

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2019

“Integrasi Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Mengembangkan Budaya Ilmiah di Era Revolusi Industri 4.0 “  
17 NOVEMBER 2019

**KOEFISIEN TRANSMISI InN (*Indium Nitrit*) PENGHALANG TUNGGAL HINGGA  
PENGHALANG TIGA DENGAN METODE SCHRODINGER**

**Nelly Candra Agustin**

Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER  
[Nellycandra09@gmail.com](mailto:Nellycandra09@gmail.com)

**Caecarico Imas Wasisto Nugroho**

Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER  
[Caecarico.imas@gmail.com](mailto:Caecarico.imas@gmail.com)

**Maulana Andi Pratama**

Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER  
[Maulanaandipratama@gmail.com](mailto:Maulanaandipratama@gmail.com)

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan nilai koefisien transmisi yang dimiliki oleh bahan semikonduktor *Indium Nitride* InN pada potensial penghalang tunggal hingga rangkap tiga. *Tunneling effect* merupakan keadaan ketika partikel berenergi  $E$  memasuki daerah potensial energi sebesar  $V$  dengan syarat ( $E < V$ ). *Resonance Tunneling* merupakan fenomena ketika ( $E < V$ ) memiliki nilai koefisien transmisi  $T$  mendekati atau bernilai 1. Koefisien transmisi merupakan probabilitas yang dimiliki oleh partikel untuk dapat menerobos penghalang potensial. Bahan semikonduktor InN memiliki energi gap sebesar 1.9 – 2.05 eV dengan *Lattice Constants* sebesar 3.533 Å. Metode Schrodinger merupakan metode sederhana yang membandingkan konstanta normalisasi fungsi gelombang transmisi dengan fungsi gelombang datang untuk mendapatkan nilai koefisien transmisi. Pada potensial penghalang tunggal, koefisien transmisi sebesar 94.04 % didapatkan ketika energi partikel 3 eV. Pada potensial penghalang ganda, koefisien transmisi terbesar 100% didapat ketika energi partikel 1.176 eV. Pada potensial penghalang rangkap tiga, koefisien transmisi terbesar 100% didapat ketika energi partikel 0.783 eV dan 1.734 eV.

**Kata kunci:** *Koefisien transmisi, tunneling effect, resonance tunneling, metode Schrodinger.*

**PENDAHULUAN**

Seorang ilmuwan terkenal yang melatar belakangi berkembangnya ilmu pengetahuan di bidang fisika adalah Erwin Schrödinger dengan menemukan sebuah persamaan fundamental yang dinamakan dengan persamaan Schrodinger. Persamaan Schrodinger ini merupakan persamaan matematis diferensial orde dua yang menggambarkan keadaan dari sebuah partikel. Solusi dari persamaan Schrodinger merupakan sebuah fungsi gelombang  $\Psi$ . Pada dasarnya fungsi gelombang tersebut tidaklah memiliki arti fisis apa-apa, namun akan memiliki arti khusus ketika dikenai sebuah operator. Fungsi gelombang juga dapat menyatakan kerapatan probabilitas (Purwanto, 2006:51).

Apabila terdapat sebuah fenomena dimana partikel berenergi  $E$  memasuki medan potensial  $V$  dengan keadaan ( $E > V$ ), maka partikel tersebut akan dapat menerobos penghalang potensial. Namun jika keadaannya adalah ( $E < V$ ), secara fisika klasik partikel

bermuatan tidak dapat menerobosnya. Berdasarkan fisika kuantum, lebih tepatnya mekanika kuantum, partikel tersebut masih memiliki peluang untuk dapat menerobos potensial penghalang. Fenomena ini dimakan dengan *Tunneling Effect*. Peristiwa yang sebenarnya terjadi ketika partikel bermuatan memasuki medan potensial adalah berubahnya momentum yang awalnya  $\sqrt{2mE}$  menjadi  $\sqrt{2m(E - V)}$  atau  $\sqrt{2m(V - E)}$  tergantung dari besar tidaknya medan potensial dibanding energi partikel (Zettili, 2009:224).

Setiap bahan semikonduktor memiliki karakteristik yang menjadi suatu ciri khas. Karakteristik tersebut salah satunya adalah besarnya penghalang potensial atau lebih dikenal sebagai *energy gap*. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan untuk membuat perangkat pemancar cahaya warna biru adalah *Indium Nitride* InN (Bhuiyan, 2003). *Indium nitride* memiliki besar potensial penghalang 1.9 – 2.05 eV dengan lebar 3.533 Å (Levinstein, dkk, 2001)

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2019

“Integrasi Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Mengembangkan Budaya Ilmiah di Era Revolusi Industri 4.0 “  
17 NOVEMBER 2019

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan koefisien transmisi. Beberapa metode diantaranya adalah propagasi matriks dan metode schrodinger. Metode propagasi matriks merupakan metode paling mudah yang dapat digunakan untuk jumlah yang relatif banyak (Levi, 2003: 165). Sedangkan metode schrodinger mudah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan koefisien transmisi untuk potensial penghalang  $\leq 3$ . Metode Schrodinger ini, pada dasarnya membandingkan konstanta normalisasi dari fungsi gelombang datang dan konstanta normalisasi dari fungsi gelombang setelah menerobos potensial penghalang. Keunggulan metode ini yaitu tidak mengabaikan makna fisis, sedangkan metode propagasi matriks murni matematis.

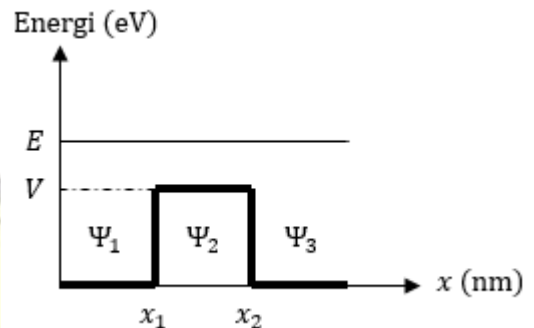
Pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, untuk potensial penghalang ganda pada bahan GaAs dan PbS koefisien transmisi terbesar adalah 0.9982 (Prastowo, 2018). Sedangkan potensial penghalang rangkap tiga bahan GaN, SiC dan GaAs koefisien transmisi terbesar adalah 0.819 (Supriadi, 2019). Penelitian yang sama yaitu potensial rangkap tiga pada bahan *Graphene* didapatkan fenomena resonansi dengan koefisien transmisi terbesar 1 pada energi 0.9200 eV (Prastowo, 2019).

### METODE PENELITIAN

Salah satu senyawa kimia yang biasa digunakan sebagai perangkat semikonduktor adalah *Indium Nitride* InN. Bahan ini memiliki karakteristik energi gap 1.9 eV dengan *Lattice Constants* 3.533 Å. Partikel yang digunakan pada penelitian ini adalah partikel elektron dengan massa elektron  $9.109 \times 10^{-31}$  kg dan bermuatan  $-1.602 \times 10^{-19}$  coulomb. Untuk lebar celah yang memisahkan penghalang potensial pertama dengan yang lainnya adalah 1 nm. Lebar ini dipakai karena merupakan pendekatan layer pada perangkat semikonduktor dengan rentang 1 – 20 nm.

Metode Schrodinger paling mudah digunakan untuk jumlah penghalang  $\leq 3$ . Untuk mendapatkan nilai koefisien transmisi dengan menggunakan metode ini dapat ditentukan dengan membandingkan nilai konstanta normalisasi dari fungsi gelombang setelah menerobos potensial penghalang dengan konstanta normalisasi dari fungsi gelombang sebelum menerobos potensial penghalang. Dalam penelitian ini, partikel yang digunakan adalah elektron. Hal ini dikarenakan, bentuk penerapan dari penggunaan bahan semi konduktor adalah perangkat elektronik yang artinya perangkat tersebut tidak akan bekerja sebagaimana

fungsinya apabila elektron tidak mengalir didalamnya. Elektron direpresentasikan sebagai fungsi gelombang yang merupakan solusi dari persamaan Schrodinger untuk partikel bebas 1 dimensi.



**Gambar 1.** Model potensial penghalang  $V$  dengan energi partikel  $E$

Gambar 1 memperlihatkan sebuah keadaan dimana partikel berenergi  $E$  menerobos potensial penghalang berenergi  $V$  dengan lebar  $(x_2 - x_1) = a$  dimana  $(E > V)$ .  $\Psi_1, \Psi_2$  dan  $\Psi_3$  merupakan fungsi gelombang dari partikel pada tiap daerah yang dijabarkan kedalam persamaan

$$\begin{aligned}\Psi_1 &= \alpha_1 e^{iY_1 x} + \alpha_2 e^{-iY_1 x} \quad (x < x_1) \\ \Psi_2 &= \beta_1 e^{iY_2 x} + \beta_2 e^{-iY_2 x} \quad (x_1 \leq x \leq x_2) \\ \Psi_3 &= \delta_1 e^{iY_1 x} \quad (x > x_2)\end{aligned}$$

$\alpha_1, \beta_1$  dan  $\delta_1$  merupakan konstanta normalisasi fungsi gelombang yang bergerak ke arah sumbu  $x$  positif. Sedangkan  $\alpha_2, \beta_2$  dan  $\delta_2$  merupakan konstanta normalisasi fungsi gelombang yang bergerak ke arah  $x$  negatif sebagai konsekuensi partikel yang tidak dapat menerobos potensial penghalang. Besarnya bilangan gelombang  $Y$  dapat ditentukan melalui persamaan

$$\begin{aligned}Y_1 &= \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} \\ Y_2 &= \sqrt{\frac{2m(E - V)}{\hbar^2}}\end{aligned}$$

Syarat kontinuitas pada batas  $x = x_1$

$$\Psi_1(x_1) = \Psi_2(x_1)$$

$$\alpha_1 e^{iY_1 x_1} + \alpha_2 e^{-iY_1 x_1} = \beta_1 e^{iY_2 x_1} + \beta_2 e^{-iY_2 x_1}$$

$$\frac{\partial \Psi_1(x_1)}{\partial x} = \frac{\partial \Psi_2(x_1)}{\partial x}$$

$$Y_1(\alpha_1 e^{iY_1 x_1} - \alpha_2 e^{-iY_1 x_1}) = Y_2(\beta_1 e^{iY_2 x_1} - \beta_2 e^{-iY_2 x_1})$$

Eliminasi kedua persamaan diatas didapatkan

$$\alpha_1 = \frac{\beta_1 e^{iY_2 x_1} (Y_1 + Y_2) + \beta_2 e^{-iY_2 x_1} (Y_1 - Y_2)}{2k_1 e^{iY_1 x_1}}$$



# SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2019

“Integrasi Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Mengembangkan Budaya Ilmiah di Era Revolusi Industri 4.0 “  
17 NOVEMBER 2019

$$\alpha_2 = \frac{\beta_1 e^{iY_2 x_1} (Y_1 - Y_2) + \beta_2 e^{-iY_2 x_1} (Y_1 + Y_2)}{2Y_1 e^{-iY_1 x_1}}$$

Syarat kontinuitas pada batas  $x = x_2$

$$\Psi_2(x_2) = \Psi_3(x_2)$$

$$\beta_1 e^{iY_2 x_2} + \beta_2 e^{-iY_2 x_2} = \delta_1 e^{iY_1 x_2}$$

$$\frac{\partial \Psi_2(x_2)}{\partial x} = \frac{\partial \Psi_3(x_3)}{\partial x}$$

$$Y_2(\beta_1 e^{iY_2 x_2} - \beta_2 e^{-iY_2 x_2}) = Y_1 \delta_1 e^{iY_1 x_2}$$

Eliminasi kedua persamaan diatas didapatkan

$$\beta_1 = \frac{\delta_1 e^{iY_1 x_2} (Y_2 + Y_1)}{2k_2 e^{iY_2 x_2}}$$

$$\beta_2 = \frac{\delta_1 e^{iY_1 x_2} (Y_2 - Y_1)}{2k_2 e^{-iY_2 x_2}}$$

Koefisien transmisi yang dimiliki oleh partikel ketika menerobos penghalang potensial tunggal untuk keadaan ( $E > V$ ) dapat dinyatakan dengan

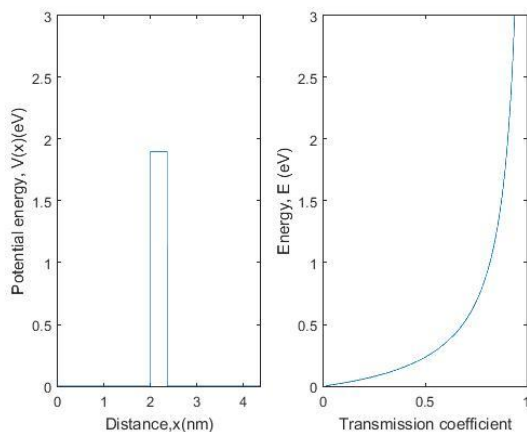
$$T = \left| \frac{\delta_1}{\alpha_1} \right|^2$$

$$T = \left( 1 + \frac{(Y_1^2 - Y_2^2)^2 \sin^2(Y_2 a)}{4Y_1^2 Y_2^2} \right)^{-1}$$

(Zettili, 2009: 228)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan hasil dari penelitian berupa nilai koefisien transmisi terhadap energi elektron.



**Gambar 2.** Bagian kiri memperlihatkan model potensial penghalang tunggal bahan InN. Sedangkan bagian kanan merupakan grafik hubungan antara koefisien transmisi dan energi partikel.

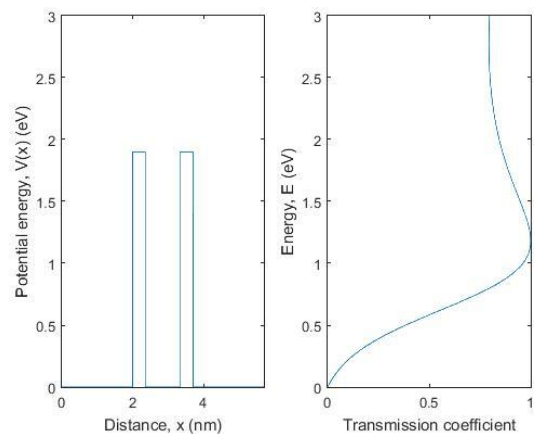
Pada gambar 2 diperlihatkan grafik hubungan antara energi yang dimiliki oleh elektron dengan koefisien transmisinya. Berdasarkan gambar tersebut,

kurva yang membentuk grafik menyerupai fungsi eksponensial. Hal ini menandakan bahwa semakin besar energi yang dimiliki oleh elektron untuk menerobos penghalang potensial tunggal, maka probabilitas elektron untuk menerobos penghalang potensial semakin besar.

**Tabel 1.** Besar energi dan koefisien transmisi pada penghalang potensial tunggal

Nomor	Energi (eV)	Koefisien Transmisi
1	0.003	0.0125
2	0.783	0.7766
3	1.176	0.8432
4	1.734	0.8922
5	3	0.9404

Tabel 1 menampilkan beberapa nilai dari energi elektron dan koefisien transmisinya pada penghalang potensial tunggal. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa probabilitas elektron ketika dalam energi minimum 0.003 eV adalah 1,25%. Sedangkan pada energi maksimum 3 eV probabilitasnya adalah 94.04 % dan ini merupakan probabilitas terbesar yang dimiliki oleh elektron tersebut.



**Gambar 3.** Bagian kiri memperlihatkan model potensial penghalang ganda bahan InN. Sedangkan bagian kanan merupakan grafik hubungan antara koefisien transmisi dan energi partikel.

Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara energi yang dimiliki oleh elektron ketika menerobos potensial penghalang ganda terhadap nilai koefisien transmisinya. Berbeda dengan grafik pada penghalang potensial tunggal. Pada potensial penghalang ganda, koefisien transmisi ada yang mencapai nilai 1 atau 100%. Hal ini menandakan pada energi elektron tertentu, fungsi gelombang mengalami resonansi pada keadaan ( $E < V$ ). Resonansi hanya terjadi ketika terdapat dua dinding simetri yang sama tingginya sama,

# SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2019

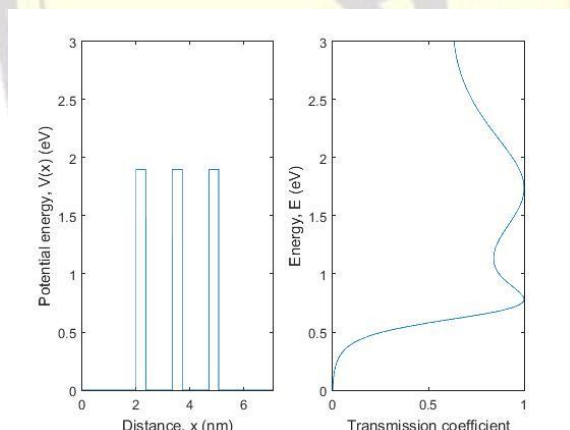
“Integrasi Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Mengembangkan Budaya Ilmiah di Era Revolusi Industri 4.0 “  
17 NOVEMBER 2019

maka probabilitas elektron akan sama dengan 1 atau mendekati 1.

**Tabel 2.** Besar energi dan koefisien transmisi pada penghalang potensial ganda

Nomor	Energi (eV)	Koefisien Transmisi
1	0.003	0.0009
2	0.783	0.7778
3	1.176	1
4	1.734	0.8933
5	3	0.7971

Tabel 2 menampilkan beberapa nilai dari energi elektron dan koefisien transmisinya pada penghalang potensial ganda. Pada penghalang ganda, ketika energi elektron minimum 0.003 eV memiliki probabilitas sebesar 0.09%. Sedangkan ketika energi elektron maksimum 3 eV, probabilitasnya adalah 79.71%. Pada energi elektron 1.176 eV, probabilitasnya mencapai 100%. Hal ini memberikan bukti bahwa untuk penghalang lebih dari satu, semakin tinggi koefisien transmisi tidak memberikan nilai probabilitas semakin besar.



**Gambar 4.** Bagian kiri memperlihatkan model potensial penghalang rangkap tiga bahan InN. Sedangkan bagian kanan merupakan grafik hubungan antara koefisien transmisi dan energi partikel

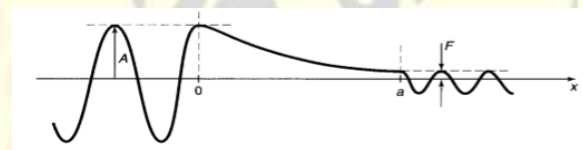
Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara energi yang dimiliki oleh elektron ketika menerobos potensial penghalang rangkap tiga terhadap nilai koefisien transmisinya. Pada grafik tersebut diperlihatkan bahwa terdapat dua energi elektron yang memiliki koefisien transmisi sama dengan 1. Berbeda dengan grafik pada potensial penghalang ganda, pada penghalang rangkap tiga ini, resonansi terjadi pada dua energi elektron. Dari sini dapat diketahui bahwa semakin bertambah penghalang potensial yang ada maka semakin bertambah pula jumlah tingkat energi

elektron yang menjadikan koefisien transmisi bernilai 1.

**Tabel 3.** Besar energi dan koefisien transmisi pada penghalang potensial rangkap tiga

Nomor	Energi (eV)	Koefisien Transmisi
1	0.003	0.0001
2	0.783	1
3	1.176	0.8433
4	1.734	1
5	3	0.6344

Tabel 3 menampilkan beberapa nilai dari energi elektron dan koefisien transmisinya pada penghalang potensial ganda. Ketika elektron memiliki energi minimum 0.003 eV, probabilitasnya adalah 0.01%. Pada keadaan ini berarti jika terdapat 100 elektron yang menerobos penghalang maka hanya terdapat 1 elektron yang dapat menembusnya. Pada energi maksimum 3 eV, probabilitasnya adalah 63.44%. Pernah dijelaskan sebelumnya bahwa terdapat dua energi elektron yang memiliki probabilitas 100% yaitu 0.783 eV dan 1.734 eV.



**Gambar 5.** Representasi fungsi gelombang ketika menerobos potensial penghalang tunggal pada kasus ( $E < V$ ) (Griffith, 2005:281).

Gambar 5 memperlihatkan keadaan fungsi gelombang ketika mengalami *tunneling effect*. Pada awalnya fungsi gelombang memiliki konstanta normalisasi  $A$  kemudian berubah menjadi  $F$  ketika setelah menerobos potensial penghalang. Dapat diketahui pula bahwa  $A > F$ . Perbandingan antara  $A$  dan  $F$  inilah yang menjadi nilai dari koefisien transmisi. Untuk daerah  $x < x_1$ , fungsi gelombangnya merupakan fungsi eksponensial kompleks. Ketika berada di dalam potensial  $x_1 \leq x \leq x_2$ , harga bilangan gelombang menjadi imajiner. Hal ini berdampak pada fungsi gelombang yang menjadi fungsi eksponensial. Sehingga konstanta normalisasi mengalami penurunan. Ketika elektron berhasil menerobos potensial penghalang, fungsinya kembali menjadi eksponensial kompleks dengan momentum yang sama seperti ketika sebelum menerobos.

# SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2019

“Integrasi Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Mengembangkan Budaya Ilmiah di Era Revolusi Industri 4.0 “  
17 NOVEMBER 2019

## PENUTUP

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa, semakin besar energi yang dimiliki oleh suatu partikel tidak memberikan koefisien transmisi semakin besar. Ketika potensial penghalang yang digunakan lebih dari satu, maka terdapat resonansi yang mengakibatkan nilai koefisien transmisi bernilai 1 atau mendekati 1. Bila potensial penghalang semakin banyak, maka jumlah resonansi akan bertambah pada energi-energi tertentu dan bersifat periodik karena persamaan koefisien transmisi pada potensial penghalang rangkap dalam bentuk sinusoid.

### SARAN

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Dalam penelitian ini sebaiknya jumlah potensial penghalang ditambahkan lebih banyak lagi untuk memastikan apakah benar semakin banyak potensial penghalang maka jumlah energi elektron tertentu yang memiliki koefisien transmisi 1 akan bertambah pula.
2. Untuk selanjutnya dapat pula dilakukan penelitian dengan menggunakan potensial penghalang sebagai fungsi khusus.

### DAFTAR PUSTAKA

- Buhuiyan, A Ghani Hashimoto Akihiro Yamamoto Akio. 2003. Indium nitride (InN): A review on growth, characterization, and properties. *Journal of Applied Physics*. (94) 5.
- Griffith, J. David. 2005. *Introduction Quantum Mechanics: Second Edition*. Reed College, United States of America: Pearson Prentice Hall.
- Levinshtein, M. E. 2001. *Advanced Semiconductor Materials GaN, AlN, InN, BN, SiC, SiGe*. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Levi, A. 2003. *Applied Quantum Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Prastowo, S. H. B. B. Supriadi Z. R. Ridlo. M. K Huda W. Bariroh dan U. Sholihah. 2019. Theoretical analysis quantum tunneling three potential barriers to the Schrodinger equation in graphene. *Journal of Physics: Conf. Series*. (1211) 012055
- Prastowo, S. H. B. B. Supriadi. Z. R. Ridlo. dan T. Prihandono. 2018. Tunneling Effect on Double Potential Barriers GaAs and PbS. *Journal of Physics: Conf. Series*. (1008) 012012.

Purwanto, Agus. 2006. *Fisika Kuantum*. Yogyakarta: Gava Media

Supriadi, B. Z. R. Ridlo. Yushardi C. I. W. Nugroho J. Arsanti S. Septiana. 2019. Tunneling effect on triple potential barriers GaN, SiC and GaAs. *Journal of Physics: Conf. Series*. (1211) 012034.

Zettili, Nourdine. 2009. *Quantum mechanics concepts and applications: Second Edition*. United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd.