Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)
Vol. 6, No 2. , September 2020, pp. 65-73
P-ISSN: 2549-4996, E-ISSN: 2548-5806, DOI: http://doi.org/10.25273/jpfk.v6i2.7237

Penggunaan Teori Perturbasi untuk Menentukan Tingkat Energi Partikel pada Kotak Potensial Tiga Dimensi

Indah Kharismawati
IKIP PGRI Jember, Jember 68121, Indonesia
e-mail: indahkharismawati@ikipjember.ac.id

Abstrak

Hamiltonian sistem yang diketahui dalam banyak persoalan tidak menjamin persamaan itu bisa diselesaikan, misalnya karena adanya gangguan kecil seperti medan listrik atau medan magnet yang dapat mengakibatkan sedikit perubahan pada energi dan fungsi partikelnya, untuk persoalan seperti ini maka harus digunakan teori gangguan (teori perturbasi). Teori perturbasi dapat menentukan seberapa besar akibat dari kehadiran gangguan terhadap tingkat-tingkat energi dan fungsi-fungsi eigen. Energi yang dimiliki partikel selain dipengaruhi oleh bilangan kuantum (nx, ny dan nz) dan ukuran kotak potensial juga dipengaruhi oleh gangguan berupa energi magnet yang dihasilkan karena gerak partikel (elektron) dalam medan magnet intrinsik inti (proton) yang pengaruhnya terhadap nilai energi tidak tampak dikarenakan nilai gangguan energi magnet ini sangat kecil, sedangkan untuk gangguan yang berupa energi magnet ekstrinsik sudah menunjukkan perubahan dengan medan magnetnya yaitu kelipatan 10 (Tesla). Semakin lebar ukuran kotak maka energi yang dimiliki partikel semakin kecil sehingga tingkat energi dan spektrum energi partikel dalam kotak potensial akan tampak kontinu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tingkat energi partikel bergantung pada panjang kotak potensial, bilangan kuantum partikel, dan juga gangguan yang dimiliki partikel.

Kata Kunci: Teori Perturbasi, Tingkat Energi Partikel, Kotak Potensial Tiga Dimensi.

Use of Perturbation Theory to Determine Particle Energy Levels on a Three-Dimensional Potential Box

Abstract

Hamiltonian a known system in many matters does not guarantee that the equation can be resolved, e.g. due to minor disturbances such as electric fields or magnetic fields that can lead to slight changes in energy and its particle functions, for such issues it should be used disorder theory (perturbation theory). The perturbation theory can determine how much the result of the presence of disruption to energy levels and Eigen's functions. The energy possessed by particles in addition to being influenced by quantum numbers (nx, ny and nz) and the size of the potential box are also influenced by interference in the form of magnetic energy produced due to the motion of particles (electrons) in the core intrinsic magnetic field (proton) which affects the energy value does not appear due to the value of this magnetic energy disorder is very small, while for interference that is an extrinsic magnetic energy has shown a 10 (Tesla). The wider the size of the box then the energy that the particles have is smaller so that the energy level and the particle energy spectrum in the potential box will appear continuous. It can be concluded that the particle energy level relies on the length of the potential box, the quantum number of particles, and also the interference that particles have.

Keywords: *Perturbation Theory, Particle Energy Level, Three-Dimensional Potential Box.*

How to Cite: Kharismawati, I. (2020). Penggunaan Teori Perturbasi untuk Menentukan Tingkat Energi Partikel pada Kotak Potensial Tiga Dimensi. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)*, 6(2), 65-74. doi:http://doi.org/10.25273/jpfk.v6i2.7237

Received August 11, 2020; Revised August 25, 2020; Accepted September 7, 2020

PENDAHULUAN

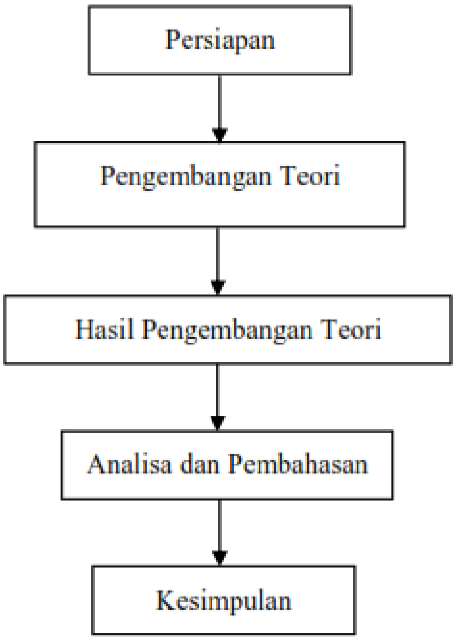
Persamaan Schrodinger dalam mekanika kuantum telah memberikan deskripsi yang penting tentang keberkaitan antara gelombang dan partikel. Persamaan Schrodinger digunakan untuk mendapatkan fungsi gelombang suatu sistem mikroskopis dari partikel, seperti partikel dalam kotak. Adapun spektrum dan tingkat energi yang diperkenankan dari sebuah partikel yang terkungkung dalam daerah berdimensi tiga (x, y, z) bergantung pada harga bilangan kuantum utama partikel, sehingga nilai energi *E* bagi partikel tersebut memiliki harga-harga tertentu dan harus bersifat diskrit. Pemecahan persamaan Schrodinger menghasilkan fungsi gelombang $\psi(\vec{r}, t)$ yang merupakan fungsi dua variabel ruang dan waktu. Fungsi gelombang ini dapat digunakan untuk menjelaskan tingkat energi dan spektrum energi partikel serta $|\psi(\vec{r}, t)|^2$ dapat dinterpretasikan untuk menentukan probabilitas menemukan partikel pada sembarang titik (Beiser, 2003). Apabila mengetahui probabilitas suatu sistem, dan didalam pengukuran diketahui ada variabel *X* maka nilai ekspektasi bisa ditentukan dengan cara mengintegralkan hasil kali antara variable *X* dan probabilitas tersebut (Singh & Marshman, 2017).

Partikel pada kotak potensial bisa mengalami transisi dari tingkat energi yang satu ke tingkat energi yang lain. Oleh karena itu peluang probabilitas transisi dapat menunjukkan perilaku gerak partikel didalam kotak dengan lintasan yang sama per periodik (Dahiya & Prasad, 2010). Apabila partikel semakin kompleks maka dapat mempengaruhi jumlah gerak osilasi partikel. Keadaan kompleks yang dimaksud adalah bilangan kuantum yang digunakan harus bervariasi (NQZ, 2018). Ketika partikel dalam kotak potensial tiga dimensi dalam keadaan tereksitasi kedua, tereksitasi ketiga, dan seterusnya, maka bisa saja mengalami degenerasi yang jumlahnya berbeda-beda (Zettili, 2009).

Alberto et al. (2011) melakukan penelitian tentang partikel relativistik dalam kotak potensial tiga dimensi dengan menggunakan persamaan Dirac untuk memecahkan masalah spin -1/2 partikel relativistik. Hasil dari penelitian tersebut dapat memecahkan tiga persamaan yang menggabungkan nilai eigen dari partikel Dirac dalam kotak tiga dimensi dengan menggunakan bilangan kuantum non relativistik untuk mengklasifikasikan persamaan tersebut. Model partikel dalam kotak Potensial juga dapat digunakan untuk menentukan tingkat energi pada sumur potensial semikonduktor. Karena, partikel dalam kotak/sumur potensial seringkali digunakan untuk menunjukkan tingkat energi yang terkuantisasi (Ebbens, 2018).

Persamaan schrodinger dapat menyelesaikan secara eksak suatu bentuk potensial sederhana sehingga fungsi-fungsi eigen dan tingkat-tingkat energi bersangkutan dapat ditentukan (Krane et al., 1992). Hamiltonian sistem yang diketahui dalam banyak persoalan tidak menjamin persamaan itu bisa diselesaikan, misalnya karena adanya gangguan kecil seperti medan listrik atau medan magnet yang dapat mengakibatkan sedikit perubahan pada energi dan fungsi eigennya (Salehi, 2011). pada persoalan seperti itu maka harus digunakan teori gangguan atau teori perturbasi. Teori perturbasi dapat menentukan seberapa besar akibat dari kehadiran gangguan terhadap tingkat-tingkat energi dan fungsi-fungsi eigen.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Bagan Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan teori yang bersifat kuantitif. Dengan melakukan studi literatur yang berkaitan dengan teori perturbasi serta mengembangkannya untuk memperhitungkan energi partikel didalam kotak potensial tiga dimensi sehingga menemukan sebuah perhitungan energi partikel dengan menggunakan teori perturbasi. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2020 sampai dengan Juli 2020. Dengan prosedur penelitian sebagai berikut:

a. Persiapan
   Tahap ini adalah mempersiapkan bahan-bahan untuk dijadikan informasi dengan mencari buku-buku literatur, jurnal, internet untuk menambah pengetahuan dan pemahaman mengenai teori perturbasi dan penerapannya pada kotak potensial.
b. Pengembangan teori
   Pada tahap ini dikembangkan teori yang sudah ada mengenai partikel dalam kotak tiga dimensi dengan teori perturbasi untuk mencari tingkat energi.
c. Hasil Pengembangan Teori
   Hasil pengembangan teori diperoleh dari hasil yang dapat dipergunakan untuk menentukan tingkat energi partikel dalam kotak tiga dimensi dengan menggunakan teori perturbasi.
d. Analisa dan pembahasan
   Hasil dari pengembangan teori dan simulasi dianalisis dan dibahas secara runtun.
e. Kesimpulan
   Hasil dari analisis dan pembahasan kemudian disimpulkan untuk menjawab rumusan masalah dalam penelitian.

Agar tidak terjadi kesalahtafsiran dalam penelitian ini, maka perlu adanya definisi operasional variabel. Adapun variabel-variabel yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Tingkat Energi

Tingkat energi adalah deretan semua nilai energi diskrit yang terkuantisasi dan dilabelkan dengan bilangan kuantum tertentu yang berupa bilangan bulat yaitu (*n* = 1,2,3,4,5) dengan persamaan energi $E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{2mL^2}n^2$.

b. Partikel dalam Kotak Tiga Dimensi

Partikel yang berada dalam sumur potensial berhingga dalam kotak tiga dimensi dengan panjang (a = 0,5 Å), lebar (b = 0,5 Å), tinggi (c = 0,5 Å) yaitu dengan pendekatan jari-jari atom hidrogen dalam teori atom Bohr.

c. Teori Perturbasi

Teori perturbasi adalah solusi untuk menemukan berapa besarnya perubahan pada tingkat-tingkat energi akibat dari kehadiran gangguan kecil seperti medan listrik atau medan magnet (Rajasekar & Velusamy, 2014).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Partikel (elektron) diletakkan di dalam sebuah kotak (kubus), maka dinding kotak tersebut akan menjadi simpul yang membatasi elektron, semakin kecil ukuran kotak (kubus) tersebut maka energi elektron akan semakin besar. Jika ukuran kubus sangat besar maka nilai energi partikel (elektron) juga sangat kecil sehingga tingkat energi dan spektrum energi partikel dalam kotak akan tampak kontinu. Hal ini yang disebut sebagai *electron confinement*. *Electron confinement* pada material akan mengubah sifat-sifat material secara fundamental (Phillips & Mandl, 2003).

Teori Perturbasi Bebas Waktu pada Sistem Tak Berdegenerasi

Sebuah sistem memiliki Hamiltonian $\hat{H}^{(0)}$ dengan fungsi-fungsi eigen orthonormal $\left\{\varphi_n^{(0)}\right\}$:

$$\hat{H}^{(0)}\varphi_n^{(0)} = E_n^{(0)}\varphi_n^{(0)} \qquad (1)$$

dengan $\hat{H}^0$ = operator eigen, $\varphi_n^{(0)}$= fungsi eigen, dan $E_n^{(0)}$= nilai eigen. Fungsi eigen ternormalisasi sebagai berikut:

$$\int \varphi_n^{(0)*}\varphi_m^{(0)}dx = \delta_{nm} \qquad (2)$$

karena sesuatu sebab Hamiltonian sistem mendapat gangguan, misalnya $\hat{G}$ yang disebut gangguan terhadap sistem. Dalam aproksimasi ini diambil nilai $\hat{G} \ll \hat{H}^{(0)}$ yaitu gangguan sangat kecil. Total Hamiltonian adalah:

$$\hat{H} = \hat{H}^{(0)} + \gamma\hat{G} \qquad (3)$$

Persamaan (3) γ disebut parameter ekspansi yang berguna untuk menunjukkan orde gangguan (Siregar, 2010).

Sebuah fungsi $\{\varphi_n\}$ adalah fungsi-fungsi eigen dari Hamiltonian total $\hat{H}$, sehingga

$$\hat{H}\varphi_n = \left(\hat{H}^{(0)} + \gamma\hat{G}\right)\varphi_n = E_n\varphi_n \qquad (4)$$

gangguan $\hat{G}$ cukup kecil sehingga akan menimbulkan sedikit perubahan dari $\varphi_n^{(0)}$ menjadi φ_n dan $E_n^{(0)}$ menjadi E_n (Gasiorowicz, 1995). Untuk memperoleh koreksi, dapat dilakukan ekspansi sebagai berikut:

$$\varphi_n = \varphi_n^{(0)} + \sum_{m=1} \gamma^m \phi_n^{(m)} \qquad (5)$$

$$E_n = E_n^{(0)} + \sum_{m=1} \gamma^m E_n^{(m)} \qquad (6)$$

Indeks *m* menyatakan orde koreksi atau tingkat ketelitian baik terhadap fungsi $\varphi_n^{(0)}$ maupun energi $E_n^{(0)}$. Setiap $\phi^{(m)}$ dan setiap $E^{(m)}$ tidak bergantung pada γ, dan setiap $\phi^{(m)}$ dipilih orthogonal terhadap $\varphi_n^{(0)}$. Jika $\gamma = 0$ persamaan (5) dan (6) menjadi $\varphi_n = \varphi_n^{(0)}$ dan $E_n = E_n^{(0)}$ disebut aproksimasi orde-0. Untuk ketelitian yang lebih tinggi maka koreksi orde harus ditingkatkan koreksi orde lebih tinggi yaitu orde-1 dan seterusnya (Griffiths & Griffiths, 2005).

Substitusi persamaan (5) dan (6) ke persamaan (4) akan menghasilkan:

$$\hat{H}^{(0)}\left[\varphi_n^{(0)} + \sum_{m=1} \gamma^m \phi_n^m\right] + \gamma\hat{G}\left[\varphi_n^{(0)} + \sum_{m=1} \gamma^m \phi_n^{(m)}\right]$$
$$= \left[E_n^{(0)} + \sum_{m=1} \gamma^m E_n^{(m)}\right]\left[\varphi_n^{(0)} + \sum_{m=1} \gamma^m \phi_n^{(m)}\right] \qquad (7)$$

Dengan mempersamakan koefisien-koefisien dalam persamaan (7) diperoleh persamaan berikut:

Persamaan yang mengandung komponen γ^0 adalah

$$\left[\hat{H}^{(0)} - E_n^{(0)}\right]\varphi_n^{(0)} = 0 \qquad (8a)$$

Persamaan yang mengandung komponen γ adalah

$$[\hat{H}^{(0)} - E_n^{(0)}]\phi_n^{(1)} = -\hat{G}\varphi_n^{(0)} + E_n^{(1)}\varphi_n^{(0)} \qquad (8b)$$

Persamaan yang mengandung komponen γ^2 adalah

$$[\hat{H}^{(0)} - E_n^{(0)}]\phi_n^{(2)} = -\hat{G}\phi_n^{(1)} + E_n^{(2)}\varphi_n^{(0)} + E_n^{(1)}\phi_n^{(1)} \qquad (8c)$$

Persamaan yang mengandung komponen γ^3 adalah

$$\left[\hat{H}^{(0)} - E_n^{(0)}\right]\phi_n^{(3)} = -\hat{G}\phi_n^{(2)} + E_n^{(3)}\varphi_n^{(0)} + E_n^{(2)}\phi_n^{(1)} + E_n^{(1)}\phi_n^{(2)} \quad (8d)$$

Aproksimasi hingga koreksi orde-1 yang berarti menentukan $\phi_n^{(1)}$ dan $E_n^{(1)}$ yang kemudian disubtitusikan dengan persamaan 8b) adalah

$$\int \varphi_n^{(0)*}[\hat{H}^{(0)} - E_n^{(0)}]\varphi_n^{(1)}dx = -\hat{G}_{nn} + E_n^{(1)} \quad (9a)$$

Dengan

$$\hat{G}_{nn} = \int \varphi_n^{(0)*}\hat{G}\varphi_n^{(0)}dx \qquad (9b)$$

Karena sifat Hermitian dari $\hat{H}^{(0)}$ maka integral sebelah kiri dari persamaan (9a) adalah:

$$\int \varphi_n^{(0)*}\left[\hat{H}^{(0)} - E_n^{(0)}\right]\phi_n^{(1)} dx = \int \left\{\left[\hat{H}^{(0)} - E_n^{(0)}\right]\varphi_n^{(0)}\right\}^* \phi_n^{(1)} dx = 0$$

Jadi, koreksi orde-1 untuk energi eigen adalah:

$$\begin{aligned} E_n^{(1)} &= \hat{G}_{nn} \\ &= \langle \varphi_n^{(0)} \,|\, \hat{G} \,|\, \varphi_n^{(0)} \rangle \qquad (10) \end{aligned}$$

Koreksi orde-1 bagi fungsi memerlukan pendefinisian $\phi_n^{(1)}$ sebagai fungsi yang orthogonal dengan semua $\varphi_m^{(0)}$ dimana *m≠ n*:

$$\phi_n^{(1)} = \sum_{m \neq n} c_{nm}\varphi_m^{(0)} \qquad (11)$$

Subtitusi Persamaan (11) ke persamaan (8b) sehingga menghasilkan

$$\sum_{m \neq n} c_{nm}\left[\hat{H}^{(0)} - E_n^{(0)}\right]\varphi_m^{(0)} = -\hat{G}\varphi_n^{(0)} + E_n^{(1)}\varphi_n^{(0)} \quad (12)$$

dengan $\hat{H}^{(0)} = E_m^{(0)}$ maka didapatkan persamaan berikut

$$\sum_{m \neq n} c_{nm}\left[E_m^{(0)} - E_n^{(0)}\right]\varphi_m^{(0)} = -\hat{G}\varphi_n^{(0)} + E_n^{(1)}\varphi_n^{(0)} \quad (13)$$

Kemudian kedua ruas dikali dengan $\varphi_k^{(0)*}$, dimana *k ≠n* dan $k = m$, lalu diintegral akan diperoleh sebagai berikut:

$$\sum_{m \neq n} c_{nm}\left[E_m^{(0)} - E_n^{(0)}\right]\delta_{km} = -\hat{G}_{kn} + E_n^{(1)}\delta_{kn}$$

$$c_{nk}\left[E_k^{(0)} - E_n^{(0)}\right] = -\hat{G}_{kn}$$

atau

$$c_{nk} = \frac{\hat{G}_{kn}}{E_n^{(0)} - E_k^{(0)}}; k \neq n \qquad (14)$$

Jadi, koreksi orde-1 bagi fungsi $\varphi_n^{(0)}$ seperti ditunjukkan dalam persamaan (11) adalah

$$\phi_n^{(1)} = \sum_{k \neq n} \frac{\hat{G}_{kn}}{E_n^{(0)} - E_k^{(0)}}\varphi_k^{(0)} \qquad (15)$$

dengan $\hat{G}_{kn}$ = 0 untuk $k \neq n$ karena fungsi-fungsi eigen bersifat orthonormal.

Dari persamaan (5), (6), (10) dan (15), approksimasi hingga koreksi orde-1 untuk fungsi dan energi eigen adalah :

$$\varphi_n = \varphi_n^{(0)} + \sum_{k \neq n} \frac{\hat{G}_{kn}}{E_n^{(0)} - E_k^{(0)}}\varphi_k^{(0)} \qquad (16a)$$

$$E_n = E_n^{(0)} + E_n^{(1)} \qquad (16b)$$

Persamaan (16a) harus memenuhi $E_n^{(0)} \neq E_k^{(0)}$; artinya fungsi-fungsi $\varphi_n^{(0)}$ dan $\varphi_k^{(0)}$ nondegenerate (Purwanto, 2019).

Energi Eigen dengan Teori Perturbasi Orde-1

Nilai *E* yang diperkenankan harus taat terhadap hipotesis de Broglie dengan panjang gelombang $\lambda = \frac{h}{p}$ maka dapat diperoleh $E = \frac{p^2}{2m} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$ karena nilai *k* terkuantisasi ke arah *x*, *y* dan *z* dengan $k_x = \frac{n_x \pi}{a}$, $k_y = \frac{n_y \pi}{b}$, $k_z = \frac{n_z \pi}{c}$, maka nilai *E* bagi partikel dalam kotak juga terkuantisasi, sehingga:

$$E_x = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n_x^2,\ E_y = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mb^2} n_y^2,\ E_z = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mc^2} n_z^2 \quad (17)$$

Karena $E = E_x + E_y + E_z$, maka:

$$E \equiv E(n_x, n_y, n_z) = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m} \left(\frac{n_x^2}{a^2} + \frac{n_y^2}{b^2} + \frac{n_z^2}{c^2} \right) (18)$$

dengan n_x, n_y, dan n_z merupakan bilangan kuantum utama bagi sistem partikel di dalam kotak dan kotak berupa kubus dengan panjang sisi $a = b = c = L$, maka persamaan (18) dapat ditulis:

$$E(n_x, n_y, n_z) = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} \left(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 \right) \quad (19)$$

dengan

m : massa elektron ($9{,}1 \times 10^{-31}$ kg)

ħ : $1{,}055 \times 10^{-34}$ J.s

L : lebar kotak (Å), dengan ($L = n^2 L_o$) dan L_o adalah jari-jari atom hidrogen ($0{,}5 \times 10^{-10}$)

Persamaan (19) merupakan energi eigen dalam potensial tiga dimensi sebelum ada gangguan, setelah mendapatkan gangguan berupa potensial penghalang($\hat{G}_0$) dan panjangnya $\left(\frac{L}{4} \text{x} \frac{L}{4} \text{x} \frac{L}{4} \right)$ maka dengan teori pertubasi menggunakan koreksi orde-1 pada adalah sebagai berikut:

$$E_n^{(1)} = \langle \varphi_n^{(0)} \,|\, \hat{G} \,|\, \varphi_n^{(0)} \rangle$$

$$E_{n_x n_y n_z}^{(1)} = \frac{8\hat{G}_0}{L \times L \times L} \int_0^{\frac{L}{4}}\int_0^{\frac{L}{4}}\int_0^{\frac{L}{4}} \left\{ sin^2\left(\frac{n_x \pi}{L} x\right) sin^2\left(\frac{n_y \pi}{L} y\right) sin^2\left(\frac{n_z \pi}{L} z\right) \right\} dxdydz$$

$$= \frac{8\hat{G}_0}{L^3} \int_0^{L/4} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2n_x \pi}{L} x \right) \right) dx \int_0^{L/4} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2n_y \pi}{L} y \right) \right) dy \int_0^{L/4} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2n_y \pi}{L} y \right) \right) dz$$

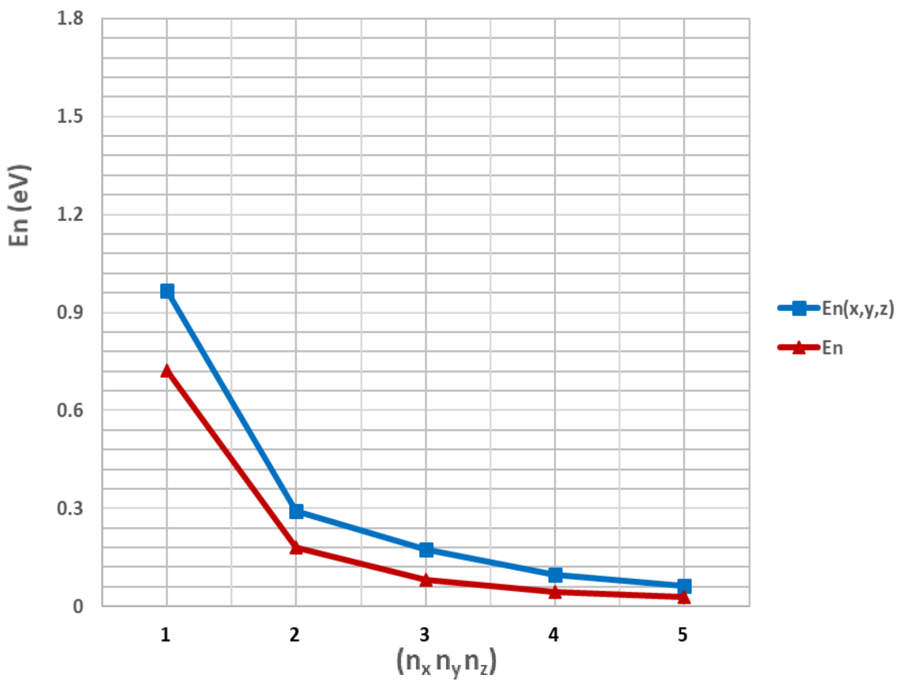
$$= \frac{8\hat{G}_0}{L^3}\left(\left(\frac{1}{2}x - \frac{L}{4n_x\pi}\sin\left(\frac{2n_x\pi}{L}x\right)\right)\Big|_0^{L/4}\right)\left(\left(\frac{1}{2}y - \frac{L}{4n_y\pi}\sin\left(\frac{2n_y\pi}{L}y\right)\right)\Big|_0^{L/4}\right)\left(\left(\frac{1}{2}z - \frac{L}{4n_z\pi}\sin\left(\frac{2n_z\pi}{L}z\right)\right)\Big|_0^{L/4}\right)$$

$$= \hat{G}_0\left(1 - \frac{2}{n_x\pi}\sin\left(\frac{n_x\pi}{2}\right)\right)\left(1 - \frac{2}{n_y\pi}\sin\left(\frac{n_y\pi}{2}\right)\right)\left(1 - \frac{2}{n_z\pi}\sin\left(\frac{n_z\pi}{2}\right)\right)$$

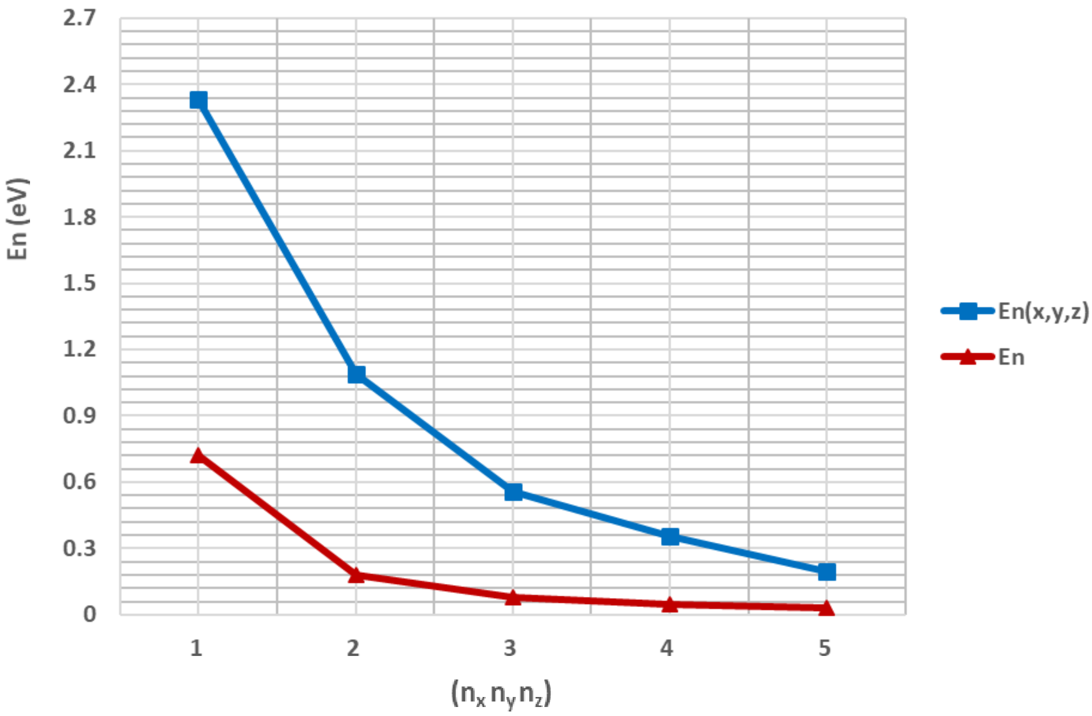
Maka energi tingkat ke $n_x n_y n_z$ partikel dalam kotak tiga dimensi adalah sebagai berikut:

$$E_{n_x n_y n_z} = \frac{\pi^2\hbar^2}{2mL^2}\left(n_x^2+n_y^2+n_z^2\right) + \hat{G}_0\left(1 - \frac{2}{n_x\pi}\sin\left(\frac{n_x\pi}{2}\right)\right)\left(1 - \frac{2}{n_y\pi}\sin\left(\frac{n_y\pi}{2}\right)\right)\left(1 - \frac{2}{n_z\pi}\sin\left(\frac{n_z\pi}{2}\right)\right) \quad (20)$$

Dengan demikian dapat dihitung dan digambarkan pola distribusi ruang partikel tersebut sehingga dapat dianalisis gerak maupun penyebaran partikel tersebut. Pada penelitian ini menggunakan teori perturbasi dengan gangguan berupa energi magnet yang dihasilkan karena gerak partikel (elektron) dalam medan magnet intrinsik inti (proton) dan juga dengan gangguan berupa energi magnet ekstrinsik. Akan tetapi dalam penelitian ini fungsi gelombang yang digunakan adalah fungsi gelombang tanpa gangguan dan batas yang digunakan adalah 0 sampai dengan $\frac{1}{4}L$ dengan panjang sisi kotak adalah 0,5 Å. Hal ini didasarkan pada pendekatan jari-jari atom hidrogen dalam teori atom Bohr.



Gambar 2. Grafik Tingkat Energi Partikel Kotak Tiga Dimensi orde bilangan kuantum (1,2,3,4,5) dengan Gangguan Potensial berupa Energi Magnet Intrinsik



Gambar 3. Grafik Tingkat Energi Partikel Kotak Tiga Dimensi orde bilangan kuantum (1,2,3,4,5) dengan Gangguan Potensial berupa Energi Magnet Ekstrinsik

Berdasarkan data perhitungan komputasi pada Gambar 2, nilai energi dari partikel (elektron) dalam kotak dipengaruhi oleh gangguan yang menyebabkan adanya perubahan kecil pada energi totalnya. Pada penelitian ini gangguan yang dimaksud adalah energi magnet yang dihasilkan karena gerak partikel (elektron) dalam medan magnet intrinsik inti (proton), yang pengaruhnya terhadap nilai energi sangat kecil dan hampir tidak tampak dikarenakan nilai gangguan energi magnet ini sangat kecil. Gambar 3, sudah menunjukkan perubahan pada nilai energi dari partikel (elektron), dikarenakan gangguan yang digunakan adalah energi magnet ekstrinsik dengan medan magnet yaitu kelipatan 10 (Tesla).

Nilai energi dari partikel (elektron) dalam kotak selain bergantung pada ukuran kotak dan gangguannya juga bergantung pada bilangan kuantum utama partikel (keadaan eksitasi). Keadaan eksitasi bukan keadaan stabil, semakin tinggi eksitasinya energi partikel semakin kecil ditunjukkan pada (Gambar 2 dan 3) yang artinya semakin lama elektron bergerak menyebabkan energi partikel (elektron) tersebut semakin berkurang. Elektron hanya bertahan beberapa saat dikeadaan eksitasi setelah itu kembali ke keadaan awal. Proses ini disebut deeksitasi atau rekombinasi. Pada saat deeksitasi ini dilepaskan energi yang bisa berupa panas (getaran atom-atom dalam bahan) atau bisa berupa pemancaran. Deeksitasi yang disertai pelepasan panas disebut *radiationless transition,* sedangkan deeksitasi yang disertai pemancaran gelombang elektromagnetik disebut *radiative transition*. Pada transisi radiatif, energi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan kira-kira sama dengan lebar celah pita energi, yaitu $hf \approx E_g$. Semakin kecil ukuran kotak (kubus) maka energi elektron tersebut akan semakin besar, yang berarti ketika elektron tersebut jatuh dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah dan memancarkan foton, maka energi foton tersebut juga semakin besar, yang berarti panjang gelombangnya semakin pendek (*blue shifted*).

KESIMPULAN

Energi partikel selain dipengaruhi oleh bilangan kuantum (n_x, n_y dan n_z) dan ukuran kotak juga dipengaruhi oleh gangguan yang menyebabkan adanya perubahan kecil pada energi totalnya. Pada penelitian ini gangguan yang dimaksud adalah energi magnet yang dihasilkan karena gerak partikel (elektron) dalam medan magnet intrinsik inti (proton), yang pengaruhnya terhadap nilai energi sangat kecil dan hampir tidak tampak dikarenakan nilai gangguan energi magnet ini sangat kecil. Sedangkan untuk gangguan yang lebih besar yaitu energi magnet ekstrinsik dengan kelipatan 10 (Tesla) sudah menunjukkan perubahan pada energi totalnya. Teori perturbasi dibatasi hanya pada koreksi orde satu saja sehingga tingkat ketelitiannya lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan koreksi orde yang lebih tinggi. Semakin lebar ukuran kotak maka energi yang dimiliki partikel semakin kecil sehingga tingkat energi dan spektrum energi partikel dalam kotak akan tampak kontinu. Hal ini yang disebut sebagai *electron confinement*.

DAFTAR PUSTAKA

Alberto, P., Das, S., & Vagenas, E. C. (2011). Relativistic particle in a three-dimensional box. *Physics Letters A, 375*(12), 1436-1440.

Beiser, A. (2003). *Concepts of Modern Physics* (6 ed.). McGraw-Hill. https://books.google.co.id/books?id=hjStQgAACAAJ

Dahiya, B., & Prasad, V. (2010). Dynamics of Particle in a Box in Time Varying Potential Due to Chirped Laser Pulse. *Journal of Modern Physics, 1*(6), 372-378.

Ebbens, A. (2018). Using 'particle in a box'models to calculate energy levels in semiconductor quantum well structures. *Physics Education, 53*(4), 045018.

Gasiorowicz, S. (1995). *Quantum Physics*. Wiley. https://books.google.co.id/books?id=BPCFQgAACAAJ

Griffiths, D. J., & Griffiths, P. D. J. (2005). *Introduction to Quantum Mechanics*. Pearson Prentice Hall. https://books.google.co.id/books?id=-BsvAQAAIAAJ

Krane, K. S., Waspakrik, H. J., & Miksolihin, S. (1992). *Fisika modern*. UI-Press. https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=379992#

NQZ, R. A. (2018). *Pengantar Mekanika Klasik*. UGM PRESS. https://books.google.co.id/books?id=sntlDwAAQBAJ

Phillips, A. C., & Mandl, F. (2003). *Introduction to Quantum Mechanics*. Wiley. https://books.google.co.id/books?id=Sdw9AQAAIAAJ

Purwanto, A. (2019). *Fisika Kuantum*. Gavamedia.

Rajasekar, S., & Velusamy, R. (2014). *Quantum Mechanics I: The Fundamentals*. CRC Press. https://books.google.co.id/books?id=hdjMBQAAQBAJ

Salehi, H. (2011). Determine the eigen function of Schrodinger equation with non-central potential by using NU method. *Applied Mathematics, 2*(08), 999.

Singh, C., & Marshman, E. (2017). Student difficulties with determining expectation values in quantum mechanics. *arXiv preprint arXiv:1701.01409*.

Siregar, R. E. (2010). *Teori dan Aplikasi Fisika Kuantum*. Widya Padjadjaran. https://scholar.google.com/citations?user=j_x57zsAAAAJ&hl

Zettili, N. (2009). *Quantum Mechanics: Concepts and Applications*. Wiley. https://books.google.co.id/books?id=6jXlpJCSz98C