

EFEK AHARONOV – BOHM TERHADAP SIFAT ELEKTRONIK CARBON NANOTUBE

Altje Latununuwe^{1,2)}, Andhy Setiawan^{1,3)}, Toto Winata¹⁾, Sukirno¹⁾

1. Laboratorium Fisika Material Elektronik, Program Studi FisiKA, FMIPA

Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

2. Prog. Studi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

3. Prog. Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung 40154, Indonesia

e-mail: altje_el@yahoo.com

Abstrk

Telah disimulasikan energi elektronik sebagai fungsi medan magnet dengan menggunakan metode Tight Binding pada CNT metal (27,0) dan CNT semikonduktor (10,0). Hasil ini dibandingkan dengan hasil pendekatan massa efektif. Hasil kedua metode ini menunjukkan bahwa terjadi pola metal-semikonduktor-metal pada CNT (27,0) dan pola semikonduktor-metal-semikonduktor pada CNT (10,0).

1. Pendahuluan

Carbon nanotube (CNT) adalah material nanostruktur 1-dimensi dengan sifat fisika yang unik. Salah satu sifat tersebut adalah sifat elektronik, yang mana CNT dapat bersifat metal atau semikonduktor bergantung pada diameter dan chiralitasnya^{1>}. Material ini sangat diminati untuk diteliti secara teoritis maupun eksperimen karena CNT merupakan material elektronik yang sangat menjanjikan untuk aplikasi divais nanoelektronik.

Dengan berdasarkan sifat elektronik CNT ini, sudah dilakukan penelitian yang menunjukkan bahwa CNT metal dapat dirubah sifatnya menjadi semikonduktor maupun sebaliknya dengan cara deformasi mekanik. Dari beberapa hasil simulasi maupun hasil eksperimen, menunjukkan adanya transisi metal-semikonduktor atau semikonduktor-metal^{2,3,4,5,6,7>}. Selain dengan cara deformasi mekanik, sudah diprediksi secara teoritis oleh Ajiki.H dan Ando.T bahwa untuk mengubah sifat elektronik CNT adalah dengan cara memberikan medan magnet pada permukaan tabung CNT^{8>}. Sedangkan hasil secara eksperimen telah dibuktikan oleh tim peneliti dari *Cornel University, Rice University, University of Illinois* serta Federov.G, dkk^{9,10>}.

Jika medan magnet diarahkan sejajar dengan sumbu tabung CNT, maka elektron yang bergerak di permukaan tabung CNT akan merasakan suatu gaya yang tegak lurus pada permukaan tabung tersebut. Hal ini mengakibatkan suatu fenomena kuantum dimana fungsi gelombang elektron akan mengubah faktor fasenya. Selanjutnya momentum akan bergeser bergantung pada banyaknya fluks magnetik yang melewati luasan permukaan tabung CNT. Pergeseran fase ini mengakibatkan terjadi perbedaan jalan elektron untuk

berinterferensi yang selanjutnya mempengaruhi sifat elektronik CNT. Fenomena ini secara umum dikenal sebagai efek Aharonov – Bohm (AB)^{1>}. Efek ini mengubah energi gap CNT sebagai fungsi medan magnet.

Pada makalah ini akan dipaparkan hasil simulasi pengaruh medan magnet terhadap energi gap dari CNT metal (27,0) dan CNT semikonduktor (10,0).

2. Teori

Untuk menentukan struktur elektronik CNT yang berada di bawah pengaruh medan magnet, maka pertama-tama nyatakan fungsi gelombang Bloch dari dua orbital atom karbon yang berbeda. Selanjutnya tentukan matriks Hamiltonian yang hanya dipengaruhi oleh medan magnet, kemudian cari nilai eigen yang merupakan energi sebagai fungsi vektor gelombang dan medan magnet. Dengan menggunakan metode *Tight Binding* dapat ditentukan persamaan energi tersebut yang dapat ditulis sebagai berikut^{11>}

$$E(k, J, \phi)_{zigzag} = \pm \gamma \left\{ \begin{array}{l} 1 + 4 \cos\left(\frac{3ak}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{n}\right) \left(J + \frac{\phi}{\phi_0}\right) + \\ 4 \cos^2\left(J + \frac{\phi}{\phi_0}\right) \end{array} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

dengan $\gamma = 2.5 \text{ eV}$, $a = 2.49 \text{ \AA}$, n adalah integer, ϕ adalah fluks magnet, $\phi_0 = h/e = 4.14 \times 10^{-15} \text{ Tm}^2$ yang adalah quantum fluks magnetik dan $J = 1, 2, \dots, 2n$.

Sedangkan dengan menggunakan pendekatan *massa efektif*, Ajiki.H dan Ando.T merumuskan hubungan energi dengan vektor gelombang serta medan magnet sebagai berikut^{8>}

$$E_v(n, k, \phi) = \pm \gamma \left[\kappa_v(n)^2 + k^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

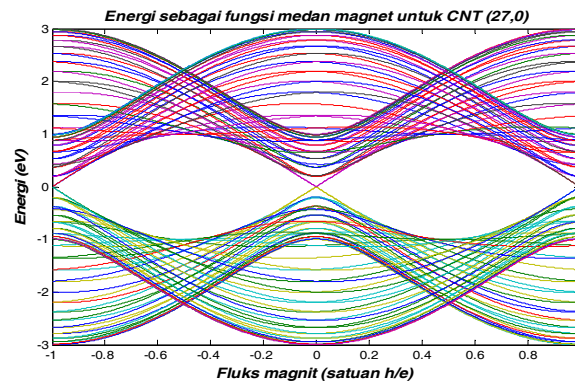
Dengan

$$\kappa_v(n, \phi) = \frac{2\pi}{L} \left(n + \frac{\phi}{\phi_0} - \frac{v}{3} \right) \quad (3)$$

Dimana $L = a\sqrt{n^2 + m^2 + nm}$, $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, dan $v=0$ untuk CNT metal serta $v = \pm 1$ untuk CNT semikonduktor.

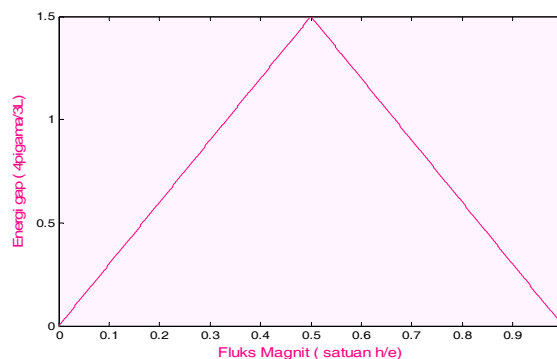
3. Hasil dan Pembahasan

Dengan menggunakan persamaan (1) disimulasikan hubungan energi sebagai fungsi fluks magnetik seperti terlihat pada gambar.1.



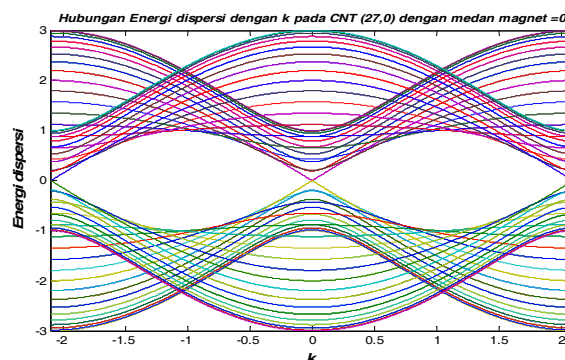
Gambar 1. Energi sebagai fungsi Fluks Magnetik pada CNT (27,0)

Jika fluks magnet sama dengan nol dan satu maka energi sama dengan nol. Sedangkan energi mencapai harga terbesar pada fluks magnetik sama dengan $\frac{1}{2}$. Atau dengan kata lain bahwa untuk setiap bilangan bulat fluks magnetik (negatif atau positif) akan menghasilkan energi sama dengan nol, tetapi untuk setiap bilangan pecahan fluks magnetik maka akan terjadi energi gap. Hasil ini menunjukkan kesamaan dengan pendekatan *massa efektif* seperti pada gambar.2. Seperti diketahui bahwa CNT (27,0) adalah CNT metal.

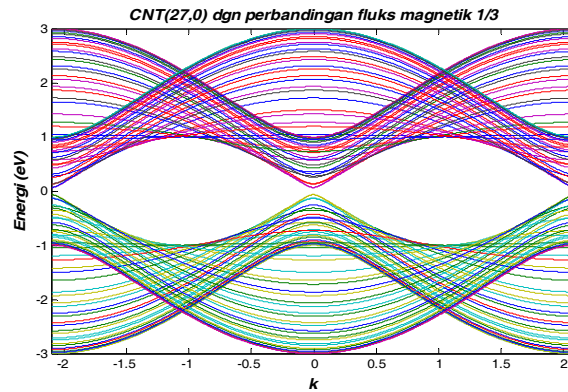


Gambar 2. Hubungan Energi Gap dengan Fluks magnetik untuk CNT metal.

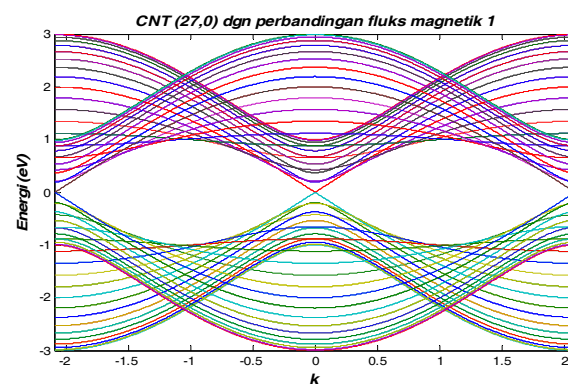
Selanjutnya lebih detail dapat dilihat pada gambar.3a-3d yang menunjukkan hubungan energi dispersi dengan vektor gelombang k pada berbagai harga perbandingan fluks magnetik.



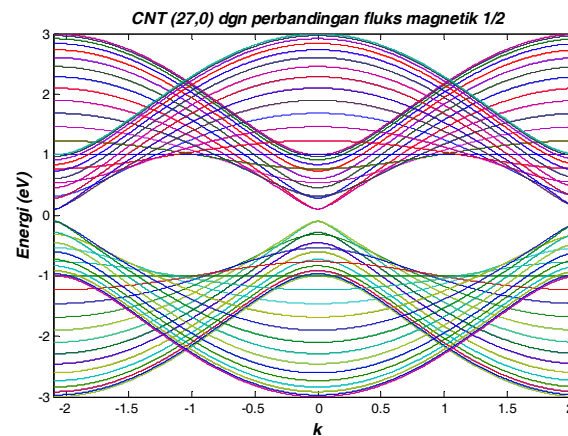
Gambar 3a. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 0



Gambar 3b. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 1/3



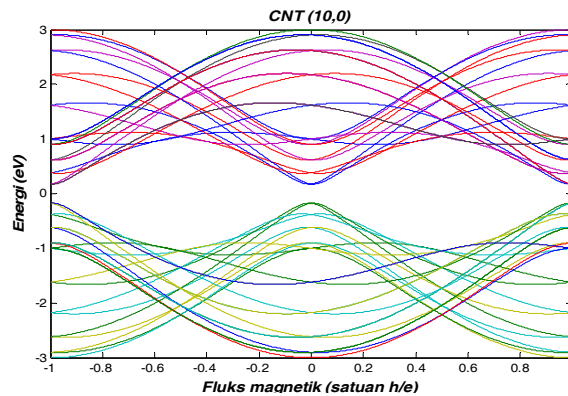
Gambar 3c. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 1



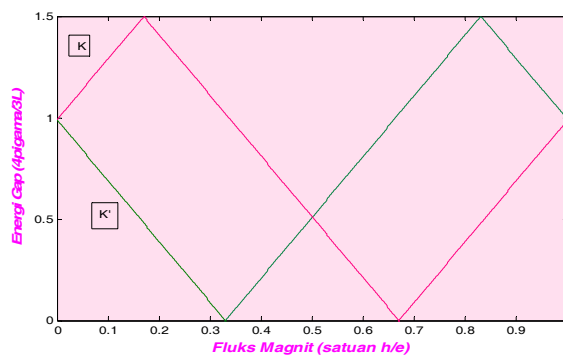
Gambar 3d. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 1/2

Hasil simulasi energi sebagai fungsi fluks magnetik untuk CNT semikonduktor (10,0) terlihat pada gambar.4. Jika fluks magnetik sama dengan nol dan satu ada energi gap. Tetapi hasil ini tidak persis sama dengan hasil dari pendekatan *massa efektif* seperti pada gambar.5. Berdasarkan gambar.5, energi gap terbesar terjadi pada fluks magnetik sekitar 0.2 dan 0.8. Tidak ada energi gap pada fluks magnetik sekitar 0.333 dan 0.68.

Sebagai perbandingan digunakan gambar.6a-6e yang menyatakan hubungan energi dispersi dengan vektor gelombang untuk berbagai nilai perbandingan fluks magnetik.

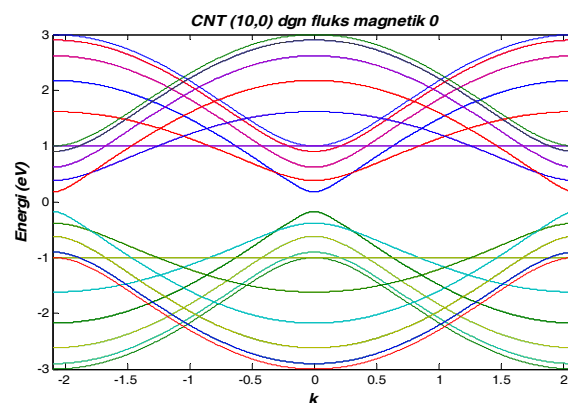


Gambar 4. Energi sebagai fungsi Fluks Magnetik pada CNT (10,0)

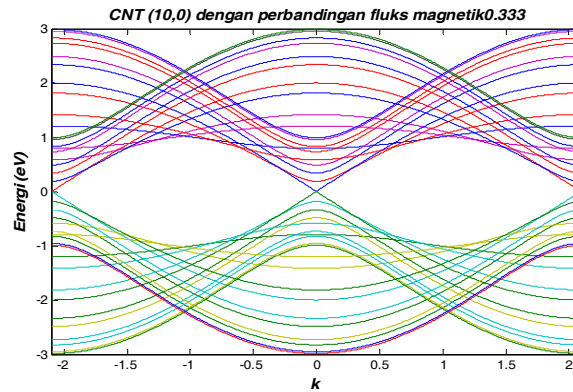


Gambar 5. Hubungan Energi Gap dengan Fluks magnetik untuk CNT semikonduktor.

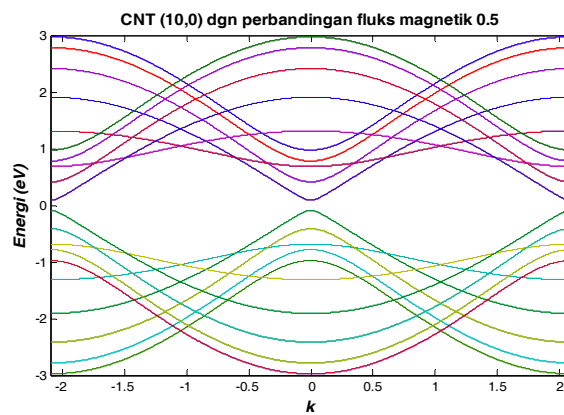
Pada gambar.6b terlihat bahwa tidak ada energi gap pada perbandingan fluks magnetik 0.333, yang mana sama dengan hasil pada gambar.5.



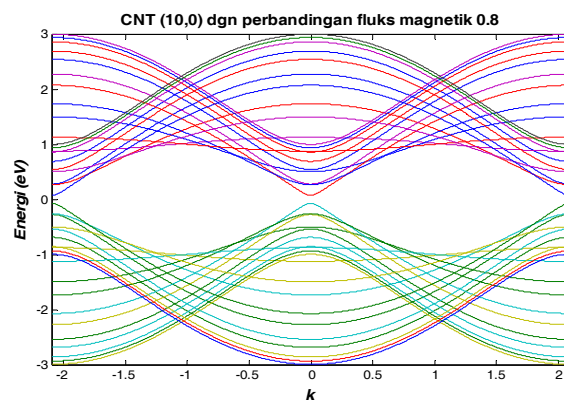
Gambar 6a. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 0



Gambar 6b. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 0.333

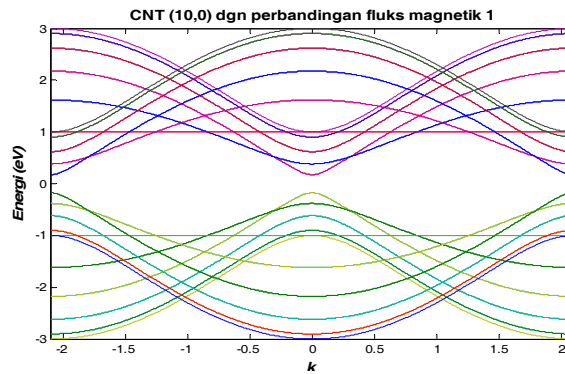


Gambar 6c. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 0.5



Gambar 6d. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 0.8

Begitu pula pada gambar.6c dan 6d ada energi gap pada perbandingan fluks magnetik 0.5 dan 0.8. Dari perbandingan hasil ini dapat dinyatakan bahwa hubungan energi dispersi dengan vektor gelombang untuk berbagai harga fluks magnetik untuk CNT (10,0) sesuai dengan hasil gambar.5. Sebaliknya hasil energi sebagai fungsi fluks magnetik untuk CNT (10,0) tidak sesuai dengan hasil gambar.5.



Gambar 6e. Hubungan Energi Dispersi dengan k pada perbandingan fluks magnetik 1

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang berdasarkan metode *Tight Binding* dan pendekatan *massa efektif* terlihat bahwa kehadiran medan magnet yang sejajar dengan sumbu tabung CNT menghasilkan perubahan sifat elektronik material ini. CNT metal (27,0) menunjukkan pola metal-semikonduktor-metal berdasarkan banyaknya fluks magnetik. Begitu pula CNT semikonduktor (10,0) menunjukkan pola semikonduktor-metal-semikonduktor. Perubahan sifat listrik seperti ini dapat diaplikasikan pada divais switch.

Referensi

1. Saito.R, Dresselhaus.G, and Dresselhaus.M.S, (1998), *Physical Properties of Carbon Nanotubes*, Imperial College Press, London.
2. Heyd.R, Charlier.A, and McRae.R, (1997), *Uniaxial-Stress Effects on the Electronic Properties of Carbon Nanotubes*, Phys.Rev.B, **55**, pp 6820.
3. Thomas.W.T, Zhou.C.W, Alexseyev.L, Kong.J, Dai.H.J, Lei.L, Jayanthi.C.S, Tang.M.J, and Wu.S.Y, (2000), *Reversible Electromechanical Characteristics of Carbon Nanotubes Under Local-Probe Manipulation*, Nature (London), 405, pp 769.
4. Peng.S and Cho.K, (2002), *Nano Electro Mechanics of Semiconducting Carbon Nanotube*, Journal of Applied Mechanics, **69**, 451.
5. Yang Liu, Anantram.M.P, Han.J, and Lu.J.P, (1999), *Band gap change of carbon nanotubes: Effect of small uniaxial and torsional strain*, Phy.Rev.B, **60**, pp 13874.
6. Kleiner.A and Eggert.S, (2001), *Band Gaps of the Primary Metallic Carbon Nanotubes*, Phys.Rev.B **60** pp 073408.
7. Latunuwe. A, Setiawan. A, Winata. T and Sukirno, (2007), *Mechanical Deformation Effect to the Band Gap of Semi- conducting Carbon Nanotube*, Proc. 2nd Asian Physics Symposium 2007, Bandung.

8. Ando.T, (2000),*Theory of transport in carbon nanotube*, Semicond.Sci.Technol. **15**, R13-R27.
9. Kong. J, Kouwenhoven.L and Dekker.C, (2004), *Quantum change for nanotubes*, Physics World July Ed.
10. Fedorov. G, Tselev. A, Jimenez. D, Latil.S, Kalugin.N.G, Barbara.P, Smirnov.D and Roche. S, (2007), *Magnetically induced field effect in carbon nanotube based devices*, Nano Letters **7**, 960.
11. Lin.M.F and Shung.K.W.K, (1995), *Magnetoconductance of carbon nanotubes*, Phys.Rev. B, **Vol 51, No 12**.