

# PENDEKATAN KETIDAKPASTIAN HEISENBERG DALAM MENENTUKAN MOMENTUM DAN SPEKTRUM ENERGI ATOM DEUTRIUM PADA BILANGAN KUANTUM UTAMA $n = 4$

<sup>1)</sup> Nurul Irfan, <sup>1)</sup> Bambang Supriadi, <sup>1)</sup> Lailatul Nuraini

<sup>1)</sup> Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember

Email: [physicirfan@gmail.com](mailto:physicirfan@gmail.com)

## **Abstract**

*Deuterium is an isotope of the hydrogen atom, the quantum properties as the hydrogen atom. In this case, the solution of the equation to be used as a solution is the Schrodinger equation of spherical coordinates. The position of electrons in an atom cannot be determined with certainty, but we can determine the probability by using the radial function of the Deuterium atom. The purpose of this study is the Heisenberg uncertainty approach in determining the momentum and the energy spectrum of the Deuterium atom  $n=4$ . This type of research is non-experimental research in the form of developing existing theories. The results of this study include (1) probability distribution data, expectations, momentum uncertainty, and output simulations of the uncertainty graph of the deuterium atomic momentum depending on the principal quantum number and its azimuth, (2) energy spectrum distribution data  $n \leq 4$ . the greater the value of the number the principal quantum and its azimuth will result in an increase in the uncertainty value of its momentum and result in a decrease in the value of its position uncertainty, so that the more accurate the position measurement will result in the more inaccurate measurement of the momentum. The data obtained shows that the greater the energy level, the energy of the Deuterium atoms obtained will be smaller. This is because more trajectories of the atomic shells will produce less energy.*

**Key-words:** Deuterium atom, Energy spectrum, Heisenberg uncertainty

## **PENDAHULUAN**

Peralihan akhir abad ke -19 banyak sekali fenomena fisika yang tidak bisa dijelaskan dengan menggunakan teori fisika klasik. Teori fisika klasik menganggap bahwa partikel dan cahaya adalah dua komponen berbeda yang tidak berkaitan. Hal ini mendorong Max Planck dan Einstein pada tahun 1900 – 1905 untuk melakukan eksperimen dan menghasilkan suatu bahasan baru bahwa gelombang dapat berperilaku sebagai materi dan dapat pula berperilaku sebagai partikel. Kemudian Max Planck melakukan eksperimen tentang radiasi benda hitam, hasil dari percobaan tersebut diperoleh kesimpulan bahwa setiap benda

yang memancarkan energi berupa paket-paket energi yang diskontinue diakibatkan oleh pancaran radiasi yang mengenai benda tersebut, yang kemudian disebut dengan foton. Berdasarkan percobaan efek fotolistrik yang dilakukan oleh Einstein diperoleh kesimpulan bahwa cahaya tersusun atas kuantum-kuantum (foton). Hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Max Planck dan Einstein tersebut dapat disimpulkan bahwa gelombang elektro magnetik merupakan suatu paket atau konstanta yang mencirikan suatu materi (Krone, 1992: 126). Pada tahun 1924 Luis De Broglie mengemukakan gagasan bahwa setiap yang ada di alam semesta memiliki sifat kesimetrian alam yaitu partikel dapat

bersifat gelombang dan, hal ini yang mendorong Luis De Broglie untuk melakukan suatu percobaan dan menghasilkan panjang gelombang  $\lambda$  atau dikenal sebagai panjang gelombang de Broglie. Teori ini yang dikenal dengan dualisme gelombang partikel dimana partikel dapat berperilaku sebagai gelombang dan gelombang dapat pula berperilaku sebagai partikel (Krane, 1992: 126). Teori inilah kemudian dibuat pokok bahasan baru yang dikenal dengan mekanika kuantum. Mekanika kuantum mampu menjelaskan perilaku sistem pada skala atom atau bahkan yang lebih kecil. Jika sifat fisika atom dijelaskan dengan menggunakan teori fisika klasik maka akan banyak sekali fenomena yang tidak akan sesuai dengan fakta yang ada, pada dasarnya elektron akan mengorbit nukleus pada orbital yang probabilistik, hal ini tidak akan pernah terjadi jika dijelaskan dengan menggunakan teori fisika klasik, dikarenakan pada saat elektron akan mengorbit inti atom, elektron akan memancarkan energinya dan pada akhirnya akan jatuh pada inti atom diakibatkan kehabisan energi.

Persamaan yang biasa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada elektron atau partikel mikroskopis dalam mekanika kuantum pada keadaan non-relativistik dapat dijelaskan dengan persamaan Schrodinger yang dikemukakan oleh Erwin Schrodinger (Syaifudin et al, 2015). Persamaan Schrodinger dinyatakan dengan menggunakan persamaan diferensial orde dua, yang memenuhi azas (1) hukum kekekalan energi; (2) hipotesis de Broglie; dan (3) berperilaku baik. Fungsi persamaan Schrodinger merupakan solusi dari persamaan radial. Persamaan ini biasanya banyak digunakan pada atom-atom yang sifatnya hidrogenik.

Salah satu atom yang bersifat Hidrogenik adalah atom Deuterium atau isotop Hidrogen. Atom hidrogen merupakan

atom yang memiliki susunan paling sederhana. Deuterium dengan simbol  $D^2$  dengan inti dari deuterium yaitu satu proton dan satu neutron. Deuterium termasuk isotop stabil yang melimpah di bumi (Krane, 1992: 419). Pemanfaatan atom Deuterium ini berperan dalam proses produksi air berat. Air berat ini digunakan sebagai moderator neutron dalam reaksi fisi uranium. Fungsi moderator adalah untuk memperlambat neutron dengan cara menyerap energi dan menumbuk neutron tanpa kecenderungan menyerap partikelnya (Beiser, 1990: 496).

Fisika kuantum menjelaskan bahwa semua besaran fisis yang diperoleh dalam proses pengukuran bersifat tidak pasti. Asas ketidakpastian yang paling umum digunakan dalam fisika kuantum adalah asas Ketidakpastian Heisenberg yang menyatakan bahwa perilaku gelombang dan materi tidak dapat muncul secara bersamaan. Asas ketidakpastian menyatakan bahwa posisi dan momentum tidak dapat ditentukan secara bersamaan, karena semakin kecil nilai ketidakpastian posisi akan mengakibatkan nilai ketidakpastian momentumnya semakin tidak akurat dan berlaku sebaliknya. Bentuk lain dari prinsip ketidakpastian Heisenberg yang umum di gunakan dalam fisika kuantum yaitu tentang pengukuran ketidakpastian energi (E) yang di pancarkan pada selang waktu tertentu  $\Delta t$ , dengan rumusan  $\Delta E \cdot \Delta t = \frac{h}{4\pi}$ . Ketidakpastian ini berkaitan dengan probabilitas, baik probabilitas untuk mendapatkan partikel yang berada pada posisi tertentu, maupun probabilitas untuk menentukan momentum suatu partikel. Adapun salah satu cara untuk menentukan nilai dari ketidakpastian adalah dengan menggunakan ketidakpastian Heisenberg.

Beberapa penelitian mengenai atom hidrogen yang sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Supriadi et al (2018), menyatakan bahwa fungsi gelombang atom deuterium terdiri dari 2

fungsi yaitu fungsi radial dan fungsi angular. Fungsi gelombang yang dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik dari suatu gelombang harus telah dinormalisasi. Mengutip dari penelitian Hermanto (2016), menyimpulkan bahwa kenaikan bilangan kuantum utama akan mengakibatkan nilai probabilitas yang semakin kecil dan menuju nilai yang hampir tetap ketika interval posisi (r) elektron semakin besar. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa elektron akan sering muncul pada posisi dimana saja, serta nilai ekspektasinya akan kecil ketika bilangan kuantumnya semakin besar. Apabila bilangan kuantum utama semakin besar, maka elektron akan semakin jarang dijumpai atau bahkan tidak ada.

Selain itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Saputra et al (2019), tentang ketidakpastian atom deuterium dengan pendekatan ketidakpastian heisenberg pada bilangan kuantum utama  $n \leq 3$  didapatkan bahwa ketidakpastian momentum radial atom deuterium pada  $\Delta p$  dari berbagai keadaan dengan bilangan kuantum utama ( $n$ ) = 1, 2 dan 3 telah memenuhi syarat bahwa hasil perkalian  $\Delta p r$  dengan  $\Delta r$  pada setiap titik selalu lebih besar daripada sama dengan  $\frac{h}{4\pi}$ . Begitupula untuk keadaan bilangan kuantum yang lain. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, peneliti menemukan celah bahwa spektrum energi dari atom Deuterium belum pernah dibahas, sehingga celah inilah yang melatar belakangi penelitian ini dengan judul "Ketidakpastian Momentum Atom Deuterium dan Spektrum Energi Dengan Pendekatan Ketidakpastian Heisenberg Pada Bilangan Kuantum Utama  $n = 4$ ". Oleh karena itu, tujuan penelitian ini untuk membahas tentang bagaimana nilai probabilitas, nilai ekspektasi, dan ketidakpastian momentum, serta spektrum energi atom deuterium pada bilangan kuantum utama  $n = 4$ .

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan penelitian non eksperimen yang menggunakan pendekatan ketidakpastian Heisenberg untuk mendapatkan nilai ketidakpastian momentum atom Deuterium. Teori fisika kuantum menjelaskan bahwa kedudukan elektron suatu atom tidak dapat di tentukan dengan pasti. Untuk menentukan kedudukan suatu atom dapat dicari nilai probabilitas menemukan elektron sebagai fungsi jarak dari inti atom. Persamaan probabilitas hanya bergantung pada fungsi radial saja (tidak bergantung pada fungsi azimuth dan fungsi polar). Fungsi gelombang radial dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Schrodinger tunak (bebas waktu) koordinat bola. Persamaan Schrodinger tunak diberikan oleh persamaan (1)

$$-\frac{\hbar}{2m} \frac{\partial^2 \psi(r)}{\partial x^2} + V\psi(r) = E\psi(r) \tag{1}$$

(Gasirowics, 1996: 169).

Persamaan Schrodinger tunak dalam koordinat bola dapat dilihat pada persamaan (2) berikut.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{r^2} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \right] \psi(r, \theta, \phi) + [V(r) - E] \psi(r, \theta, \phi) = 0 \tag{2}$$

Gunakan teknik sparasi variabel dan asumsikan fungsi seperti persamaan (3)

$$\psi(r, \theta, \phi) = R(r)Y(\theta, \Phi) \tag{3}$$

Agar diperoleh suatu persamaan (4)

$$\left[ \frac{1}{R(r)} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial R(r)}{\partial r} \right) + \frac{2mr^2}{\hbar^2} [E - V(r)] \right] + \left[ \frac{1}{Y(\theta, \Phi) \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial Y(\theta, \Phi)}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{Y(\theta, \Phi) \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 Y(\theta, \Phi)}{\partial \phi^2} \right] = 0 \tag{4}$$

Persamaan (4) dapat dipisah menjadi dua suku yaitu fungsi radialnya saja (r)

kemudian fungsi yang bergantung terhadap azimuth dan polarnya saja  $(\theta, \Phi)$ , sehingga diperoleh persamaan radialnya dengan pemisah  $l(l+1)$  seperti persamaan (5)

$$\frac{1}{R(r)} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial R(r)}{\partial r} \right) + \frac{2mr^2}{\hbar^2} [E - V(r)] = l(l+1) \quad (5)$$

fungsi yang bergantung sudut  $(\theta, \Phi)$  seperti persamaan (6) berikut

$$\frac{1}{Y(\theta, \Phi) \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial Y(\theta, \Phi)}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{Y(\theta, \Phi) \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 Y(\theta, \Phi)}{\partial \Phi^2} = -l(l+1) \quad (6)$$

Kemudian dengan mendefinikan variabel baru yang terdapat pada persamaan (7)

$$U(r) = rR(r) \quad (7)$$

Maka Diperoleh persamaan (8) sebagai berikut

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 U(r)}{\partial r^2} + \left( V(r) + \hbar^2 \frac{l(l+1)}{2mr^2} \right) U(r) = EU(r) \quad (8)$$

Berdasarkan harga  $V(r)$  yang tertulis pada persamaan (9)

$$V(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (9)$$

Sehingga persamaan (7) dapat ditulis seperti persamaan (10) berikut

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{\partial^2 U(r)}{\partial r^2} + \left[ \left( -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \right) + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2\mu r^2} \right] U(r) = EU(r) \quad (10)$$

Sehingga didapat solusi umum persamaan radial atom Deutrium seperti yang tertera pada persamaan (11)

$$R_{nl}(r) = N_{nl} e^{-\frac{r}{na_0}} r^l \left( \frac{2r}{na_0} \right)^l L_{n-1}^{2l+1} \left( \frac{2r}{na_0} \right) \quad (11)$$

Langkah normalisasi terhadap fungsi gelombang sangat diperlukan untuk membuktikan bahwa partikel benar benar ada dalam suatu ruangan. Adapun

persamaan untuk normalisasi dapat kita lihat pada persamaan (12) berikut.

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi|^2 dr = 1 \quad (12)$$

Nilai probabiitas suatu atom merupakan kuadrat dari fungsi gelombang radialnya dituliskan seperti persamaan (13) berikut.

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} r^2 |\Psi|^2 dr \quad (13)$$

Informasi mengenai kedudukan sebuah elektron dapat dicari dari harga ekspektasi yang merupakan pangkat tiga dari fungsi gelombang radialnya yang tercantum dalam persamaan (14) berikut.

$$\langle r \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} r^3 |\Psi|^2 dr \quad (14)$$

Setelah diperoleh nilai probabilitas dan nilai ekspektasi atom Deutrium, langkah selanjutnya akan mencari nilai dari ekpektasi kuadratnya yang ditulis dengan persamaan (15) berikut.

$$\langle r^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} r^4 |\Psi|^2 dr \quad (15)$$

Setelah diproleh nilai ekspektasi kuadratnya, maka selanjutnya yaitu mencari nilai ketidakpastian posisi dengan memasukkan hasil nilai ekspektasi dan ekspektasi kuadratnya kedalam persamaan (16) berikut.

$$\Delta r = \sqrt{\langle r \rangle^2 - \langle r^2 \rangle} \quad (16)$$

Setelah diperoleh nilai ketidakpastian posisi atom deutrium, langkah selanjutnya yaitu mencari nilai ketidakpastian momentum dengan menggunakan ketidakpastian heinsenberg yang terdapat pada persamaan (17) berikut.

$$\Delta P_r = \frac{\hbar}{2\Delta r} \quad (\text{Busch, 2007: 168}).$$

Dengan  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \times 10^{-34} \text{Js}$  (17)

Peneliti juga meneliti besar spektrum energi atom deutrium pada setiap keadaan dengan menggunakan formula seeperti persamaan (18) berikut.

$$E_n = - \frac{\mu}{2\hbar^2 n^2} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \quad (18)$$

(Siregar, 2010: 85).

Berikut adalah langkah langkah dalam pengambilan data:

a. Persiapan

Pada tahap ini peneliti mencari bahan bahan yang bisa dijadikan sumber informasi atau refrensi sepereti buku-buku fisika modern, kuantum, atom, matematika, artikel, jurnal, dan lain lain yang mendukung berlangsungnya penelitian.

b. Pengembangan teori

Pada tahap ini peneliti mengembangkan teori yang sudah ada yang terdapat pada literatur mengenai persamaan radial atom deuterium  $n = 4$  untuk dijadikan permulaan dalam menentukan nilai probabilitas, ekspektasi, dan ketidakpastian momentum radial berserta spektrum energi atom deuterium

c. Validasi

Pada tahap ini peneliti membandingkan data yang sudah di peroleh dengan literatur yang ada.

d. Hasil Pengembangan Teori

Pada tahap ini peneliti memvalidasi hasil berupa data nilai ketidakpastian momentum beserta spektrum energi atom deuterium  $n = 4$ .

e. Simulasi

Pada tahap simulasi peneliti menggunakan metode simpon rule menggunakan software matlab (R, 2013a) untuk mendapatkan data probailitas, ekspektasi, ketidakpastian momentum secara lengkap dalam rentang jari jari atom yang lebih luas.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini menghasilkan data nilai probabilitas, nilai eskpektasi posisi, nilai ketidakpastian posisi, nilai ketidakpastian

momentum, serta spektrum energi atom Deutrium pada bilangan kuantum  $n = 4$  . Berikut disajikan data hasil penelitian probabilitas atom Deutrium  $n = 4$  pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Probabilitas atom Deutrium n=4

Posi si elek tron	n=4			
	l=0	l=1	l=2	l=3
$a_0$	0.0041 1882	0.000 5558	0.0000 03881	0.00000 0003
$5a_0$	0.03572 365	0.039 4116	0.0272 34371	0.00114 0252
$10a_0$	0.08208 924	0.109 8715	0.1464 27281	0.06809 3634
$15a_0$	0.16541 524	0.164 6936	0.1732 38569	0.33803 2880
$20a_0$	0.22795 401	0.270 8317	0.3969 42644	0.66718 0321
$25a_0$	0.50635 654	0.571 6528	0.7032 00713	0.87508 3803

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai kuantum azimut dan utamanya menghasilkan nilai probabilitas yang semakin kecil, hal ini menandakan bahwa kemungkinan terbesar elektron ditemukan pada orbital yang paling dekat dengan inti yaitu  $n = 4, l = 0$  untuk bilangan kuantum utama  $n = 4$ . Berdasarkan ramalan Bohr tentang jari jari atom maka dapat disimpulkan hasil penelitian ini sudah sesuai dengan teori.

Nilai ekspektasi atau nilai harap digunakan untuk mewakili suatu data karna memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Begitupun dengan fisika kuantum, untuk menghasilkan data yang berkualitas perlu dicari nilai ekspektasi dari atom Deutrium untuk  $n = 4$  yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Nilai ekspektasi Deutrium untuk  $n = 4$

Posisi	n=4			
	l=0	l=1	l=2	l=3
$a_0$	0.0026	0.0004	0.0000	0.0000
	$108a_0$	$504a_0$	$033a_0$	$000a_0$
$5a_0$	0.1194	0.1131	0.1109	0.0049
	$102a_0$	$875a_0$	$253a_0$	$923a_0$
$10a_0$	0.5156	0.7184	0.9731	0.5728
	$5646a_0$	$8643a_0$	$6523a_0$	$7654a_0$
$15a_0$	1.5062	1.3373	1.3271	4.0250
	$7300a_0$	$4396a_0$	$8377a_0$	$6611a_0$
$20a_0$	2.6378	3.2592	5.3431	9.7594
	$3278a_0$	$3055a_0$	$2224a_0$	$2463a_0$
$25a_0$	8.9454	0.0980	12.254	14.370
	$7776a_0$	$592a_0$	$0878a_0$	$0602a_0$

Tabel 2 menyimpulkan bahwa semakin besar bilangan kuantum utama dan azimuthnya mengakibatkan nilai ekspektasi semakin kecil, dengan demikian elektron mudah di temukan pada keadaan dasar atau pada orbital yang mendekati inti. hasil ini sesuai dengan penelitian Hermanto (2016) menyimpulkan bahwa kenaikan bilangan kuantum utama akan mengakibatkan nilai probabilitas yang semakin kecil dan menuju nilai yang hampir tetap ketika interval posisi (r) elektron semakin besar.

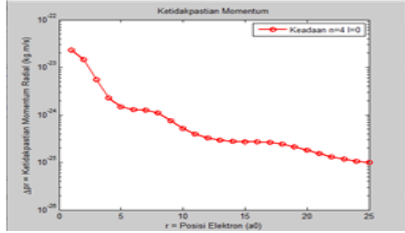
Setelah didapatkan data nilai ekspektasi, maka selanjutnya akan dicari nilai ketidakpastian momentumnya dengan menggunakan daata nilai ekspektasi di atas. Hasilnya didapatkan data ketidakpastian momentum atom Deutrium  $n = 4$  seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Ketidakpastian momentum atom deutrium  $n = 4$ .

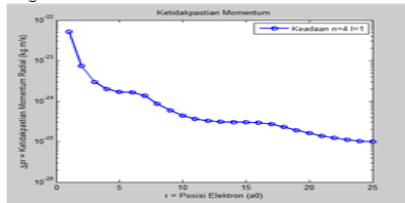
N	l	r	$\Delta Pr$
0		$a_0$	$2.3129 \times 10^{-23}$
		$5a_0$	$1.4938 \times 10^{-24}$
		$10a_0$	$5.1974 \times 10^{-25}$
		$15a_0$	$2.2755 \times 10^{-24}$
		$20a_0$	$1.8035 \times 10^{-25}$
1		$25a_0$	$9.9280 \times 10^{-26}$
		$a_0$	$5.1222 \times 10^{-23}$
		$5a_0$	$1.6946 \times 10^{-24}$
		$10a_0$	$4.4141 \times 10^{-25}$
		$15a_0$	$3.0161 \times 10^{-25}$
2		$20a_0$	$1.6140 \times 10^{-25}$
		$25a_0$	$9.9162 \times 10^{-26}$
		$a_0$	$5.7819 \times 10^{-22}$
		$5a_0$	$1.4783 \times 10^{-24}$
		$10a_0$	$4.0792 \times 10^{-25}$
3		$15a_0$	$3.1537 \times 10^{-25}$
		$20a_0$	$1.3380 \times 10^{-25}$
		$25a_0$	$1.0562 \times 10^{-25}$
		$a_0$	$1.8859 \times 10^{-20}$
		$5a_0$	$6.6884 \times 10^{-24}$
4		$10a_0$	$4.6416 \times 10^{-25}$
		$15a_0$	$1.7230 \times 10^{-25}$
		$20a_0$	$1.3438 \times 10^{-25}$
		$25a_0$	$1.4583 \times 10^{-25}$
		$a_0$	$1.8859 \times 10^{-20}$

Berdasarkan data pada Tabel 3 maka dapat disimpulkan bahwasannya semakin besar nilai kuantumnya memberikan dampak terhadap nilai ketidakpastian momentum yang semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa elektron lebih mudah ditemukan pada keadaan dasar, hasil ini sesuai dengan penelitian Hermanto (2016) yang menyatakan bahwa elektron akan sering muncul pada posisi dimana saja, serta nilai ekspektasinya akan kecil ketika bilangan kuantumnya semakin besar. Apabila bilangan kuantum utama semakin besar, maka elektron akan semakin jarang dijumpai atau bahkan tidak ada. Hal ini sesuai dengan

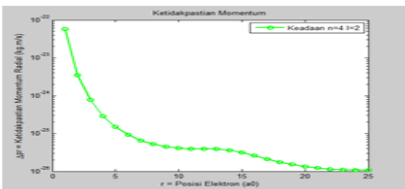
grafik setiap keadaan yang terdapat pada Gambar 1, Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 yang menunjukkan semakin besar nilai kuantumnya mengakibatkan pulsa grafik ketidakpastian momentumnya semakin menurun.



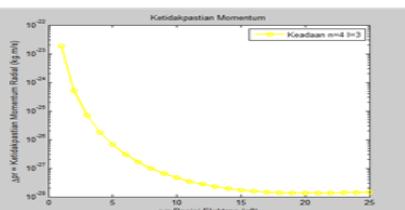
**Gambar 1.** Grafik ketidakpastian momentum atom Deutrium pada bilangan kuantum  $n=4, l = 0$



**Gambar 2.** Grafik ketidakpastian momentum atom Deutrium pada bilangan kuantum  $n=4, l = 1$



**Gambar 3.** Grafik ketidakpastian momentum atom Deutrium pada bilangan kuantum  $n=4, l = 2$



**Gambar 4.** Grafik ketidakpastian momentum atom Deutrium pada bilangan kuantum  $n=4, l = 3$

Selain itu, besarnya spektrum energi atom deutrium pada setiap keadaan hingga  $n = 4$  dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

**Tabel 4.** Nilai spektrum energi atom deutrium untuk keadaan  $n \leq 4$

Tingkat energi	Kulit	Energi atom Deutrium	
		Satuan Joule	Satuan Ev
E1	Kulit K	$-2,1792 \times 10^{-18}$	13,6027
E2	Kulit L	$-5,04047 \times 10^{-19}$	3,14626
E3	Kulit M	$-2,46213 \times 10^{-19}$	1,5114
E4	Kulit N	$-1,36201 \times 10^{-18}$	0,85017

Data hasil penentuan spektrum energi atom Deutrium seperti pada Tabel 4 diperoleh dengan menggunakan pendekatan teori atom Bohr mengenai rumusan tingkat energi, Tingkatan energi atom Deutrium dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung nilai massa tereduksi dari atom Deutrium yang diperoleh dengan rumusan  $\mu = \frac{m_{deutrium} \times m_{elektron}}{m_{deutrium} + m_{elektron}}$ , pada atom Deutrium diperoleh massa inti sebesar  $3,3476 \times 10^{-27} \text{ kg}$ . Setelah diketahui massa tereduksi dari atom Deutrium, maka dapat ditentukan spektrum energi pada setiap tingkatan dengan persamaan.

$$E_n = - \frac{\mu}{2\hbar^2 n^2} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2.$$

Pada atom Deutrium, elektron dan inti akan berotasi pada pusat massa, sehingga massa atom Deutrium disebut dengan massa tereduksi. Pada penelitian ini telah dihitung massa tereduksi dari atom Deutrium adalah sebesar  $9,10694 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , dengan massa inti yang merupakan gabungan dari massa proton dan massa neutron sebesar  $3,3476 \times 10^{-27} \text{ kg}$ . Atom Deutrium memiliki banyak kemiripan dengan atom hidrogen, namun diantara keduanya masih tetap memiliki karakteristik masing-masing. Misalnya pada perhitungan jari-jari atom Deutrium yang diperoleh  $5.29273641 \times 10^{-11} \text{ m}$ , sedangkan jari-jari atom hidrogen adalah sebesar  $5,291777 \times 10^{-11} \text{ m}$ . Hal ini menunjukkan bahwa jari-jari atom Deutrium lebih besar daripada jari-jari atom hidrogen.

Prastowo *et al* (2018) menjelaskan hal ini dikarenakan besar massa tereduksi dapat mempengaruhi besar jari-jari atom. Apabila jumlah neutron yang ada pada inti atom semakin besar, maka gaya ikat inti juga semakin besar, sehingga menyebabkan jari-jari orbit elektron semakin kecil.

### SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada bilangan kuantum utama  $n = 4$  semakin akurat dalam mengukur momentum atom deuterium maka akan semakin tidak akurat dalam mengukur posisi elektronnya. Hal ini dipengaruhi oleh bilangan kuantum utama ( $n$ ) dan kuantum azimut ( $l$ ) sehingga mengakibatkan nilai probabilitas, nilai ekspektasi, dan ketidakpastian momentum, bernilai semakin kecil saat bilangan kuantum azimutnya semakin besar, dan nilai spektrum energi. Begitupun dengan spektrum energi yang memberikan hasil semakin kecil pada saat nilai kuantumnya semakin tinggi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan oleh peneliti yaitu perlu diadakan penelitian lebih lanjut dalam bidang teori mengenai atom Deuterium dengan bilangan kuantum yang lebih besar.

### DAFTAR PUSTAKA

Beiser, A. 1990. *Konsep Fisika Modern*. Edisi Keempat. Terjemahan oleh The Howling. Jakarta: Erlangga.

Busch, P. 2007. Heisenberg's uncertainty principle. *Journal of Applied Physics*. 52: 155 – 176.

Gasiorowicz, S. 2003. *Quantum Physics Third Edition*. United States of America: John Wiley and Sons.

Hermanto, W. 2016. Fungsi Gelombang Atom Deuterium dengan Pendekatan Persamaan Schrodinger. *Jurnal Fisika Prosiding Semnas UNESA*. ISBN 978-602-72071-1-0.

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

Kuo, C. D. 2004. The uncertainties in radial position and radial momentum of an electron in the nonrelativistic hydrogen atom. *Annals of Physics Journal*. 316: 431 – 439..

Prastowo, S. H. B., B. Supriadi, S. Bahri, dan Z. R. Ridlo. 2018. The stark effect on the spectrum energy of Tritium in excited state with relativistic condition. *Journal of Physics: Conference Series* 1008 012013: 1-8.

Saputra, B. H., B. Supriadi., dan S. H. B. Prastowo. 2019. Ketidakpastian Momentum Atom Deuterium ( ${}^2_1H$ ) Dengan Menggunakan Pendekatan Ketidakpastian Heisenberg Pada Bilangan Kuantum  $n \leq 3$ . *Jurnal Pembelajaran Fisika*. 4(1):57– 64.

Siregar, R. E. 2010. *Teori dan Aplikasi Fisika Kuantum*. Bandung: Widya Padjajaran.

Supriadi, B., S. H. B. Prastowo, S. Bahri, Z. R. Ridlo, and T. Prihandono. 2018. The stark effect on the wave function of tritium in relativistic condition. *Journal of Physics: Conference Series*. 997 012045: 1-7.

Syaifudin, Suparmi, dan Cari. 2015. *Penyelesaian persamaan schrodinger*



potensial non sentral scarf  
hiperbolik plus rosen and morse  
trigonometrik menggunakan metode  
supersimetri mekanika kuantum.  
*Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 16  
(2) : 20 – 24.