PROBABILITAS PARTIKEL DALAM KOTAK TIGA DIMENSI PADA BILANGAN KUANTUM n≤5

Indah Kharismawati, Bambang Supriadi, Rif'ati Dina Handayani

Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember
email: schrodinger_risma@yahoo.com

Abstract: The goals of this research were to determine the particle probability density in three-dimensional box not perturbation on interval 0 until L/4 in quantum number n≤5. Type of this research was pure literature review research. The research method of Simpson rule at Matlab program. The result of the research were the probability to find particle (electron) in three dimensions box had determined by width size box (the position of particle) in position (*x*, *y*, *z*) so founded probability density depend on quantum number (n_x, n_y, n_z).

Keywords: probability, particle three-dimensional box, perturbation theory.

PENDAHULUAN

Fisika klasik yang diformulasikan oleh Newton dan selanjutnya dikembangkan oleh Lagrange dan Hamiltonian sangat sukses dalam menjelaskan gerak dinamis benda-benda makroskopis. Dalam fisika klasik hukum-hukum yang mengatur keadaan gelombang dan partikel sama sekali berbeda, karena tidak bisa menjelaskan sifat-sifat atom dan molekul serta interaksinya dengan radiasi elektrodinamika. Perbedaan pokok antara mekanika klasik dan mekanika kuantum terletak pada cara menggambarkannya. Dalam mekanika klasik, masa depan partikel telah ditentukan oleh kedudukan awal, momentum awal serta gaya-gaya yang beraksi padanya. Dalam dunia makroskopik kuantitas ini dapat ditentukan dengan ketelitian yang cukup sehingga mendapatkan ramalan mekanika klasik yang cocok dengan pengamatan (Beiser, 1991).

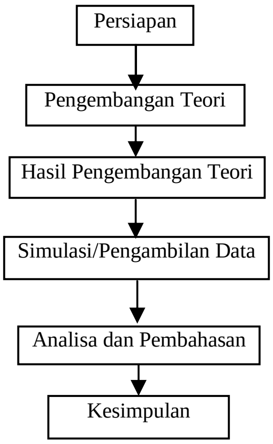
Mekanika kuantum juga menghasilkan hubungan antara kuantitas yang teramati, tetapi prinsip ketidakpastian menyarankan bahwa kuantitas teramati bersifat berbeda dalam kawasan atomik. Teori kuantum mensyaratkan bahwa, dalam lingkup mikroskopik, partikel harus mematuhi pula hukum-hukum yang berlaku bagi gelombang. Percobaan-percobaan fisika telah banyak dilakukan untuk membuktikan sifat partikel dari gelombang (*dualisme* gelombang-partikel), diantaranya adalah efek fotolistrik dan efek Compton. Percobaan-percobaan tersebut menjelaskan bahwa gelombang dan partikel tidak berdiri sendiri, keduanya memiliki kaitan fundamental yang memungkinkan tidak bisa dilihat kapan itu sebagai partikel kapan itu sebagai gelombang (Krane,1992). Pada tahun 1924 Louis de Broglie mengajukan bahwa partikel suatu unsur dengan momentum *p* dapat berperilaku sebagai gelombang dengan panjang gelombang $\lambda = \frac{\hbar}{p}$ dan panjang gelombang ini dikenal sebagai panjang gelombang de Broglie dari partikel. Secara gemilang pada tahun (1927) Davisson dan Germer membuktikan gelombang de Broglie melalui difraksi berkas elektron yang melalui kristal Ni sebagaimana yang ditunjukkan oleh cahaya bila melalui kisi difraksi.

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. Fungsi gelombang ini dapat digunakan untuk menjelaskan tingkat dan spektrum energi partikel serta $|\psi(\vec{r},t)|^2$ dapat diinterpretasikan untuk menentukan probabilitas menemukan partikel pada sembarang titik.

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 mengakibatkan sedikit perubahan pada energi dan fungsi eigennya, sehingga harus digunakan teori gangguan (perturbasi). Teori perturbasi dapat menentukan seberapa besar akibat dari kehadiran gangguan terhadap tingkat-tingkat energi dan fungsi-fungsi eigen (Gasiorowicz,1996). Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian dengan judul: ”Penentuan Probabilitas Partikel dalam Kotak 3 Dimensi dengan Teori Perturbasi pada Bilangan Kuantum n≤5”.

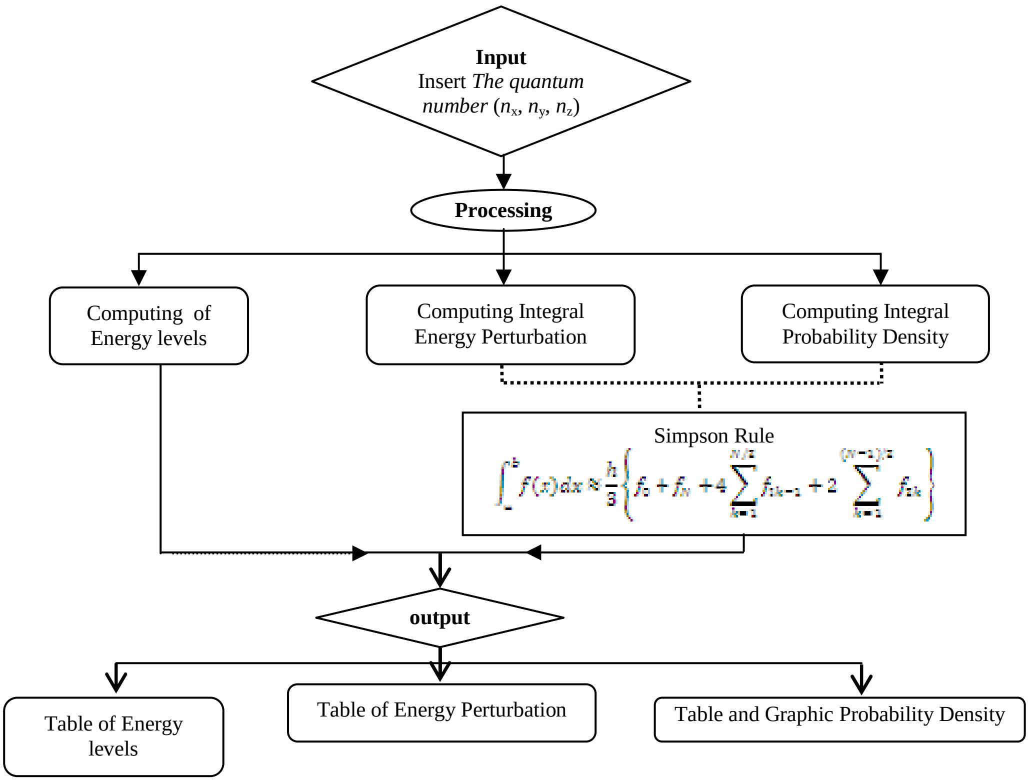
METODE

Langkah-langkah Penelitian



Gambar 1. Langkah-langkah penelitian.

Flowchart Simulasi Komputasi Numerik



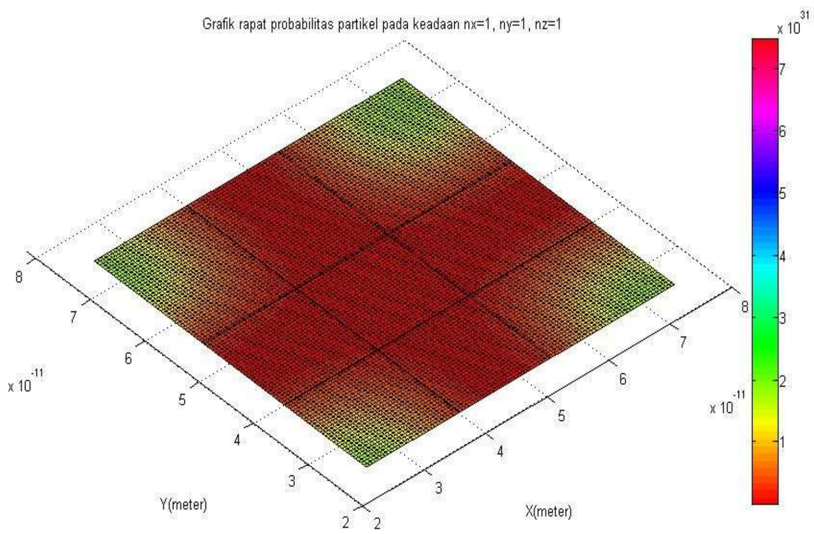
Gambar 2. Flowchart simulasi komputasi numerik.

Tabel 1. Data harga probabilitas dan tingkat energi partikel dalam kotak tiga dimensi.

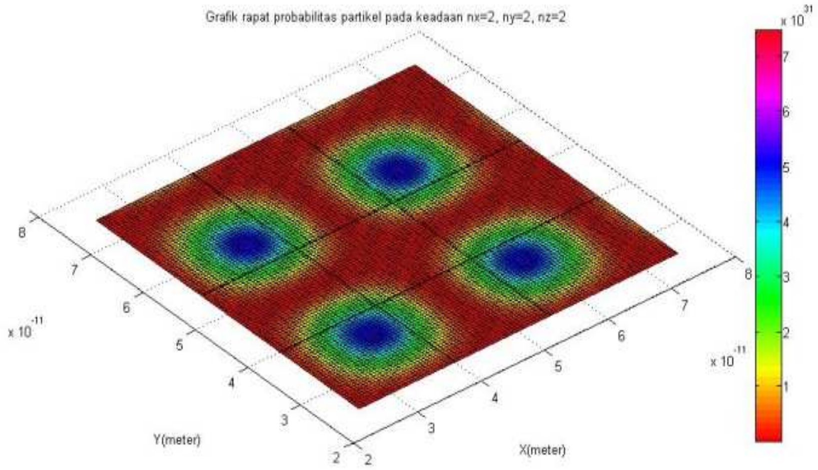
Bilangan Kuantum Utama Partikel ($n_x\, n_y\, n_z$)	**Fungsi Gelombang Partikel dalam Kotak Tiga Dimensi** $\psi(x,y,z)$	**Probabilitas *(P)***
1 1 1	$\sqrt{\frac{8}{L^3}}\sin\left(\frac{\pi}{L}x\right)\sin\left(\frac{\pi}{L}y\right)\sin\left(\frac{\pi}{L}z\right)$	0.0007476240
2 2 2	$\sqrt{\frac{8}{L^3}}\sin\left(\frac{2\pi}{L}x\right)\sin\left(\frac{2\pi}{L}y\right)\sin\left(\frac{2\pi}{L}z\right)$	0.0156250000
3 3 3	$\sqrt{\frac{8}{L^3}}\sin\left(\frac{3\pi}{L}x\right)\sin\left(\frac{3\pi}{L}y\right)\sin\left(\frac{3\pi}{L}z\right)$	0.0278181270
4 4 4	$\sqrt{\frac{8}{L^3}}\sin\left(\frac{4\pi}{L}x\right)\sin\left(\frac{4\pi}{L}y\right)\sin\left(\frac{4\pi}{L}z\right)$	0.0156250000
5 5 5	$\sqrt{\frac{8}{L^3}}\sin\left(\frac{5\pi}{L}x\right)\sin\left(\frac{5\pi}{L}y\right)\sin\left(\frac{5\pi}{L}z\right)$	0.0103887720

HASIL DAN PEMBAHASAN

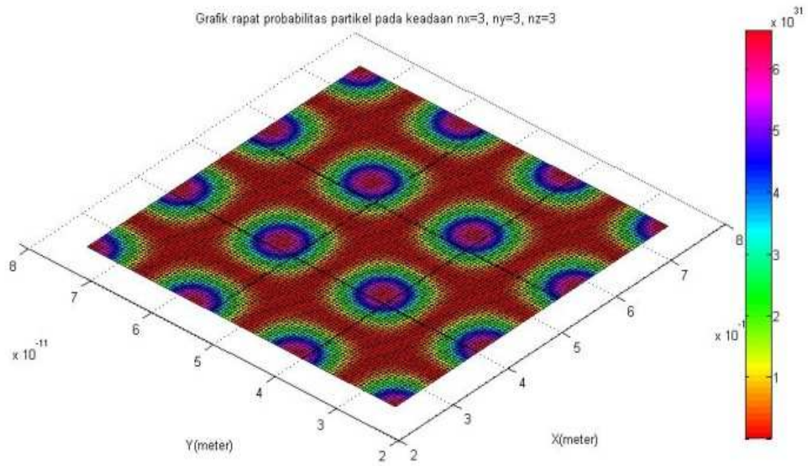
Hasil simulasi numerik ditunjukkan pada table 1. Elektron memiliki fungsi gelombang sebagai hasil penjumlahan paket-paket gelombangnya dengan energi dan frekuensi tertentu, dari fungsi gelombang tersebut dapat ditentukan probabilitas elektron. Probabilitas untuk menemukan partikel (elektron) ditentukan oleh kuadrat fungsi gelombang $\psi(x,y,z)$ dan ditentukan oleh ukuran lebar kotak (posisi partikel) sehingga akan didapatkan *rapat probabilitas* (probabilitas per satuan volume) untuk menemukan partikel pada kedudukan (x,y,z). Dengan demikian dapat dihitung dan digambarkan pola distribusi ruang partikel tersebut sehingga dapat dianalisis gerak maupun penyebaran partikel tersebut. Pada penelitian ini fungsi gelombang yang digunakan adalah fungsi gelombang tanpa gangguan dan batas yang digunakan adalah 0 sampai dengan ¼*L* dengan panjang sisi kotak adalah 0,5 Å. Hal ini didasarkan pada pendekatan jari-jari atom hidrogen dalam teori atom Bohr. Berikut adalah grafik rapat probabilitas menemukan elektron dalam kotak tiga dimensi.



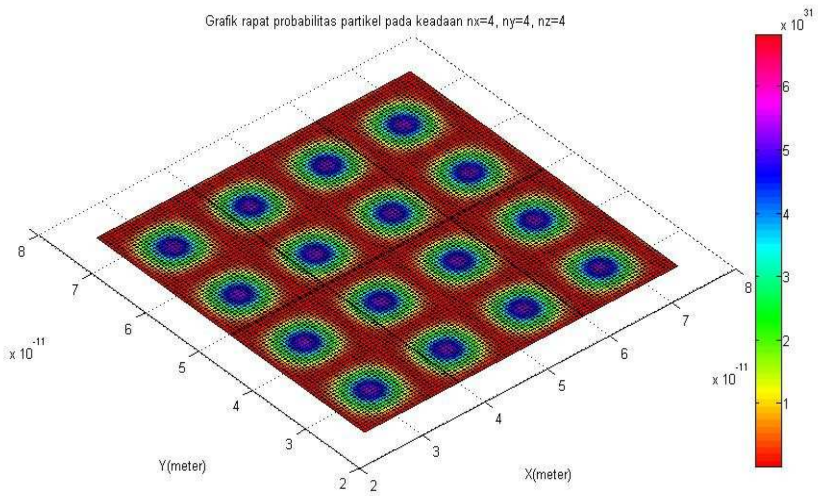
Gambar 1. Rapat probabilitas menemukan partikel (elektron) pada keadaan kuantum n_x = 1, n_y = 1, dan n_z = 1.



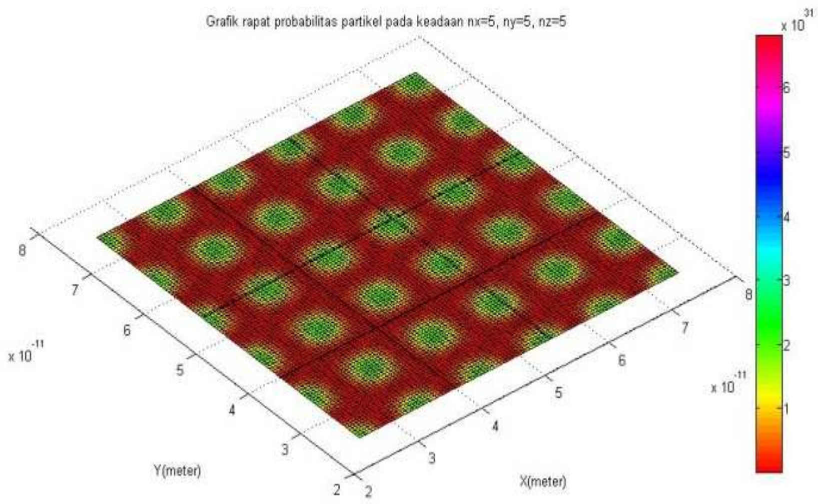
Gambar 2. Rapat probabilitas menemukan partikel (elektron) pada keadaan kuantum $n_x = 2$, $n_y = 2$, dan $n_z = 2$.



Gambar 3. Rapat probabilitas menemukan partikel (elektron) pada keadaan kuantum $n_x = 3$, $n_y = 3$, dan $n_z = 3$



Gambar 4. Rapat probabilitas menemukan partikel (elektron) pada keadaan kuantum $n_x = 4$, $n_y = 4$, dan $n_z = 4$.



Gambar 5. Rapat probabilitas menemukan partikel (elektron) pada keadaan kuantum n_x = 5, n_y = 5, dan n_z = 5

Berdasarkan grafik pada gambar 1; gambar 2; gambar 3; gambar 4; dan gambar 5, rapat probabilitas untuk menemukan partikel dalam kotak tiga dimensi bergantung pada bilangan kuantum (n_x, n_y dan n_z). Jika partikel berada pada keadaan tereksitasi, maka probabilitas untuk menemukan partikel (elektron) dalam kotak juga berubah bervariasi, bergantung pada keadaan tereksitasi tertentu. Keadaan tereksitasi kedua memiliki harga probabilitas terbesar (seperti pada tabel 1) yang menunjukkan bahwa pada keadaan ini elektron menempati ruang yang tepat yaitu partikel memiliki harga amplitudo terbesar sehingga elektron paling mudah ditemukan, untuk keadaan tereksitasi pertama dan ketiga memiliki harga probabilitas yang sama dikarenakan sama-sama memiliki bilangan kuantum genap yang menunjukkan bahwa peluang untuk menemukan partikel lebih kecil dibandingkan keadaan tereksitasi kedua. Dalam penelitian ini diambil sampai pada keadaan tereksitasi keempat yang tidak terdegenerasi artinya bilangan kuantum partikel tereksitasi seluruhnya. Jika bilangan kuantum partikel tereksitasi sebagian, maka partikel tersebut berada pada keadaan terdegenerasi (*degenérate state*), yaitu suatu keadaan dengan bilangan kuantum yang berbeda dengan harga energi yang sama.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disimpulkan probabilitas untuk menemukan partikel (elektron) dalam kotak tiga dimensi ditentukan oleh ukuran lebar kotak (posisi partikel) sehingga akan didapatkan *rapat probabilitas* (probabilitas per satuan volume) untuk menemukan partikel pada kedudukan (x, y, z). Dengan demikian, dapat dihitung dan digambarkan pola distribusi ruang partikel tersebut di setiap titik, sehingga dapat dianalisis gerak maupun penyebaran partikel tersebut. Rapat probabilitas untuk menemukan partikel dalam kotak tiga dimensi bergantung pada bilangan kuantum (n_x, n_y dan n_z). Dalam penelitian ini diambil sampai pada keadaan tereksitasi keempat yang tidak terdegenerasi artinya bilangan kuantum partikel tereksitasi seluruhnya, jika partikel berada pada keadaan tereksitasi maka probabilitas untuk menemukan partikel (elektron) dalam kotak juga berubah bervariasi bergantung pada keadaan tereksitasi tertentu.

Probabilitas untuk menemukan partikel pada keadaan dasar paling kecil dibandingkan dengan keadaan yang lain dikarenakan partikel memiliki harga amplitudo terkecil, sedangkan peluang terbesar terdapat pada keadaan eksitasi kedua dikarenakan elektron menempati ruang yang tepat yaitu partikel memiliki harga amplitudo terbesar sehingga elektron mudah ditemukan. Amplitudo gelombang-partikel pada sembarang titik berkaitan dengan probabilitas untuk menemukan partikel pada sembarang titik tersebut, bahwa intensitas sebuah gelombang berbanding lurus dengan kuadrat amplitudo gelombang-partikel tersebut.

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan di atas, maka saran yang dapat diajukan kepada peneliti selanjutnya yaitu mengembangkan fungsi gelombang dengan menggunakan gangguan orde koreksinya dan sebaiknya orde koreksi yang dikembangkan lebih tinggi agar mendapatkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Beiser, A. 2003. *Concepts of Modern Physics.* Sixht Edition. New York: McGraw-Hill.

Gasiorowicz, S. 1996. *Quantum Phisics.*New York: John Wiley and Sons.

Krane, K. S. 1992. *Fisika Modern.* Jakarta: Universitas Indonesia Press.