



Perbandingan Orbital pada Atom Berelektron Tunggal tanpa Potensial Pengganggu dan dengan Potensial Pengganggu Non-Sentral Posch-Teller

Nani Sunarmi^{1*}, Muhammad Luqman Hakim Abbas¹, Kusananto Mukti Wibowo²

1) Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan, UIN Sayyid Ali Rahmatullah Tulungagung, Jl. Mayor Sujadi Timur No. 46, Kudusan, Kedungwaru, Jawa Timur, 66221, Indonesia

2) Teknik Rekayasa Elektromedis, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Jl. KH. Ahmad Dahlan Purwokerto Kembaran, Banyumas, Jawa Tengah, 53182, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: nanisunarmi@gmail.com

Paper received: xx-xx-xxxx; revised: xx-xx-xxxx; accepted: xx-xx-xxxx

Abstract

The equation of function of a system in a certain potential becomes an important study to obtain the particle characteristics of the system. In addition, the probability of finding electrons is also important in knowing the existence and nature of electrons. The probability of finding an electron can be constructed by the equation of the image function and the image of the orbital system of the electron. The equation of the function of a particle can be found by solving the Schrodinger equation. This study aims to determine the effect of the Posch-Teller Non-Central disruptive potential on the electron orbitals of single-electron atoms. The Schrodinger equation with Non-Central Posch-Teller disturbance potential which has the form of a second-order differential equation is reduced to a hypergeometric differential equation. The solution of the Schrodinger equation in the form of a hypergeometric differential equation is solved by using the Nikiforov-Uvarov method. Based on the Schrodinger equation, an electron orbital simulation was performed using Matlab programming. Based on the simulation results, it is found that the presence of a disturbance causes the orientation of the electron angle to increase and results in changes in electron orbitals that depend on the potential parameter, Non-Central Poschl-Teller disturbance.

Keywords: Orbital, Non-Sentral Poschl-Teller, Nikiforov-Uvarov

Abstrak

Persamaan fungsi gelombang dari suatu sistem dalam medan potensial tertentu menjadi kajian yang penting untuk mendapatkan karakteristik partikel sistem tersebut. Selain itu, kebolehjadian menemukan elektron juga hal yang penting dalam mengetahui keberadaan dan sifat elektron. Kebolehjadian menemukan elektron dapat dikonstruksi dengan persamaan fungsi gelombang dan menggambarkan sistem orbital dari elektron. Persamaan fungsi gelombang suatu partikel dapat diketahui dengan menyelesaikan persamaan Schrodinger. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh adanya potensial pengganggu Non-Sentral Posch-Teller terhadap orbital elektron pada atom berelektron tunggal. Persamaan Schrodinger dengan potensial pengganggu Non-Sentral Posch-Teller yang memiliki bentuk persamaan diferensial orde dua direduksi menjadi persamaan diferensial Hipergeometri. Penyelesaian persamaan Schrodinger dengan bentuk persamaan diferensial Hipergeometri diselesaikan dengan menggunakan menggunakan Metode Nikiforov-Uvarov. Berdasarkan penyelesaian persamaan Schrodinger dilakukan simulasi orbital elektron dengan menggunakan pemrograman Matlab. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh bahwa adanya potensial pengganggu mengakibatkan arah orientasi momentum sudut elektron bertambah dan mengakibatkan perubahan pada orbital elektron yang bergantung dengan nilai parameter κ , η dari potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller.

Kata kunci: Orbital, Non-Sentral Poschl-Teller, Nikiforov-Uvarov

1. Pendahuluan

Penyelesaian persamaan Schrodinger sistem dengan potensial kuantum menjadi topik penelitian yang banyak dikaji. Solusi eksak dari persamaan Schrodinger menghasilkan fungsi gelombang yang memuat informasi dari perilaku sistem fisis yang dikaji (Ahmed & Buragohain, 2010). Potensial kuantum pada sistem fisis yang menjadi bahan kajian diantaranya potensial Harmonik (Shojaei & Rajabi, 2011), Coulomb (Liverts, 2021), Hulthen (Ukewuihe et al., 2021), Morse, Scraft, Posch-Teller (Liverts, 2021), Wood Saxon (Suparmi et al., 2021). Metode yang digunakan dalam menyelesaikan persamaan Schrodinger pada sistem fisis dengan potensial kuantum tersebut beragam bergantung pada bentuk umum potensial dan bentuk persamaan Schrodinger. Metode-Metode tersebut diantaranya metode SUSY QM (Bilaut et al., 2020) (Purohit et al., 2021), metode AIM (Ikhdair & Falaye, 2013), Nikiforov-Uvarov (Fitriani & Suparmi, 2017) (Suparmi et al., 2016).

Potensial kuantum yang banyak dikaji adalah potensial non sentral. Potensial non sentral digunakan untuk menjelaskan tingkat energi dan interaksi antar molekul ring-shape (Suparmi et al., 2014). Salah satu bentuk potensial Non Sentral adalah Non-Sentral Poschl-Teller. Potensial Non-Sentral Poschl-Teller berpengaruh terhadap vibrasi elektron ketika bergerak mengitari inti dan mampu menjelaskan adanya getaran spektrum serta interaksi atomik. Selain itu potensial Non-Sentral Poschl-Teller juga berperan dalam menjelaskan gaya elektrodinamika dan vibrasi dalam molekuler (Cari & Suparmi, 2012). Penelitian terhadap sistem fisis dengan potensial tersebut masih terbatas pada solusi fungsi gelombang dan analisis terhadap tingkat energi pada sistem dengan pendekatan menggunakan beraneka ragam variasi metode yang dipilih.

Pengembangan lain adalah memvariasikan sistem fisis dengan potensial tambahan lain seperti potensial Non-Sentral Maning Rosen (Alam et al., 2016) (Alam, 2015), potensial Scraft II (Pratiwi et al., 2017) (Cari et al., 2015). Penelitian terkait orbital menemukan elektron dalam sistem tersebut belum banyak ditinjau. Orbital merupakan konstruksi matematis yang dibangun berdasarkan fungsi gelombang real dari sistem satu elektron yang berguna untuk mengetahui kebolehjadian menemukan elektron (Scerri, 2000) (Itatani et al., 2004) (Siregar, 2014) (Siregar, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis terhadap pengaruh potensial kuantum Non-Sentral Poschl-Teller terhadap orbital pada atom berelektron tunggal. Untuk memperoleh analisis spesifik terhadap pengaruh Potensial Non-Sentral Poschl-Teller dilakukan perbandingan orbital dari sistem dengan potensial dan tanpa potensial pengganggu.

2. Metode

Persamaan Schrodinger dari sistem terkadang melibatkan bentuk persamaan diferensial orde dua bertipe Hipergeometri. Persamaan tipe Hipergeometri dapat diselesaikan dengan metode Nikiforov-Uvarov (NU). Bentuk umum persamaan tersebut dituliskan (Abebe et al., 2021; Cari & Suparmi, 2012)

$$\frac{\partial^2 \psi(s)}{\partial s^2} + \frac{\tau(s)}{\sigma(s)} \frac{\partial \psi(s)}{\partial s} + \frac{\sigma(s)}{\sigma^2} \psi(s) = 0 \quad (10)$$

yang melibatkan polinomial berderajat satu $\tau(s)$ dan polinomial berderajat dua $\sigma(s)$ dan $\underline{\sigma}(s)$. Persamaan diferensial NU diselesaikan dengan pemisahan variabel yakni

$$\psi = \phi(s)y(s) \quad (11)$$

dengan fungsi gelombang bagian pertama $\phi(s)$ dan fungsi gelombang bagian kedua $y(s)$. Pemisahan variabel ini merubah persamaan diferensial NU menjadi

$$\sigma \frac{\partial^2 y}{\partial s^2} + \tau \frac{\partial y}{\partial s} + \lambda y = 0 \tag{12}$$

dan memberikan ketentuan bahwa

$$\pi = \left(\frac{\sigma' - \tau}{2}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma' - \tau}{2}\right)^2 - \sigma' + k\sigma} \tag{13}$$

$$\lambda = k + \pi' \tag{14}$$

$$\frac{\phi'}{\phi} = \frac{\pi}{\sigma} \tag{15}$$

dengan k merupakan akar dari kuadrat sempurna yang bernilai 0 untuk diskriminan di bawah akar. Persamaan eigen nilai λ ditentukan dengan

$$\lambda = \lambda_n = -n\tau' - \frac{n(n-1)}{2}\sigma'' \quad n = 0,1,2,3 \dots \tag{16}$$

$$\tau = \tau' + 2\pi \tag{17}$$

Persamaan energi dan fungsi gelombang dapat diketahui jika dipenuhi bahwa kondisi $\tau' < 0$. Untuk fungsi gelombang bagian kedua $y(s)$, bentuk penyelesaiannya adalah polinomial berderajat n yang memenuhi relasi Rodrigues

$$y_n(s) = \frac{C_n}{\rho(s)} \frac{d^n}{ds^n} (\sigma^n(s)\rho(s)) \tag{18}$$

dengan $\rho(s)$ adalah fungsi bobot yang harus memenuhi syarat

$$\frac{\partial(\sigma\rho)}{\partial s} = \tau(s)\rho(s) \tag{19}$$

sedangkan konstanta normalisasi C_n diperoleh dari ortogonalitas fungsi gelombang.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penyelesaian Fungsi Gelombang Bagian Radial

Persamaan Fungsi gelombang bagian radial sistem dengan potensial Coulomb dan potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller pada persamaan 9 dapat dituliskan kembali

$$\frac{\hbar^2}{2\mu} \left[\frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial R}{\partial r} \right] + E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} - \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2\mu r^2} = 0 \tag{20}$$

Untuk memudahkan dalam penyederhanaan persamaan 20, dilakukan permisalan

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{2Z}{na_0} r \\ n^2 &= \frac{Z^2 e^2}{8\pi\epsilon_0} \\ a_0 &= \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me} \end{aligned} \tag{21}$$

Selain itu dipilih fungsi $R = \rho^s L(p) e^{-\rho/2}$. Pemilihan dan permisalan tersebut menghasilkan persamaan diferensial yang dapat direduksi menjadi persamaan diferensial Laguerre Terasosiasi dengan solusi (Siregar, 2018)

$$\rho \frac{d^2 L}{d\rho^2} + [2(l+1) - \rho] \frac{dL}{d\rho} + (n-l-1)L = 0 \tag{22}$$

dengan nilai $s = l$ sehingga diperoleh persamaan 22. Persamaan 22 memiliki penyelesaian berupa polinom

$$L_p^q(\rho) = (-1)^q \frac{d^q}{d\rho^q} \left[e^{\rho} \frac{d^p}{d\rho^p} (\rho^p e^{-\rho}) \right] \tag{23}$$

$$p = n + l, q = 2l + 1 \tag{24}$$

Penyelesaian persamaan 22 dapat dituliskan

$$R_{nl}(\rho) = N_{nl} \rho^l e^{-\frac{\rho}{2}} L_{n+l}^{2l+1}(\rho) \tag{25}$$

dengan konstanta normalisasi N_{nl} dituliskan

$$N_{nl} = \sqrt{\left(\frac{2Z}{na_0}\right)^3 \frac{(n-l-1)!}{2n[(n+l)!]^3}} \tag{26}$$

Untuk atom berelektron tunggal maka $Z = 1$. Persamaan tingkat energi diperoleh

$$E_n = -\frac{\mu e^4}{8\pi\epsilon_0 a_0 n^2} \tag{27}$$

dengan a_0 adalah jari-jari Bohr dengan nilai $0,53\text{\AA}$.

Penyelesaian bagian radial sistem dengan potensial Coulomb dan potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller memiliki bentuk yang sama dengan persamaan fungsi gelombang radial pada atom hidrogen. Hal ini terjadi karena meskipun terdapat potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller pada sistem tetapi potensial ini tidak mempengaruhi fungsi gelombang bagian radial. Adanya separasi fungsi gelombang yang dilakukan pada persamaan Schrodinger mengakibatkan suku komponen potensial Non-Sentral Poschl-Teller yang mengandung variabel θ, r justru mempengaruhi bagian sudut Zenithal θ saja meskipun mengandung variabel r . Hal ini dapat terjadi karena variabel r pada persamaan potensial tereliminasi pada proses separasi gelombang.

3.2. Penyelesaian Fungsi Gelombang Bagian Zenithal

Persamaan fungsi gelombang bagian Zenithal dilakukan dengan menggunakan Metode NU. Pada persamaan 6 dilakukan transformasi dengan variabel $\cos \cos 2\theta = s$ sehingga diperoleh

$$(1-s^2) \frac{d^2}{ds^2} \Theta - \left\{ \frac{1+3s}{2} \right\} \frac{d}{ds} \Theta - \frac{1}{(1-s^2)} \left\{ \frac{m^2(1+s)}{2} + \left\{ \frac{2\kappa(\kappa-1)(1-s)}{4} + \frac{2\eta(\eta+1)(1+s)}{4} \right\} - \frac{l(l+1)(1-s^2)}{4} \right\} \Theta = 0. \tag{28}$$

Persamaan 28 memiliki bentuk persamaan Hipergeometri seperti pada persamaan 10 dengan

$$\sigma = (1-s^2) \tag{29}$$

$$\vec{t} = -\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{2}s\right) \tag{30}$$

$$\vec{\sigma} = -\frac{\{2(\kappa(\kappa-1)+m^2)+2\eta(\eta-1)-l(l+1)\}}{4} + \frac{[2(\kappa(\kappa-1)+m^2)-2\eta(\eta-1)]}{4}s + \frac{l(l+1)}{4}s^2 \tag{31}$$

Dengan demikian persamaan 13, π diperoleh

$$\pi = \left(\frac{1-s}{4}\right) \pm \left[\left\{ \frac{2(\kappa(\kappa-1)+m^2)+2\eta(\eta-1)-l(l+1)}{4} + k + \frac{1}{16} \right\} + \left[\frac{2(\kappa(\kappa-1)+m^2)-2\eta(\eta-1)}{4} - \frac{1}{8} \right] s + \left(\frac{l(l+1)}{4} - k + \frac{1}{16} \right) s^2 \right]^{1/2} \tag{32}$$

Persamaan k diketahui dengan syarat di bawah akar pada persamaan 32 merupakan kuadrat sempurna dan diskriminan harus 0. Hal ini dibuktikan dengan persamaan 32 dapat dituliskan

$$\pi = \left(\frac{1-s}{4}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{l(l+1)}{4} - k + \frac{1}{16}\right) \left(s + \frac{\frac{2(\kappa(\kappa-1)+m^2)-2\eta(\eta-1)}{4} - \frac{1}{8}}{2\left(\frac{l(l+1)}{4} - k + \frac{1}{16}\right)} \right)} \tag{33}$$

dan persamaan diskriminan diperoleh

$$\left[\frac{2(\kappa(\kappa-1)+m^2)-2\eta(\eta-1)}{4} - \frac{1}{8} \right]^2 - 4 \left\{ \frac{l(l+1)}{4} - k + \frac{1}{16} \right\} \left\{ \frac{2(\kappa(\kappa-1)+m^2)+2\eta(\eta-1)}{4} + \frac{1}{8} - \frac{l(l+1)}{4} + k - \frac{1}{16} \right\} = 0 \tag{34}$$

Berdasarkan persamaan 34 diperoleh persamaan k sebagai berikut:

$$k_1 = \frac{\left(\frac{l+\frac{1}{2}}{2}\right)^2 - (\sqrt{q}-\sqrt{t})^2}{2} \tag{35}$$

$$k_2 = \frac{\left(\frac{l+\frac{1}{2}}{2}\right)^2 - (\sqrt{q}+\sqrt{t})^2}{2} \tag{36}$$

dengan $q = \frac{2(\kappa(\kappa-1)+m^2)}{4}$ dan $t = \frac{2\eta(\eta-1)}{4} + \frac{1}{8} = \left(\frac{\eta-\frac{1}{2}}{2}\right)^2$. Berdasarkan persamaan k diperoleh dua persamaan π yang memenuhi syarat $\tau' < 0$

$$\pi_1 = -s \left(\frac{\sqrt{q}-\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4} \right) - \frac{\sqrt{q}+\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4} \tag{37}$$

$$\pi_2 = -s \left(\frac{\sqrt{q}+\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4} \right) - \frac{\sqrt{q}-\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4} \tag{38}$$

Persamaan λ ditentukan dari nilai k dan π sesuai dengan persamaan 14 dan diperoleh

$$\lambda_1 = \frac{\left(\frac{l+\frac{1}{2}}{2}\right)^2 - (\sqrt{q}-\sqrt{t})^2}{2} - \left(\frac{\sqrt{q}-\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4} \right) \tag{39}$$

$$\lambda_2 = \frac{\left(\frac{l+\frac{1}{2}}{2}\right)^2 - (\sqrt{q}+\sqrt{t})^2}{2} - \left(\frac{\sqrt{q}+\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4} \right) \tag{40}$$

Sedangkan dengan persamaan τ' dan σ'' serta persamaan 16 diperoleh

$$\lambda_1 = 2n_l \left(\frac{\sqrt{q}-\sqrt{t}}{\sqrt{2}} \right) + n_l (n_l + 1) \tag{41}$$

$$\lambda_2 = 2n_l \left(\frac{\sqrt{q}+\sqrt{t}}{\sqrt{2}} \right) + n_l (n_l + 1) \tag{42}$$

Berdasarkan persamaan λ dapat diperoleh bilangan kuantum orbital elektron l

$$l + \frac{1}{2} = \pm 2 \left\{ \frac{\sqrt{\kappa(\kappa-1)+m^2} - (\eta - \frac{1}{2})}{2} + n_l + \frac{1}{2} \right\} \tag{43}$$

$$l + \frac{1}{2} = \pm 2 \left\{ \frac{\sqrt{\kappa(\kappa-1)+m^2} + (\eta - \frac{1}{2})}{2} + n_l + \frac{1}{2} \right\} \tag{44}$$

Bilangan kuantum orbital yang memiliki makna fisis hanyalah bilangan kuantum yang berasal dari persamaan 44 sehingga

$$l = \left(\sqrt{\kappa(\kappa-1) + m^2} + \eta \right) + 2n_l. \tag{45}$$

Berdasarkan persamaan l tersebut dapat diketahui bahwa adanya potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller mengakibatkan perubahan dan orientasi momentum sudut elektron dan bersama-sama dengan bilangan kuantum magnetik mempengaruhi orbital elektron. Penyelesaian fungsi gelombang bagian Zenithal bagian pertama dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 15, 29 dan 38 dan serta fungsi bobot

$$\phi(s) = (1-s)^{\frac{\sqrt{q}}{\sqrt{2}}} (1+s)^{\frac{\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4}} \tag{46}$$

$$\rho(s) = (1-s)^{\frac{2\sqrt{q}}{\sqrt{2}}} (1+s)^{\frac{2\sqrt{t}}{\sqrt{2}}} \tag{47}$$

Penyelesaian bagian kedua diperoleh dengan persamaan 18 dan hasil dari persamaan 29 dan 47

$$y_{n_l}(s) = \frac{C_{n_l}}{(1-s)^{\frac{2\sqrt{q}}{\sqrt{2}}} (1+s)^{\frac{2\sqrt{t}}{\sqrt{2}}}} \frac{d^{n_l}}{ds^{n_l}} \left((1-s)^{\frac{2\sqrt{q}}{\sqrt{2}} + n_l} (1+s)^{\frac{2\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + n_l} \right) \tag{48}$$

$$= B_{n_l} P_{n_l}^{(\alpha, \beta)}(s)$$

dengan $P_{n_l}^{(\alpha, \beta)}(s)$ merupakan polinomial Jacob. Penyelesaian fungsi gelombang bagian Zenithal diperoleh berdasarkan penyelesaian bagian pertama dan kedua sebagai berikut:

$$\theta(\theta) = \frac{C_{n_l} (1-s)^{\frac{\sqrt{q}}{\sqrt{2}}} (1+s)^{\frac{\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4}}}{(1-s)^{\frac{2\sqrt{q}}{\sqrt{2}}} (1+s)^{\frac{2\sqrt{t}}{\sqrt{2}}}} \frac{d^{n_l}}{ds^{n_l}} \left((1-s)^{\frac{2\sqrt{q}}{\sqrt{2}} + n_l} (1+s)^{\frac{2\sqrt{t}}{\sqrt{2}} + n_l} \right)$$

$$= B_{n_l} (1-s)^{\frac{\alpha}{2}} (1+s)^{\frac{\beta}{2} + \frac{1}{4}} P_{n_l}^{(\alpha, \beta)} \tag{49}$$

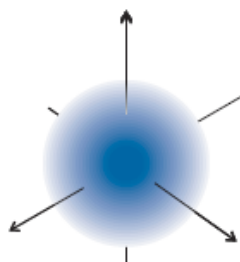
Faktor normalisasi B_{n_l} diperoleh dengan melakukan normalisasi pada fungsi gelombang persamaan 49 dan diperoleh

$$B_{n_l} = \sqrt{\frac{(2n_l + \alpha + \beta + 1)n_l! \Gamma(n_l + \alpha + \beta + 1)}{2^{\alpha + \beta - \frac{1}{2}} \Gamma(n_l + \alpha + 1) \Gamma(n_l + \beta + 1)}} \quad (50)$$

3.3. Visualisasi Bentuk Orbital Elektron

Pengamatan terhadap orbital elektron dibangun berdasarkan konstruksi matematis yang didasarkan pada fungsi gelombang riil sistem. Orbital sendiri didefinisikan sebagai fungsi elektron pada atom hidrogen (Atkins & Paula, 2006). Elektron dengan fungsi gelombang tertentu dikatakan menempati orbital yang digambarkan oleh fungsi gelombang dengan bilangan kuantum n, l, m . Kuadrat besaran mutlak dari fungsi gelombang elektron yang menempati tempat tertentu dari inti atom sebanding dengan probabilitas mendapati elektron pada tempat tersebut. Jika dilakukan plotting terhadap besaran kuadrat fungsi gelombang akan diperoleh bentuk visual dari orbital atom tersebut. Visualisasi kuadrat fungsi gelombang radial memberikan gambaran probabilitas elektron menempati orbital dengan jarak tertentu terhadap inti. Fokus penelitian ini adalah visualisasi kuadrat fungsi gelombang sudut memberikan gambaran bentuk orbital dengan kemungkinan posisi elektron berada dan menggambarkan kebergantungan rapat peluang elektron terhadap sudut.

Visualisasi bentuk orbital elektron dapat dilakukan dengan menggunakan pemrograman Matlab berdasarkan fungsi gelombang yang diperoleh dari penyelesaian persamaan Schrodinger. Orbital yang akan digambarkan adalah orbital pada kulit $n = 1$. Untuk memudahkan, fungsi gelombang untuk orbital tersebut dituliskan pada Tabel 1. Analisis terhadap pengaruh adanya potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller pada sistem partikel berelektron tunggal dilakukan dengan membandingkan orbital dari sistem yang terpengaruh potensial Non-Sentral Poschl-Teller dengan orbitals atom hidrogen tanpa gangguan. Orbital elektron pada hidrogen pada $n = 1$ hanya terdapat 1 orbital yakni orbital 1s. Bentuk orbital 1s pada atom hidrogen ditunjukkan oleh gambar 1.



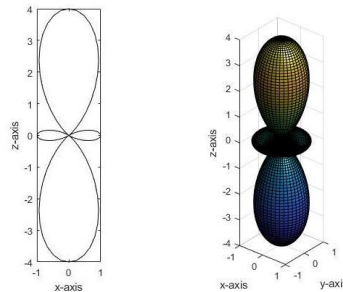
Gambar 1. Representasi Orbital 1s Atom Hidrogen Berdasarkan Kerapatan Probabilitas Elektron pada $n = 1$ (Atkins & Paula, 2006).

Visualisasi bentuk orbital elektron 1s pada atom hidrogen memiliki bentuk simetri bola. Hal ini terjadi karena orbital 1s tidak memiliki komponen fungsi sudut sehingga tidak memiliki orientasi momentum sudut. Visualisasi bentuk orbital sistem dengan potensial Coulomb dan potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller didasarkan pada fungsi gelombang sudut pada sistem yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

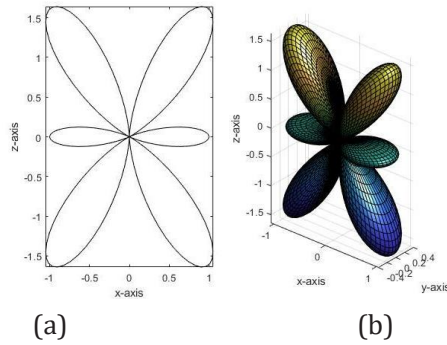
Tabel 1. Fungsi Gelombang Bagian Sudut $n = 1$

n	m	κ	η	l	$Y_l^m(\theta, \varphi)$
1	0	0	0	2	$-(3\theta - 1)$
1	1	0	0	3	$-\sin \sin \theta (5\theta - 1) e^{i\varphi}$
1	0	0	2	4	$\theta (-3.5 \cos \cos 2\theta + 1.5)$
1	0	2	0	3.4	$\theta (-2.9 \cos \cos 2\theta - 1.9)$
1	0	2	4	7.4	$\theta \theta (-6.9 \cos \cos 2\theta + 2.1)$

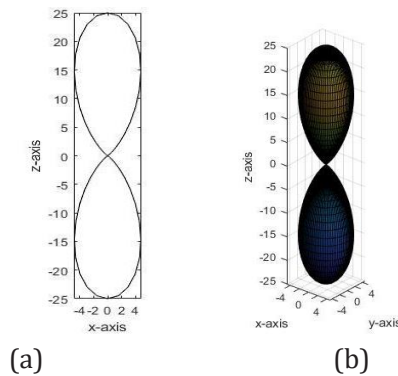
Visualisasi orbital untuk sistem yang terpengaruh potensial Non-Sentral Poschl-Teller dilakukan pada nilai $n = 1$ dengan hasil visualisasi ditunjukkan oleh gambar 2 sampai dengan gambar 6.



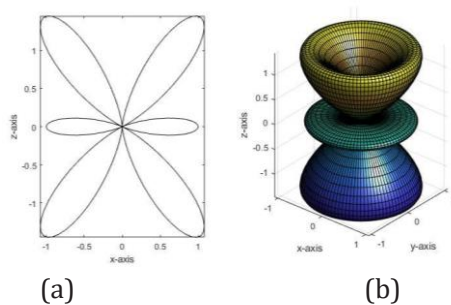
Gambar 2. Representasi Orbital (a) 2D dan (b) 3D pada $n = 1, m = 0, \kappa = 0, \eta = 0, l = 2$.



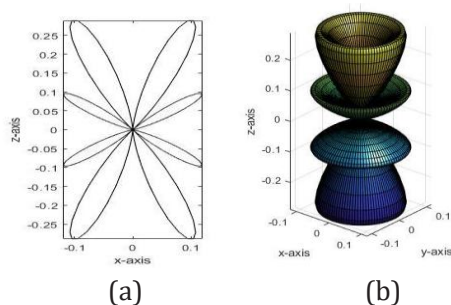
Gambar 3. Representasi Orbital (a) 2D dan (b) 3D pada $n = 1, m = 1, \kappa = 0, \eta = 0, l = 3$.



Gambar 4. Representasi Orbital (a) 2D dan (b) 3D pada $n = 1, m = 0, \kappa = 0, \eta = 2, l = 4$.



Gambar 5. Representasi Orbital (a) 2D dan (b) 3D pada $n = 1, m = 0, \kappa = 2, \eta = 0, l = 3,4$.



Gambar 6. Representasi Orbital (a) 2D dan (b) 3D pada $n = 1, m = 0, \kappa = 2, \eta = 4, l = 7,4$.

Berdasarkan visualisasi yang ditunjukkan oleh gambar 2 sampai dengan gambar 6, bentuk orbital elektron mengalami perubahan dengan penambahan orientasi momentum sudut yang diakibatkan adanya potensial pengganggu. Ketika parameter kedalaman κ, η bernilai 0 terdapat peningkatan orientasi momentum sudut yang terlihat dari gambar 2 dan gambar 3. Meskipun parameter kedalaman κ, η bernilai 0 tetapi terdapat perbedaan pada nilai bilangan kuantum magnetik m yang menunjukkan adanya peningkatan orientasi momentum sudut akibat kenaikan bilangan kuantum magnetik.

Sistem dengan parameter kedalaman κ, η bernilai tidak 0 ditunjukkan oleh gambar 4, 5, 6. Nilai kedalaman $\eta = 2$ meningkatkan jumlah orientasi momentum sudut dari sistem serta merubah arah orientasinya dibandingkan dengan $\eta = 0$. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan orientasi momentum sudut pada gambar 4. Selain parameter η , ketika parameter $\kappa = 2$ terjadi peningkatan pada jumlah orientasi momentum sudut dari sistem serta merubah arah orientasinya dibandingkan dengan $\kappa = 0$. Peningkatan orientasi ketika parameter $\kappa = 2$ ditunjukkan oleh gambar 5. Sehingga berdasarkan gambar 4 dan 5 diketahui bahwa peningkatan parameter kedalaman κ, η meningkatkan jumlah orientasi momentum sudut mengakibatkan kebolehjadian elektron dalam ruang 3D polar bertambah. Peningkatan orientasi tersebut juga terjadi ketika kedua parameter baik parameter kedalaman κ dan η bernilai tak 0 seperti ditunjukkan oleh gambar 6. Efek lain yang diakibatkan oleh adanya potensial pengganggu ini adalah peningkatan bilangan kuantum orbital l sehingga jumlah degenerasi pada sistem meningkat. Bilangan kuantum orbital l bergantung dengan parameter kedalaman potensial κ, η .

4. Simpulan

4.1 Kesimpulan

Penyelesaian persamaan Schrodinger untuk sistem dengan potensial Coulomb dan

potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller diselesaikan menggunakan pendekatan Metode Nikiforov-Uvarov dan diferensial Laguerre Terasosiasi. Visualisasi bentuk orbital dilakukan dengan menggunakan pemrograman matlab berdasarkan fungsi gelombang sistem. Bentuk orbital pada sistem dengan potensial Coulomb dan potensial pengganggu Non-Sentral Poschl-Teller mengalami penambahan orientasi momentum sudut seiring dengan meningkatnya bilangan kuantum orbital yang bergantung pada parameter kedalaman κ, η potensial Non-Sentral Poschl-Teller.

4.2 Saran

Penyelesaian persamaan Schrodinger dalam penelitian ini masih terbatas menggunakan pendekatan metode Nikiforov-Uvarov dan belum diperoleh penyelesaian eksak di dalamnya. Oleh karena itu, saran bagi penelitian selanjutnya agar memilih pendekatan yang lebih sesuai agar diperoleh hasil yang lebih baik.

Daftar Rujukan

- Abebe, O. J., Obeten, O. P., Okorie, U. S., & Ikot, A. N. (2021). Spin and Pseudospin Symmetries of The Dirac Equation for The Generalised Morse Potential and A Class of Yukawa Potential. *Pramana - Journal of Physics*, 95(3). <https://doi.org/10.1007/s12043-021-02131-y>
- Ahmed, S. A. S., & Buragohain, L. (2010). Exact S-wave Solution of Schr odinger Equation for Quantum Bound State Non-Power Law Systems. *Bulg. J. Phys*, 37, 133–143.
- Alam, Y. (2015). Solusi Persamaan Dirac Bagian Radial pada Kasus Pseudospin Simetri untuk Potensial Poschl-Teller Hiperbolik Terdeformasi-Q Menggunakan Metode Iterasi Asimtotik. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains*, 5, 2015–2601.
- Alam, Y., Suparmi, Cari, & Anwar, F. (2016). Analysis of D Dimensional Dirac Equation for Q-Deformed Poschl-Teller Combined with Q-Deformed Trigonometric Manning Rosen Non-Central Potential Using Asymptotic Iteration Method (AIM). *Journal of Physics: Conference Series*, 776(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/776/1/012082>
- Atkins, P., & Paula, J. de. (2006). *Atkins' Physical Chemistry* (Vol. 148).
- Bilaut, D. A., Suparmi, A., Cari, C., & Permatasari, P. (2020). The Solution of 4-Dimensional Schrodinger Equation with Hyperbolic Scarfplus Non-Central Potential Using SUSYQM and its Thermodynamical Properties. *AIP Conference Proceedings*, 2296. <https://doi.org/10.1063/5.0030717>
- Cari, C., Kurniasih, L., & Pratiwi, B. N. (2015). *Analytical Solution of The Dirac For Trigonometri Scarf II Poential Plus Trigonometri Posch-Teller Potential Using Asymptotic Iteration Method*. 2015(1cmse).
- Cari, C., & Suparmi. (2012). Approximate Solution of Schrodinger Equation for Trigonometric Scarf Potential with the Poschl-Teller Non-central potential Using NU Method. *IOSR Journal of Applied Physics*, 2(3), 13–23. <https://doi.org/10.9790/4861-0231323>
- Fitriani, S. N., & Suparmi. (2017). Solusi Persamaan Dirac dengan Spin Simetri Untuk Potensial Scarf II Hiperbolik Terdeformasi-Q Plus Tensor Tipe Coulomb Dengan Menggunakan Metode Nikiforov Uvarov. *Kappa Journal*, 1(1), 13. <https://doi.org/10.29408/kappa.v1i1.407>
- Ikhdaier, S. M., & Falaye, B. J. (2013). Approximate analytical Solutions to Relativistic and Nonrelativistic Pöschl-Teller Potential with its Thermodynamic Properties. *Chemical Physics*, 421, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2013.05.021>
- Itatani, J., Lavesque, J., Zeidler, D., Niikura, H., Pépin, H., Kieffer, J. C., Corkum, P. B., & Villeneuve, D. M. (2004). Tomographic imaging of molecular orbitals. *Nature*, 432(7019), 867–871. <https://doi.org/10.1038/nature03183>
- Liverts, E. Z. (2021). *Electrons on Sphere in The Helium-Like Atomic Systems*.

- Pratiwi, B. N., Suparmi, A., Cari, C., & Husein, A. S. (2017). Asymptotic Iteration Method for The Modified Poschl-Teller Potential and Trigonometric Scarf II non-central potential in the Dirac equation spin symmetry. *Pramana - Journal of Physics*, 88(2). <https://doi.org/10.1007/s12043-016-1326-3>
- Purohit, K. R., Pamar, R. H., & Rai, A. K. (2021). Energy and Momentum Eigenspectrum of the Hulthén-Screened Cosine Kratzer Potential Using Proper Quantization Rule and SUSYQM Method. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-631037/v1> License:
- Scerri, E. R. (2000). Have Orbitals Really Been Observed? *Journal of Chemical Education*, 77(11), 1492–1494. <https://doi.org/10.1021/ed077p1492>
- Shojaei, M. R., & Rajabi, A. A. (2011). Determination of Energy Levels of The Klein-Gordon Equation, with Pseudo Harmonic Potential Plus The Ring Shaped Potential. *International Journal of Physical Sciences*, 6(33), 7441–7446. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.653>
- Siregar, R. E. (2014). *Mekanika Kuantum Molekul: Struktur Elektronik Atom dan Molekul*.
- Siregar, R. E. (2018). *Fisika Kuantum*. Universitas Padjajaran.
- Suparmi, A., Permatahati, L. K., Faniandari, S., Iriani, Y., & Marzuki, A. (2021). Study of Bohr Mottelson Hamiltonian with Minimal Length Effect for Woods-Saxon Potential and its Thermodynamic Properties. *Heliyon*, 7(5), e06861. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06861>
- Suparmi, Cari, & Kusumawati, D. (2016). Persamaan Schrodinger D-Dimensi Bagian Sudut Potensial Poschl-Teller Hiperbolik Terdeformasi Q Plus Rosen Morse Trigonometri Menggunakan Metode Nikiforov-Uvarov. *Jurnal Mipa*, 39(2), 98–106.
- Suparmi, Cari, Yuliani, H., & Yuniati, D. (2014). Analisis Spektrum Energi dan Fungsi Gelombang Potensial Non-Sentral Poschl-Teller Termodifikasi plus Potensial Scarf Trigonometri Menggunakan Persamaan Hipergeometri (Halaman 41 s.d. 47). *Jurnal Fisika Indonesia*, 17(51), 41–47. <https://doi.org/10.22146/jfi.24433>
- Ukewuihe, U. M., Onyenegecha, C. P., Udensi, S. C., Nwokocha, C. O., Okereke, C. J., & Njoku, I. J. (2021). Approximate Solutions of Schrodinger Equation in D Dimensions with the Modified Mobius Square Plus Hulthen Potential. *Mathematics and Computational Sciences*, 1(3), 1–15. <https://doi.org/10.30511/mcs.2021.527027.1020>