

# SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Aktualisasi Peran Generasi Milenial Melalui Pendidikan, Pengembangan Sains, dan Teknologi dalam Menyongsong Generasi Emas 2045”

25 NOVEMBER 2018

## ANALISIS EFEK TEROBOSAN EMPAT PERINTANG PADA GRAPHENE

**Muhammad Khoirul Huda**

Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

[physics@gmail.com](mailto:physics@gmail.com)

**Sri Handono Budi Prastowo**

Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

[srihandono947@gmail.com](mailto:srihandono947@gmail.com)

**Zainur Rasyid Ridlo**

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

[zainur.fkip@unej.ac.id](mailto:zainur.fkip@unej.ac.id)

### ABSTRAK

Artikel ini menjelaskan tentang fenomena efek terobosan empat perintang yang merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yaitu tiga perintang dengan material semikonduktor yang sama yaitu graphene. Graphena merupakan material semikonduktor dengan jarak lebar celah 0,246 nm dan memiliki beda potensial sebesar 3 eV. Analisis efek tunneling menggunakan persamaan schrodinger tidak bergantung pada waktu dengan pendekatan propagasi matriks. Hasil yang ditunjukkan mendapatkan koefisien transmisi terbesar adalah 1,00 dari energy electron 0,7500 eV, artinya peluang electron dalam menerobos penghalang sampai 100%. Namun, setelah mencapai titik koefisien terbesar pada tiga penghalang electron mulai mengalami penurunan koefisien transmisi meskipun energinya semakin tinggi. Tetapi pada empat penghalang terjadi peningkatan koefisien kembali ke koefisien transmisi terbesar yaitu pada energy 1,3890 eV dan kemudian mengalami penurunan kembali. Hal ini membuktikan bahwa setiap material semikonduktor terjadi resonansi terobosan dimana koefisien transmisi yang dihasilkan mencapai nilai maksimum. Sifat-sifat graphene yang sangat istimewa ini dapat membuat suatu peluang baru dalam pemanfaatan untuk menghasilkan suatu produk bidang elektronika yang lebih baik seperti superkapsitor, transistor dan IC.

**Kata Kunci:** Efek Terobosan, Empat Perintang, Persamaan Schrodinger, dan Graphene

### PENDAHULUAN

Fisika yang berkembang sampai akhir abad Sembilan belas dikenal sebagai fisika klasik dan mempunyai cabang utama yaitu mekanika klasik Newtonian dan teori medan elektromagnetik Maxwellian (Purwanto, 2016:1). Berkembangnya fisika sangat pesat dan sangat cepat sehingga dibutuhkan kompetensi yang amat memadai dalam menghadapi cepatnya perkembangan ilmu fisika ini. Fisika klasik yang dulunya menjadi teori andalan yang sampai saat ini dipelajari belum cukup menjawab pertanyaan yang terjadi di abad 19, seperti electron yang mampu menerobos suatu perintang. Hal ini menyebabkan munculnya istilah fisika klasik mengalami krisis.

Krisisnya fisika klasik tidak mampu menjelaskan fenomena fisis yang ditemukan diakhir abad 19. Salah satu fenomena yang ditemukan adalah efek terobosan yang belum dijawab oleh fisika klasik.

Persamaan Schrödinger merupakan persamaan gelombang yang dihasilkan dari persamaan differensial parsial orde dua. Persamaan schrodinger ini memiliki beberapa kriteria yang harus dipenuhi. Beberapa kriteria yang harus dipenuhi meliputi pertama, mematuhi hukum kekekalan energi; kedua, taat azas hipotesis de Broglie; ketiga, persamaan yang dihasilkan harusnya berperilaku baik dalam pengertian matematika, selain itu juga harus bernilai tunggal dan linear. Bernilai tunggal ini artinya persamaan

# SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Aktualisasi Peran Generasi Milenial Melalui Pendidikan, Pengembangan Sains, dan Teknologi dalam Menyongsong Generasi Emas 2045”

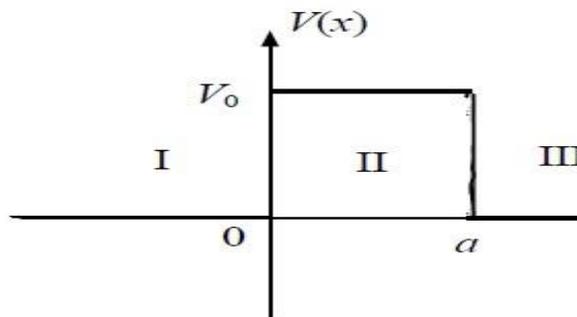
25 NOVEMBER 2018

schrodinger tidak diperbolehkan memiliki dua probabilitas untuk menemukan partikel di satu titik yang sama. Kriteria ketiga diatas jika dilakukan dengan sesuai maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V\psi = E\psi$$

(Krane, 1992:173)

Efek terobosan merupakan fenomena penerobosan suatu partikel (elektron) secara kuantum untuk melewati suatu penghalang (barier) sehingga partikel tersebut dapat bergerak bebas kembali setelah melalui penghalang tersebut. Penghalang yang dilalui oleh partikel tersebut berupa tegangan barier (penghalang) dengan energi yang tertentu (Abdullah ed. 2012:571)



Gambar 1 Plot potensial  $V(x)$  yang berbentuk tanggul kotak, lebar tanggul  $a$  dan tinggi tanggul  $V_0$

persamaan Schrödinger bebas waktu untuk  $E < V_0$  di daerah I, II, dan III adalah sebagai berikut.

$$\psi_1(x) = A_1 e^{ikx} + A_2 e^{-ikx}; \quad x < 0$$

$$\psi_2(x) = B_1 e^{\alpha x} + B_2 e^{-\alpha x}; \quad 0 < x < a$$

$$\psi_3(x) = C_1 e^{ikx}; \quad x > a$$

Dengan

$$k \equiv \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} \quad \text{dan} \quad \alpha \equiv \sqrt{\frac{2m(V_0 - E)}{\hbar^2}} \quad (1)$$

Selanjutnya, dengan menerapkan syarat kontinuitas  $\psi(x)$  dan  $\frac{d\psi(x)}{dx}$  di  $x=0$  diperoleh

$$A_1 + A_2 = B_1 + B_2 \quad (2a)$$

$$ik(A_1 - A_2) = \alpha(B_1 - B_2) \quad (2b)$$

Lalu di  $x = a$  diperoleh persamaan berikut.

$$B_1 e^{\alpha a} + B_2 e^{-\alpha a} = C_1 e^{ika} \quad (3a)$$

$$\alpha(B_1 e^{\alpha a} - B_2 e^{-\alpha a}) = ikC_1 e^{ika} \quad (3b)$$

Keempat Persamaan (3a) sampai (3b) di atas akan diperoleh persamaan berikut ini.

$$A_1 = C_1 \left( \cosh \alpha a - i \frac{k^2 - \alpha^2}{2k\alpha} \sinh \alpha a \right) e^{ika} \quad (4a)$$

$$A_2 = C_1 \left( i \frac{\alpha^2 + k^2}{2k\alpha} \sinh \alpha a \right) e^{ika} \quad (4b)$$

$$B_1 = C_1 \frac{\alpha + ik}{2\alpha} e^{ika} e^{-\alpha a} \quad (4c)$$

$$B_2 = C_1 e^{\alpha a} \left( 1 - \frac{\alpha - ik}{2\alpha} \right) e^{ika} \quad (4d)$$

Persamaan (4) memberikan batasan untuk nilai  $A$  sampai  $C$ . Pada persamaan itu telah ditunjukkan bahwa semua tetapan telah dinyatakan dalam  $C_1$ . Penyelesaian umum (Persamaan 2.3) menjadi penyelesaian khusus sebagai berikut.

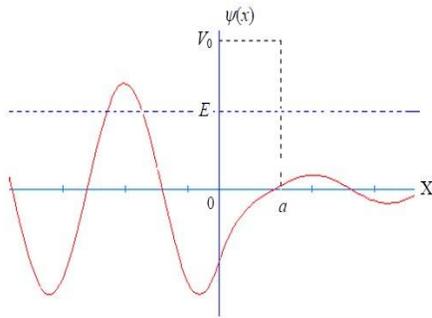
$$\psi(x) = \begin{cases} C_1 \left( \frac{A_1}{C_1} e^{ikx} + \frac{A_2}{C_1} e^{-ikx} \right); & x \leq 0 \\ C_1 \left( \frac{B_1}{C_1} e^{\alpha x} + \frac{B_2}{C_1} e^{-\alpha x} \right); & 0 \leq x \leq a \\ C_1 e^{ikx}; & x \geq a \end{cases} \quad (5)$$

Dengan  $A_1/C_1$ ,  $A_2/C_1$ ,  $B_1/C_1$ , dan  $B_2/C_1$  berturut-turut mengikuti Persamaan 2.7a, 2.7b, 2.7c, dan 2.7d. Gambar 2.1 berikut menyajikan plot komponen real fungsi eigen, Persamaan (2.8), tersebut.

# SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Aktualisasi Peran Generasi Milenial Melalui Pendidikan, Pengembangan Sains, dan Teknologi dalam Menyongsong Generasi Emas 2045”

25 NOVEMBER 2018



Gambar 2 Plot komponen real fungsi eigen bagi partikel di bawah pengaruh potensial tanggul kotak, energi total partikel kurang dari tinggi tanggul ( $E < V_0$ )

Berikutnya menghitung besarnya koefisien refleksi dan transmisi partikel. Dari Persamaan (4a) dan (4b) diperoleh koefisien refleksi sebesar:

$$R = \frac{|A_2|^2}{|A_1|^2} = \frac{(k^2 + \alpha^2)^2 \sinh^2 \alpha a}{4k^2 \alpha^2 + (k^2 + \alpha^2)^2 \sinh^2 \alpha a} \quad (6)$$

dan koefisien transmisi sebesar:

$$T = \frac{|C_1|^2}{|A_1|^2} = \frac{4k^2 \alpha^2}{4k^2 \alpha^2 + (k^2 + \alpha^2)^2 \sinh^2 \alpha a} \quad (7)$$

Persamaan ini menunjukkan adanya peluang bagi partikel untuk sampai di daerah III melalui daerah II, suatu daerah yang secara klasik tidak mungkin dilewati partikel. Gejala suksesnya partikel menembus daerah yang secara klasik terlarang ini disebut efek terobosan atau *tunneling effect*.

Persamaan (7) menunjukkan bahwa besarnya koefisien transmisi bergantung secara hiperbolis terhadap lebar penghalang. Untuk memudahkan menafsirkan arti fisik persamaan (7) tersebut, perhatikan kasus dimana nilai  $\alpha$  sangat besar. Dalam kasus ini, nilai  $\sinh \alpha a$  akan bernilai sangat besar sehingga sumbangan suku pertama pada penyebut persamaan tersebut dapat diabaikan. Selain itu, pada limit ini nilai  $\sinh \alpha a \equiv \frac{1}{2}(e^{\alpha a} - e^{-\alpha a}) \approx \frac{1}{2}e^{\alpha a}$  dan  $k^2 - \alpha^2 \approx \alpha^2$ . Dengan demikian pada kasus ini koefisien transmisinya sebesar:

$$T \approx \frac{16k^2}{\alpha^2} e^{-2\alpha a} = \frac{16E(V_0 - E)}{V_0^2} e^{-2\alpha \sqrt{\frac{2m(V_0 - E)}{\hbar^2}}} \quad (8)$$

Ruas terakhir pada persamaan (8) diperoleh dengan mensubstitusi nilai  $k$  dan  $\alpha$  sebagaimana didefinisikan pada persamaan (1). Persamaan (8) menunjukkan bahwa nilai koefisien transmisi berkurang secara eksponensial terhadap bertambahnya lebar penghalang.

Dalam banyak kasus, nilai  $\alpha$  memang besar. Ingat bahwa  $E$  dan  $V_0$  dalam orde  $eV$  ( $\approx 10^{-19}J$ ),  $m$  dalam orde  $10^{-31}kg$ , dan  $\hbar$  dalam orde  $10^{-34}J.s$ , sehingga nilai  $\alpha$  dalam orde  $10^{18}/m$ . Bagi sistem yang energi dan massanya lebih dari nilai-nilai tadi, nilai  $\alpha$  akan lebih besar lagi. Secara kuantitatif, ketergantungan koefisien transmisi terhadap lebar penghalang dapat dipaparkan sebagai berikut. Fungsi gelombang di daerah II merupakan kombinasi fungsi-fungsi hiperbolis  $e^{\alpha x}$  dan  $e^{-\alpha x}$  sebagaimana dinyatakan pada baris kedua ruas kanan persamaan (5). Dalam persamaan itu, fungsi  $e^{-\alpha x}$  lebih dominan daripada fungsi  $e^{\alpha x}$ . Sebab berdasarkan persamaan (4c) dan (4d) diperoleh hubungan:

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{\alpha - ik}{\alpha + ik} e^{2\alpha a} \quad (9)$$

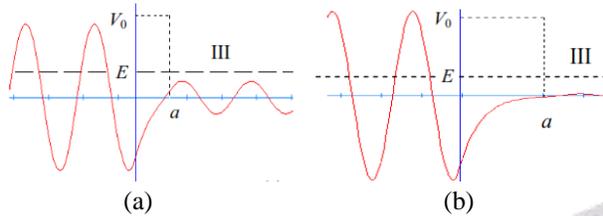
yang menunjukkan bahwa amplitudo fungsi  $e^{-\alpha x}$  (yaitu  $B_2$ ) lebih besar daripada amplitudo fungsi  $e^{\alpha x}$  (yaitu  $B_1$ ), karena fungsi  $e^{-\alpha x}$  lebih dominan daripada fungsi  $e^{\alpha x}$  maka perilaku fungsi gelombang di daerah II ditentukan oleh perilaku fungsi  $e^{-\alpha x}$ . Kehadiran fungsi ini hanya efektif di daerah  $x < 1/\alpha$ , sebab untuk  $x > 1/\alpha$  amplitudonya dapat diabaikan.

Jika lebar penghalang  $a$  kurang dari  $1/\alpha$  maka amplitudo gelombang di tepi kanan penghalang masih cukup besar, sehingga fungsi gelombang di daerah III juga memiliki amplitudo yang cukup besar. Hal ini berdampak pada besarnya peluang partikel untuk sampai di daerah III, ditunjukkan oleh gambar 2.3(a). Sebaliknya, jika lebar penghalang  $a$  cukup besar dibandingkan  $1/\alpha$  maka amplitudo gelombang di tepi kanan penghalang menjadi kecil. Akibatnya fungsi gelombang di daerah III juga memiliki amplitudo yang kecil. Hal ini berdampak pada kecilnya peluang partikel untuk sampai di daerah III, ditunjukkan oleh gambar 2.3(b) (Sutopo, 2005:164-168).

# SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Aktualisasi Peran Generasi Milenial Melalui Pendidikan, Pengembangan Sains, dan Teknologi dalam Menyongsong Generasi Emas 2045”

25 NOVEMBER 2018



Gambar 3. Komponen real fungsi eigen partikel di bawah pengaruh potensial penghalang. Lebar penghalang pada gambar (a) < lebar penghalang pada gambar (b). Perhatikan amplitudo gelombang di daerah III pada (a) dan (b).

Graphene merupakan material dasar dua dimensi berbentuk saranglebah sebagai penyusun berbagai alotrop karbon. Dalam tiga dimensi tumpukan graphene yang disatukan oleh ikatan *Van der Waal* disebut grafit. Tabung nano karbon adalah graphene dalam bentuk satu dimensi, sedangkanbuckyball atau fullerene adalah graphene dalam dimensi nol.Semua sifat – sifat elektronik, optik, termal, juga magnetik, yang menjadi kelebihan graphene dapat digambarkan dengan jelas dengan mengkajinya mulai dari ranah fundamental yaitu struktur pita elektronik (energidispersi) juga rapat keadaan material graphene. *Graphene* dengan lapisan *single-layer* memiliki konduktivitas sebesar  $0,96 \times 10^6 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  (Fikri dan Dwardaru. 2016:195). Konduktivitas material graphene juga dapat ditentukan dengan pengaruh kadar Zinc dan temperature *hydrothermal*. Nilai konduktivitas elektrik terbesar dihasilkan dari variasi penambahan serbuk zinc sebesar 0,8 gram dan temperatur hydrothermal sebesar 200°C dengan nilai sebesar 0,10281 S/cm dan bilangan iodine 11384,64 (Azizah dan Susanti. 2014:213). Graphene yang memilikisifat semimetal (pita valensi dan konduksi bertemu pada titik K yang simetri) dapat dimodifikasi struktur pitanya sehingga terjadi celah di antara pitakonduksi dan valensinya entah di atas atau di bawah aras Fermi. Berbagaimodel telah dicoba untuk menggambarkan struktur pita elektronik graphenebaik secara analitik, yangmenggunakan model ikatan kuat, maupun numerik seperti *Density Functional Theory*, aproksimasi *GW* juga *Tight Binding* dengan penyelesaian *TDSE* (Qosim dan Santoso, 2015:28).

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode propagasi matriks dengan tahapan sebagai berikut. Persiapan, Tahap ini adalah mempersiapkan bahan-bahan yang dijadikan informasi yaitu buku tentang fisika modern, fisika kuantum, fisika kimia, fisika matematika, fisika zat padat serta jurnal-jurnal yang berkaitan dengan efek terobosan menggunakan penghalang ganda dan persamaan schrödinger dua dimensi. Tahap kedua, Mendefinisikan dan menentukan persamaan di setiap kondisi sebelum menerobos penghalang. Pada tahap ini peneliti harus mampu mendefinisikan dan menentukan persamaan di setiap kondisi sebelum penghalang (barir) diterobos. Tahap ketiga, Menemukan vektor  $k$  dengan membandingkan energi elektron dan "ketinggian" penghalang. Pada tahap ini peneliti juga harus menemukan vektor  $k$  dengan membandingkan energi electron dan ketinggian penghalang yang digunakan oleh peneliti. Tahap keempat, Mendapatkan persamaan gelombang untuk setiap kondisi menggunakan kontinuitas tiap daerah. Pada tahap ini peneliti harus mampu mendapatkan persamaan gelombang yang akan digunakan untuk analisis efek terobosan dengan menggunakan teori kontinuitas agar bersifat dan selalu kontinu. Tahap kelima, Menyusun persamaan lengkap untuk menyelesaikan Transmisi dan Refleksi fungsi gelombang. Pada tahap ini peneliti diharapkan mampu mendapatkan dan menyelesaikan persamaan efek terobosan sehingga mampu menyelesaikan koefisien transmisi dan refleksi dari fungsi gelombang yang diuji. Pengambilan data. Tahap ini adalah tahap perhitungan, yaitu dari fungsi gelombang masing-masing daerah akan menghasilkan persamaan koefisien transmisi efek terobosan penghalang ganda, hasil tersebut akan diplotkan dengan grafik menggunakan aplikasi pemrograman berupa MatLab. Pembahasan. Hasil dari perhitungan dan penggrafikan akan dibahas lebih rinci mengenai koefisien transmisi efek terobosan penghalang ganda. Kesimpulan, Hasil dari pembahasan yang telah dilakukan kemudian disimpulkan untuk menjawab rumusan permasalahan penelitian.

Pengembangan teori yang digunakan adalah pengembangan teori propgasi matrik yang didapatkan sebagai berikut.

$$T_1 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{k_1}{k_2}\right) & \left(1 - \frac{k_1}{k_2}\right) \\ \left(1 - \frac{k_1}{k_2}\right) & \left(1 + \frac{k_1}{k_2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{ik_2L_1} & 0 \\ 0 & e^{-ik_2L_1} \end{bmatrix}$$

# SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Aktualisasi Peran Generasi Milenial Melalui Pendidikan, Pengembangan Sains, dan Teknologi dalam Menyongsong Generasi Emas 2045”

25 NOVEMBER 2018

$$T_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{k_1}{k_3}\right) & \left(1 - \frac{k_1}{k_3}\right) \\ \left(1 - \frac{k_1}{k_3}\right) & \left(1 + \frac{k_1}{k_3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{ik_3L_2} & 0 \\ 0 & e^{-ik_3L_2} \end{bmatrix}$$

$$T_3 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{k_1}{k_4}\right) & \left(1 - \frac{k_1}{k_4}\right) \\ \left(1 - \frac{k_1}{k_4}\right) & \left(1 + \frac{k_1}{k_4}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{ik_4L_3} & 0 \\ 0 & e^{-ik_4L_3} \end{bmatrix}$$

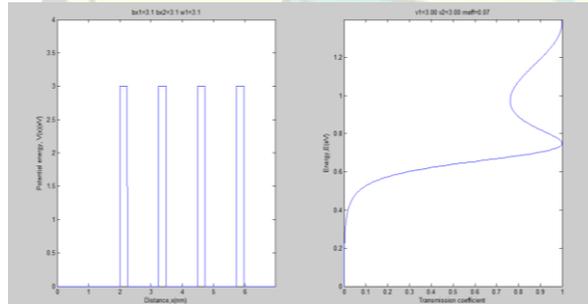
$$T_1 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{k_1}{k_5}\right) & \left(1 - \frac{k_1}{k_5}\right) \\ \left(1 - \frac{k_1}{k_5}\right) & \left(1 + \frac{k_1}{k_5}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{ik_5L_1} & 0 \\ 0 & e^{-ik_5L_1} \end{bmatrix}$$

Sehingga akan didapatkan persamaan koefisien transmisi empat perintang adalah:

$$T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot T_4.$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi pengambilan data koefisien transmisi dengan program computer, bahwa electron yang memiliki energy yang kecil tetapi dapat menerobos sebuah potensial penghalang sebanyak empat perintang dengan bahan semikonduktor yang sama. Data pengambilan dari 0 sampai dengan 1,5 eV. Dari pengambilan data tersebut didapatkan hasil sebagaimana berikut.



Berdasarkan grafik diatas dapat dijelaskan bahwa hasil yang didapatkan dari pengambilan data dengan bantuan program computer adalah energy electron yang paling minimum 0,0030 eV menghasilkan koefisien transmisi 0,0000 dan pada energy 1,5 eV menghasilkan koefisien transmisi 0,9761. Dari grafik diatas electron mampu mendapatkan koefisien transmisi 100% pada energy 0,7500 eV dan 1,3890 eV, kemudia mulai mengalami penurunan kembali di energy electron 0,8250 eV dan 1,4250 eV. Hasil ini menunjukkan bahwa pada material semikonduktor graphene yang memiliki jarak kisi 0,246

nm dengan energy potensial 3 eV electron dengan sempurna menerobos bahan semikonduktor tersebut.

Data	Energy Elektron (eV)	Koefisien Transmisi
1	0,0030	0,0000
2	0,1500	0,0008
3	0,3000	0,0053
4	0,3750	0,0133
5	0,4500	0,0347
6	0,5250	0,0973
7	0,6000	0,2900
8	0,6750	0,7349
9	0,7500	1,0000
10	0,8250	0,9206
11	0,9000	0,7909
12	1,0950	0,8151
13	1,3350	0,9974
14	1,3890	1,0000
15	1,4250	0,9974
16	1,4550	0,9910
17	1,5000	0,9761

Tabel diatas menggambar hasil pengambilan data koefisien transmisi dari selang energy 0 sampai dengan 1,5 eV. Dari hasil tersebut setelah diamati koefisien transmisi yang didptkan terus mengalami kenaikan dari 0,0030 hingga 0,7500 yang artinya electron dengan sangat baik menerobos tiga penghalang dari material graphene, tetapi pada energy 0,8250 eV electron mulai mengalami penurunan koefisien transmisi dari 100% menjadi 92,06% hingga pada energy 1,0950 eV koefisien transmisi hanya pada kisaran 81,51%. Tetapi pada energy 1,3350 eV meningkat kembali menjadi 99,74 % hinggann mencapai koefisien transmisi 100% kembali pada energy

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Aktualisasi Peran Generasi Milenial Melalui Pendidikan, Pengembangan Sains, dan Teknologi dalam Menyongsong Generasi Emas 2045”

25 NOVEMBER 2018

1,3890 eV. Kemudian mengalami penurunan kembali dari energy 1,4250-1,500 eV hinggan mencapai koefisien transmisi 97,61%. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan material graphene sebagai penghalang electron dalam menerobos potensial penghalang sangat baik dan menunjukkan bahwa material tersebut juga sangat baik. Semakin baik electron menerobos material maka semakin baik pula material tersebut dalam digunakan sebagai divais elektronika.

Dari beberapa data dan grafik yang didapatkan dapat dinyatakan bahwa material semikonduktor sangat dimungkinkan dapat menjadi salah satu bahan semikonduktor masa depan diakhir abad ini atau di era revolusi nindustri 4.0. Kajian bahan semikonduktor dapat menjadi daya Tarik sendiri dengan mengkaji dan menelaah setiap bahan semikonduktor, maka akan mampu ,menghadapi era revolusi industry 4.0 artinya dengan membuat konsep baru akan bahan yang sangat bahan konduktivitasnya maka dapat digunakan sebagai bahan divasi elektronika yang digunakan oleh manusia di era ini. Sehingga hasil produk dari pengembangan teori ini dapat memberikan dampak yang baik.

### PENUTUP

#### Kesimpulan

Berdasarkan hasil diatas menunjukkan bahwa sebuah electron dapat menerobos tiga penghalang dentgan bahan semikonduktor graphene mencapai koefisien transmisi maksimum 1,00 atau 100% dari energy 0,7500 eV dan 1,3890 eV. Hasil menunjukkan bahwa kemampuan electron dalam menerobos material semikonduktor tersebut sangat baik sehingga graphene merupakan salah satu bahan semokondutor yang sangat baik juga untuk menghasilkan semikonduktor terbaik dari material sebelumnya. Harapannya graphene yang sangat istimewa ini dapat membuat suatu peluang baru dalam pemanfaatan untuk menghasilkan suatu produk bidang elektronika yang lebih baik seperti superkapsitor, transistor dan IC.

#### Saran

Penelitian ini masih membutuhkan penelitian lanjutan yang lebih baik lagi dengan bahan yang lain dan dengan lebar penghalang yang berbeda.

#### Ucapan Terima Kasih

Saya mengucapkan terima kasih kepada semua tim Research Group 3 Pendidikan Fisika Universitas Jember yang membimbing saya hingga seperti ini.

#### Daftar Pustaka

- Azizah, Lita Nur., dan Susanti, Diah. 2014. Pengaruh Variasi Kadar Zn Dan Temperatur *Hydrothermal* Terhadap Struktur Dan Nilai Konduktivitas Elektrik Material *Graphene*. *JURNAL TEKNIK POMITS*. 3 (2) : 209-214.
- Beiser, Arthur. 1986. *Konsep Fisika Modern (Penerjemah The Houw Liong)*. Jakarta: Erlangga.
- Beiser, Arthur. 2003. *Concepts of Modern Physics Sixth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Fikri, Achmad Ainul., dan Dwandaru, W.S Brams. 2016. Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan Dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Sintesis Material Graphene Dengan Metode Liquid Sonification Exfoliation Menggunakan Tweeter Ultrasonication Graphite Oxide Generator. *Jurnal Fisika*. 5 (3) 188-197
- Krane, K. S. *Fisika Modern*. Terjemahan oleh Wospakrik H.J. dan Niksolihin S. 1992. Jakarta: UIP
- Krane, K. S. 2012. *Modern Physics Third Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Purwanto, Agus. 2016. *Fisika Kuantum Edisi Revisi*. Yogyakarta : Gava Media
- Qosim, Muhammad., dan Santoso, Imam. 2015. Kajian Struktur Pita Elektronik Graphene dan Graphane Menggunakan Model Ikatan Kuat Realistik dengan Ketakteraturan. *Jurnal Fisika Indonesia*. 55 (19) 28-33
- Sutopo. 2005. *Pengantar Fisika Kuantum*. Malang: UM PRESS