

F. Manfaat Penelitian

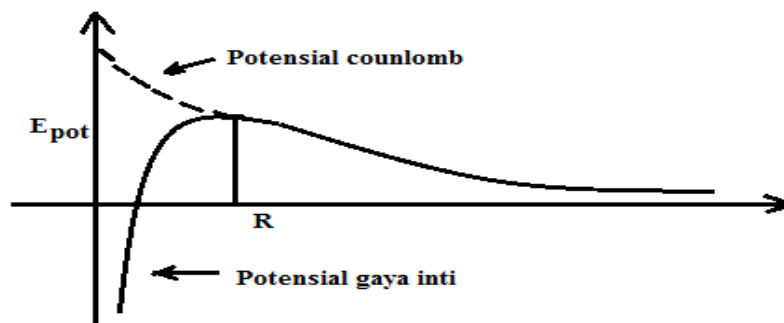
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat menambah informasi dan referensi mengenai interaksi nukleon-nukleon di dalam inti atom yang menggunakan potensial Yukawa.
2. Dapat digunakan sebagai alternatif penyelesaian kasus nilai kritis Potensial Yukawa dengan metode numerik yang diimplementasikan ke dalam bahasa pemrograman Matlab.
3. Dapat menambah informasi dalam memahami karakteristik partikel-partikel penyusun inti atom neutron dan proton.

BAB II DASAR TEORI

A. Ukuran dan Partikel Penyusun Inti Atom

Pusat dari atom disebut inti atom atau nukleus. Ukuran inti atom jauh lebih kecil dari ukuran atom itu sendiri. Percobaan hamburan Rutherford merupakan bukti pertama bahwa inti atom mempunyai ukuran yang berhingga. Rutherford menyelidiki ukuran inti atom berdasarkan hamburan partikel alpha (α) dan menetapkan bahwa jari-jari inti sekitar 5×10^{-15} m. Percobaan hamburan Rutherford diketahui bahwa apabila sebuah partikel alpha (α) mendekati sebuah inti atom dari luar atom, maka partikel tersebut pada mulanya mengalami gaya Coulomb. Akan tetapi pada saat mendekat dengan jarak yang cukup dekat, partikel alpha (α) mengalami gaya lain, yakni gaya tarik inti disamping gaya Coulomb tadi. Dalam percobaannya digunakan partikel alpha dengan energi kinetik yang sangat tinggi (7,7 Mev) sehingga mampu mendekati inti atom dengan jarak yang cukup dekat (Baharuddin, 1988). Sistem penentuan jari-jari inti atom ditunjukkan Gambar 1. Jari-jari inti atom didefinisikan sebagai jarak (R) yang mana pengaruh gaya coulomb dan gaya inti dianggap sama.



Gambar 1. Potensial Coulomb dan potensial gaya inti yang digunakan untuk mendefinisikan jari-jari R (Baharuddin, 1988).

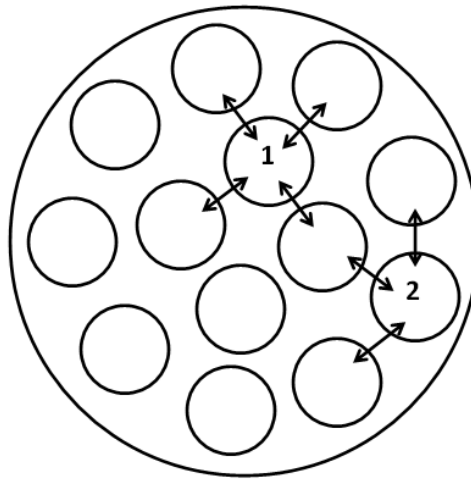
Semua inti atom tersusun dari dua jenis partikel, yakni proton yang bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan. Kedua partikel disebut juga sebagai nukleon, proton memiliki massa sebesar $m_p = 1,0072766 \text{ u} = 1,6725 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Pada tahun 1932, James Chadwick berhasil memperlihatkan keberadaan neutron dalam percobaannya dengan menembak berilium dengan partikel alpha. Menurutnya radiasi yang dipancarkan dari percobaan itu terdiri dari partikel netral yang massanya hampir sama dengan proton. Kenetralan inilah yang menyebabkan namanya menjadi neutron dan mempunyai kemampuan untuk menembus bahan timbal dengan mudah. Hingga Chadwick menyimpulkan bahwa massa neutron $m_n \approx m_p$, yang massanya $m_n = 1,0086654 \text{ u} = 1,6748 \times 10^{-27} \text{ kg}$ (Beiser, 1987).

B. Energi Ikat Inti dalam Kajian Eksperimen

Energi ikat sebuah inti adalah energi yang diperlukan untuk memecahkan inti atom menjadi nukleon-nukleon penyusunnya (neutron dan proton). Hal ini terbukti dalam percobaan C.F. von Weizsacker dengan tetesan cairan (*liquid drop*). Pada tahun 1935, Weizsacker mengemukakan bahwa sifat-sifat inti yang terkait dengan ukuran geometris, massa dan energi ikatnya mirip dengan sebuah tetes cairan (*liquid drop*). Pada tetesan cairan, kerapatannya konstan dan energi ikatnya berbanding lurus dengan massa atau jumlah partikel yang membentuk tetesan (Beiser, 1987).

Energi ikat per nukleon didapat dengan membagi energi ikat total inti dengan jumlah nukleon proton dan neutron dalam inti itu. Jadi energi ikat per

nukleon untuk ${}^2_1\text{H}$ ialah $2,2 \text{ MeV}/2 = 1,1 \text{ MeV/nukleon}$ dan untuk ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ ialah $1640 \text{ MeV}/209 = 7,8 \text{ MeV/nukleon}$ (Beiser, 1987). Energi permukaan inti sangat penting untuk inti ringan karena sebagian besar dari nukleon berada di permukaan. Energi ikat yang terjadi pada nukleon-nukleon pada permukaan inti atom (bagian tepi) lebih lemah dibandingkan dengan nukleon yang berada di tengah inti atom. Gambar 2 ini menunjukkan posisi nukleon di dalam inti atom, angka 1 menunjukkan nukleon yang berada di bagian tengah inti atom dan angka 2 menunjukkan nukleon yang berada di permukaan inti atom (Beiser, 1987).



Gambar 2. Ilustrasi interaksi antar nukleon di dalam inti atom (Beiser, 1987).

Rumus akhir untuk energi ikat sebuah inti atom yang bernomor atomik Z dan bernomor massa A yang pertama kali dikemukakan oleh Weizsacker ialah :

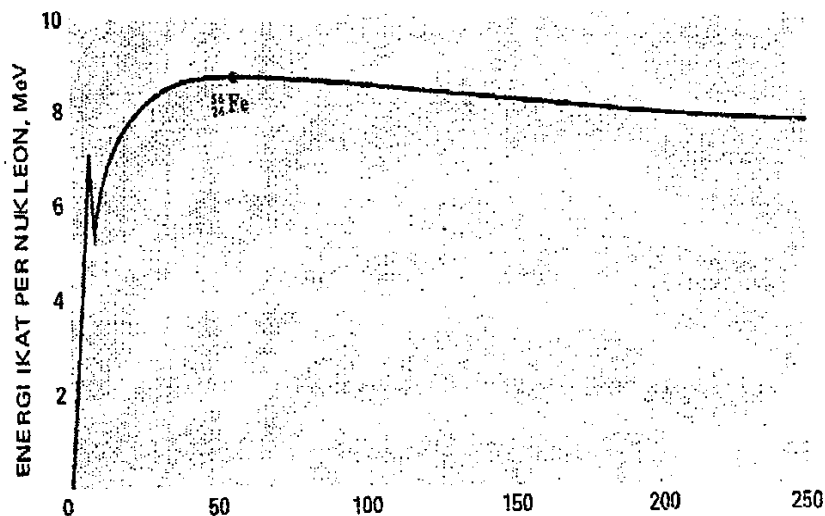
$$E_b = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 \frac{Z(Z-1)}{A^{3/4}} - a_4 \frac{(A-2Z)^2}{A} (\pm, 0) \frac{a_5}{A^{3/4}} \quad (1)$$

dengan koefisiennya

$$a_1 = 14 \text{ MeV} , a_2 = 13 \text{ MeV} , a_3 = 0.60 \text{ MeV}$$

$$a_4 = 19 \text{ MeV} , a_5 = 34 \text{ MeV}$$

Hasil eksperimen memperlihatkan bahwa energi ikat per nukleon untuk semua inti stabil berkisar 7 – 8 MeV. Berdasarkan Gambar 3, terlihat adanya kecenderungan terjadi penurunan energi ikat untuk bertambahnya A yaitu mulai pada nomor massa sekitar 70 yang memperlihatkan grafik energi ikat per nukleon terhadap banyaknya nukleon dalam berbagai inti atomik. Lebih besar energi ikat per nukleon, lebih mantap inti itu. Grafik itu mempunyai maksimum 8,8 MeV/nukleon bila banyaknya nukleon 56. Inti yang memiliki 56 proton dan neutron ialah ${}^{56}_{26}\text{Fe}$, yaitu isotop besi. Ini adalah isotop yang paling mantap, karena energi yang diperlukan untuk menarik ke luar sebuah nukleon dari inti tersebut adalah yang terbesar.



Gambar 3. Energi ikat nukleon sebagai fungsi nomor massa (Beiser, 1987).

Puncak pada $A = 4$ bersesuaian dengan inti ${}^4_2\text{He}$ yang luar biasa mantap yang dikenal juga dengan nama partikel alfa. Energi ikat per nukleon maksimum untuk inti bernomor massa $A = 56$. Inti seperti ini adalah inti yang paling mantap.

Bila dua buah inti ringan bergabung membentuk inti lebih berat, prosesnya disebut fusi. Bila inti berat dipecah menjadi dua inti yang lebih ringan disebut fisi.

C. Interaksi Kuat yang terjadi di dalam Inti Atom

Interaksi antar partikel dapat dibagi menjadi empat golongan, yaitu interaksi elektromagnetik, interaksi lemah, interaksi kuat, dan interaksi gravitasi. Di antara keempat interaksi tersebut, interaksi elektromagnetik yang benar-benar dapat dimengerti. Di dalam inti atom, proton dan neutron yang saling terikat sangat kuat. Gaya inti bersifat tolak-menolak pada jarak yang sangat pendek dan saling tarik-menarik pada jarak jauh, karena jika tidak demikian, nukleon dalam inti akan menyatu (Beiser, 1987).

Neutron dan proton berada dalam jarak yang sangat dekat, mereka ditahan oleh gaya kuat inti. Gaya kuat inti ini sangat kuat bila dibandingkan dengan gaya gravitasi atau dengan gaya elektromagnetik, akan tetapi karena gaya kuat inti ini hanya bekerja dalam jarak yang sangat pendek berlawanan dengan gaya gravitasi dan gaya elektromagnetik yang mempunyai jangkauan tak terhingga. Berikut ini ada beberapa sebab mengapa nukleon-nukleon terikat satu sama lain yaitu :

1. Interaksi yang berkerja di dalam inti atom jelas bukan interaksi elektromagnetik. Gaya tarik-menarik menurut hukum Coulomb hanya mungkin terjadi apabila muatan berlawanan, sedangkan di dalam inti atom, terdapat neutron yang tidak bermuatan. Lagi pula gaya inti jauh lebih besar dibandingkan dengan gaya elektromagnetik.

2. Interaksi yang bekerja di dalam inti atom bukan interaksi gravitasi, karena massa nukleon cukup kecil sehingga gaya gravitasi yang ditimbulkannya sangat kecil.
3. Interaksi di dalam inti berkerja pada jarak yang sangat pendek. Bila jarak antara dua nukleon melebihi 10^{-12} cm maka gaya inti tidak lagi efektif lagi. Pada jarak itu praktis hanya gaya elektromagnetik yang bekerja, tetapi pada jarak yang lebih pendek maka gaya inti jauh lebih dominan.
4. Gaya inti yang bekerja pada proton hampir sama dengan gaya inti yang bekerja pada neutron. (Baharuddin, 1988)

Ilustrasi yang paling mendekati untuk menggambarkan gaya inti adalah menggunakan dua bola yang dihubungkan permanen sebuah pegas (Eko, 2009). Menurut ketidakpastian Heisenberg, energi ΔE memiliki ketidakpastian dalam selang waktu Δt . Oleh karena itu, tidak melanggar hukum kekekalan energi dengan ΔE dalam selang waktu $\Delta t = \hbar/\Delta E$ yang cukup singkat. Jumlah energi yang melanggar hukum kekekalan energi dalam model gaya tukar neutron-proton ini adalah mc^2 , yaitu energi diam partikel yang dipertukarkan. Dengan demikian, partikel ini hanya dapat hadir dalam selang waktu (dalam kerangka laboratorium) yang ditunjukkan oleh persamaan 2.

$$\Delta t = \frac{\hbar}{mc^2} \quad (2)$$

Jarak terjauh yang dapat dicapai partikel ini dalam selang waktu adalah $x = c \cdot \Delta t$, dengan c adalah kecepatan cahaya. Namun, kecepatan yang sesungguhnya partikel

tersebut di bawah kecepatan cahaya. Persamaan 2 tersebut dapat diubah menjadi persamaan 3 yaitu:

$$x = c \cdot \Delta t = c \cdot \left(\frac{\hbar}{mc^2} \right) \quad (3)$$

atau

$$mc^2 = \frac{c\hbar}{x} \quad (4)$$

Partikel yang dipertukarkan ini berupa sebuah partikel virtual yang dinamakan dengan meson. Berdasarkan pemikiran jangkauan gaya inti sekitar $\cong 1,4 \cdot 10^{-15}$ m (1,4 fm) tersebut maka dapat diperkirakan energi diam partikel yang dipertukarkan adalah $E_i = mc^2 \cong 200$ MeV. Energi inilah yang dinamakan energi ikat inti. Energi ikat inti, misalnya deutron dapat diperoleh sebagai nilai selisih massa atom netral ${}^2\text{H}$ dengan jumlah massa neutron dan proton. Deutron merupakan isotop hidrogen ${}^2_1\text{H}$ memiliki neutron dan proton di dalam intinya. Massa atom deutron sama dengan massa atom hidrogen ditambah dengan massa neutron, yaitu

Massa atom ${}^1_1\text{H}$	= 1,0078 u	
Massa atom ${}^1_0\text{n}$	= 1,0087 u	+
Massa deutron ${}^2_1\text{H}$	= 2,0165 u	

namun massa atom deutron 2,0165 u sedangkan massa atom ${}^2_1\text{H}$ yang terukur adalah 2,0141 u, sehingga terdapat selisih massa sebesar 0,0024 u dari massa gabungan antara massa atom hidrogen dengan neutron.

Massa 0,0024 u yang hilang pada pembentukan deutron sebanding dengan energi yang diberikan untuk membentuk deutron massa atom ${}^2_1\text{H}$ dari

neutron dan proton. Berdasarkan kesetaraan massa dan energi, yaitu 1 u setara 931 MeV, maka energi yang diperlukan untuk membentuk inti deuterium adalah $(0,0024 \text{ u})(931 \text{ MeV/u}) = 2,2 \text{ MeV}$. Untuk membuktikan energi yang diperlukan untuk membentuk deutron ${}^2_1\text{H}$ dapat dilakukan eksperimen memecah deutron ${}^2_1\text{H}$ menjadi nukleon penyusunnya (proton dan neutron yang terpisah), yang memerlukan energi sebesar 2,2 MeV. Bila energi yang diberikan kurang dari 2,2 MeV maka deutron ${}^2_1\text{H}$ tidak terpisah menjadi proton dan neutron. Bila energi yang diberikan lebih dari 2,2 MeV, energi kelebihannya akan menjadi energi kinetik proton dan neutron pada saat terpisah dari deutron ${}^2_1\text{H}$. Deutron tersusun atas sebuah proton dan neutron, yang merupakan inti stabil. Sebagai sebuah atom, deutron disebut deuterium sebagai isotop hidrogen yang memiliki kelimpahan $1,5 \times 10^{-4}$ dibandingkan dengan 0,99985 hidrogen biasa. Stabilitas itu luar biasa karena neutron bebas tidak stabil dan mengalami peluruhan beta dengan waktu paruh 10,3 menit. Energi ikat deutron sebesar $2,2\text{MeV}/c^2$ (Yosi dkk, 2012).

Kesetaraan energi massa yang hilang pada saat inti terbentuk dari komponennya disebut energi ikat. Semakin besar energi ikat inti maka semakin besar pula energi yang diberikan untuk memisahkan inti tersebut menjadi nukleon-nukleon penyusunnya (Beiser, 1987).

D. Analisa tentang Potensial Yukawa

1. Formulasi Potensial Yukawa

Di luar inti atom, pada jangkauan atom r_{atom} sekitar 10^{-12} m terjadi interaksi antara proton dengan elektron. Interaksi kedua partikel ini yang dikenal sebagai interaksi elektromagnetik. Dengan memikirkan potensial elektromagnetik yang terjadi saat kedua partikel berinteraksi pada $\nabla^2 V_e = 0$ yang dirumuskan dalam persamaan 6.

$$V_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (6)$$

Sebelum ditemukan neutron, interaksi partikel di dalam inti atom masih dianggap interaksi elektromagnetik. Dengan ditemukan neutron semua anggapan tersebut berubah dan dengan teori *pion* yang diungkapkan oleh Hideki Yukawa memberikan gambaran yang jelas tentang interaksi partikel dalam inti atom. Untuk partikel dengan massa, persamaan relativistiknya ditunjukkan oleh persamaan 7.

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 \quad (7)$$

Dengan memperhitungkan beberapa besaran gelombang yaitu pada persamaan 8 dan persamaan 9.

$$E \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \quad (8)$$

$$P_x \rightarrow -i\hbar \frac{\partial}{\partial x} \quad (9)$$

sehingga diperoleh persamaan 10.

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} = (m^2 c^4 - \hbar^2 c^4 \nabla^2) F \quad (10)$$

dengan F merupakan suatu fungsi gelombang. Dalam kasus statis dimana fungsi gelombang tidak bergantung oleh waktu (t) maka turunan parsial orde dua fungsi gelombang terhadap waktu sama dengan nol ($\frac{\partial^2 F}{\partial t} = 0$), sehingga persamaannya menjadi persamaan 11.

$$\left(\nabla^2 - \frac{m^2 c^2}{\hbar^2}\right) F = 0 \quad (11)$$

Bentuk persamaan 11 mirip untuk kasus interaksi elektromagnetik dimana $\nabla^2 V_e = 0$. Karena interaksi antar nukleon terjadi di dalam inti atom yang dianggap berbentuk bola, sehingga operator differensialnya dapat ditulis dalam persamaan 12.

$$\nabla^2 F \rightarrow \frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} (rF) \quad (12)$$

Persamaan 12 dimasukkan kedalam persamaan 11 dan diperoleh persamaan 13.

$$\frac{d^2}{dr^2} (rF) = \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} rF \quad (13)$$

Penyelesaian persamaan 13 dapat dihitung dengan persamaan 14.

$$\frac{d^2 Y}{dr^2} = k^2 Y \quad (14)$$

Dihasilkan dua solusi $Y = e^{ky}$ dan $Y = e^{-ky}$, y merupakan fungsi terhadap jarak dengan syarat batas $r = 0$ dan $r = \infty$ karena partikel dapat bergerak bebas pada jarak tak terhingga, sehingga solusi akhir ditunjukkan oleh persamaan 15.

$$F = g^2 \frac{e^{-r/R}}{r} \quad (15)$$

Fungsi persamaan F merupakan bentuk persamaan potensial Yukawa. Dengan g^2 merupakan konstanta kekuatan jangkauan gaya kuat interaksi Yukawa yang menunjukkan sebuah energi yang bernilai (\pm), sehingga nilai λ bernilai negatif

karena energi yang dicari bernilai negatif yang menunjukkan energi nukleon keadaan terikat dan $R = \frac{\hbar}{mc}$ merupakan panjang jangkauan gaya inti. Bentuk persamaan 15 dimodifikasi menjadi persamaan 16 (Pal, 1982).

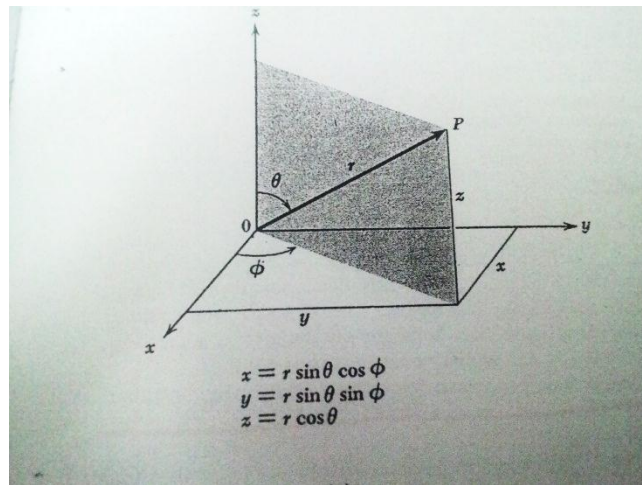
$$V(r) = -\lambda \frac{e^{-\alpha r}}{r} \quad (16)$$

Berdasarkan persamaan 16 λ menunjukkan konstanta kopling dan $1/\alpha$ sebagai jangkauan gaya inti yang merupakan suatu variabel yang penting dari potensial Yukawa. Adapun fenomena kritis yang dapat terjadi pada potensial Yukawa yaitu terkait dengan variabel-variabelnya. Untuk $\alpha = 0$ potensial Yukawa dapat tereduksi menjadi potensial Coulomb dan mempunyai jumlah energi ikat tak berhingga. Pada $\alpha = \infty$, tidak ada interaksi pada sistem atau sistem berada pada keadaan bebas. Sedangkan $\alpha \neq 0$, potensial Yukawa dalam keadaan yang sangat berbeda dengan Potensial Coulomb, karena mempunyai jumlah energi ikat yang terbatas (Luo dkk, 2005).

Ugalde (1997) menunjukkan hubungan energi ikat atom hidrogen terhadap jangkauan interaksi gaya inti pada keadaan dasar, bahwa energi ikat atom hidrogen semakin besar seiring bertambah besarnya nilai jangkauan interaksi gaya inti. Agustina (2010) menunjukkan hubungan antara parameter dengan swanilai terkecil potensial Yukawa pada keadaan dasar adalah sebanding yaitu pada nilai λ semakin besar, dan α semakin besar pula maka diperoleh swanilai terkecil juga semakin besar. Nilai negatif pada swanilai terkecil tersebut menyatakan bahwa nukleon-nukleon akan saling mengikat membentuk inti.

2. Formulasi Matematis Persamaan Schrödinger dalam Keadaan Radial

Dari percobaan Rutherford menunjukkan bentuk inti atom berupa bola dengan jari-jari R , dengan asumsi bahwa inti atom berbentuk bola untuk memudahkan pemahaman, maka persamaan Schrödinger dapat dinyatakan dalam koordinat polar berbentuk bola (Gautreau, 1984). Koordinat polar berbentuk bola (polar sferis) r, θ, ϕ ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 . Koordinat polar berbentuk bola (Beiser, 1987).

Persamaan Schrödinger radial pada koordinat bola dapat ditulis pada persamaan 17 sebagai berikut:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) + \left[\frac{2m}{\hbar^2} (E - V) - \frac{l(l+1)}{r^2} \right] R = 0 \quad (17)$$

penyederhanaan persamaan $\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right)$ dengan pemisalan $U(r) = rR(r)$ sehingga persamaan 16 menjadi persamaan 18 yaitu:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) = \left[\frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d}{dr} \right) \right] \frac{U}{r} \quad (18)$$

dengan $\frac{d}{dr} (uv) = u'v + uv'$ persamaan 18 menjadi persamaan 19.

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) = \frac{2}{r} \frac{d}{dr} \left(\frac{U}{r} \right) + \frac{d^2}{dr^2} \left(\frac{U}{r} \right) \quad (19)$$

untuk penyelesaian $\frac{2}{r} \frac{d}{dr} \left(\frac{U}{r} \right)$ pada persamaan 19 dengan menggunakan $\frac{d}{dr} \left(\frac{u}{v} \right) = \frac{u'v - uv'}{v^2}$ menghasilkan persamaan 20.

$$\frac{2}{r} \frac{d}{dr} \left(\frac{U}{r} \right) = \frac{2}{r} \left(\frac{\frac{dU}{dr} r - U \cdot 1}{r^2} \right) = \frac{2}{r^2} \frac{dU}{dr} - \frac{2}{r^3} U \quad (20)$$

untuk penyelesaian $\frac{d^2}{dr^2} \left(\frac{U}{r} \right)$ dari persamaan 19 ditunjukkan pada persamaan 21.

$$\frac{d^2}{dr^2} \left(\frac{U}{r} \right) = \left(-\frac{1}{r^2} \frac{dU}{dr} + \frac{1}{r} \frac{d^2 U}{dr^2} \right) - \left(\frac{1}{r^2} \frac{dU}{dr} - \frac{2U}{r^3} \right) \quad (21)$$

selanjutnya menggabungkan persamaan 20 dan persamaan 21 sehingga didapatkan persamaan 22.

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) = \frac{1}{r} \frac{d^2 U}{dr^2} \quad (22)$$

dengan memasukkan persamaan 22 ke dalam persamaan 16 sehingga menjadi persamaan 23.

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 U}{dr^2} + \left[\frac{2m}{\hbar^2} (E - V) - \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2mr^2} \right] U = 0 \quad (23)$$

persamaan 23 dapat ditulis kembali dengan dengan bentuk lain seperti pada persamaan 24 dan persamaan 25 yaitu:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dr^2} u(r) + \left[V(r) + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2mr^2} \right] u(r) = Eu(r) \quad (24)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dr^2} u(r) + U(r)u(r) = Eu(r) \quad (25)$$

$$U(r) = V(r) + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2mr^2} \quad (26)$$

Persamaan 26 menunjukkan $U(r)$ adalah potensial efektif yaitu hasil penjumlahan dari potensial sentral $V(r)$ dan potensial sentrifugal $\frac{\hbar^2 l(l+1)}{2mr^2}$ dengan r merupakan jarak antara dua nukleon, m adalah massa dan l adalah bilangan kuantum momentum sudut. Karena massa nukleon-nukleon penyusun inti tidak sama maka digunakan massa tereduksi atau dapat ditulis sebagai m^* yang merupakan pasangan massa partikel m dan M penyusun sistem inti sebesar $m^* = \frac{mM}{(m+M)}$. Adapun bentuk persamaan sentral $V(r)$ menggunakan potensial Yukawa ditunjukkan persamaan 27.

$$V(r) = -\lambda \frac{e^{-\alpha r}}{r} \quad (27)$$

Berdasarkan interaksi nukleon dalam inti atom maka dipilih potensial sentral adalah potensial Yukawa, yaitu potensial Yukawa tersebut tidak bergantung waktu (t) dan hanya bergantung dengan jarak (r) interaksi antar nukleon. Bentuk persamaan Schrödinger dalam interaksi dua nukleon juga tidak bergantung waktu (*time independent Schrödinger equation*) seperti yang ditunjukkan persamaan 24. Faktor dalam kurung diruas kiri tidak lain menyatakan operator Hamilton sistem, yaitu operator yang mewakili jumlahan energi kinetik (suku pertama) dan energi potensial (suku kedua). Jika operator itu kita lambangi \hat{H} maka persamaan 24 dapat ditulis menjadi persamaan 28.

$$\hat{H}\psi(r) = E\psi(r) \quad (28)$$

Persamaan 27 merupakan contoh dari persamaan nilai swanilai E (*eigenvalue equation*), sebab operasi \hat{H} terhadap fungsi $\psi(r)$ tidak menghasilkan fungsi baru melainkan hanya mengalikan fungsi itu dengan suatu bilangan (E).

Dengan menggunakan peristilahan dalam persamaan swanilai, persamaan 28 dapat diungkapkan; $\psi(r)$ merupakan Swafungsi (fungsi karakteristik) bagi operator \hat{H} dengan nilai eigen (nilai karakteristik) sebesar E (Sutopo, 2005).

Dalam kasus interaksi dua nukleon, E merupakan Energi ikat nukleon yang dihasilkan saat keduanya berinteraksi. Untuk kasus inti atom yang terdiri lebih dari dua nukleon maka energi ikat inti merupakan Energi total ($\{E\}_N$) dari semua energi ikat tiap interaksi nukleon saat berinteraksi (E_i) yang ditunjukkan oleh persamaan 29.

$$\{E\}_N = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_N = \sum_{i=1}^N E_i \quad (29)$$