

**SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN 2016**

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Membangun Intelektual Bangsa dan Menjaga Budaya Nasional di Era MEA”

**21 MEI 2016**

---

**TINGKAT ENERGI ATOM HELIUM DENGAN PENDEKATAN MODEL  
PARTIKEL BEBAS (*INDEPENDENT PARTICLE MODEL*)**

**Imam Hanafi**

Pendidikan Fisika, FKIP UNIVERSITAS, JEMBER,

bj.hanafie@yahoo.co.id

**Bambang Supriyadi**

Pendidikan Fisika, FKIP UNIVERSITAS, JEMBER

**Rif’ati Dina Handayani**

Pendidikan Fisika, FKIP UNIVERSITAS, JEMBER

**Abstrak**

Atom berelektron banyak merupakan atom yang memiliki elektron lebih dari satu. Atom yang demikian akan menghasilkan spin elektron yang akan memengaruhi energi atom tersebut. Selain itu, elektron dalam atom berelektron banyak akan saling tolak menolak dan interaksi tersebut akan mengubah energi atomnya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan energi atom Helium dengan menggunakan metodepartikel bebas yang dikoreksi oleh interaksi antar elektron, teori relativitas dan interaksi antara medan magnet intrinsik dan momen magnet spin elektron. Interaksi antar elektron menghasilkan dua jenis energi yakni energi untuk parahelium dan orthohelium sedangkan koreksi akibat teori relativitas dan interaksi momen magnet intrinsik dengan momen magnet spin yang disebut dengan spin-orbit terkopel mengakibatkan energi atom Helium sedikit berubah sesuai dengan nomer quantum elektronnya. Semakin besar bilangan kuantum utama, semakin kecil koreksi relativistik dan koreksi spin-orbit terkopelnya. Sedangkan dalam bilangan kuantum yang sama, semakin besar bilangan kuantum orbitalnya maka akan semakin kecil koreksi spin-orbit terkopelnya.

**Kata kunci:** *Atom berelektron banyak, interaksi antar elektron, relativitas, medan magnet intrinsik, momen magnet spin, spin-orbit terkopel.*

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN 2016

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Membangun Intelektual Bangsa dan Menjaga Budaya Nasional di Era MEA”  
**21 MEI 2016**

### PENDAHULUAN

Di alam semesta terdapat banyak sekali jenis unsur yang telah ditemukan. Beberapa bersifat reaktif dan ada pula yang tidak reaktif. Unsur-unsur yang tidak reaktif dapat dilihat pada tabel periodik unsur pada golongan VIIIA dan atom Helium merupakan atom yang paling sulit bereaksi. Atom ini cukup sederhana hanya memiliki dua buah elektron yang mengelilingi inti atom.

Dalam bahasan mekanika kuantum, elektron berperilaku sebagai gelombang yang sifat-sifatnya dapat dideskripsikan oleh fungsi gelombang hasil solusi dari persamaan Schrödinger. Sedangkan solusi persamaan Schrödinger untuk sistem dua partikel merupakan perkalian dua buah fungsi gelombang masing-masing partikel.

Model partikel bebas merupakan suatu pendekatan untuk mendapatkan solusi persamaan Schrödinger untuk dua partikel dengan mengabaikan interaksi keduanya. Kemudian dengan mengetahui fungsi gelombangnya maka dapat ditentukan energi atom helium. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan energi atom Helium  $He_2^4$  menggunakan model partikel bebas yang dikoreksi oleh interaksi antar partikel, teori relativistik dan interaksi medan magnet intrinsik dengan momen spin elektron.

### METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian non eksperimen untuk mengetahui tingkatan energi atom Helium  $He_2^4$  dengan menggunakan pendekatan partikel bebas dan beberapa koreksi antara lain koreksi interaksi antar elektron, koreksi akibat relativitas, dan koreksi akibat interaksi antara medan magnet intrinsik dengan momen magnet spin elektron.

Penelitian ini dimulai dengan langkah persiapan berupa mengumpulkan sumber rujukan baik berupa buku referensi maupun jurnal-jurnal penelitian ilmiah. Setelah langkah persiapan, langkah selanjutnya adalah pengembangan teori. Langkah ini berupa pengembangan teori yang sudah ada yakni studi struktur halus atom Hidrogen yang dikembangkan pada atom Helium. Hasil dari pengembangan teori ini berupa fungsi gelombang atom Helium, energi atom Helium, interaksi antar electron, koreksi relativistic, koreksi spin-orbit terkopel. Langkah selanjutnya adalah validasi hasil pengembangan teori berupa membandingkan energi hasil pengembangan teori dengan data yang diperoleh pada buku referensi dan/atau jurnal. Apabila energi yang dihasilkan besarnya sama dengan teori yang ada pada sumber rujukan maka fungsi gelombang yang dihasilkan sudah

## SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN 2016

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Membangun Intelektual Bangsa dan Menjaga Budaya Nasional di Era MEA”

21 MEI 2016

sesuai. Oleh karena itu, interaksi antar partikel, koreksi relativistic dan spin-orbit terkopel yang kesemuanya itu dihasilkan dari fungsi gelombang sudah sesuai. Langkah selanjutnya yakni pengambilan data berupa mendapatkan nilai energi atom Helium, interaksi antar electron, koreksi relativistik dan spin-orbit terkopel untuk bilangan kuantum  $n = 1$  dan 2. Kemudian dijumlahkan dan menghasilkan struktur halus atom Helium.

Langkah berikutnya adalah pembahasan berupa pembahasan dari data-data yang telah dihasilkan. Langkah terakhir adalah kesimpulan yakni menjawab pertanyaan yang menjadi permasalahan dalam penelitian.

### PEMBAHASAN

Bentuk koreksi relativistik terhadap energi atom Helium adalah seperti pada persamaan (1)

$$E_r^1 = -\frac{E_n^2}{2mc^2} \left[ \frac{4n}{(l+1/2)} - 3 \right]$$

(1)

Adapun besar koreksi relativistik untuk bilangan kuantum  $n = 1, 2$  disajikan pada Tabel 1. Oleh karena atom Helium memiliki dua buah electron yang mengitari inti atom maka koreksi energi atom Helium merupakan penjumlahan kedua koreksi elektronnya seperti disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai bilangan kuantum utama  $n$  semakin kecil nilai koreksinya. Hal ini disebabkan oleh energi kinetik yang dimiliki oleh elektron itu sendiri. Oleh karena energi kinetik berbanding terbalik dengan jari-jari lintasan elektron, maka semakin besar bilangan kuantum utama semakin besar pula jari-jari lintasan elektron tersebut sehingga semakin kecil energi kinetiknya. Apabila energi kinetik kecil, maka kelajuan elektron mengitari inti atom akan kecil pula, sehingga koreksi relativistik yang berlaku untuk kelajuan mendekati cahaya juga akan semakin kecil. Pada Tabel 4.1 dapat pula diketahui bahwa pada bilangan kuantum utama yang sama, semakin besar bilangan kuantum orbitalnya maka semakin kecil koreksi relativistiknya dengan demikian semakin kecil pula kelajuan elektron mengitari inti atom. Di sisi lain atom Helium memiliki dua buah elektron sehingga koreksi relativistik terhadap energi atom Helium juga merupakan penjumlahan dari koreksi kedua elektronnya sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Bentuk-bentuk koreksi energi untuk atom Helium yang memiliki dua buah proton dalam inti atomnya untuk bilangan kuantum orbital  $l > 0$  adalah

$$E_{so}^1 = \frac{E_n^2}{2mc^2} \frac{n[j(j+1)-l(l+1)-s(s+1)]}{l(l+1/2)(l+1)}$$

(2)

**SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN 2016****“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Membangun Intelektual Bangsa dan Menjaga Budaya Nasional di Era MEA”****21 MEI 2016**

dan untuk bilangan kuantum orbital  $l = 0$ , bentuk koreksinya adalah

$$E_{so}^1 = \frac{32}{mc^2} E_n^2$$

(3)

Adapun besar koreksi spin-orbit terkopel untuk beberapa bilangan kuantum disajikan pada Tabel 3 dan besar koreksi spin-orbit terkopel untuk atom Helium dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5. Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa semakin besar bilangan kuantum utama, semakin kecil koreksi spin-orbit terkopelnya. Hal ini disebabkan karena semakin besar bilangan kuantum utama semakin besar pula jari-jari lintasan elektronnya sehingga semakin kecil medan magnet intrinsik yang dihasilkan oleh inti atom. Selain itu ketika jari-jari atom membesar, kelajuan elektron mengitari inti atom akan semakin kecil, begitu pula dengan kelajuan berputar inti atom jika dilihat dari sudut pandang elektron. Oleh karena kelajuan inti atom kecil maka arus yang dihasilkan juga kecil, sehingga medan magnet intrinsiknya juga mengecil. Itulah sebabnya mengapa semakin besar bilangan kuantum utamanya semakin kecil koreksi spin-orbit terkopelnya. Besar energi atom Helium pada keadaan dasar dan pada keadaan tereksitasi dengan mengabaikan interaksi antar elektron berturut-turut adalah -108,8 eV dan -68 eV. Kemudian dengan mengikutsertakan interaksi antar elektron dalam atom Helium dimana besar koreksinya pada

keadaan dasar adalah 34 eV sedangkan pada keadaan tereksitasi besar koreksinya adalah  $(5,709 \pm 4,776)$  eV, tanda plus digunakan untuk fungsi gelombang spasi-simetris yang kemudian menghasilkan energi atom parahelium yang biasanya konfigurasinya dilambangkan sebagai  $n^{2S+1}L$  (pada keadaan dasar  $1^0S$  dan pada keadaan tereksitasi  $2^0S$  atau  $2^0P$ ) sedangkan tanda negatif digunakan untuk fungsi gelombang spasi-asimetris yang menghasilkan energi untuk atom orthohelium (pada keadaan dasar  $1^3S$  dan pada keadaan tereksitasi  $2^3S$  atau  $2^3P$ ), maka besar energi atom Helium dengan hanya mengikutsertakan interaksi antar elektron dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7. Adapun besar energi atom Helium setelah adanya koreksi oleh teori relativitas dan spin-orbit terkopel secara lengkap untuk keadaan dasar dan tereksitasi dapat dilihat pada Tabel 8, Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11.

**Tabel 1** Koreksi relativistik dalam satuan eV

| Bilangan kuantum | Nilai koreksi            |
|------------------|--------------------------|
| $n = 1, l = 0$   | $-9,0489 \times 10^{-4}$ |
| $n = 2, l = 0$   | $-1,4705 \times 10^{-4}$ |
| $n = 2, l = 1$   | $-2,6393 \times 10^{-5}$ |

**Tabel 2** Koreksi relativistik terhadap energi atom Helium untuk beberapa bilangan kuantum dalam satuan eV



**SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN 2016**

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Membangun Intelektual Bangsa dan Menjaga Budaya Nasional di Era MEA”

**21 MEI 2016**

| Keadaan  | Konfigurasi | Relativitas              |          |             |   |         |
|----------|-------------|--------------------------|----------|-------------|---|---------|
|          | $1s^2$      | -                        |          | $1s^1 2s^1$ | $\chi_{1,1} = \uparrow$                   | 0,01230 |
| Dasar    |             | $1,80978 \times 10^{-3}$ | Eksitasi |             | $\uparrow$                                |         |
|          | $1s^1 2s^1$ | -                        |          |             | $\chi_{1,0} \frac{1}{\sqrt{2}} [\uparrow$ | 0,01086 |
|          |             | $1,05194 \times 10^{-3}$ |          |             | $\downarrow -\downarrow]$                 |         |
| Eksitasi | $1s^1 2p^1$ | -                        |          | $1s^1 2s^1$ | $\chi_{1,-1} =$                           | -       |
|          |             | $9,31283 \times 10^{-4}$ |          |             | $\downarrow\downarrow$                    | 0,01230 |

**Tabel 5** Koreksi spin-orbit terkopel terhadap energi atom Helium (dalam eV) untuk bilangan kuantum  $l = 1$

**Tabel 3** Besar koreksi spin-orbit terkopel untuk beberapa bilangan kuantum

| Bilangan Kuantum |     |                | $E_{so}^1$               |
|------------------|-----|----------------|--------------------------|
| $n$              | $l$ | $s$            |                          |
| 1                | 0   | $\frac{1}{2}$  | 0,01158                  |
| 1                | 0   | $-\frac{1}{2}$ | -0,01158                 |
| 2                | 0   | $\frac{1}{2}$  | $7,2391 \times 10^{-4}$  |
| 2                | 0   | $\frac{1}{2}$  | $-7,2391 \times 10^{-4}$ |
| 2                | 1   | $-\frac{1}{2}$ | $7,5408 \times 10^{-6}$  |
| 2                | 1   | $-\frac{1}{2}$ | $-7,5408 \times 10^{-6}$ |

| Keadaan  | Konfigurasi | Spin                                      | $E_{so}^1$ |
|----------|-------------|---|------------|
|          | $1s^1 2p^1$ | $\chi_{1,1} = \uparrow\uparrow$           | 0,01159    |
| Eksitasi |             | $\chi_{1,0} \frac{1}{\sqrt{2}} [\uparrow$ | 0,01157    |
|          |             | $\downarrow -\downarrow]$                 |            |
|          | $1s^1 2p^1$ | $\chi_{1,-1} = \downarrow\downarrow$      | -          |
|          |             |   | 0,01159    |

**Tabel 4** Koreksi spin-orbit terkopel terhadap energi atom Helium (dalam eV) untuk bilangan kuantum  $l = 0$

| Keadaan | Konfigurasi | Spin                                      | $E_{so}^1$ |
|---------|-------------|---|------------|
| Dasar   | $1s^2$      | $\chi_{0,0} \frac{1}{\sqrt{2}} [\uparrow$ | 0          |
|         |             | $\downarrow -\downarrow]$                 |            |

**Tabel 6** Energi atom Parahelium dalam satuan eV

| Keadaan  | Energi noninteraksi | Interaksi elektron | Energi atom |
|----------|---------------------|--------------------|-------------|
| Dasar    | -108,8              | 34                 | -74,8       |
| Eksitasi | -68                 | 10,479             | -57,521     |

**SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN 2016**

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Membangun Intelektual Bangsa dan Menjaga Budaya Nasional di Era MEA”

**21 MEI 2016**

**Tabel 7** Energi atom orthohelium dalam satuan eV

| Keadaan  | Energi non interaksi | Interaksi elektro n | Energi atom |
|----------|----------------------|---------------------|-------------|
|          |                      |                     | -67,061     |
| Eksitasi | -68                  | 0,939               |             |

  

**Tabel 8** Data Tingkatan Energi Atom parahelium (dalam elektron volt) dengan bilangan kuantum kedua elektron

| Keadaan  | $n = 1, 2; l = 0$ |       |          |                     |                     |                        |
|----------|-------------------|-------|----------|---------------------|---------------------|------------------------|
|          | S                 | E     | $V_{ee}$ | Relativitas         | Spin-orbit          | Energi Atom parahelium |
| Dasar    | ↑                 | -     | -        | -                   | 0                   | -74,80180              |
|          | ↓                 | 108,8 | 34       | 1,809               | $78 \times 10^{-3}$ |                        |
|          | ↑                 |       |          | -                   | 0,0                 | -57,23975              |
|          | ↑                 |       |          | 1,051               | 123                 |                        |
|          |                   |       |          | $94 \times 10^{-3}$ | 0                   |                        |
| Eksitasi | ↑                 | -     | 10       | -                   | 0,0                 | -57,24119              |
|          | ↓                 | 6,8   | 4        | 1,051               | 108                 |                        |
|          |                   | 8     | 79       | $94 \times 10^{-3}$ | 6                   |                        |
|          |                   |       |          | -                   | -                   | -57,26291              |
|          | ↓                 |       |          | 1,051               | 0,0                 |                        |
|          | ↓                 |       |          | $94 \times 10^{-3}$ | 123                 |                        |
|          |                   |       |          | 0                   | 0                   |                        |

**Tabel 9** Data Tingkatan Energi Atom parahelium (dalam elektron volt) dengan bilangan kuantum kedua elektron

| Keadaan  | $n = 1, 2; l = 1$ |   |          |                  |            |                        |
|----------|-------------------|---|----------|------------------|------------|------------------------|
|          | S                 | E | $V_{ee}$ | Relativitas      | Spin-orbit | Energi Atom parahelium |
|          |                   |   |          |                  |            | -                      |
|          |                   |   |          | 9,31             | 11         | 57,51034               |
|          |                   |   |          | 283              | 59         |                        |
|          |                   |   |          | $\times 10^{-4}$ |            |                        |
|          |                   |   |          | 1                | 0,0        | -                      |
| Eksitasi | ↑                 | - | 0,6      | 9,31             | 11         | 57,51036               |
|          | ↓                 | 8 | 7        | 283              | 57         |                        |
|          |                   |   |          | $\times 10^{-4}$ |            |                        |
|          |                   |   |          | -                | -          | -                      |
|          |                   |   |          | 9,31             | 0,0        | 57,53352               |
|          |                   |   |          | 283              | 11         |                        |
|          |                   |   |          | $\times 10^{-4}$ | 59         |                        |



**SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN 2016****“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Membangun Intelektual Bangsa dan Menjaga Budaya Nasional di Era MEA”****21 MEI 2016**

terhadap bilangan kuantum orbital dan bilangan kuantum spin relatif kecil apabila dibandingkan dengan kebergantungannya terhadap bilangan kuantum utama.

**Saran**

Beberapa poin yang dibahas pada bab/subbab terdahulu hanya terbatas pada objek berupa atom berelektron dua dengan pendekatan model partikel bebas, sehingga penulis merasa sangat perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai atom yang memiliki elektron lebih dari dua maupun dengan menggunakan pendekatan yang lain. Akan lebih baik lagi apabila Efek Zeeman juga diperhitungkan pada penelitian berikutnya sehingga pengetahuan mengenai atom berelektron lebih dari satu akan semakin lengkap.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Beiser, Arthur. 2003. *Concepts of Modern Physics Sixth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Boas, Mary L. 1961. *Mathematical Method in the Physical Science*. John Wiley & Son, Inc.
- Bransden, Brian H. 1980. *Physics of atoms and molecules*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gasiorowicz, Stephen. 2003. *Quantum Physics 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Griffith, D. J. 1995. *Introduction to Quantum Mechanics*. New York: Prentice Hall, Inc.
- Krane, K. S. *Fisika Modern*. Terjemahan oleh Wospakrik H.J. dan Niksolihin S. 1992. Jakarta: UIP
- Krane, K. S. 2012. *Modern Physics Third Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Morton, Donald C. dkk. 2006. *Energy Level for The Stable Isotopes of Atomic Helium (<sup>4</sup>He I and <sup>3</sup>He I)*. NRC Research Press. Vol. 84: 83-105.
- Morton, Donald C. dkk. 2011. *Relativistic Correction to He I transition Rates*. NRC Research Press. Vol. 89: 129-134.
- Pachucki, Krzysztof, dan Yerokhin, Vladimir A. 2011. *Fine Structure of Helium and Light Helium-Like Ions*. NRC Research Press. Vol. 89: 95-101.
- Pfeffer, J. I., Nir S. 2000. *Modern Physics An Introductory Text*. London: Imperial Collage Press.
- Purwanto, A. 2006. *Fisika Kuantum*. Edisi pertama. Yogyakarta: Gava media.



**SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN 2016**

**“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi dalam Membangun Intelektual Bangsa dan Menjaga Budaya Nasional di Era MEA”**

**21 MEI 2016**

---

Tipler, P. A. 1992. *Modern Physics*.  
New York: Worth Publisher,  
Inc.

Zettili, Nourine. 2001. *Quantum  
Mechanics Concepts and  
Application*. London: John  
Wiley & Sons Ltd.

