carbon nanotube* yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur *carbon* lainnya. Kelebihan ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat, struktur kendaraan yang aman, dan lainnya. Hal ini dikarenakan *carbon nanotube* memiliki ikatan sp^3 menyerupai struktur di grafit. Ikatan ini lebih kuat dibandingkan dengan struktur ikatan sp^2 yang dimiliki oleh intan. Dengan demikian secara alami *carbon nanotube* akan membentuk ikatan yang sangat kuat.

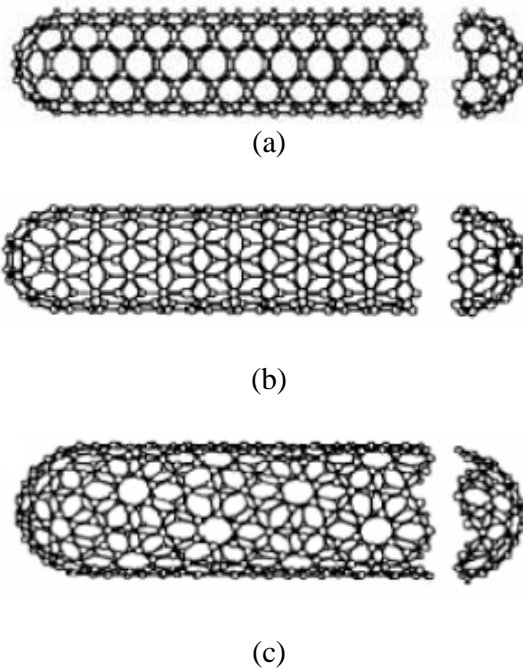


Gambar 1. Struktur *Carbon Nanotube* Dalam 3 Dimensi

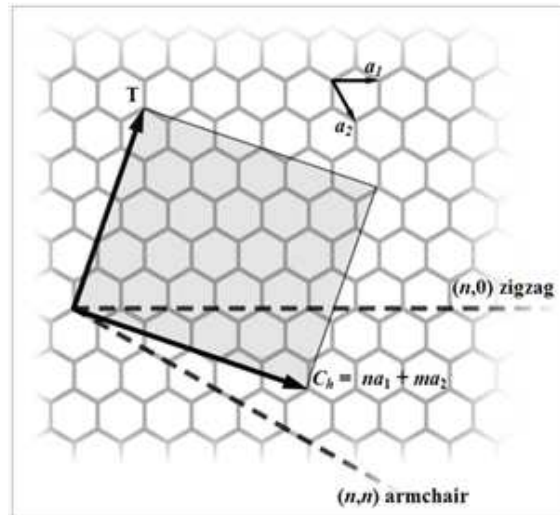
STRUKTUR CARBON NANOTUBE

a. *Single Walled Nanotubes* (SWNT)

Struktur ini memiliki diameter kurang lebih 1 nanometer dan memiliki panjang hingga ribuan kali dari diameternya. Struktur SWNT dapat dideskripsikan menyerupai sebuah lembaran panjang struktur grafit (disebut *graphene*) yang tergulung. Umumnya SWNT terdiri dari dua bagian dengan properti fisik dan kimia yang berbeda. Bagian pertama adalah bagian sisi dan bagian kedua adalah bagian kepala. SWNT memiliki beberapa bentuk struktur berbeda yang dapat dilihat bilamana struktur *tube* dibuka.



Gambar 2. Beberapa Bentuk Struktur SWNT (a) Struktur *Armchair* (b) Struktur *Zigzag* (c) Struktur *Chiral*



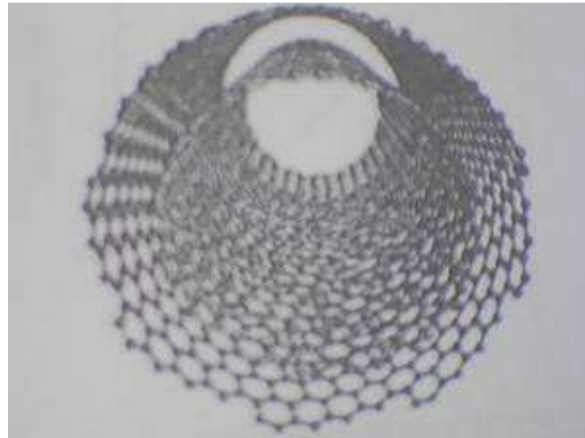
Gambar 3. Struktur SWNT Secara Vektor (1)

Pada gambar 3 terlihat cara lembaran grafit (*graphene*) dilipat dapat dijabarkan oleh *chiral vector* C_h yang direpresentasikan oleh pasangan (n,m) . n dan m menunjukkan jumlah unit vektor di antara 2 vektor di dalam *crystal lattice* dari *graphene*. Jika $m=0$ maka struktur *nanotube* dinamakan struktur *zigzag*. Jika $n=m$ maka struktur *nanotube* dinamakan struktur *armchair*. Selebihnya dinamakan struktur *chiral*. Perbedaan dalam *chiral vector* akan menyebabkan perbedaan sifat struktur, misalnya sifat struktur terhadap cahaya, kekuatan mekanik, dan konduktivitas elektrik.

SWNT memiliki sifat keelektrikan yang tidak dimiliki oleh struktur MWNT. Hal ini memungkinkan pengembangan struktur SWNT menjadi *nanowire* karena SWNT dapat menjadi konduktor yang baik. Selain itu SWNT telah dikembangkan sebagai pengganti dari *field effect transistors* (FET) dalam skala nano. Hal ini karena sifat SWNT yang dapat bersifat sebagai n-FET juga p-FET ketika bereaksi terhadap oksigen. Karena dapat memiliki sifat sebagai n-FET dan p-FET maka SWNT dapat difungsikan sebagai *logic gate*.

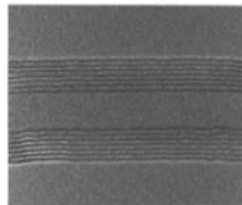
b. *Multi Walled Nanotubes* (MWNT)

MWNT dibentuk dari beberapa lapisan struktur grafit yang digulung membentuk silinder. Atau dapat juga dikatakan MWNT tersusun oleh beberapa SWNT dengan berbeda diameter. MWNT jelas memiliki sifat yang berbeda dengan SWNT.

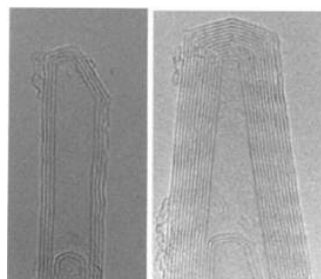


Gambar 4. Struktur MWNT

Pada MWNT yang hanya memiliki 2 lapis dinding (*Double-Walled Carbon Nanotubes-DWNT*) memiliki sifat yang penting karena memiliki sifat yang menyerupai SWNT dengan *chemical resistance* yang lebih baik. Hal ini dikarenakan pada SWNT hanya memiliki 1 lapis dinding sehingga bilamana terdapat ikatan C=C yang rusak maka akan menghasilkan lubang di SWNT dan hal ini akan mengubah sifat mekanik dan elektrik dari ikatan SWNT tersebut. Sedangkan pada DWNT masih terdapat 1 lapisan lagi di dalam yang akan mempertahankan sifatnya.



(a)



(b)

Gambar 5. Struktur Yang Berbeda Dari MWNT (a) MWNT yang terpisah 0.34 nm (b) Bentuk *cone shaped end caps* Yang Simetris Dan Tidak Simetris

c. *Torus*

Bentuk struktur ini masih berupa teoritis. Bentuk *torus* adalah bentuk struktur melingkar seperti donut. Struktur ini memiliki beberapa sifat yang menonjol seperti momen magnetik yang lebih besar, stabil dalam suhu, dan sebagainya. Sifat ini akan bervariasi tergantung dari diameter *torus* dan diameter dari *nanotube*.

d. Peapod

Struktur ini cukup unik karena terdapat molekul C_{60} yang terbungkus di tengah *nanotube*.

SIFAT-SIFAT CARBON NANOTUBES

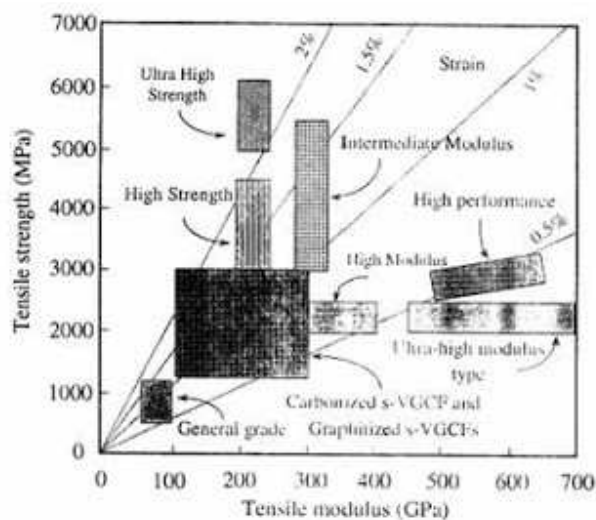
a. Konduktivitas Listrik dan Panas

Sifat keelektrikan yang dimiliki oleh *carbon nanotube* ditentukan oleh struktur yang dimilikinya. Struktur ini menyangkut diameter dan bagaimana *tube* "digulung" menjadi *nanotube*. Bilamana mengacu pada gambar 3, maka untuk *nanotube* (n,m), bila n-m adalah kelipatan dari 3 maka *nanotube* tersebut bersifat konduktor, dan selain itu bersifat semikonduktor. Sehingga untuk struktur *armchair* akan selalu bersifat logam (n=m). *Nanotube* memiliki densitas arus listrik 1000 kali lebih besar daripada logam seperti perak dan tembaga.

Ketika *nanotube* bersifat sebagai konduktor, *nanotube* memiliki konduktivitas yang sangat tinggi. Diperkirakan pada saat *nanotube* bersifat sebagai konduktor maka ia mempunyai konduktivitas listrik sebesar 1 milyar Ampere per 1 cm^2 . Hal ini tidak mungkin terjadi pada bahan tembaga karena akan terjadi panas yang dapat melelehkan tembaga. Pada *nanotube* tidak akan terjadi panas yang tinggi karena hambatan yang rendah. *Nanotube* juga memiliki konduktivitas panas yang baik. Hal ini yang kemudian *nanotube* diberi sebutan *ballistic conduction*. *Nanotube* memiliki kemampuan untuk mentransmisikan 6000 W/m/K di suhu ruangan (pada tembaga hanya 385 W/m/K). Selain itu *nanotube* tetap stabil hingga suhu 2800 °C di ruang hampa udara dan sekitar 750 °C di udara bebas.

b. Kekuatan Mekanik

Nanotube memiliki modulus elastik dan sifat peregangan yang sangat baik. Sifat ini karena ikatan sp^2 yang dimiliki oleh *carbon nanotube* ini. Tipe MWNT dapat menangani hingga 63 GPa regangan yang diberikan padanya (pada baja *carbon* terbaik saat ini hanya mampu menahan peregangan hingga 1.2 GPa). Sedangkan modulus elastik yang dimiliki oleh *nanotube* dapat mencapai 1 TPa. Saat ini telah diketahui pula *nanotube* memiliki kekuatan hingga 48462 kN.m/kg (dibandingkan baja *carbon* terbaik hanya 154 kN.m/kg).



Gambar 6. Perbandingan Sifat Mekanik Dari *Carbon* dan Grafit Fiber^[12]

c. Sifat Vibrasi

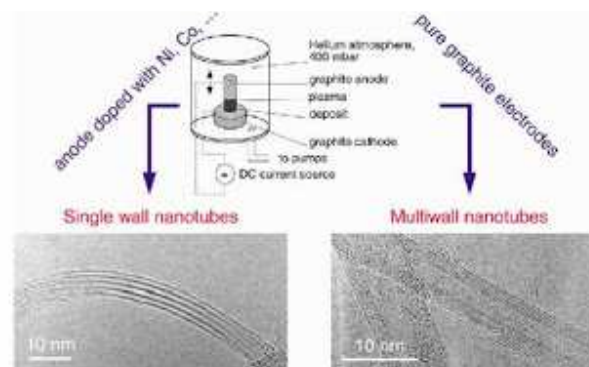
Atom memiliki pola getaran yang kontinue dan periodik^[1]. Pada MWNT, dimana beberapa *nanotube* saling terpola satu di dalam yang lain, memperlihatkan bahwa pada lapisan yang di dalam akan bergetar sedemikian hingga mendekati pola gerakan yang berputar sempurna tanpa adanya gesekan dengan lapisan di atasnya. Pendekatan ini kemudian dapat dikembangkan menjadi motor dalam skala nanometer. Pergetaran ini sangat ditentukan oleh diameter dari *nanotube*.

4. PEMBENTUKAN NANOTUBE

Terdapat beberapa cara dalam pembentukan *nanotube*, namun secara umum yang banyak digunakan adalah metode pelepasan bunga api (*arc discharge*), CVD (*Chemical Vapour Deposition*), dan *laser ablation*.

4.1 Metode *Arc Discharge*

Metode ini menggunakan 2 buah batang *carbon* yang diletakkan saling berhadapan pada ujungnya dan dipisahkan sejarak kurang lebih 1 mm. Ruang yang terpisah ini kemudian dialiri gas seperti Helium dan Argon pada tekanan rendah (50-700 mbar). Kemudian arus listrik sebesar 50-100 A dan tegangan 20 volt diberikan sehingga menciptakan perubahan suhu yang tinggi di antara ujung elektroda sehingga akan terjadi penguapan di ujung batang tersebut. Kemudian proses ini akan dilanjutkan dengan pembentukan lapisan oleh uap dari penguapan batang tersebut pada ujung batang lainnya. Peristiwa ini dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Proses Pembentukan *Nanotube* Dengan *Arc Discharge*^[7]

Pada proses ini dapat terbentuk 2 buah struktur yaitu SWNT dan MWNT. Bilamana diinginkan hasilnya SWNT maka pada anoda didoping dengan katalis logam seperti Fe, Co, dan Ni. Kuantitas dan kualitas dari *nanotube* tergantung dari beberapa parameter seperti konsentrasi logam yang digunakan, tekanan gas, jenis gas, dan berbagai parameter lainnya.

Sedangkan pada MWNT tidak menggunakan doping seperti halnya proses pembentukan SWNT. Namun dalam proses pembentukan MWNT akan terbentuk berbagai bahan lain yang tidak diinginkan. Bila diusahakan benar-benar murni maka akan MWNT yang terbentuk akan kehilangan strukturnya dan dinding struktur yang tidak teratur.

4.2 Metode CVD (*Chemical Vapour Deposition*)

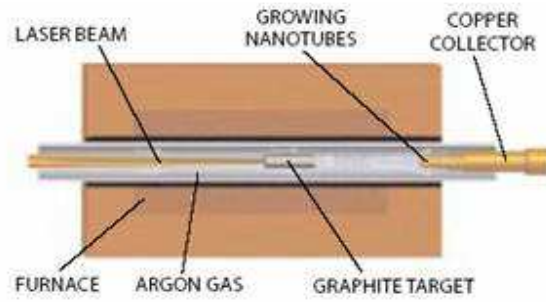
Metode ini telah ada sejak tahun 1959 namun baru dipakai sejak tahun 1993 untuk proses pembentukan nanotube. Pada proses ini carbon disiapkan dengan lapisan partikel logam katalis, seperti nikel, kobalt, besi, atau kombinasinya dan dikondisikan pada suhu sekitar 700 oC. Sementara itu 2 jenis gas, yaitu gas untuk proses seperti ammonia, nitrogen, hydrogen dan sebagainya serta gas yang mengandung carbon seperti acetylene, ethylene, ethanol, methane, dan sebagainya, dialirkan ke dalam proses.



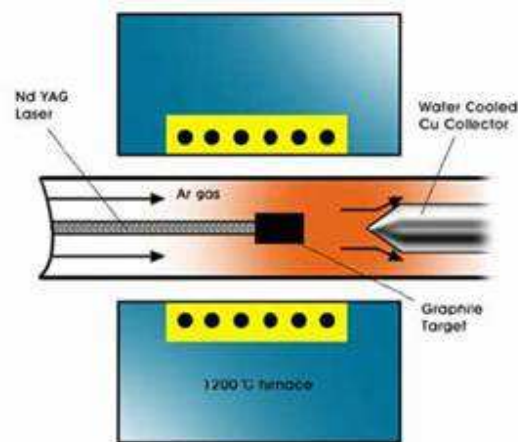
Gambar 8. Reaktor Pembentukan Metode CVD^[4]

4.3 Metode *Laser Ablation*

Metode ini menggunakan laser untuk menguapkan grafit pada suhu 1200 °C. Ruangan tempat berlangsungnya proses ini akan diisi dengan gas helium atau argon dan dijaga tetap pada tekanan 500 Torr. Pada keadaan ini maka akan terbentuk uap yang kemudian dengan cepat akan kembali dingin. Keadaan ini akan menyebabkan terbentuknya atom dan molekul *carbon* dan akan terbentuk kelompok yang besar. Kelompok-kelompok ini kemudian akan tumbuh menjadisingle-wall carbon nanotube. Kondisi yang menggambarkan peristiwa ini digambarkan pada gambar 9.



(a)

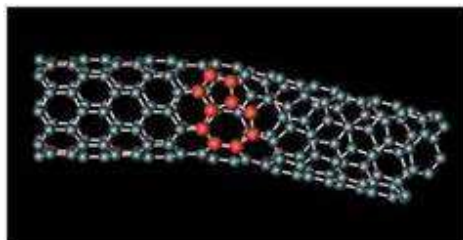


(b)

Gambar 9. Metode *Laser Ablation*^{[7][8]}

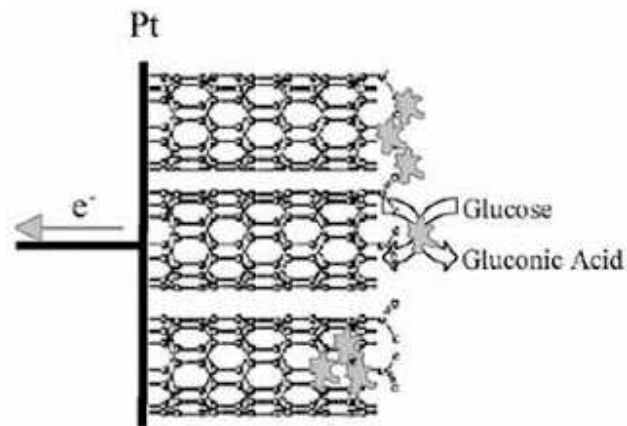
5. APLIKASI CARBON NANOTUBES

Berbagai komponen elektronika telah dikembangkan dengan menggunakan segala kelebihan dari *carbon nanotube*. Dioda sebagai salah satu komponen dasar elektronika telah diterapkan dengan menggunakan *nanotube*. Contoh dapat dilihat pada gambar 10. Transistor sebagai rangkaian switching juga telah dapat digantikan oleh *nanotube*.



Gambar 10. Penerapan *Nanotube* Sebagai Dioda

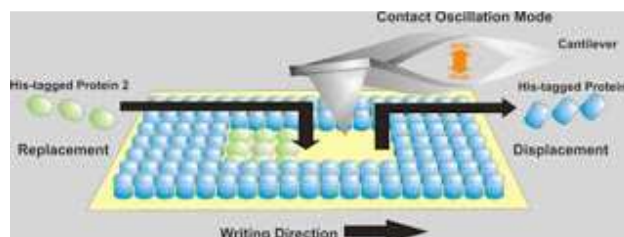
Selain itu *ultracapacitor*^[11], *spin transistor*^[10], FET inverter^[3], dan berbagai komponen gerbang logika^{[6][7]} telah dikembangkan oleh para periset. Sifat konduktivitas yang baik ditunjukkan oleh *carbon nanotube* menjadikannya dapat menggantikan sifat *wire* sehingga memungkinkan dikembangkan *nanocircuit* untuk *nanocomputer*^[6]. Penggunaan *carbon nanotube* sebagai sensor juga telah dikembangkan^[9].



Gambar 11. Penggunaan *Carbon Nanotube* Sebagai Sensor^[9]

Carbon nanotube juga telah diimplementasikan dalam sistem nanoelektromekanikal seperti elemen memory (NRAM-dikembangkan oleh Nantero Inc) dan motor elektrik skala nano. Pakaian perang, tangga untuk kapal luar angkasa, hingga kerangka sepeda (Floyd Landis) telah memakai *nanotube* sebagai bahan dasarnya^[4].

Ali Tinazli adalah salah satu seorang ilmuwan yang tergabung dalam group riset dari *Cellular Biochemistry Lab* di Johann-Wolfgang-Goethe University of Frankfurt yang mengembangkan sistem lithography dengan menggunakan teknologi nano protein. Sistem nanolithography ini memungkinkan untuk menulis, membaca, dan menghapus data yang dapat berupa dan menggunakan susunan protein. Sistem ini akan memungkinkan pengembangan dalam bidang biosensor. Sistem nanolithography ini dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Native Protein Nanolithography^[5]

6. KESIMPULAN

Teknologi nano adalah bidang teknologi yang masih tergolong baru dan akan terus berkembang. Perkembangan teknologi ini akan mengubah teknologi makro menjadi skala nano. Berbagai komponen dasar telah dikembangkan berdasarkan teknologi nano. *Carbon nanotube* sebagai salah satu subjek penelitian ternyata membawa masa depan yang cukup cerah karena bahan nano ini dapat diterapkan dalam merepresentasikan berbagai komponen elektronika sekarang ini ke dalam skala nano. Selain itu *carbon nanotube* juga memiliki kelebihan baik dalam hal kelistrikan maupun dalam hal lainnya. Berbagai teknik telah dikembangkan agar dapat menghasilkan struktur *nanotube* dengan *cost* rendah dan kualitas yang menjanjikan.

Tak hanya itu, teknologi nano tidak hanya diarahkan ke bidang elektronik saja, tetapi juga ke arah *biomedical*. Pengembangan ke arah *biomedical* terutama dalam mengembangkan *biosensor* untuk berbagai macam penyakit seperti salah satunya untuk mendeteksi sel kanker.

7. REFERENSI

- [1]. J. P. McKelvey, *Solid State And Semiconductor Physics*, 1986, Robert E. Kriger Publishing Company, Inc, Florida, pp.46
- [2]. C. P. Poole Jr., F. J. Ourens, *Introduction to Nanotechnology*, 2003, New Jersey, pp.1, 116, 123
- [3]. M. W. Hadi, H. Sudibyo, *The Study of Carbon Nanotube FET Inverter*, Sensor Device Research Group, E.E. Department Engineering Faculty University of Indonesia
- [4]. *Carbon Nanotube*, http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube
- [5]. *Native protein nanolithography that can write, read and erase*, <http://www.nanowerk.com/spotlight/>
- [6]. *Carbon and Metals: A Path to Single-Wall Carbon Nanotubes*, http://www.almaden.ibm.com/st/nanoscale_science/past/nanotubes/page10_files/DSBColloquium6-21-02.pdf
- [7]. *Wondrous World of Carbon Nanotubes*, http://students.chem.tue.nl/ifp03/Wondrous%20World%20of%20Carbon%20Nanotubes_Final.pdf

- [8]. *Nanotubes for Electronics*, http://www.cnanotech.com/download_files/NTs_SciAm_2000.pdf
- [9]. *Carbon nanotube array-based biosensor*, <http://lib.store.yahoo.net/lib/nanolab2000/biosensor.pdf>
- [10]. *Nanospintronics with carbon nanotubes*, http://www.iop.org/EJ/article/0268-1242/21/11/S11/sst6_11_s11.pdf
- [11]. *Carbon Nanotube Enhanced Ultracapacitor*, http://lees-web.mit.edu/lees/posters/RU13_signorelli.pdf
- [12]. *Carbon Fibers and Carbon Nanotubes*, <http://web.mit.edu/tinytech/Nanostructures/Spring2003/MDresselhaus/i789.pdf>
- [13]. <http://sdrq-ui.blogspot.com/2007/04/carbon-nanotube-sebuah-masa-depan-dalam.html>