

ANALISIS EFEK TEROBOSAN SINGLE PARTIKEL DALAM KEADAAN EKSITASI

Zainur Rasyid Ridlo, Drs. Bambang Supriadi M.Sc,
Rif'ati Dina Handayani, S.pd, M.Si,

Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember
Email: zen.ridlo@gmail.com

Abstract: In quantum Mechanics especially Tunneling effect, we describes behavior of electron as wave, that produce from electron as single particle that move in atom and have energy level from quantum number (n .) In excitation condition, energy electron is less than energy of barrier, but in this condition electron almost have possibilities to penetrate the barrier, The analysis for this case in three dimensional condition that separated into three important region, and all of analysis by using computational programming as simulation to measure Transmission Coefficient and plotting wave function.

Keywords: Single particle, energy, excitation, Transmission Coefficient.

PENDAHULUAN

Hipotesa de Broglie menjadi sebuah terobosan baru yang dapat menjelaskan fenomena dualisme gelombang partikel, Pada keadaan mikroskopik, elektron yang bergerak dapat berperilaku sebagai gelombang. Erwin Schrodinger menjelaskan, bahwa saat elektron bergerak tercipta gelombang yang merupakan gelombang tegak de Broglie pada keadaan tersebut yang menghasilkan solusi berupa fungsi Trigonometri ataupun Eksponensial. Tetapi tidak semua panjang gelombang diperkenankan pada keadaan tersebut, melainkan hanya panjang gelombang yang memiliki nilai k yang berkorespondensi dengan energi yang terkuantisasi dengan energi elektron diijinkan. Elektron yang mengorbit di dalam atom memiliki lintasan tertentu dan dipengaruhi oleh bilangan kuantum utama. Penggunaan bilangan kuantum utama juga menentukan tingkat energi pada masing-masing keadaan dan dapat bervariasi tergantung pada keadaan yang akan diterapkan pada persoalan kuantum. Secara umum keadaan kuantum terbagi menjadi dua, keadaan *Degenerate* dan keadaan *Non Degenerate*.

Pada Fisika Kuantum dikenal adanya gejala penerowongan (*Tunneling Effect*) atau lebih dikenal dengan efek terobosan. Efek yang terjadi saat partikel akan menerobos

suatu perintang yang berenergi lebih tinggi dari energi partikel tersebut. Partikel yang digunakan adalah elektron, hal ini disebabkan karena elektron merupakan partikel yang dapat bergerak bebas.

Pada bilangan kuantum berapapun, besarnya energi yang dimiliki oleh sebuah partikel terhadap suatu perintang masih dimungkinkan Partikel tersebut untuk dapat menerobos suatu "*Dinding*" perintang meskipun energinya lebih kecil daripada energi perintang. Kejadian di atas dapat diidentikkan dengan sebuah elektron yang sedang bergerak dengan energi (E) akan melewati suatu perintang dengan energi potensial (V). Pada skala atomik benda bergerak tidak hanya berperilaku sebagai partikel, tetapi juga berperilaku sebagai gelombang. Karena pada keadaan atomik partikel berperilaku sebagai gelombang, maka semua analisis yang diterapkan adalah formulasi gelombang dalam bentuk fungsi gelombang eksponensial.

Perintang yang digunakan pada peristiwa terobosan partikel ini berupa potensial energi senilai Magneton Bohr, yaitu suatu bentuk energi yang dipengaruhi oleh adanya medan magnet eksternal yang diterapkan pada atom tersebut. Besar nilai peluang elektron menembus dan terpantul kembali dianalisis menggunakan pendekatan

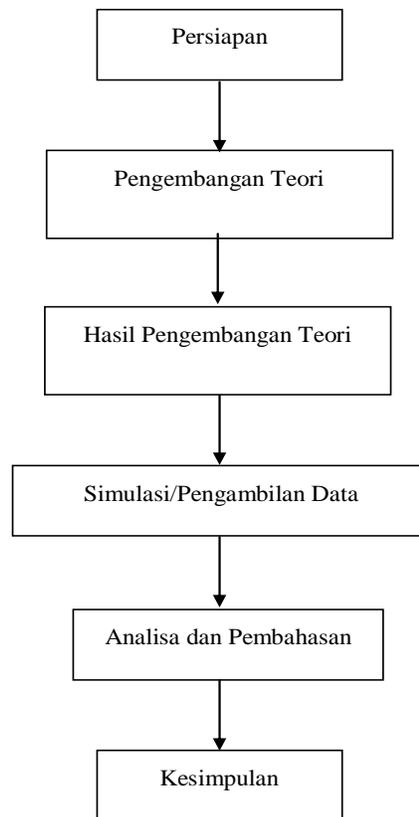
gelombang. Dengan menerapkan syarat batas dan menggunakan operator persamaan diferensial orde ke-dua untuk tiga keadaan. Saat sebelum memasuki perintang, di dalam perintang, dan saat lolos berada di luar perintang. Menghasilkan lima persamaan gelombang dengan rincian sebagai berikut, dua persamaan gelombang saat di daerah pertama sebelum memasuki perintang, dua persamaan gelombang saat berada di dalam perintang, dan satu persamaan gelombang saat lolos dari perintang. Masing-masing keadaan

memiliki perbedaan amplitudo akibat adanya perbedaan energi.

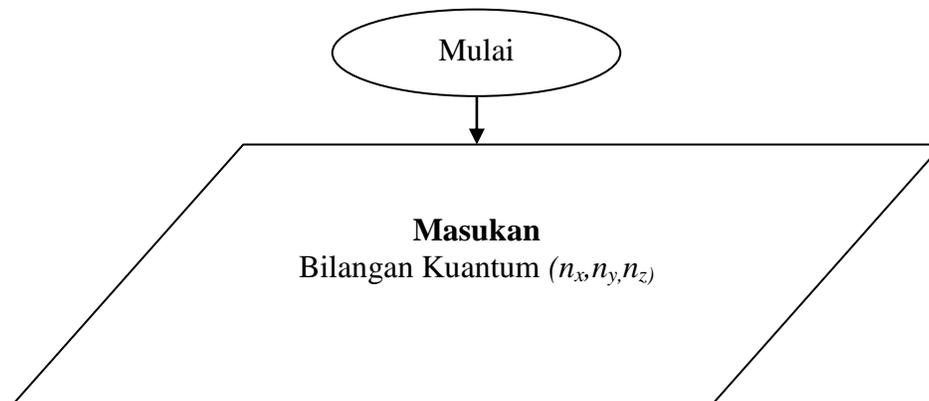
Penerapan konsep efek terobosan partikel banyak diaplikasikan pada bidang elektronika terapan, diantaranya pada proses pembuatan komponen elektronika yang berbasis bahan semikonduktor, sehingga para Ilmuan Fisika Teori dan Fisika Bahan, khususnya bidang Semikonduktor yang dapat memprediksi besarnya nilai ketebalan celah deplesi yang akan digunakan untuk membuat "wafer" semikonduktor.

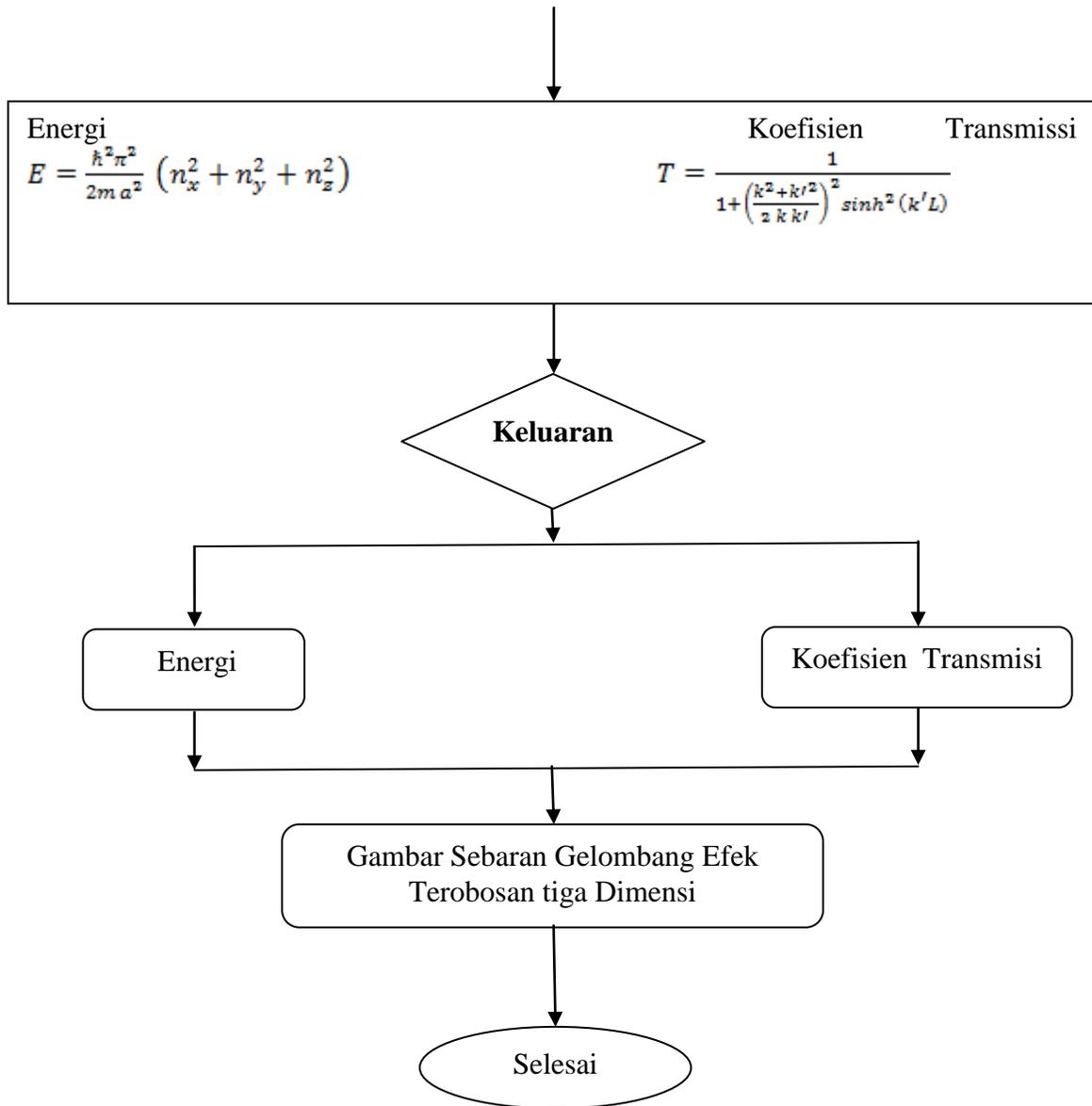
METODE

Langkah-langkah Penelitian



flowchart Si





Tabel 1: Tabel Hubungan antara tingkat Energi terhadap koefisien Transmisi

No	n			E (eV)	T
	nx	ny	nz		
1.	1	1	1	451.8256	8.0235 · 10 ⁻¹⁸
2.	1	1	2	903,6512	5.27 · 10 ⁻¹⁷
3.	1	2	1		
4.	2	1	1	1.335 · 10 ³	9.745 · 10 ⁻¹⁷
5.	2	2	1		
6.	2	1	2		
7.	1	2	2	1.656 · 10 ³	1.475 · 10 ⁻¹⁵
8.	1	1	3		
9.	1	3	1		

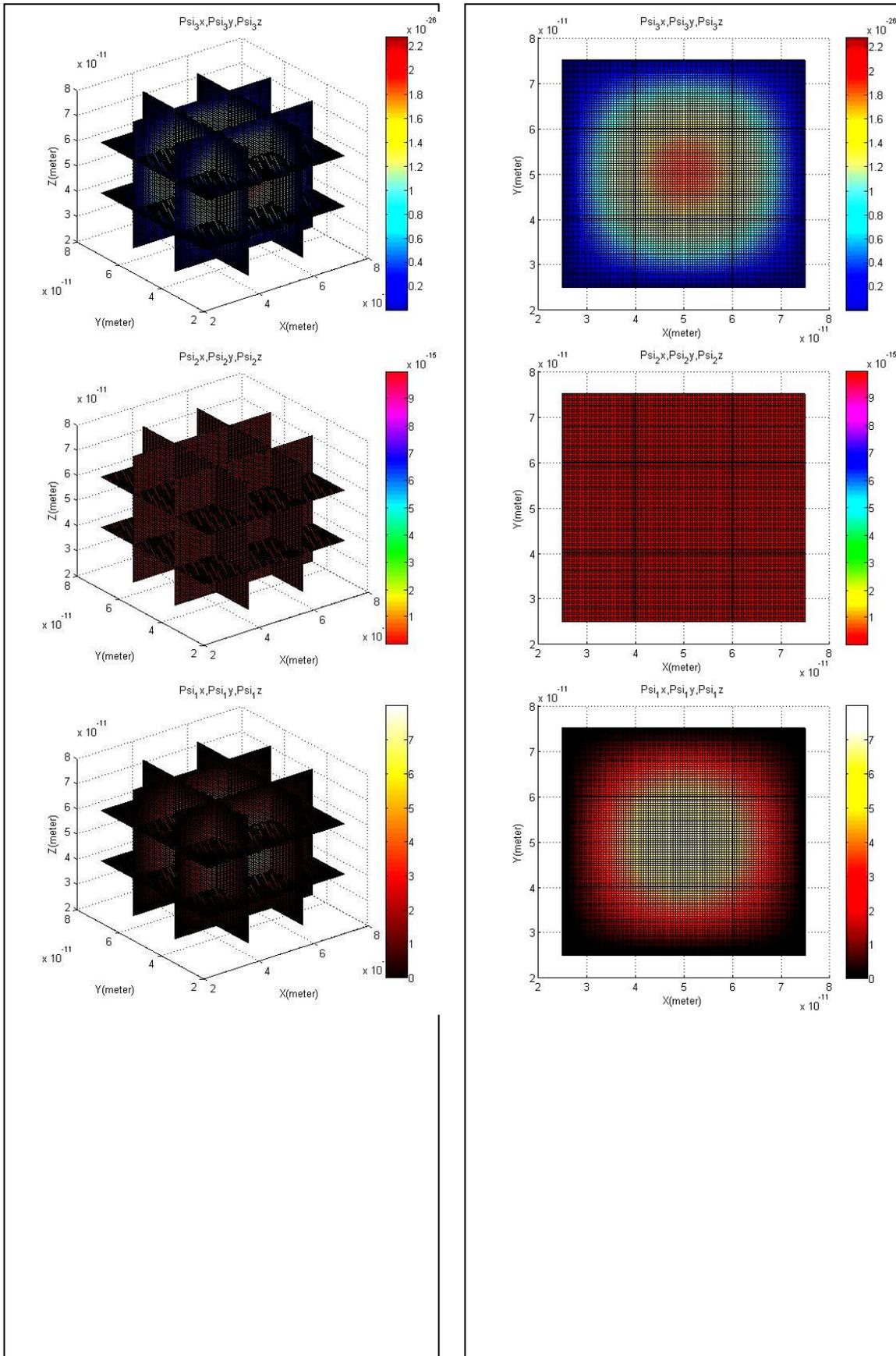
10.	3	1	1		
11.	2	2	2	$1.807 \cdot 10^3$	$1.4217 \cdot 10^{-16}$
12.	1	2	3	$2.1085 \cdot 10^3$	$1.519 \cdot 10^{-15}$
13.	1	3	2		
14.	3	2	1		
15.	2	3	1		
16.	2	1	3		
17.	3	1	2		
18.	2	2	3	$2.560 \cdot 10^3$	$1.564 \cdot 10^{-15}$
19.	2	3	2		
20.	3	2	2		
21.	3	3	1	$2.861 \cdot 10^3$	$2.942 \cdot 10^{-15}$
22.	3	1	3		
23.	1	3	3		
24.	3	3	2	$3.313 \cdot 10^3$	$2.987 \cdot 10^{-15}$
25.	3	2	3		
26.	2	3	3		
27.	3	3	3		
				$4.066 \cdot 10^3$	$4.4095 \cdot 10^{-15}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efek terobosan *single* partikel dalam keadaan eksitasi meninjau perubahan nilai koefisien transmisi akibat perubahan bilangan kuantum utama yang terjadi pada elektron dalam keadaan eksitasi. Penggunaan tiga bilangan kuantum utama n_x , n_y , dan n_z yang mempengaruhi tingkat energi akan mempengaruhi besarnya nilai karakteristik gelombang k dan k' .

Energi yang digunakan pada keadaan ini adalah kondisi saat energi elektron jauh lebih kecil dari energi perintang ($E < V_0$). Secara klasik hanya keadaan energi yang lebih besar yang dapat menembus perintang. Pada

keadaan mikroskopik meskipun nilai energi elektron lebih rendah dari energi perintang elektron masih memiliki peluang untuk dapat menembus perintang. Peluang tersebut sangat kecil tetapi tidak nol, karena pada keadaan mikroskopik elektron yang bergerak akan berperilaku sebagai gelombang. Energi perintang yang digunakan senilai dengan Magneton Bohr yang terpapar medan magnet eksternal sebesar $10^8 T$. Nilainya setara dengan nilai medan magnet oleh bintang Neutron dan lebar kotak potensial yang digunakan menggunakan jari-jari Bohr sebesar 0.5 \AA .



Gambar 1 : Efek Terobosan pada keadaan *Non - Degenerate* (1.1.1)

Analisis gelombang menggunakan keadaan tiga dimensi dengan membagi terlebih dahulu menjadi tiga bagian penting. Diantaranya, di dalam perintang pada saat $x=0$ hingga $x=L$, dengan energi senilai V . Kedua sisi kanan dan kiri perintang energi potensialnya adalah nol, karena tidak ada gaya yang bereaksi disana. Tiga daerah tersebut masing-masing terdapat tiga gelombang. Gelombang arah sumbu- x , sumbu- y , dan sumbu- z , yang ketiganya memiliki nilai karakteristik gelombang k untuk gelombang datang dan gelombang yang keluar dari perintang dan k' untuk gelombang yang ada di dalam perintang.

Gelombang yang akan memasuki perintang memiliki energi yang dipengaruhi oleh tiga bilangan kuantum utama n_x, n_y , dan n_z dengan nilai lebih rendah dari energi perintang. Gelombang yang berada di dalam perintang mengalami pelemahan energi yang ditunjukkan oleh penurunan nilai amplitudo terhadap amplitudo gelombang sebelum memasuki perintang. Diindikasikan dengan gradasi warna merah terang secara keseluruhan pada masing-masing koordinat x - y , x - z , dan y - z yang diakibatkan oleh perbedaan energi saat sebelum memasuki perintang dan energi di dalam perintang.

Energi elektron pada keadaan dasar dengan bilangan kuantum (1.1.1) adalah 451.8256 eV dengan nilai koefisien transmisi 8.0235×10^{-18} , keadaan ini adalah keadaan energi terendah dengan visualisasi ada 1 bukit gelombang yang terjadi masing-masing pada koordinat x - y , x - z dan y - z . Visualisasi ditunjukkan oleh gambar 1, amplitudo gelombang ditunjukkan dengan warna kuning keemasan terang, gradasi warna dapat dijelaskan menggunakan level spektrum yang ada, ketika gelombang mulai memasuki perintang maka terjadi pelemahan gelombang, hal ini ditunjukkan dengan berubahnya warna yang menunjukkan mengecilnya amplitudo berdasarkan nilai gradasi warna orde 10^{-15} . Setelah melalui perintang gelombang keluar dengan amplitudo lebih rendah dibandingkan saat berada di dalam perintang seperti ditunjukkan pada gambar dalam orde 10^{-26} .

Pola gelombang yang sama terjadi saat gelombang akan memasuki perintang.

Pada keadaan dengan bilangan kuantum (2.2.2) memiliki energi 1.8073×10^3 eV dan nilai koefisien transmisi adalah 1.4217×10^{-16} . Saat gelombang akan memasuki perintang pada daerah pertama, terbentuk empat buah bukit gelombang, pada daerah ke-dua di dalam perintang, amplitudo gelombang mengalami pelemahan terhadap amplitudo sebelum memasuki perintang dengan orde amplitudo ber-orde 10^{-13} , setelah melalui perintang gelombang keluar dengan amplitudo lebih rendah dibandingkan saat berada di dalam perintang dalam orde 10^{-25} dengan amplitudo berwarna biru terang dan terbentuk pola gelombang yang sama dengan saat gelombang akan memasuki perintang.

Konfigurasi bilangan kuantum (3.3.3) memberikan nilai energi tertinggi terhadap semua keadaan senilai 4.0664×10^3 eV dan nilai koefisien transmisi adalah 4.4095×10^{-15} . Saat gelombang memasuki perintang terbentuk pola sembilan puncak gelombang dengan gradasi warna merah tua yang menunjukkan amplitudo tertinggi pada keadaan tersebut, di dalam perintang amplitudo gelombang mengalami pelemahan terhadap amplitudo sebelum memasuki perintang dengan perbedaan amplitudo di dalam perintang yang lebih tinggi daripada amplitudo dua keadaan sebelumnya dalam orde 10^{-12} . Setelah gelombang melewati perintang, terjadi pelemahan amplitudo seperti pada keadaan-keadaan sebelumnya dengan pola gelombang sama persis saat gelombang akan memasuki perintang, namun perbedaan tampak pada gradasi warna biru dominan yang menunjukkan nilai amplitudo gelombang melemah dalam orde 10^{-22} .

Selain keadaan *Non-Degenerate*, terdapat keadaan *Degenerate* dengan keadaan bilangan kuantum yang ter-eksitasi secara sebagian, keadaan ini mengikuti pola kombinasi bilangan kuantum yang berbeda-beda diantaranya kombinasi bilangan 1 dan 2 memberikan keadaan (1.1.2), (1.2.1), (2.1.1), (2.2.1), (2.1.2), dan (1.2.2). kombinasi bilangan kuantum 1 dan 2 memberikan keadaan degenerate menjadi enam keadaan,

dengan satu tingkat energi yang sama sebesar $6 E_0$ dan $9 E_0$ dengan nilai energi dan koefisien transmisi adalah 903.6512 eV dan $5.2739 \cdot 10^{-17}$.

Keadaan *Degenerate* kombinasi bilangan kuantum menggunakan bilangan kuantum 1 dan 3 memiliki beberapa kombinasi diantaranya (1.1.3), (1.3.1), (3.1.1), (3.3.1), (3.1.3), dan (1.3.3) memberikan ciri pola yang hampir sama dengan keadaan (1.2.1), visualisasi keadaan *degenerate* menggunakan contoh keadaan (1.3.1) dengan perbedaan terdapat pada bilangan kuantum arah sumbu-y adalah 3 maka pada sumbu y terdapat 3 puncak gelombang pada keadaan sebelum menembus perintang dan setelah menembus perintang. Energi pada keadaan (1.3.1) dengan energi sebelas kali energi tingkat dasar senilai $1.6567 \cdot 10^3 \text{ eV}$ dan nilai koefisien transmisi $1.4752 \cdot 10^{-15}$.

Saat gelombang memasuki perintang, hal yang sama juga terjadi seperti pada keadaan sebelumnya. terdapat pola tiga puncak gelombang yang ada pada arah sumbu-y di dalam perintang gelombang mengalami pelemahan dengan penurunan amplitudo gelombang mencapai orde 10^{-13} . Ketika gelombang keluar dari perintang gelombang memiliki pola yang sama seperti saat akan memasuki perintang yaitu terdapat tiga puncak gelombang terhadap arah sumbu-y dengan amplitudo yang lebih rendah dari saat gelombang akan memasuki perintang dan di dalam perintang dalam orde 10^{-25} .

Kombinasi bilangan kuantum yang terakhir adalah kombinasi tiga buah bilangan kuantum yaitu (2.3.1). Saat gelombang akan memasuki perintang pada arah sumbu-xy terdapat 6 buah puncak gelombang, tiga puncak gelombang pada arah sumbu-y dan dua puncak gelombang arah sumbu-x. dengan puncak gelombang berwarna kuning terang, di dalam perintang amplitudo ditunjukkan oleh warna merah dalam orde 10^{-14} , keadaan ini lebih rendah daripada keadaan gelombang sebelum memasuki perintang. Ketika gelombang keluar dari perintang gelombang kembali mengalami pelemahan yang lebih rendah daripada keadaan sebelum dan di dalam perintang dengan nilai amplitudo ber-orde 10^{-24} , dengan pola yang sama seperti gelombang

saat akan memasuki perintang. Energi dan koefisien transmisi pada keadaan ini adalah $2.1085 \cdot 10^3$ dan $1.5199 \cdot 10^{-15}$.

Berdasarkan beberapa visualisasi dan hasil dalam keadaan *Degenerate* dan *non-Degenerate*. Bilangan kuantum berpengaruh terhadap nilai energi yang akan digunakan saat akan memasuki perintang, semakin besar bilangan kuantum yang digunakan semakin besar pula energi yang dihasilkan dan pada akhirnya akan berkontribusi terhadap perubahan dua nilai k , yaitu k dan k' , nilai k' juga dipengaruhi oleh lebar kotak potensial dan energi magneton bohr yang berasal dari medan magnet eksternal senilai 10^8 T yang senilai dengan medan magnet oleh bintang Neutron.

Pada umumnya kenaikan energi berpengaruh terhadap peningkatan koefisien Transmisi, akan tetapi saat keadaan energi (1,1,3) dan (2,2,2) meskipun energinya mengalami kenaikan, koefisien transmisi mengalami penurunan yang diakibatkan oleh adanya perbedaan bilangan kuantum yang bervariasi. yang mendominasi koefisien transmisi pada kombinasi (1.1.3) adalah angka 3. dengan orde 10^{-15} , koefisien transmisi arah sumbu-z. Kombinasi bilangan (2.2.2) memberikan nilai koefisien transmisi yang sama pada arah sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z. Karena nilai koefien transmisi menggunakan nilai rata-rata dari keadaan tiga dimensinya.

KESIMPULAN

Efek terobosan single partikel pada keadaan eksitasi menggunakan bilangan kuantum dalam keadaan *Degenerate* dan *non-Degenerate*. Pada keadaan $E < V$ dalam keadaan tiga dimensi berdasarkan perubahan bilangan kuantum n_x , n_y , dan n_z yang berkontribusi besar terhadap nilai energi yang digunakan untuk menembus perintang. Energi yang digunakan terpecah menjadi tiga berdasarkan keadaan bilangan kuantum utamanya, dan berkontribusi terhadap rekonstruksi persamaan gelombang yang menjelaskan keadaan tersebut. Sehingga untuk satu keadaan semisal saat gelombang akan memasuki perintang, terdapat tiga gelombang dengan persamaan yang sama merambat pada arah sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z.

Perbedaan yang terjadi hanyalah nilai bilangan gelombang (k) yang ada pada masing-masing nilai keadaan karena nilai k dipengaruhi oleh energi elektron dan energi perintang. Semua keadaan pada penelitian ini menggunakan potensial perintang ditetapkan berdasarkan medan magnet eksternal senilai 10^8 T setara medan magnet oleh bintang Neutron. Lebar kotak potensial berukuran 0.5 \AA untuk keadaan tiga dimensi.

Energi terendah dimiliki oleh keadaan dasar dengan susunan bilangan kuantum (1.1.1) senilai 451.8256 eV dengan koefisien transmisi $8.0235 \cdot 10^{-18}$ dan energi tertinggi dimiliki oleh kombinasi bilangan kuantum (3.3.3) senilai $4.066 \cdot 10^3 \text{ eV}$ dengan koefisien transmisi $4.4095 \cdot 10^{-15}$. Perubahan bilangan kuantum baik secara *Degenerate* maupun *non-Degenerate* yang mengarah pada perubahan bilangan kuantum. Perubahan bilangan kuantum utama mengakibatkan perubahan

nilai energi elektron, yang akan berkontribusi pada nilai k dan k' yang berpengaruh terhadap persamaan gelombang dan amplitudo gelombang pada saat akan memasuki perintang, di dalam perintang dan di luar perintang serta nilai koefisien transmisi yang dihasilkan pada keadaan tiga dimensi. Semakin besar energi yang dimiliki oleh elektron akibat kenaikan bilangan kuantum, semakin besar pula nilai koefisien transmisinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Beiser, a. 2003. *Concepts of Modern Physics*. Sixth Edition. New York: McGraw-Hill.
- Liboff, Ricard L.1990 *Intruductory Quantum Mechanics* USA: Addison weasley Publishing Company
- Mc Mahon, David.2006. *Quantum Mechanics Demystified Self teaching Guide*: USA:Mc Graw Hill Companies