

## Nilai Ekspektasi Momentum Elektron Atom Tritium Dalam Ruang Momentum Dengan Bilangan Kuantum Utama $n \leq 3$

Bambang Supriadi<sup>1\*</sup>, Novita Risna Sari<sup>2</sup>, dan Evie Rahmawati<sup>3</sup>, Hana Mardhiana<sup>4</sup>, Wildatul Firdausyah<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember

\* E-mail: [bambangsupriadi.fkip@unej.ac.id](mailto:bambangsupriadi.fkip@unej.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji nilai ekspektasi momentum elektron dalam atom tritium. Dari hasil perhitungan simulasi numerik didapatkan hasil perhitungan nilai ekspektasi momentum dengan variasi bilangan kuantum utama ( $n$ ) dan interval momentum ( $p_0$ ). Hasil analisis menunjukkan bahwa ketika  $l = 0$  dengan batas interval yang sama pada ( $p_0$ ), nilai ekspektasi momentum elektron cenderung menurun seiring dengan peningkatan bilangan kuantum utama ( $n$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi energi elektron dalam atom tritium, semakin kecil nilai ekspektasi momentumnya. Selain itu, jika dilihat dari kenaikan interval momentum, ditemukan bahwa nilai ekspektasi momentum cenderung meningkat seiring dengan peningkatan interval momentum ( $p_0$ ). Penelitian ini juga membandingkan nilai ekspektasi momentum untuk setiap nilai  $n$  pada interval ( $p_0$ ) yang sama, dan hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar bilangan kuantum utama ( $n$ ), semakin kecil nilai ekspektasi momentumnya. Dalam konteks ini, semakin tinggi energi elektron (nilai  $n$ ) dalam atom tritium, semakin kecil nilai ekspektasi momentumnya. Temuan ini memberikan pemahaman lebih lanjut tentang hubungan antara bilangan kuantum utama, interval momentum, dan nilai ekspektasi momentum dalam konteks atom tritium.

**Kata kunci:** Nilai Ekspektasi; Momentum; Tritium; Kuantum

### Abstract

*This study aims to examine the expectatatom value of electron momentum in tritium atoms. From the results of numerical simulatatom calculatatoms, the calculatatom results of the expected value of momentum with variatatoms in the main quantum number ( $n$ ) and momentum interval and momentum interval ( $p_0$ ) are obtained. The analysis shows that when  $l = 0$  with the same interval limit at  $l = 0$  with the same interval limit at ( $p_0$ ), the expected value of electron momentum tends to decrease as the main quantum number ( $n$ ) increases. This indicates that the higher the energy of the electron in the tritium atom, the smaller the expected value of its momentum. In additatom, when viewed from the increase in momentum interval, it is found that the expected value of momentum tends to increase along with the increase in momentum interval ( $p_0$ ). This study also compares the expected value of momentum for each value of  $n$  at the same interval ( $p_0$ ) and the results show that the larger the main quantum number ( $n$ ), the smaller the expected value of momentum. In this context, the higher the electron energy ( $n$  value) in the tritium atom, the smaller the momentum expectatatom value. These findings provide further understanding of the relatatomship between the principal quantum number, momentum interval, and momentum expectatatom value in the context of the tritium atom.*

**Keywords:** *Expected Value; Momentum; Tritium; Quantum*

## PENDAHULUAN

Mekanika klasik dan mekanika kuantum memberikan gambaran yang berbeda tentang dunia fisika. Mekanika klasik memungkinkan prediksi yang eksak dalam menentukan jalur gerak partikel di masa depan, sementara mekanika kuantum menggambarkan probabilitas gerakan partikel dan memerlukan interpretasi yang cermat. Perkembangan teori fisika salah satunya yakni mengenai teori mekanika kuantum yang dapat menjelaskan keterkaitan antara partikel dan gelombang (Damayanti et al., 2019). Teori mekanika-kuantum untuk atom yang dikembangkan dalam waktu singkat telah memberikan sumbangan yang cukup besar dalam memahami permasalahan mengenai alam semesta juga yang menyangkut gejala atomik (Kurniawan & Muhammad Nur, 2005).

Teori kuantum adalah teori yang mempelajari keterkaitan antara gelombang dan partikel. Elemen yang paling umum dan sederhana di alam semesta adalah hidrogen (Pratikha et al., 2022). Era perkembangan teori mekanika kuantum yang paling berpengaruh saat ini adalah gejala atom hidrogen (Pandiangan & Supriyadi, 2006). Atom Hidrogen biasanya digunakan untuk menjelaskan keterkaitan gelombang dan partikel. Atom hidrogen merupakan atom yang memiliki 1 electron. Sehingga dalam perhitungannya sederhana dikarenakan struktur atom hidrogennya lebih sederhana. Simbol atom hidrogen yaitu ( $H_1^1$ ) yang berarti bahwa hidrogen merupakan atom yang paling ringan dan sederhana karena memiliki sebuah elektron serta sebuah proton sebagai intinya. Atom Hidrogenik adalah atom yang melepaskan semua kecuali satu elektronnya. Dengan kata lain, atom ini memiliki satu elektron seperti pada atom Hidrogen. Walaupun sistem ini terdiri dari satu elektron, pada kenyataannya sistem ini memiliki dua partikel, yaitu inti atom dan electron. Telaah mikroskopis atom hidrogen dengan menggunakan persamaan Schrödinger sejauh ini telah dikerjakan dengan baik secara analitik (Supriyadi et al., 2006). Atom hidrogen memiliki 2 isotop yaitu deuterium dan tritium yang sama sama memiliki satu elektrom. Sehingga kedua atom tersebut dapat digolongkan kedalam atom hidrogenik, yaitu atom yang memiliki sifat mirip dengan hidrogen. Sehingga persamaan-persamaan atau suatu hal yang berlaku dalam atom hidrogen juga berlaku pada kedua isotop atom hidrogen tersebut. Perbedaan antara deuterium dan tritium dapat diketahui dari sifat fisik dan kimia, seperti massa jenis, titik didih, titik leleh, dan frekuensi spektroskopi

Salah satu isotop hidrogen yaitu deuterium dengan simbol D atau  $^2H$  yang memiliki sifat kuantum mirip dengan atom hidrogen (Saputra et al., 2019). Selain itu adapula atom lain yang bersifat hidrogenik yaitu atom tritium dengan symbol T atau  $^3H$ . Hidrogen adalah satu-satunya unsur yang memiliki isotop dengan nama yang berbeda namun masih umum digunakan saat ini. Isotop dengan nomor massa 2 disebut deuterium, sedangkan isotop dengan nomor massa 3 disebut tritium.

Deuterium memiliki berat dua kali lipat dari hidrogen biasa. Atom hidrogen memiliki energi yang besar sebagaimana bom hidrogen yang memiliki tenaga dari reaksi fusi atom hidrogen yang besar yang dinamakan deuteron (Karomah et al., 2021). Deuteron atau inti Deuterium merupakan inti sederhana dengan dua nukleon yaitu proton dan neutron (Rasito, 2003). Atom deuterium memiliki peranan yang sangat penting salah satunya yakni produksi air berat (Fuadah et al., 2018). Selain itu juga untuk bahan bakar reaksi nuklir, dan studi spektroskopi inframerah dan resonansi magnetik nuklir (NMR) Dalam reaktor fusi deuterium - tritium, deuterium dapat disuplai dari air laut, tetapi tritium harus diproduksi di dalam reaktor fusi itu sendiri karena hanya ada sedikit tritium di alam. Untungnya, tritium bisa diproduksi oleh reaksi nuklir neutron dengan Li (Katayama et al., 2023).

Tritium adalah isotop radio hidrogen dengan waktu paruh 12,3 tahun dan energi maksimum partikel  $\beta$  sebesar 18,6 keV (Badun et al., 2012). Atom tritium sangat langka di alam dan hanya terbentuk dalam jumlah kecil ketika sinar kosmik berinteraksi dengan molekul nitrogen di atmosfer. Atom Tritium dapat diproduksi secara artifisial dengan menyinari logam litium atau keramik litium dalam reaktor nuklir. Dalam aplikasinya atom tritium memiliki peranan penting salah satunya yaitu sebagai bahan bakar untuk reaksi fusi nuklir, campuran pembuatan jam tangan militer dan pilot, pembuatan baterai nuklir, alat pelacak radioaktif serta dapat diaplikasikan untuk baterai betavoltaics (Nano Tritium Battery) dan untuk menentukan umur air tanah (Utami et al., 2019).

Dewasa ini, perkembangan riset tentang pemanfaatan reaksi inti sangat pesat, hal ini disebabkan oleh makin meningkatnya kebutuhan energi dan penggunaan radionuklida. Reaksi inti

yang melibatkan atom dan penyusun-penyusunnya haruslah dikaji terus dan lebih lanjut (Kurniawan & Muhammad Nur, 2005). Mayoritas penyelidikan kuantum telah dilakukan dalam ruang posisi (ruang-r). Namun, keadaan suatu sistem dalam mekanika kuantum juga bisa dijelaskan oleh suatu fungsi yang bergantung pada elektron momentum (ruang-p). Teori transformasi menyediakan hubungan antara formulasi ruang-p dan ruang-r. Artinya, fungsi gelombang dalam ruang-p dapat diperoleh dari fungsi gelombang dalam ruang-r melalui transformasi Fourier (Garcfa De La Vega & Miguel, 1998).

Fungsi gelombang atom tritium dalam ruang momentum diperoleh dengan mentransformasikan fungsi gelombang atom tritium dalam ruang posisi menggunakan transformasi Fourier (Hage-Hassan, 2008). Persamaan transformasi dari ruang posisi ke momentum untuk gerak satu dimensi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \int \varphi(p) e^{\frac{ipx}{\hbar}} dp \quad (1)$$

$$\varphi(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \int \psi(x) e^{-\frac{ipx}{\hbar}} dx \quad (2)$$

Persamaan (2) adalah persamaan yang diperoleh dari invers persamaan (1). Misalkan :

$$p_x = p \sin\theta \cos\Phi \quad (3)$$

$$p_y = p \sin\theta \sin\Phi \quad (4)$$

$$p_z = p \cos\theta \quad (5)$$

jika diketahui bahwa fungsi gelombang dalam ruang posisi ( $\psi_{n,l,m}(r, \theta, \phi)$ ) yaitu:

$$\psi_{n,l,m}(r, \theta, \phi) = \frac{(2\gamma)^{l+1}}{(n+l)!} \sqrt{\frac{\gamma(n-l-1)!}{n(n+l)!}} e^{-(\gamma r)} r^l [L_{n+l}^{2l+1}(2\gamma r)] \sqrt{\frac{2l+1}{2} \frac{((l-|m|)!)^2}{(l+|m|)!}} \sqrt{\frac{1}{2\pi}} e^{\pm im\phi} p_l^m \cos \theta \quad (6)$$

sehingga diperoleh persamaan seperti dibawah ini :

$$\varphi_{(n,l,m)}(p, \theta, \Phi) = h^{-\frac{3}{2}} \int_0^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} e^{-\left(\frac{i2\pi}{\hbar}rp(\sin\theta\sin\Phi\cos(\Phi-\phi)+\cos\theta\cos\theta)\right)} \sqrt{\frac{1}{2\pi}} e^{\pm im\phi} p_l^m \cos\theta \quad (7)$$

(Podolsky & Pauling, 1929).

Dari persamaan (7) akan didapatkan fungsi gelombang atom Tritium dalam ruang momentum yang dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\varphi(p, \theta, \Phi) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}} e^{\pm im\Phi} \sqrt{\frac{2l+1}{2} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}} p_l^m \cos\theta \frac{\pi (i)^l}{(\gamma\hbar)^{\frac{3}{2}}} 2^{2l+4} l! \left(\frac{n(n-l-1)!}{(n+l)!}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{\zeta^l}{(\zeta^2+1)^{l+2}} C_{n-l-1}^{l+1} \left(\frac{\zeta^2-1}{\zeta^2+1}\right) \quad (8)$$

selanjutnya melakukan substitusi nilai  $\zeta = \frac{2\pi\hbar}{\gamma h}$ , dan  $\gamma = \frac{z}{na_0}$  yang akan diperoleh bahwa persamaan radial momentum dapat ditulis:

$$F_{n,l} = \frac{2^{2l+\frac{5}{2}} l! (n)^{\frac{3}{2}}}{\pi^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{n(n-l-1)!}{(n+l)!}\right)^{\frac{1}{2}} n^l p^l x \frac{p_0^{l+\frac{5}{2}}}{[n^2 p^2 + p_0^2]^{l+2}} C_{n-l-1}^{l+1} \left[\frac{n^2 p^2 - p_0^2}{n^2 p^2 + p_0^2}\right] \quad (9)$$

(Damayanti et al., 2020).

Menurut Damayanti (2020) pada ruang momentum atom Tritium dengan bilangan kuantum  $n \leq 3$  mempunyai 14 fungsi gelombang. Fungsi tersebut terdiri atas 6 fungsi gelombang radial ( $F_{nl}(p)$ ) momentum dan 14 fungsi angular momentum ( $Y_{lm}(\theta_p, \varphi_p)$ ). Dalam fisika kuantum Tritium dengan bilangan kuantum lebih kecil dari 3 ( $n \leq 3$ ) memiliki 14 fungsi gelombang. Yang terdiri dari fungsi gelombang radial dan fungsi gelombang angular. Menurut fungsi gelombang tersebut dapat digunakan untuk mengetahui perilaku elektron didalam atom tritium. Namun fungsi gelombang tersebut belum bisa menjelaskan makna fisis secara langsung mengenai keadaan partikel atau electron. Sehingga masih perlu adanya pengolahan matematis lebih lanjut, misalkan secara mencari probabilitasnya. Dikarenakan sifat kuantum itu berdasarkan kebada tafsiran kemungkinan maka pengukuran probabilitas cenderung dilakukan secara berulang. Dari nilai probabilitas yang telah didapatkan hasil yang diperoleh cenderung memiliki hasil yang berbeda-beda pada setiap

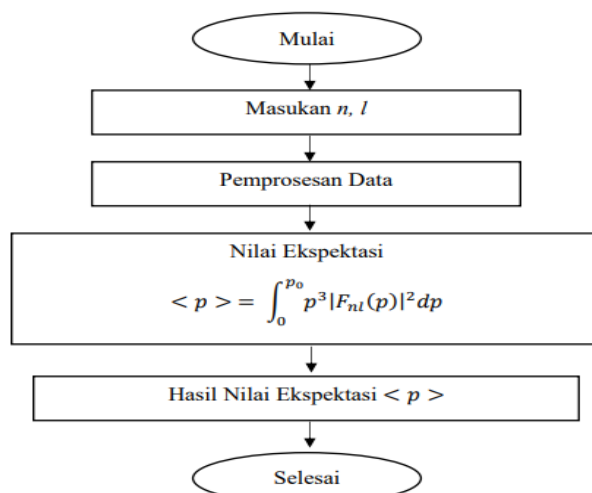
pengukurannya. Kemudian untuk mendapatkan hasil akhirnya diperlukan mencari nilai rata-rata dari pengukuran probabilitas tersebut, dalam kuantum biasanya dikenal dengan istilah nilai ekspektasi. Nilai ekspektasi momentum elektron atom tritium dalam ruang momentum dapat dihitung menggunakan persamaan matematis yang melibatkan bilangan kuantum utama  $n$  dan momentum elektron, yaitu:

$$\langle p \rangle = \int_0^{p_0} p^3 |F_{nl}(p)|^2 dp \quad (10)$$

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa nilai ekspektasi momentum elektron dalam atom hidrogen bergantung pada bilangan kuantum utama ( $n$ ) dan bilangan kuantum momentum sudut ( $l$ ). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengkaji nilai ekspektasi momentum elektron dalam atom tritium.

### METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian menggunakan metode non eksperimental atau metode teoritis yang memanfaatkan studi literatur sebagai sumber informasi dan data. Penelitian ini mengembangkan teori atau model matematika yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Variabel Independen dalam penelitian ini adalah bilangan kuantum utama ( $n$ ) dengan  $n \leq 3$ . Sedangkan untuk variable dependennya yaitu nilai ekspektasi atom tritium dalam ruang momentum  $\langle p \rangle$ . Adapun tahapan dalam penelitian ini yaitu : (a) Studi Literatur : Pada tahap ini dilakukan pengumpulan berbagai referensi baik dari jurnal maupun buku sebagai sumber informasi relevan yang akan menunjang penelitian yang berkaitan dengan nilai ekspektasi momentum pada atom tritium, (b) Validasi Program Simulasi : Validasi dilakukan dengan cara mencocokkan hasil pengembangan teori dengan jurnal penelitian terkait dan buku-buku yang menjadi sumber referensi, Dalam penelitian ini yang menjadi sumber validasi yaitu penelitian oleh Pratikha et al (2022), Damayanti et al (2020), Utami et al (2019), dan Supriadi et al (2019). (b) Tahap Pengambilan Data : Pengambilan data dengan cara memanfaatkan sumber referensi yang kemudian dikembangkan model matematikanya dengan cara perhitungan numerik untuk mendapatkan hasil ekspektasi momentum atom tritium (c) Analisis Data : Analisa Data dilakukan setelah semua bilangan kuantum  $n \leq 3$  telah didapatkan hasilnya. Kemudian dianalisis bagaimana pengaruh bilangan kuantum utama ( $n$ ) terhadap nilai ekspektasi momentum atom tritium  $\langle p \rangle$ . Pada tahap ini akan dibahas secara detail hasil pengumpulan data yang diperoleh dan akan dibahas simulasi numerik secara lebih mendalam secara fisika disertai dengan pembahasan teori mengenai nilai ekspektasi momentum atom tritium Berikut ini merupakan diagram alir untuk nilai ekspektasi dalam ruang momentum untuk atom tritium :



**Gambar 1. Diagram Alir Nilai Ekspektasi Momentum**

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diperoleh hasil penelitian yang berupa besarnya nilai ekspektasi posisi elektron dalam atom tritium. Probabilitas dan nilai ekspektasi berkaitan dengan erat dalam matematika. Perbedaan keduanya yaitu distribusi probabilitas adalah suatu fungsi matematika yang menggambarkan kemungkinan terjadinya suatu kejadian acak atau variabel dalam suatu rentang nilai tertentu dan dapat memberikan informasi tentang seberapa mungkin suatu nilai tertentu atau rentang nilai tertentu akan muncul dalam sejumlah percobaan yang diulang-ulang. Dalam penelitian ini, nilai ekspektasi momentum elektron atom teritium dalam ruang momentum dapat dihitung menggunakan persamaan matematis yang melibatkan bilangan kuantum utama  $n$  dan momentum elektron, yaitu:

$$\langle p \rangle = \int_0^{p_0} p^3 |F_{nl}(p)|^2 dp$$

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa nilai ekspektasi momentum elektron dalam atom hidrogen bergantung pada bilangan kuantum utama ( $n$ ) dan bilangan kuantum momentum sudut ( $l$ ). Semakin besar nilai  $n$ , semakin besar pula nilai ekspektasi momentum elektron. Namun, semakin besar nilai  $l$ , maka nilai ekspektasi momentum elektron semakin kecil. Sementara itu, nilai bilangan kuantum magnetik ( $m$ ) tidak mempengaruhi nilai ekspektasi momentum atom secara langsung, namun mempengaruhi arah momentum elektron di sekitar inti atom. Bilangan kuantum magnetik menentukan arah momentum elektron di sekitar inti atom, namun tidak mempengaruhi besar momentum secara langsung. Hasil perhitungan ini dapat digunakan untuk memprediksi perilaku elektron dalam sistem atom tritium dan memberikan pemahaman lebih lanjut tentang struktur atom dan sifat fisika dari sistem tersebut. Namun dalam mekanika kuantum, tidak mungkin untuk mengetahui posisi pasti dari sebuah partikel, termasuk elektron. Sebaliknya, kita hanya dapat menggambarkan kemungkinan keberadaan partikel tersebut dalam suatu volume atau lokasi di sekitarnya.

Oleh karena itu, kemungkinan posisi elektron dalam atom tritium tidak dapat dijelaskan secara pasti, namun hanya dapat dinyatakan dalam bentuk distribusi probabilitas yang dihasilkan dari fungsi gelombang elektron. Distribusi ini dapat diinterpretasikan sebagai daerah-daerah di sekitar inti atom yang memiliki tingkat kepadatan elektron yang lebih tinggi, dan kemungkinan elektron ditemukan lebih besar di daerah-daerah tersebut. Namun, daerah-daerah ini juga memiliki batas yang kabur dan tidak pasti, sehingga posisi pasti dari elektron dalam atom tritium tidak dapat diketahui secara pasti.

**Tabel 1 Hasil Perhitungan Nilai Ekspektasi Momentum Elektron dalam Tritium**

$p$	$n = 1$		$n = 2$		$n = 3$	
	$l = 0$	$l = 0$	$l = 1$	$l = 0$	$l = 1$	$l = 2$
$p_0$	0.4244124 $p_0$	0.2416295 $p_0$	0.4264894 $p_0$	0.184981 $p_0$	0.247548975 $p_0$	0.3095738103 $p_0$
$2p_0$	0.7605488 $p_0$	0.3251256 $p_0$	0.4518607 $p_0$	0.213765 $p_0$	0.258363109 $p_0$	0.310421351 $p_0$
$3p_0$	0.8250566 $p_0$	0.3361217 $p_0$	0.4552617 $p_0$	0.217210 $p_0$	0.258650773 $p_0$	0.310427489 $p_0$
$4p_0$	0.8403539 $p_0$	0.3383618 $p_0$	0.4526885 $p_0$	0.217879 $p_0$	0.258679762 $p_0$	0.310427868 $p_0$
$5p_0$	0.8451458 $p_0$	0.3390162 $p_0$	0.4527012 $p_0$	0.218067 $p_0$	0.258363109 $p_0$	0.310427913 $p_0$
$6p_0$	0.8469871 $p_0$	0.3392575 $p_0$	0.4527048 $p_0$	0.218133 $p_0$	0.258686492 $p_0$	0.310427910 $p_0$
$7p_0$	0.8478066 $p_0$	0.3393617 $p_0$	0.4527061 $p_0$	0.218159 $p_0$	0.258690574 $p_0$	0.310427899 $p_0$
$8p_0$	0.842136 $p_0$	0.3394120 $p_0$	0.4527068 $p_0$	0.218172 $p_0$	0.258691476 $p_0$	0.310427888 $p_0$
$9p_0$	0.8484333 $p_0$	0.3394385 $p_0$	0.4527071 $p_0$	0.218178 $p_0$	0.258692098 $p_0$	0.310427879 $p_0$

Berdasarkan pada tabel 1 diperoleh data hasil perhitungan nilai ekspektasi momentum elektron dalam atom tritium. Jika ditinjau dari keadaan yang sama pada  $l = 0$  dengan batas interval yang sama pada ( $p_0$ ) maka diperoleh nilai ekspektasi  $n = 1$  sebesar 0.4244124 $p_0$ , untuk  $n = 2$  sebesar 0.2416295 $p_0$ , untuk  $n = 3$  sebesar 0.184981 $p_0$ . Pada  $l = 0$  dengan batas terbesar pada interval yang sama yaitu  $9p_0$  maka diperoleh nilai ekspektasi  $n = 1$  sebesar 0.8484333 $p_0$ , untuk  $n = 2$  sebesar

$0.3394385p_0$ , untuk  $n = 3$  sebesar  $0.218178p_0$ . Jadi semakin besar bilangan kuantum utamanya maka semakin kecil nilai ekspektasinya.

Kemudian jika ditinjau dari kenaikan interval ( $p_0$ ) atau momentumnya diketahui bahwa pada  $n = 1$  nilai terkecil terdapat pada interval ( $p_0$ ) sebesar  $0.4244124p_0$  dan pada nilai terbesar pada interval  $9p_0$  sebesar  $0.8484333p_0$ . Untuk  $n = 2; l = 0$  nilai terkecil terdapat pada interval ( $p_0$ ) sebesar  $0.2416295p_0$  dan pada nilai terbesar pada interval  $9p_0$  sebesar  $0.3394385p_0$ . Untuk  $n = 3; l = 0$  nilai terkecil terdapat pada interval  $p_0$  sebesar  $0.184981p_0$  dan nilai terbesar pada interval  $9p_0$  sebesar  $0.0.218178p_0$ . Jadi berdasarkan kenaikan interval momentumnya maka semakin besar interval momentum semakin besar pula nilai ekspektasi momentum atom tritium.

Batas yang digunakan untuk mencari nilai ekspektasi hanya sampai  $9p_0$ , hal ini merujuk pada pada model atom Bohr, di mana elektron dianggap mengorbit inti atom pada level energi yang tertentu, batas untuk mencari posisi elektron hanya sampai nomor atom 9 dikarenakan pada model tersebut hanya ada sembilan level energi yang tersedia, yang masing-masing diwakili oleh nomor atom 1 hingga 9. Selain itu alasan hanya mengutamakan sampai batas  $9p_0$  karena kemungkinan ditemukannya elektron adalah di dekat inti atom.

Dalam atom tritium, bilangan kuantum yang digunakan untuk menggambarkan sifat elektron adalah bilangan kuantum utama ( $n$ ), bilangan kuantum momentum sudut ( $l$ ), bilangan kuantum magnetik ( $m$ ), dan bilangan kuantum spin ( $s$ ). Bilangan kuantum utama ( $n$ ) digunakan untuk menggambarkan level energi elektron di dalam atom tritium, dan nilainya berupa bilangan bulat positif  $n = 1, 2, 3$ . Bilangan kuantum momentum sudut ( $l$ ) digunakan untuk menggambarkan bentuk orbital elektron di sekitar inti atom tritium dan nilainya tergantung pada nilai  $n$ . Untuk atom tritium dengan  $n = 1$ , bilangan kuantum  $l$  hanya dapat bernilai 0, sedangkan untuk  $n = 2$ , bilangan kuantum  $l$  dapat bernilai 0 atau 1, dan seterusnya. Hal ini disebabkan karena semakin besar bilangan kuantum, semakin banyak juga energi yang diperlukan untuk membentuk orbital dengan bilangan kuantum tersebut, dan semakin sulit pula untuk memastikan keberadaannya secara eksperimental. Dalam penelitian ini bilangan kuantum memiliki pengaruh langsung terhadap nilai ekspektasi momentum atom. Nilai ekspektasi momentum atom tergantung pada bilangan kuantum utama ( $n$ ), bilangan kuantum momentum sudut ( $l$ ).

## PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan diketahui bahwa nilai ekspektasi momentum elektron dari atom tritium bergantung pada bilangan kuantum utama ( $n$ ) dan bilangan azimuthnya ( $l$ ). Dari data yang dihasilkan dari simulasi numerik dapat diketahui berikut ini. Pada tabel 1, ketika  $l = 0$  dengan batas interval yang sama pada ( $p_0$ ), nilai ekspektasi momentum elektron dalam atom tritium semakin kecil dengan semakin besar bilangan kuantum utama ( $n$ ). Ini berarti semakin tinggi energi elektron dalam atom, semakin kecil nilai ekspektasi momentumnya. Jika kita tinjau dari kenaikan interval ( $p_0$ ) atau momentum, kita dapat melihat bahwa nilai ekspektasi semakin besar dengan semakin besar interval momentumnya. Ini berarti semakin tinggi interval momentum ( $p_0$ ) yang digunakan, semakin besar nilai ekspektasi momentum elektron. Ketika membandingkan nilai ekspektasi momentum untuk setiap nilai  $n$  pada interval ( $p_0$ ) yang sama, kita dapat melihat bahwa semakin besar bilangan kuantum utama ( $n$ ), semakin kecil nilai ekspektasi momentumnya. Dengan kata lain, semakin tinggi energi elektron (nilai  $n$ ) dalam atom tritium, semakin kecil nilai ekspektasi momentumnya. Jadi, kesimpulan dari data tersebut adalah semakin besar bilangan kuantum utama ( $n$ ), semakin kecil nilai ekspektasi momentum elektron dalam atom tritium, dan nilai ekspektasi momentum meningkat dengan kenaikan interval momentum ( $p_0$ ).

## DAFTAR PUSTAKA

- Badun, G. A., Chernysheva, M. G., & Ksenofontov, A. L. (2012). Increase in the specific radioactivity of tritium-labeled compounds obtained by tritium thermal activation method. *Radiochimica Acta*, 100(6), 401–408. <https://doi.org/10.1524/ract.2012.1926>

- Damayanti, D. D., Supriyadi, B., & Nuraini, L. (2020). Fungsi Gelombang Ion Helium Pada Bilangan Kuantum Dalam Ruang Momentum. *Seminar Nasional Pendidikan Fisika 2019*, 4(1), 107–110.
- Fuadah, F., Handono, S. H. B., & Nuraini, L. (2018). *Aktualisasi Peran Generasi Milenial Melalui Pendidikan, Pengembangan Sains, dan Teknologi dalam Menyongsong Generasi Emas* (Vol. 3).
- Garcfa De La Vega, J. M., & Miguel, B. (1998). Determination of momentum expectation values for polyatomic molecules. In *Computer Physics Communications ELSEVIER Computer Physics Communications* (Vol. 109).
- Hage-Hassan, M. (2008). On the hydrogen wave function in Momentum-space, Clifford algebra and the Generating function of Gegenbauer polynomial. *Journal of Mathematical Physics Cornell University*, 1(1), 1–12.
- Karomah, S. A., Jannah, A. R., Aini, N. R., Zumarotin, R., & Sunarmi, N. (2021). *Visualisasi Rapat Peluang Posisi Elektron terhadap Sudut pada Atom Deuterium*. <https://www.ejournal.unib.ac.id/index.php/nmj>
- Katayama, K., Kubo, K., Ichikawa, T., Oya, M., Fukada, S., & Inuma, Y. (2023). Tritium release behavior from neutron-irradiated FLiNaK mixed with Ti powder. *Fusion Engineering and Design*, 192, 113791. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2023.113791>
- Kurniawan, & Muhammad Nur. (2005). *Studi Pemodelan Dinamika Proton Dalam Ikatan Hidrogen H<sub>2</sub>O Padatan Satu Dimensi* (Vol. 8, Issue 3).
- Pandiangan, P., & Supriyadi, B. (2006). *Metode Elemen Hingga Untuk Penyelesaian Persamaan Schrödinger Atom Hidrogenik*.
- Podolsky, B., & Pauling, L. (1929). The Momentum Distribution In Hydrogen-Like Atoms. *Physical Riview*, 34, 109–116.
- Pratikha, A. R., Supriyadi, B., & Handayani, R. D. (2022). Electron's Position Expectation Values and Energy Spectrum of Lithium Ion (Li<sup>2+</sup>) on Principal Quantum Number  $n \leq 3$ . *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(1), 252–256. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i1.840>
- Rasito. (2003). Hamburan Elektron Energi Tinggi Untuk Analisis Faktor Bentuk Inti Deutrium. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator Dan Aplikasinya*, 5(1), 153–157.
- Saputra, B. H., Supriyadi, B., & Prastowo, S. H. B. (2019). *"Integrasi Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Mengembangkan Budaya Ilmiah di Era Revolusi Industri 4.0 "* (Vol. 4, Issue 1).
- Supriyadi, Arkundato, A., & Rofi, I. (2006). *Solusi Numerik Persamaan*.
- Utami, F., Supriyadi, B., & Lesmono, A. D. (2019). *Probabilitas Posisi Elektron Dalam Atom Tritium Pada Bilangan Kuantum  $n \leq 3$*  (Vol. 4).