

Visualisasi Probabilitas Elektron Atom Hidrogenik Dengan GUI (*Graphical User Interface*) MATLAB

Warsono

Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk : (1). mengetahui bentuk visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang dibuat dengan menggunakan GUI MATLAB ditinjau dari variasi nomor atom (z), bilangan kuantum (n , l , dan m), warna gambar dan sudut pandang, (2). mengetahui kesesuaian visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang dibuat dengan menggunakan GUI MATLAB dengan pola standar acuan.

Pembuatan visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik dilakukan melalui 3 langkah yaitu analisis, disain dan konstruksi. Data hasil keluaran berupa grafik 3 dimensi dianalisis pola probabilitasnya berdasarkan variasi nilai masukan : nomor atom (z), bilangan kuantum (n , l , dan m), warna gambar dan sudut pandang. Kesesuaian hasil visualisasi dengan pola standar acuan dilakukan dengan membandingkan pola probabilitas elektron atom hidrogenik untuk $z = 1$ dengan pola probabilitas atom hidrogen pada dua sumber acuan. Sumber acuan pertama adalah pola probabilitas elektron atom hidrogen yang dimuat dalam website: http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_atom, dan sumber acuan kedua adalah pola probabilitas elektron atom hidrogen yang ada di dalam buku *Introductory Quantum Mechanics* tulisan Richard L. Liboff halaman 404.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang dibuat dengan GUI MATLAB dapat divariasi berdasarkan masukan nomor atom, bilangan kuantum, warna gambar dan sudut pandang. Variasi nilai nomor atom berpengaruh pada lebar- sempitnya pola terang probabilitas. Variasi bilangan kuantum berpengaruh pada pola gambar probabilitas. Pada umumnya untuk setiap bilangan kuantum tertentu mempunyai pola yang khas, kecuali untuk bilangan kuantum magnetik yang berlawanan tanda (\pm) bersifat identik. Variasi warna gambar dan sudut pandang tidak mengubah pola, namun hanya mengubah tampilan probabilitas. Hasil visualisasi probabilitas elektron yang dibuat dengan GUI MATLAB sudah sesuai dengan pola standar dari dua sumber acuan.

Kata kunci : *visualisasi, probabilitas, atom hidrogenik, GUI*

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Probabilitas elektron menggambarkan kemungkinan ditemukannya elektron dalam suatu ruang. Jika di daerah tertentu dalam suatu ruang nilai probabilitas elektron besar maka kemungkinan ditemukannya elektron pada daerah tersebut besar dan sebaliknya jika nilai probabilitas elektron kecil maka kecil kemungkinan ditemukannya elektron pada daerah tersebut. Jika nilai probabilitas besar maka amplitudo gelombang juga besar karena probabilitas

merupakan modulus kuadrat fungsi gelombangnya (Amit Goswami,1992:13). Oleh karena itu visualisasi probabilitas elektron dalam suatu atom penting dilakukan untuk mengetahui keberadaan elektron dalam atom.

Atom hidrogenik (atom mirip hidrogen) adalah atom-atom yang memiliki jumlah elektron satu pada kulit terluar. Atom-atom logam alkali (seperti Li, Na dan K) dan atom-atom yang terionisasi sehingga jumlah elektron terluarnya satu merupakan contoh-contoh atom hidrogenik. Atom hidrogenik memiliki sifat-sifat spektroskopi atau ikatan kimia mirip dengan atom hidrogen (Wikipedia, 2006). Seperti atom hidrogen, atom hidrogenik merupakan salah satu dari beberapa persoalan mekanika kuantum yang dapat diselesaikan secara analitik. Salah satu persoalan yang dapat diselesaikan secara analitik adalah nilai probabilitas elektron. Meskipun demikian, perhitungan analitiknya tidak mudah diselesaikan atau memerlukan waktu lama terutama untuk orde-orde yang tinggi. Hal ini karena penyelesaiannya melibatkan fungsi *Laguerre Asosiasi* dan *Legendre Asosiasi*. Kedua fungsi tersebut mengandung turunan bertingkat dari fungsi berpangkat. Oleh karena itu penentuan nilai probabilitas elektron atom hidrogenik berkaitan dengan bagaimana pemecahan masalah nilai fungsi–fungsi tersebut untuk setiap orde yang dipilih.

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah bahasa pemrograman yang dirancang untuk pemecahan masalah komputasi teknis menggunakan matriks sebagai dasar operasinya. Banyak fasilitas yang disediakan oleh MATLAB dalam bentuk fungsi bawaan (*build up*), diantaranya fungsi *diff* (turunan) dan *syms* (simbolik). Kelebihan fungsi *diff* adalah kemampuannya untuk menyelesaikan turunan orde tinggi, sedangkan fungsi *syms* dapat digunakan untuk mengurangi kesalahan akibat penggunaan bilangan dalam operasi komputasi berulang karena operasi fungsi *syms* dilakukan dalam bentuk simbol. Penggunaan fungsi *syms* dan fungsi *diff* secara simultan sangat mungkin digunakan untuk menyelesaikan masalah nilai probabilitas elektron atom hidrogenik pada orde tinggi dengan tingkat kesalahan yang kecil. Fasilitas lain yang disediakan MATLAB adalah GUI (*Graphical User Interface*). Komponen-komponen GUI seperti *menu*, *pushbotton*, *listbox*, *edittext*, *axes*, *radiobotton* dan lainnya dapat digunakan

untuk mendesain tampilan program menjadi mudah dijalankan, menarik, dan interaktif tanpa memerlukan program yang kompleks. Oleh karena itu dengan menggunakan GUI MATLAB dimungkinkan pembuatan visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang mudah dijalankan, menarik, dan interaktif.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, permasalahan penelitian diungkapkan sebagai berikut:

1. Bagaimana bentuk visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang dibuat dengan menggunakan GUI MATLAB ditinjau dari variasi nomor atom (z), bilangan kuantum (n , l , dan m), warna gambar dan sudut pandang?
2. Apakah visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang dibuat dengan menggunakan GUI MATLAB sudah sesuai dengan pola standar?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. mengetahui bentuk visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang dibuat dengan menggunakan GUI MATLAB ditinjau dari variasi nomor atom (z), bilangan kuantum (n , l , dan m), warna gambar dan sudut pandang.
2. mengetahui kesesuaian visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang dibuat dengan menggunakan GUI MATLAB dengan pola standar acuan.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1. sebagai bahan kajian bagi para pemerhati fisika komputasi terutama yang terkait dengan visualisasi gejala fisis.
2. sebagai bahan kajian dalam mempelajari spektroskopi atom
3. sebagai media pembelajaran dalam perkuliahan mekanika kuantum materi atom hidrogenik.

METODE PENELITIAN

1. Perencanaan

a. Persamaan Matematik Yang Digunakan

Persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung probabilitas elektron atom hidrogenik adalah :

$$prob = |\Psi_{n\ell m}(r, \theta, \phi)|^2$$

dengan $\Psi_{n\ell m}(r, \theta, \phi)$ adalah fungsi gelombang elektron atom hidrogenik ternormalisasi yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\Psi_{n\ell m}(r, \theta, \phi) = R_{n\ell}(r) Y_{\ell m}(\theta, \phi)$$

Fungsi $R_{n\ell}(r)$ adalah fungsi arah radial dan $Y_{\ell m}(\theta, \phi)$ adalah fungsi arah sudut (polar dan azimuthal). Kedua fungsi tersebut dinyatakan sebagai berikut (Amit Goswami, 1992: 221 dan 265) :

$$Y_{\ell m}(\theta, \phi) = \left[\frac{2\ell+1}{4\pi} \frac{(\ell-m)!}{(\ell+m)!} \right]^{\frac{1}{2}} (-1)^m e^{im\phi} P_{\ell}^m(\cos \theta)$$

$$R_{n\ell}(r) = - \left[\left(\frac{2z}{na_o} \right)^3 \frac{(n-\ell-1)!}{2n[(n+\ell)!]^3} \right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2zr}{na_o} \right)^{\ell} e^{-\frac{zr}{na_o}} L_{n+\ell}^{2\ell+1} \left(\frac{2zr}{na_o} \right)$$

dengan $P_{\ell}^m(\cos \theta)$ adalah fungsi *Legendre Asosiasi*, yang dinyatakan dengan (Boas, 1983 : 505) :

$$P_{\ell}^m(x) = \frac{1}{2^{\ell} \ell!} (1-x)^{\frac{m}{2}} \frac{d^{\ell+m}}{dx^{\ell+m}} (x^2-1)^{\ell}$$

dan $L_{n+\ell}^{2\ell+1} \left(\frac{2zr}{na_o} \right)$ adalah fungsi *Laguerre Asosiasi* yang dinyatakan dengan persamaan :

$$L_{n+\ell}^{2\ell+1}(x) = \frac{d^{2\ell+1}}{dx^{2\ell+1}} L_{n+\ell}(x)$$

$$L_{n+\ell}(x) = e^x \frac{d^{n+\ell}}{dx^{n+\ell}} (x^{n+\ell} e^{-x})$$

Variabel-variabel n, ℓ dan m masing-masing adalah bilangan kuantum utama, bilangan kuantum orbital dan bilangan kuantum magnetik, sedangkan z dan r adalah nomor atom hidrogenik dan posisi elektron dari pusat atom.

Berdasarkan persamaan matematik di atas, nilai probabilitas elektron atom hidrogenik mengandung turunan berpangkat dari fungsi berpangkat.

b. Fungsi MATLAB Yang Digunakan

Turunan berpangkat dari fungsi berpangkat diselesaikan dengan fungsi turunan *diff* yang merupakan fungsi bawaan MATLAB. Deklarasinya dinyatakan dengan (Hanselman, 2000:276) :

diff(f, x, p);

yang mengandung arti turunan fungsi *f* sebanyak *p* kali terhadap variabel *x*.

Penurunan dalam bentuk simbolik (tanpa bilangan) digunakan fungsi *syms*. Deklarasinya adalah :

syms x y;

yang berarti mendeklarasikan dua variabel simbolik *x* dan *y*.

c. Rancangan Tampilan

1) Variabel Masukan

Variabel masukan (*input*) yang akan dipilih adalah :

- Bilangan kuantum yang terdiri dari : *n*, *ℓ* dan *m*
- Nomor Atom Hidrogenik yaitu : *z*
- Jarak elektron terhadap pusat relatif terhadap *a_o* , yaitu *r*
- Warna grafik, yaitu : *jet*, *hsv*, *hot*, *gray*, *cool*, *summer* dan *winter*
- Sudut pandang grafik, yaitu *view (alpha,beta)* dengan *alpha* adalah sudut pandang arah azimutal dan *beta* arah polar

2) Variabel Keluaran

Variabel keluaran yang diharapkan adalah nilai probabilitas dalam bentuk grafik 3 dimensi dengan variasi *n*, *ℓ*, *m*, *z*, *r*, warna dan sudut pandang.

3) Komponen GUI Yang Diperlukan

Komponen GUI yang diperlukan antara lain :

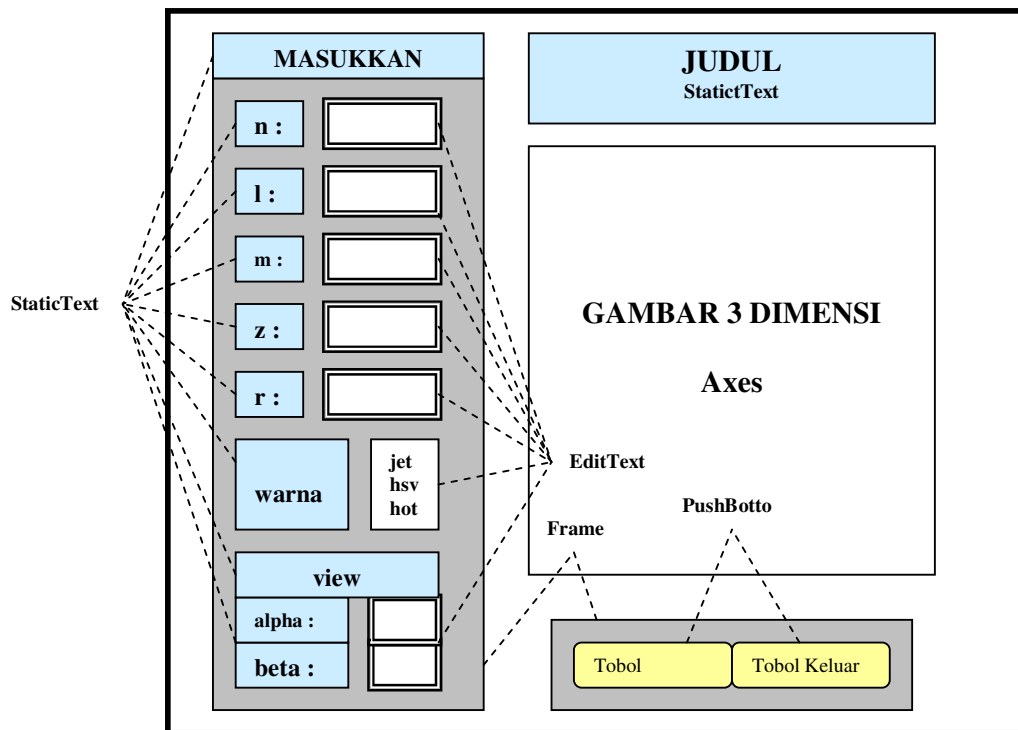
- StaticText* untuk memberi keterangan atau label
- EditText* untuk memasukan nilai variabel
- PushBotton* untuk *event-handler* atau mengatur kejadian (dengan mengklik-mouse)
- ListBox* untuk mengatur warna grafik tampilan

e). **Axes** untuk menampilkan gambar atau grafik dan

f). **Frame** untuk meletakkan komponen lain

4) Rancangan Tampilan GUI

Tampilan GUI dirancang seperti gambar berikut :



Gambar 1. Rancangan Tampilan GUI

2. Alat Dan Bahan

a. Perangkat keras

- 1). Pentium III 668 MHz
- 2). SDRAM 128 MB
- 3). Monitor SAMSUNG SyncMaster 550v

b. Perangkat Lunak

- 1). Microsoft Windows XP versi 2002
- 2). MATLAB versi 6.5

3. Prosedur Penelitian

Langkah penelitian dalam pembuatan visualisasi dengan GUI MATLAB ada 3 langkah (Marchand dan Thomas Holland, 2003 :10.2) yaitu :

a. Analisis Kebutuhan

- 1). Menentukan tujuan yaitu untuk memvisualisasikan probabilitas elektro hidrogenik
- 2). Mencari referensi yang terkait dengan teori atom hidrogenik
- 3). Menentukan formulasi probabilitas elektron atom hidrogenik
- 4). Mencari dan memutuskan fungsi bawaan MATLAB yang dapat digunakan untuk menyelesaikan probabilitas yaitu fungsi *syms* dan *diff*.

b. Disain

- 1). Merancang variabel-variabel masukan yang dipilih
- 2). Merancang variabel-variabel keluaran yang diinginkan
- 3). Menentukan komponen-komponen GUI yang diperlukan
- 4). Merancang tampilan GUI (*Lay-Out*) seperti pada Gambar 1.

c. Konstruksi atau Pembuatan

- 1). Membuka GUI MATLAB
- 2). Menciptakan dan meletakkan obyek-obyek yang diperlukan (*StaticText*, *Frame*, *EditText*, *Listbox*, *Axes*, *Pushbotton*) pada *Figure* GUI. Sesuai gambar rancangan (Gambar 1).
- 3). Mengatur *Properti* obyek melalui *Property Inspector*
- 4). Membuat program pada *Callback* untuk obyek yang akan dikenai aksi ketika program dijalankan. Ada 3 obek penting yang perlu dibuat program, yaitu : Tombol (*Pushbotton*) **Gambar** untuk menampilkan Gambar, Tombol **Keluar** untuk keluar dari GUI dan *Listbox* untuk mengatur **warna** gambar. Program Callback untuk masing-masing obyek tersebut adalah :

Program Callback pada Tombol Gambar :

```
syms x % variabel simbolik
%Variabel Masukkan
h1=findobj(gcf,'Tag','edit1');
s1=get(h1,'String');
n=str2num(s1);
h2=findobj(gcf,'Tag','edit2');
s2=get(h2,'String');
l=str2num(s2);
h3=findobj(gcf,'Tag','edit3');
s3=get(h3,'String');
M=str2num(s3);
h4=findobj(gcf,'Tag','edit4');
```

```

s4=get(h4,'String');
z=str2num(s4);
h5=findobj(gcf,'Tag','edit5');
s5=get(h5,'String');
alpha=str2num(s5);
h6=findobj(gcf,'Tag','edit6');
s6=get(h6,'String');
beta=str2num(s6);
h7=findobj(gcf,'Tag','edit7');
s7=get(h7,'String');
rm=str2num(s7);
k=2*L+1;
na=n+L;
a0=1;
rpa=linspace(0,rm,101);
sudut=linspace(0,2*pi,101);
[rpa,sudut]=meshgrid(rpa,sudut);
% Fungsi Radial
f1=(x)^na*exp(-x);
Ln=exp(x)*diff(f1,x,na);
Lnk=diff(Ln,x,k);
p=rpa*2*z/n;
Lnkx=subs(Lnk,x,p);
s1=(2*z/(n*a0))^3;
s2=factorial(n-L-1);
s3=2*n*(factorial(n+L))^3;
Rnk=-sqrt(s1*s2/s3)*p.^L.*exp(-0.5*p).*Lnkx; %persamaan radial
%Fungsi Sudut
f2=(x.^2-1).^L;
M=abs(M);
sukuatas=(1-x.^2).^(M/2);
sukubawah=2^L*factorial(L);
plm=(sukuatas/sukubawah).*diff(f2,x,L+M);
mu=cos(sudut);
plmu=subs(plm,x,mu);
sk1=(2*L+1)/(4*pi);
sk2=factorial(L-M)/factorial(L+M);
ylm=sqrt(sk1*sk2)*(-1)^M*plmu;
%Persamaan Probabilitas
psi=(Rnk.*ylm);
prob=psi.*psi;
%Pembuatan Grafik
x=rpa.*cos(sudut);
y=rpa.*sin(sudut);
set(gcf,'color',[0 0.251 0.251]);
surf(y,x,prob,'facelighting','phong');
camlight left
xlabel('x','fontsize',8);
ylabel('y','fontsize',8);
shading interp;
view(alpha,beta);
set(gcf,'color',[0 0.251 0.251]);
set(gca,'color',[0 0.502 0.753],'XColor',[1 1 0],'YColor',[1 1 0], 'ZColor',[1 1 0]);
set(gca,'GridLineStyle','-','FontSize',8,'Fontweight','bold');

```

Program Callback pada Tombol Keluar

```
close;
```

Program Callback pada Listbox Warna

```

Value = get(gcbo,'Value');
String = get(gcbo,'String');
colormap(String{Value});

```

- 5). Menjalankan dan menyimpan GUI
- 6). Mengulangi langkah 3) sampai 5) sampai didapatkan tampilan yang diinginkan.

4. Teknik Analisa Data

Data penelitian ini berupa gambar 3 dimensi dari probabilitas elektron atom hidrogenik sebagai fungsi *posisi relatif* terhadap pusat (dalam hal ini diwakili oleh sumbu x dan y). Probabilitas terbesar ditunjukkan oleh puncak tertinggi gambar atau kuatnya intensitas warna gambar. Analisis data dilakukan dengan mencermati gambar tampilan untuk setiap variasi nomor atom (z), variasi bilangan kuantum (n , l dan m tertentu), variasi warna dan variasi sudut pandang.

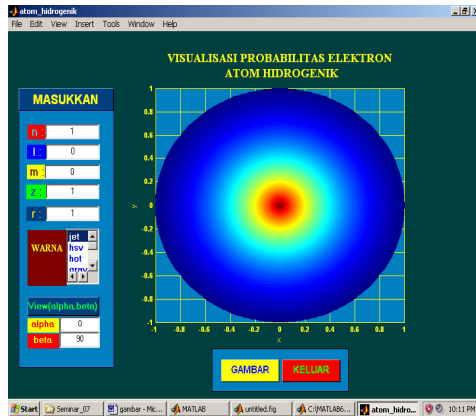
Uji kesesuaian visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik dengan pola standar dilakukan dengan membandingkan tampilan pola gambar probabilitas hasil keluaran untuk masukan bilangan kuantum tertentu dengan pola gambar standar atom hidrogen yang ada di referensi. Untuk keperluan ini variabel masukan z diberi nilai 1 agar model atomnya menjadi model atom hidrogen. Referensi yang digunakan adalah pola gambar probabilitas elektron atom hidrogen untuk berbagai nilai bilangan kuantum di artikel *Wikipedia* dengan alamat http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_atom dan pola gambar probabilitas elektron pada buku *Introductory Quantum Mechanics* tulisan Richard L. Liboff halaman 404.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

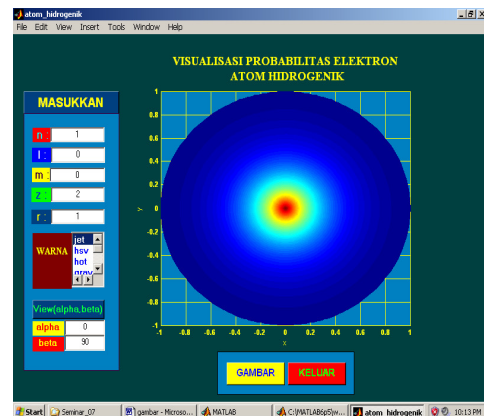
A. Bentuk Visualisasi Probabilitas Elektron Atom Hidrogenik

1. Variasi Nilai Nomor Atom (z)

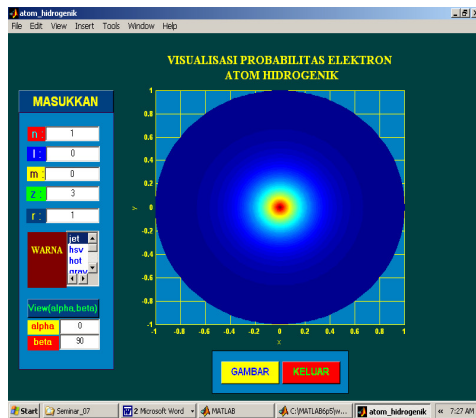
Untuk mengetahui pengaruh bentuk visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik oleh variasi nomor atom, masukkan (*input*) bilangan kuantum (n , l , m), warna gambar dan sudut pandang dipilih tetap, sedangkan nomor atom z dipilih berbeda-beda. Gambar 2 sampai Gambar 5 adalah contoh hasil tampilan untuk nilai masukan : $n = 1$, $l = 0$, $m = 0$, warna gambar *jet*, sudut pandang $\alpha = 0$, $\beta = 90$ dan $z = 1, 2, 3$ dan 11 .



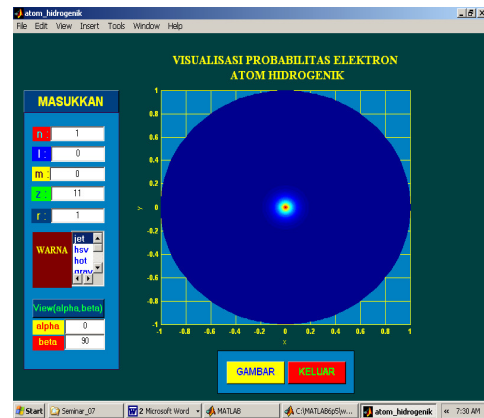
Gambar 2. Probabilitas Elektron untuk $n = 1$, $l = 0$, $m = 0$ dan $z = 1$



Gambar 3. Probabilitas Elektron untuk $n = 1$, $l = 0$, $m = 0$ dan $z = 2$



Gambar 4. Probabilitas Elektron untuk $n = 1$, $l = 0$, $m = 0$ dan $z = 3$



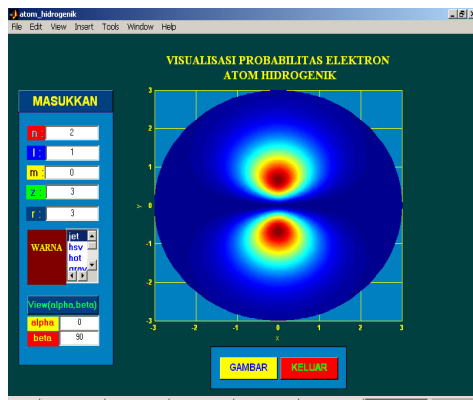
Gambar 5. Probabilitas Elektron untuk $n = 1$, $l = 0$, $m = 0$ dan $z = 11$

Berdasarkan Gambar tersebut diketahui bahwa makin besar nilai z , lebar pola terang semakin sempit. Ini berarti bahwa probabilitas ditemukannya elektron terjadi pada daerah yang makin sempit dan mendekati inti. Untuk 4 variasi nilai z ($z = 1, 2, 3$ dan 11), gambar dengan $z = 11$ lebar pola terangnya paling sempit. Keadaan ini dapat dijelaskan dengan meninjau pengaruh medan potensial listrik terhadap elektron. Potensial listrik yang mempengaruhi elektron makin besar sebanding dengan nilai z sehingga makin besar nilai z makin besar pula tarikan potensial intinya. Akibatnya keboleh jadian menemukan elektron lebih besar di daerah sekitar inti. Hal lain yang dapat diungkap dari Gambar tersebut adalah pola gambar tidak berubah. Hal ini

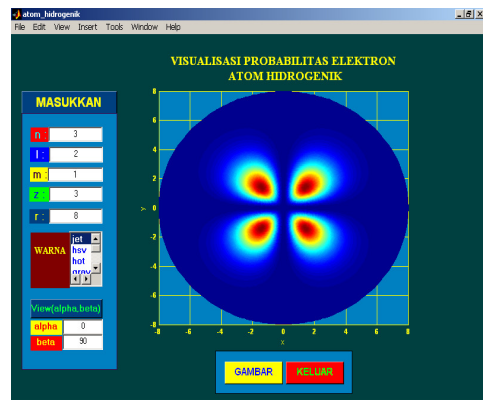
berarti bahwa pola gambar probabilitas atom hidrogenik tidak dipengaruhi oleh z .

2. Variasi Nilai Bilangan Kuantum (n, l, m)

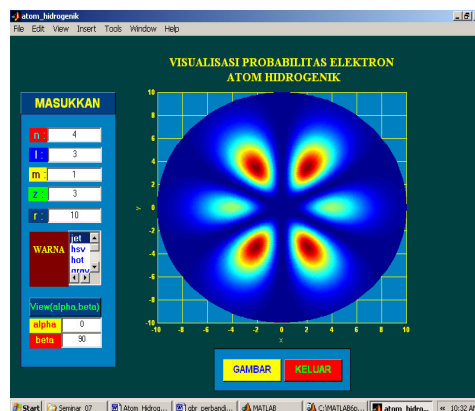
Pengaruh nilai bilangan kuantum terhadap bentuk visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik diketahui dari pemilihan input : nomor atom z , warna gambar, sudut pandang tetap dan bilangan kuantum n, l, m yang bervariasi. Gambar 6 sampai Gambar 9 adalah contoh hasil visualisasi dengan masukan nilai : $z = 3$, warna jet, sudut pandang $\alpha = 0$, $\beta = 90$ dan 4 variasi bilangan kuantum (n, l, m).



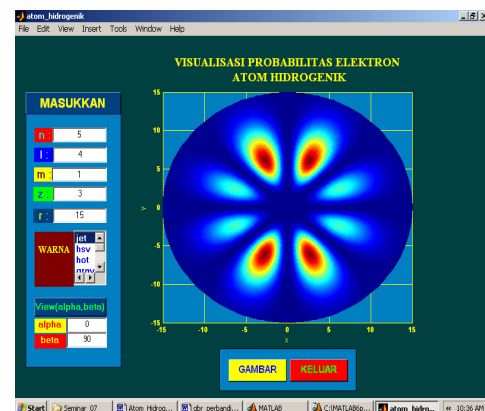
Gambar 6. Probabilitas Elektron untuk $n = 2$, $l = 1$, $m = 0$ dan $z = 3$



Gambar 7. Probabilitas Elektron untuk $n = 3$, $l = 2$, $m = 1$ dan $z = 3$

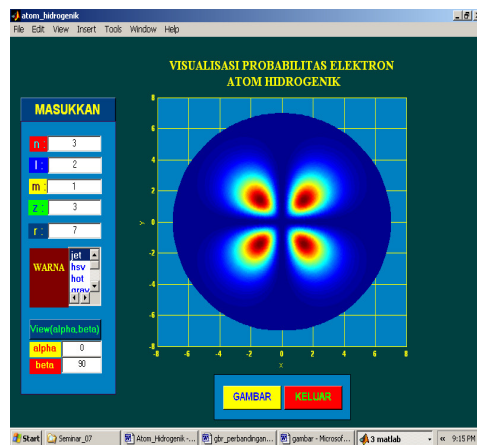


Gambar 8. Probabilitas Elektron untuk $n = 4$, $l = 3$, $m = 1$ dan $z = 3$

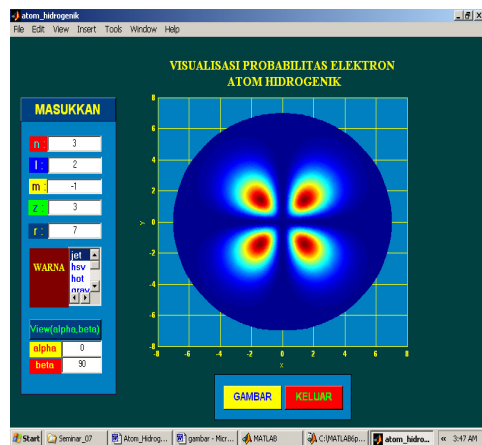


Gambar 9. Probabilitas Elektron untuk $n = 5$, $l = 4$, $m = 1$ dan $z = 3$

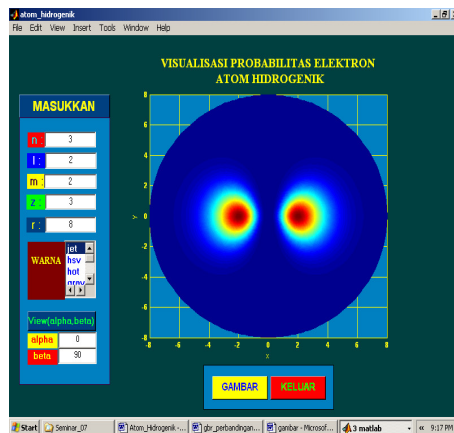
Berdasarkan Gambar 6 sampai Gambar 9, pola gambar probabilitas sangat dipengaruhi oleh nilai bilangan kuantumnya. Pada umumnya pola probabilitas elektron atom hidrogenik untuk tiap bilangan kuantum berbeda, kecuali untuk nilai $\pm m$ mempunyai pola identik. Contoh pola gambar yang identik adalah : ($n = 3, l = 2, m = +1$) dan ($n = 3, l = 2, m = -1$); ($n = 3, l = 2, m = +2$) dan ($n = 3, l = 2, m = -2$) seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11, Gambar 12 dan Gambar 13.



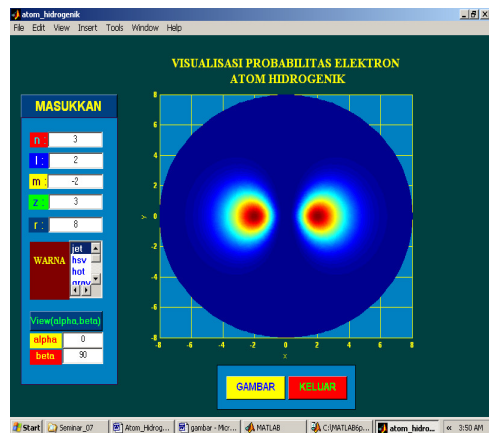
Gambar 10. Probabilitas Elektron untuk $n = 3$, $l = 2, m = +1$ dan $z = 3$



Gambar 11. Probabilitas Elektron untuk $n = 3$, $l = 2, m = -1$ dan $z = 3$



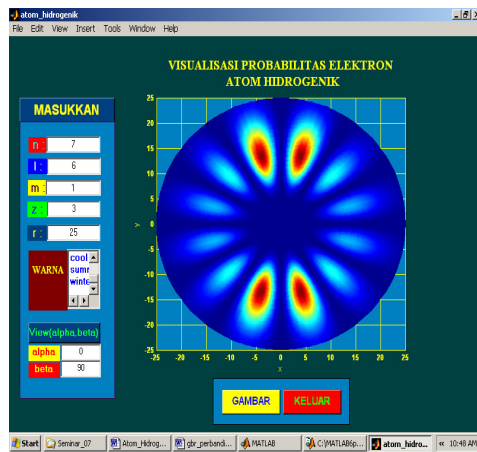
Gambar 12. Probabilitas Elektron untuk $n = 3$, $l = 2, m = 2$ dan $z = 3$



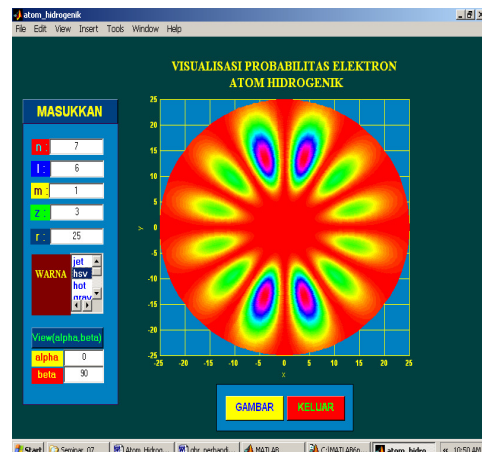
Gambar 13. Probabilitas Elektron untuk $n = 3$, $l = 2, m = -2$ dan $z = 3$

3. Warna Gambar (*colormap*) Probabilitas Elektron

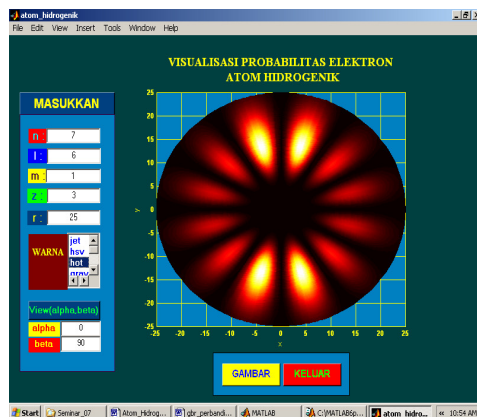
Warna Gambar Tampilan dapat divariasi dengan memilih jenis warna yang dicantumkan pada *listbox*. Pada penelitian ini dipilih 7 warna yaitu : *jet*, *hsv*, *hot*, *gray*, *cool*, *summer* dan *winter*. Warna-warna tersebut merupakan bawaan yang disediakan MATLAB. Contoh hasil keluaran dengan 4 macam warna ditampilkan pada Gambar 14 sampai Gambar 17.



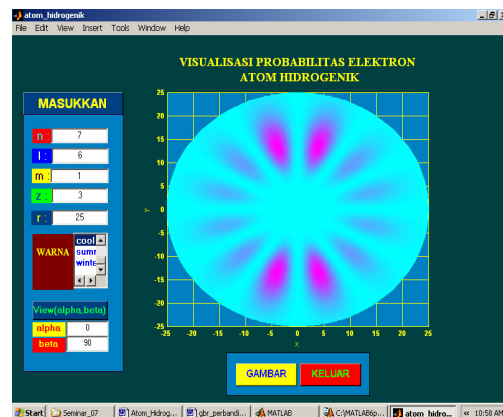
Gambar 14. Probabilitas Elektron untuk $n = 7$, $l = 6$, $m = 1$ dan $z = 3$ warna *jet*



Gambar 15. Probabilitas Elektron untuk $n = 7$, $l = 6$, $m = 1$ dan $z = 3$ warna *hsv*



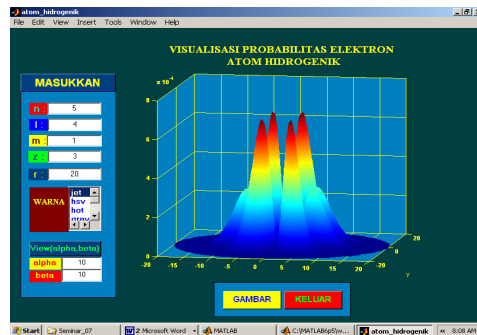
Gambar 16. Probabilitas Elektron untuk $n = 7$, $l = 6$, $m = 1$ dan $z = 3$ warna *hot*



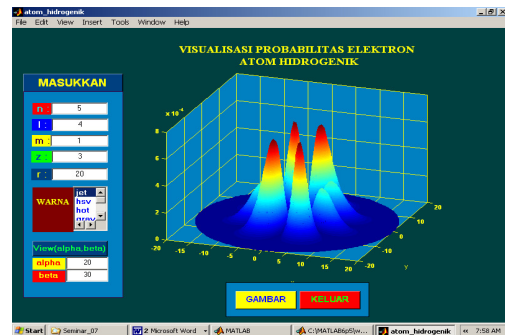
Gambar 17. Probabilitas Elektron untuk $n = 7$, $l = 6$, $m = 1$ dan $z = 3$ warna *cool*

4. Sudut Pandang Gambar (View)

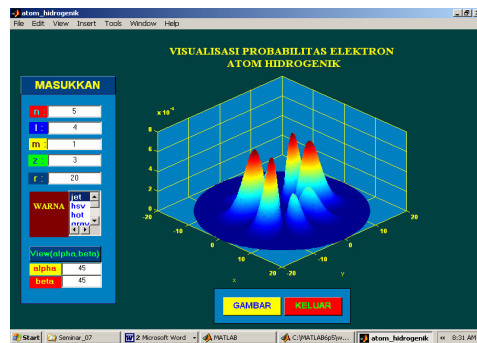
Tampilan dengan variasi sudut pandang gambar (*view*) dapat dipilih sembarang. Berikut adalah empat gambar dengan input 4 macam sudut pandang.



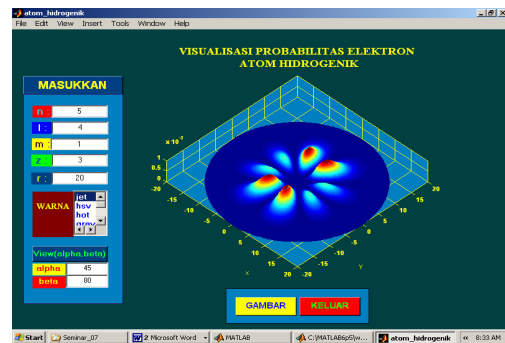
Gambar 14. Probabilitas Elektron untuk $\alpha = 10$, $\beta = 10$ warna *hot*



Gambar 15. Probabilitas Elektron untuk $\alpha = 20$, $\beta = 30$ warna *hot*



Gambar 16. Probabilitas Elektron untuk $\alpha = 45$, $\beta = 45$ warna *hot*

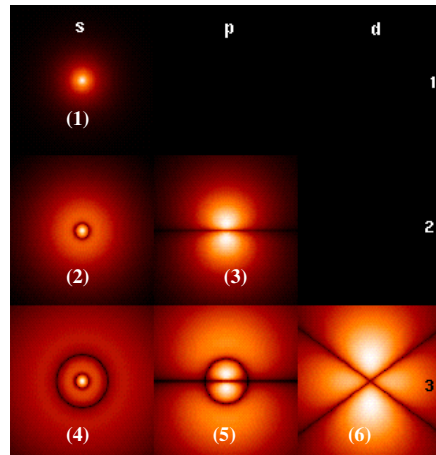


Gambar 17. Probabilitas Elektron untuk $\alpha = 45$, $\beta = 80$ warna *hot*

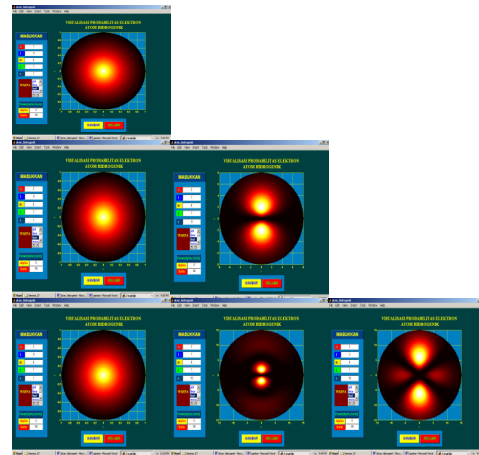
B. Perbandingan Dengan Pola Acuan

1. Perbandingan dengan pola dari sumber Wikipedia

Gambar 18 adalah gambar yang diambil dari *website* dengan alamat http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_atom. Gambar tersebut menunjukkan pola probabilitas elektron atom Hidrogen ($z = 1$) untuk 6 pola. Pola (1) : $n = 1$, $l = 0$, $m = 0$; pola (2) : $n = 2$, $l = 0$, $m = 0$; pola (3) : $n = 2$, $l = 1$, $m = 0$; pola (4) : $n = 3$, $l = 0$, $m = 0$; pola (5) : $n = 3$, $l = 1$, $m = 0$; dan pola (6) : $n = 3$, $l = 2$, $m = 0$. Gambar 19 adalah hasil keluaran program dengan masukkan $z = 1$ dan bilangan kuantum sesuai dengan Gambar 18.



Gambar 18. Pola Probabilitas Elektron dari Sumber Wikipedia

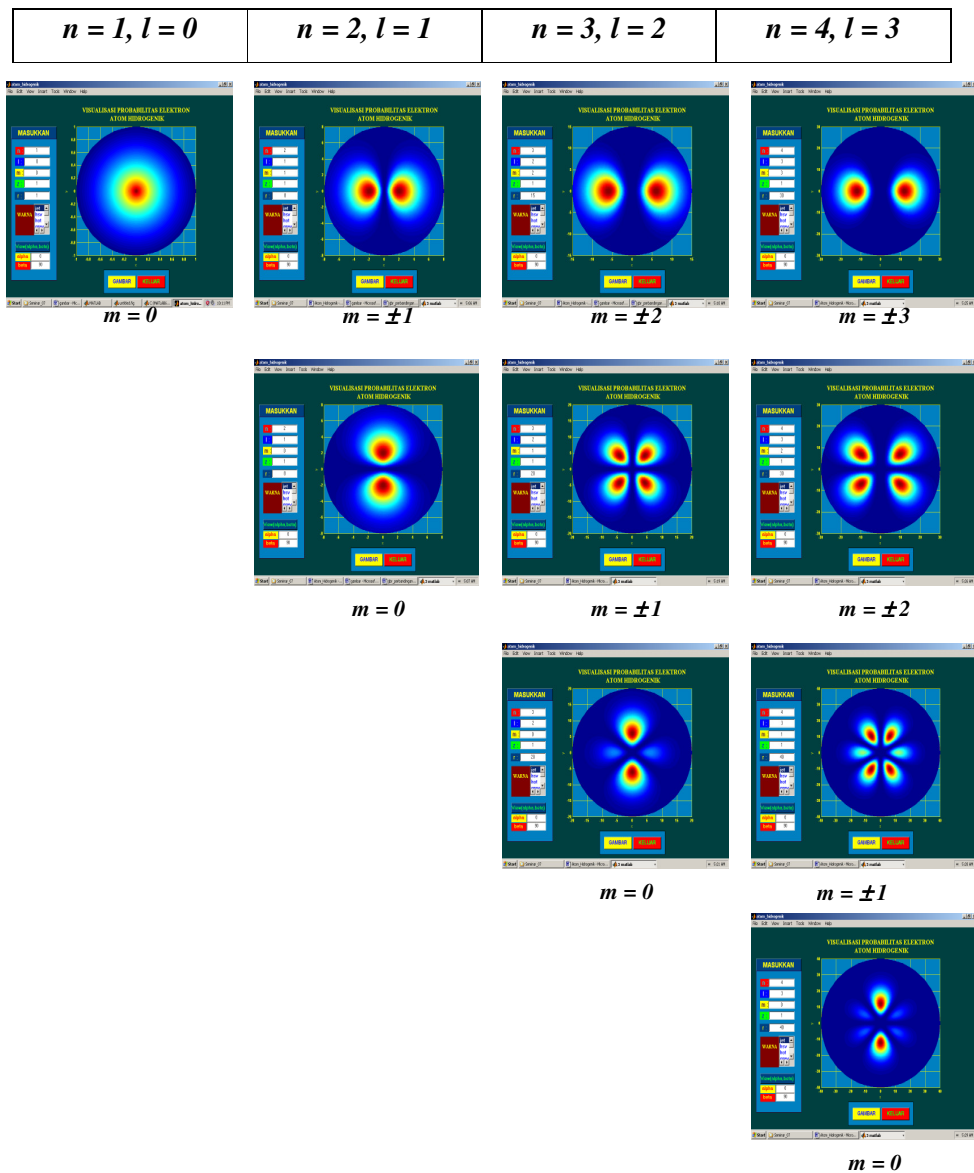


Gambar 19. Pola Probabilitas Elektron dari Hasil Keluaran Program

Berdasarkan kedua Gambar tersebut dapat dinyatakan bahwa pola probabilitas elektron yang dibuat dengan program GUI sesuai dengan acuan dari *Wikipedia*.

2. Perbandingan dengan pola dari sumber Buku Tulisan Richard L. Liboff

Di dalam buku tulisan Richard L. Liboff berjudul *Introductory Quantum Mechanics* halaman 404 dicantumkan pola probabilitas elektron atom hidrogen untuk berbagai keadaan. Untuk perbandingan dipilih 10 pola atau keadaan yang tercantum pada bagian atas. Sepuluh pola tersebut adalah : pola 1 ($n=1, l=0, m=0$), pola 2 ($n=2, l=1, m=\pm 1$), pola 3 ($n=2, l=2, m=0$), pola 4 ($n=3, l=2, m=\pm 2$), pola 5 ($n=3, l=2, m=\pm 1$), pola 6 ($n=3, l=2, m=0$), pola 7 ($n=4, l=3, m=\pm 3$), pola 8 ($n=4, l=3, m=\pm 2$), pola 9 ($n=4, l=3, m=\pm 1$) dan pola 10 ($n=4, l=3, m=0$). Gambar pola probabilitas hasil keluaran program GUI yang sesuai dengan pola tersebut dicantumkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Pola Probabilitas yang bersesuaian dengan keadaan kuantum dalam buku Richard L. Liboff halaman 404

Berdasarkan perbandingan Gambar 20 dengan pola probabilitas elektron yang dicantumkan dalam Buku Richard L. Liboff halaman 404 dapat dinyatakan bahwa pola yang dihasilkan dari keluaran program GUI sesuai dengan acuan.

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

1. Visualisasi probabilitas elektron atom hidrogenik yang dibuat dengan GUI MATLAB dapat divariasi berdasarkan masukan nomor atom, bilangan kuantum, warna gambar dan sudut pandang. Variasi nilai nomor atom berpengaruh pada lebar-sempitnya pola terang probabilitas. Variasi bilangan kuantum berpengaruh pada pola gambar probabilitas. Pada umumnya untuk setiap bilangan kuantum tertentu mempunyai pola yang khas, kecuali untuk bilangan kuantum magnetik yang berlawanan tanda (\pm) bersifat identik. Variasi warna gambar dan sudut pandang tidak mengubah pola, namun hanya mengubah tampilan probabilitas.
2. Hasil visualisasi probabilitas elektron yang dibuat dengan GUI MATLAB sesuai dengan pola standar sumber acuan.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai visualisasi probabilitas elektron pada atom berelektron banyak.
2. Perlu dilakukan visualisasi dan simulasi untuk fenomena-fenomena fisis yang sulit diamati secara langsung atau melalui alat percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amit Goswami. 1992. *Quantum Mechanics*, Dubuque : Wm.C.Brown Publishers.
- Boas, M.L. 1983. *Mathematical Methods In The Physical Sciences*. New York : John Wiley & Sons.
- Hanselman, D. dan Littlefield, B. 1997. *MATLAB Bahasa Komputasi Teknis (Terjemahan JozepEdyanto)*. Yogyakarta : Penerbit ANDI
- Liboff, R.L. 1980. *MATLAB Introductory Quantum Mechanics*. Oakland : Holden-Day, Inc.
- Marchand, P. & Thomas Holland, O. 2003. *Graphics with GUIs Third Edition*. USA : Chapman & Hall/CRC.

The MathWorks. 2005. *MATLAB The Language Of Technical Computing, Creating Graphical Computation*. Natick : The MathWorks, Inc. (www.mathworks.com)

Wikipedia. 2006. *Hydrogen Atom*. http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_atom

Wikipedia. 2006. *Hydrogen-Like Atom*. http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen-like_atom.