

Pembuatan Modul Petunjuk Praktikum Fisika pada Eksperimen Franck-Hertz

G. Budijanto Untung
Tjondro Indrasutanto
Herwinarso

Abstrak. Telah dilakukan penelitian untuk menunjukkan bahwa energi elektron suatu atom itu terkuantisasi, memahami kurva Franck-Hertz dari peristiwa penyerahan energi yang tidak kontinu oleh elektron bebas kepada atom Mercury dan menentukan energi eksitasi atom Mercury serta menentukan panjang gelombang foton yang dipancarkan. Dalam penelitian ini telah dibuktikan bahwa energi elektron dalam atom itu terkuantisasi kenyataan ini mendukung teori atom Bohr. Kurva yang terbentuk sangat mirip dengan kurva hasil percobaan Franck-Hertz yang sebenarnya, perbedaan yang ada adalah suhu uap Mercury dalam percobaan ini hanya 130°C sedangkan aslinya adalah 180°C . Energi eksitasi yang diperoleh dari percobaan ini adalah 5 eV dan panjang gelombang foton yang dapat diukur dari percobaan ini adalah $2486,25\text{ \AA}$.

Kata kunci : energi elektron terkuantisasi, kurva Franck-Hertz, energi eksitasi atom Hg, panjang gelombang foton yang dipancarkan

Latar Belakang

Sampai saat ini materi fisika sering diajarkan dan dikembangkan dalam bentuk pembelajaran yang bersifat verbal (lisan). Banyak guru Fisika memilih pembelajaran dengan cara verbal dengan alasan padatnya kurikulum, tidak ada waktu untuk melakukan praktikum fisika, tidak ada dana untuk melengkapi laboratorium fisika, tidak mempunyai petunjuk praktikum Fisika yang memadai dan sebagainya. Seperti yang telah diketahui pelajaran fisika terdiri dari pelajaran di dalam kelas dan di laboratorium. Pelajaran di dalam laboratorium yang berbentuk pelaksanaan percobaan memiliki fungsi sebagai tempat kegiatan penunjang dari kegiatan kelas atau sebaliknya kegiatan kelas menjadi penunjang dari kegiatan laboratorium. Hal ini tergantung dari strategi pembelajaran yang bagaimana akan diambil oleh guru.

Dengan adanya kegiatan laboratorium yang umumnya disebut praktikum, siswa atau mahasiswa diharapkan dapat mengetahui secara ilmiah bagaimana cara atau metoda yang dilakukan oleh para ahli dalam meramalkan suatu fenomena atau teorema tertentu yang sedang berlangsung di alam semesta ini. Laboratorium Fisika merupakan tempat untuk bereksperimen, berfikir kritis dan juga merupakan sumber pemecahan masalah yang berkaitan dengan teori fisika. Secara umum semua teori fisika dapat di eksperimenkan di laboratorium sehingga

bagian fisika yang paling abstrakpun harus dapat dilakukan eksperimennya.

Dalam pelajaran Fisika Modern banyak sekali ditemui hal-hal yang sangat abstrak, termasuk persoalan mengenai elektron yang tidak kasat mata dan bentuknya tidak jelas tetapi keberadaannya sudah dapat diramalkan. Contohnya elektron berbentuk bulat (dimodelkan agar mudah dalam pembelajaran maupun praktikumnya) dan bermuatan negatif sedangkan yang bermuatan positif adalah proton. Proton dan neutron berada di dalam inti atom yang disebut nukleus. Nukleus dikelilingi oleh elektron yang beredar pada orbitnya secara stasioner dengan energi yang tertentu pula. Energi elektron dalam atom adalah diskrit atau tidak kontinyu atau terkuantisasi.

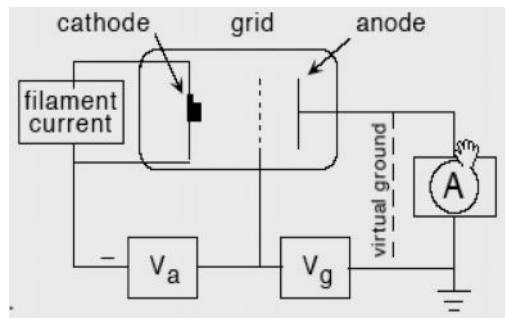
Energi yang tertentu ini disebut tingkat energi. Bila elektron akan pindah dari satu orbit yang lebih rendah ke orbit yang lebih tinggi maka elektron hanya memerlukan energi yang tertentu pula yang besarnya tepat sama dengan selisih energi antara dua orbit tersebut, apabila diberi energi yang lebih besar dari beda tersebut, maka elektron tidak akan berpindah ke orbit tujuan. Bila energi yang diberikan lebih kecil dari beda energi antara dua orbit tersebut akan menghasilkan hal yang sama yaitu elektron tidak akan berpindah menuju orbit tujuannya.

Pengadaan barang IMHERE untuk peralatan laboratorium Fisika sudah datang semuanya di laboratorium Fisika PSP Fisika. Salah satunya adalah peralatan percobaan Franck-Hertz, tetapi belum mempunyai modul petunjuk praktikum Franck-Hertz yang memadai dan siap digunakan oleh mahasiswa PSP Fisika.

Ada beberapa cara yang dapat ditempuh untuk mengeksitasi suatu atom-atom gas ke tingkat tenaga yang lebih tinggi, antara lain dengan cara memanaskan atom itu pada temperatur tinggi, menyinari atom dengan cahaya yang tenaganya sesuai dengan tenaga eksitasi atom tersebut, menempatkan atom dalam medan listrik yang cukup kuat, menembaki atom itu dengan partikel atau elektron. Pada peristiwa tumbukan yang terjadi antara atom-atom gas dengan partikel, elektron atau ion ini bersifat non-elastis (tidak lenting). Tumbukan bersifat non-elastis artinya partikel/ion/elektron itu setelah menumbuk atom-atom gas, partikel/ion/elektron kehilangan energi kinetisnya. Kondisi seperti ini dapat terjadi bila tenaga kinetis partikel/ion/elektron penembak itu sama dengan atau lebih besar dari tenaga yang diperlukan oleh atom gas yang ditumbuk itu untuk eksitasi. Tenaga kinetis elektron itu diserap oleh atom, dan tenaga ini oleh atom-atom gas dipakai untuk mengeksitasi elektron ke tingkat tenaga yang lebih tinggi.

Pada percobaan ini atom gas Mercury (Hg) dipakai sebagai sasaran (target), sedang partikel penembaknya/penumbuknya adalah elektron. elektron-elektron ini berasal dari keping logam yang dipanaskan oleh filamen (pemanas), peristiwa ini disebut emisi termionik dan keping logam disebut katoda. Supaya elektron-elektron ini dapat mencapai sasaran dan mempunyai tenaga yang cukup, maka dipercepat dahulu oleh

tegangan pemercepat V_a . Tegangan pemercepat V_a terletak antara katoda dan grid dan besarnya tegangan ini dapat diatur. Antara katoda, grid dan anoda terdapat uap gas Mercury (Hg) yang menjadi target tumbukan antara atom-atom mercury dengan elektron yang berasal dari katoda. Bila elektron dapat melewati grid maka elektron terus bergerak menuju anoda (pengumpul elektron). Tegangan V_g adalah tegangan antara anoda dan grid dan besar tegangan ini cukup kecil (1,5 Volt) sehingga setiap elektron yang mempunyai energi lebih besar dari harga minimum tertentu memberi kontribusi (sumbangan) pada arus I yang melalui Digital Amperemeter. Tegangan anoda diberi polaritas lebih negatif terhadap tegangan grid tetapi tetap lebih positif terhadap katoda (tempat asal elektron-elektron). Susunan peralatan disajikan pada gambar/skema berikut:



Gambar 1. Skema rangkaian percobaan Franck-Hertz

Bagian dalam tabung kaca berisi gas Mercury (Hg) dan anoda sebagai pengumpul electron-elektron yang berasal dari katoda dan dapat melewati grid. Setelah sampai anoda selanjutnya elektron menuju digital amperemeter. Digital Amperemeter berfungsi untuk mengetahui banyak sedikitnya elektron yang sampai ke anoda (pengumpul elektron). Jadi simpangan digital Amperemeter makin besar berarti makin banyak elektron-elektron yang sampai ke anoda.

Elektron-elektron pada kulit atom Mercury mempunyai lintasan tertentu dan menempati tingkat-tingkat energi tertentu pula. Bila atom Mercury ini dalam keadaan tereksitasi, berarti terjadi perpindahan elektron pada kulit atom Mercury dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Kondisi ini dapat terjadi bila elektron-elektron pada kulit atom Mercury itu misalnya ditumbuki oleh elektron-elektron lain yang berasal dari luar. Energi kinetis elektron penumbuk itu harus sama atau lebih besar dari energi eksitasi atom Mercury. Bila energi kinetis elektron penumbuk itu lebih besar daripada energi eksitasinya, maka akan ada sisa energi.. Bila energi kinetis elektron penumbuk itu cukup tinggi sehingga elektron pada kulit atom Mercury itu terlepas dari atomnya, maka peristiwa ini disebut terionisasi. Dalam tabung gelas terdapat sejumlah besar atom-atom gas Mercury, demikian juga terdapat banyak sekali elektron-elektron penumbuk yang berasal dari katoda. Hal

ini berarti kemungkinan terjadinya tumbukan antara atom-atom gas Mercury dengan elektron penumbuk sangat besar. Jadi ada sebagian besar elektron-elektron penumbuk yang menumbuk atom-atom Mercury, sisanya tidak menumbuk atom-atom Mercury, elektron-elektron ini langsung menuju anoda (kolektor).

Saat tegangan pemercepat antara katoda dan grid masih rendah, elektron-elektron yang berasal dari katoda jumlahnya masih sedikit demikian juga dengan energi kinetisnya masih kecil. Elektron-elektron tadi sebagian langsung menuju anoda, sebagian lagi mengalami tumbukan dengan atom-atom Mercury. Bila energi kinetis elektron-elektron penumbuk masih lebih kecil daripada energi eksitasi tingkat pertama atom Mercury, tumbukan yang terjadi masih bersifat elastis (lenting sempurna). Elektron-elektron yang berasal dari katoda meskipun mengalami tumbukan ternyata tidak kehilangan energi kinetisnya sama sekali.

Setelah tumbukan elektron-elektron ini mengalami gerak terpantul-pantul untuk menuju ke anoda. Akhirnya semua elektron-elektron yang berasal dari katoda baik yang tidak menumbuk atom-atom Mercury maupun yang menumbuk sampai ke anoda. Bila tegangan pemercepat diperbesar, akibatnya pada suatu saat energi kinetis yang dimiliki elektron-elektron penumbuk menjadi sama dengan energi eksitasi pertama dari atom Mercury. Pada saat ini peristiwa tumbukan yang terjadi antara elektron-elektron yang berasal dari katoda dengan atom-atom Mercury adalah tumbukan non elastis (tak lenting). Energi kinetis elektron yang menumbuk diserap semuanya oleh atom Mercury untuk mengeksitasi dirinya. Sekarang hanya elektron-elektron yang tidak menumbuk atom-atom Mercury yang dapat mencapai anoda. Jumlah elektron-elektron yang sampai di anoda mengalami pengurangan secara besar-besaran. Hal ini terlihat dengan adanya penurunan simpangan angka pada digital amperemeter secara tajam sekali.

Selanjutnya tegangan pemercepat elektron diperbesar terus diatas tegangan eksitasi atom Mercury yang pertama. Pada tegangan ini elektron-elektron penumbuk setelah menumbuk atom-atom gas Mercury masih kelebihan energi, kelebihan energi ini berbentuk energi kinetik elektron. Kalau kelebihan energi ini cukup besar, akhirnya elektron-elektron penumbuk mampu mencapai anoda. Dapat dilihat pada percobaan angka digital amperemeter mulai naik kembali. Apabila kenaikan tegangan pemercepat dilanjutkan terus, maka akan terjadi peristiwa eksitasi yang kedua kalinya. Proses yang terjadi pada eksitasi yang kedua kalinya sama persis seperti pada proses eksitasi yang pertama.

Setelah terjadi proses eksitasi yang kedua kali tegangan masih dapat dinaikkan terus. Bila tegangan pemercepat ini sudah cukup tinggi, elektron-elektron penumbuk mampu melepaskan elektron-elektron yang berada pada kulit atom Mercury. Pada saat ini tegangan pemercepat sama dengan tegangan ionisasi atom Mercury. Setelah elektron penumbuk yang menumbuk atom-atom Mercury melepaskan elektron atom Mercury,

elektron-elektron penumbuk kehilangan energi sebesar energi ionisasi atom Mercury. Kondisi ini menyebabkan elektron-elektron penumbuk tidak dapat mencapai anoda, akibatnya terjadi pengurangan jumlah elektron-elektron yang mencapai anoda, yang ditandai dengan penurunan angka pada digital amperemeter pada saat percobaan. Bila tegangan pemercepat dibuat diatas tegangan ionisasi, kenaikan arus pada digital amperemeter akan terjadi secara besar-besaran. Peristiwa ini terjadi karena jumlah elektron-elektron yang sampai di anoda bertambah, yaitu yang berasal dari katoda dan dari elektron-elektron yang lepas dari kulit atom Mercury.

Dengan membuat grafik hubungan antara arus anoda dengan tegangan pemercepat elektron (energi kinetis elektron), dapat ditentukan potensial-potensial eksitasi dan ionisasi atom Mercury. Hubungan tersebut disajikan pada gambar 2. Energi eksitasi atom (E_{eks}) merupakan perkalian antara tegangan eksitasi atom (V_e) dengan muatan elektron (e) yaitu:

$$E_{eks} = e V_e \quad \dots (1)$$

Energi ini digunakan untuk memancarkan foton yang memiliki panjang gelombang λ , yang terkait dengan persamaan energi foton adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \dots (2)$$

Dari persamaan (1) dan (2) selanjutnya akan diperoleh panjang gelombang (λ) foton yang dipancarkan dari eksitasi atom yaitu:

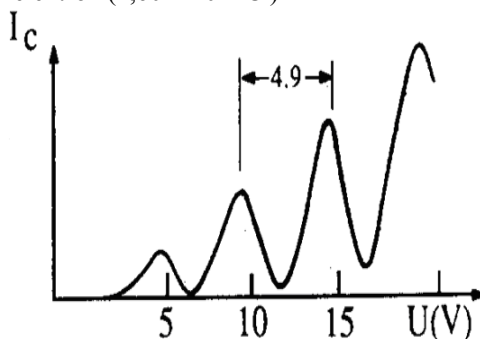
$$\lambda = \frac{hc}{e V_e} \quad \dots (3)$$

Dengan:

h = tetapan planck ($6,626 \times 10^{-34}$ Js = $4,136 \times 10^{-15}$ eVs)

c = kecepatan cahaya ($2,998 \times 10^8$ m/s)

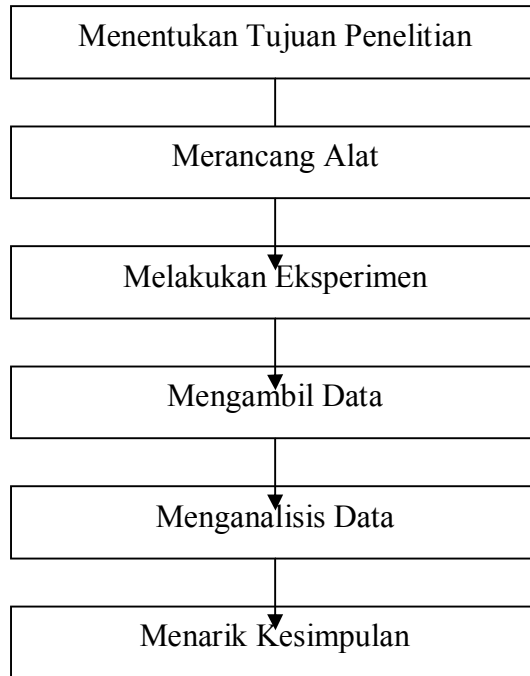
e = muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C)



Gambar 2. Grafik antara arus pada anoda dan tegangan pemercepat elektron (V_a) pada saat temperatur gas Hg 180^0 C

Metode Penelitian

Rancangan penelitian



Alat dan Bahan Eksperimen

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam eksperimen ini antara lain: Satu set Franck-Hertz Tube dengan Mercury Filling dan Heating Chamber, Power supply unit untuk percobaan Franck-Hertz, Dua digital Multimeter, Satu Digital Termometer, Kertas Milimeter, Kabel BNC secukupnya

Prosedur Penelitian

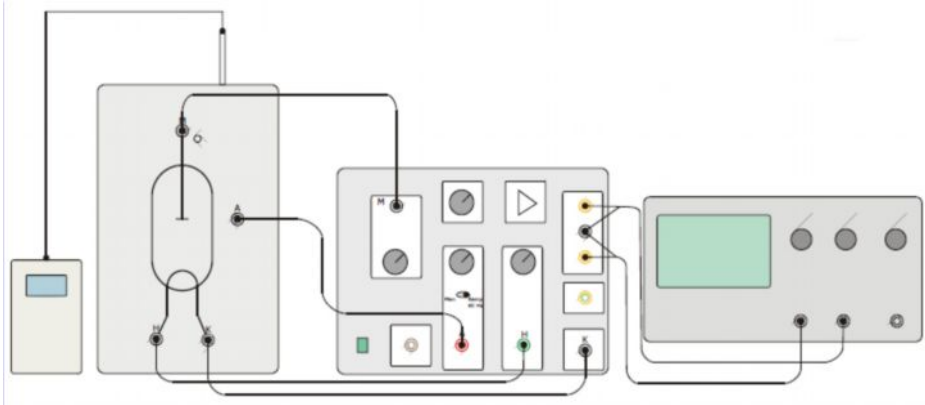
Prosedur Penelitian sebagai berikut :

1. Mempersiapkan peralatan percobaan Franck-Hertz beserta perangkatnya.
2. Mempersiapkan kertas millimeter dan diatur sedemikian rupa supaya mempunyai nilai skala terkecil 0,5 mm.
3. Merangkai alat-alat percobaan Franck-Hertz seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.
4. Melaksanakan percobaan berdasarkan urutan jalannya percobaan.
5. Mengambil data percobaan dan memasukkannya ke dalam tabel.

6. Membuat grafik antara arus yang lewat digital amperemeter terhadap tegangan pemercepat (V_a).
7. Menganalisis data.
8. Melaksanakan diskusi.
9. Menarik kesimpulan dan saran dari hasil analisis data.

Prosedur Percobaan

1. Menyiapkan alat-alat yang akan digunakan dalam percobaan.
2. Menyiapkan dua digital multimeter. Satu digunakan untuk amperemeter dan satu lagi berfungsi sebagai voltmeter.
3. Merangkai alat seperti gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Rangkaian alat Percobaan Franck –Hertz dengan menggunakan tabung gas Mercury.

4. Menyalakan heating chamber sampai temperatur mencapai suhu 130°C (selama 30 menit) .
5. Mengatur tegangan filamen antara 6- 7 volt dan tunggu selama 90 detik untuk pemanasan filamen.
6. Pada alat control unit, terdapat pilihan Man/Ramp 60 Hz, gerakkan tuas ke arah Ramp.
7. Menaikkan tegangan grid (V_a) secara perlahan-lahan mulai dari 0 sampai 50 Volt, mencatat besar tegangan grid.
8. Menaikkan tegangan anoda-grid (V_g) secara perlahan-lahan sampai mencapai 1,5 Volt dan catatlah arus keluarannya.

Hasil Pengamatan

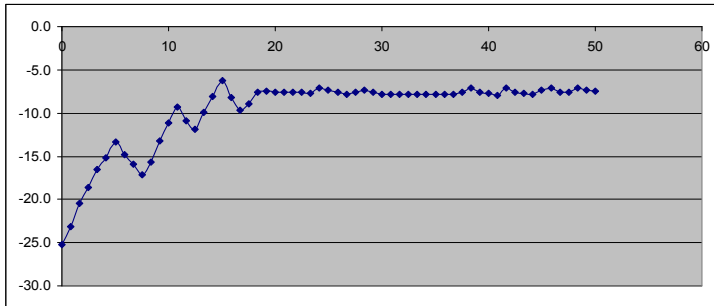
Konversi data antara Volt dan mm dilakukan dengan cara setiap skala mencapai 10 Volt ternyata menempuh jarak sebesar 6 mm, jadi setiap 1,66667 Volt ditempuh jarak sebesar 1 mm.

Hasil pengamatan tegangan pemercepat (V_A) dengan kuat arus (I_{out})

| mm | V_A (V) | V_g (V) | I_{out} (mA) |
|------|-----------|-----------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | -25.2 |
| 0.5 | 0.833333 | 0 | -23.1 |
| 1 | 1.666667 | 0.05 | -20.4 |
| 1.5 | 2.5 | 0.06 | -18.6 |
| 2 | 3.333333 | 0.1 | -16.5 |
| 2.5 | 4.166667 | 0.15 | -15.2 |
| 3 | 5 | 0.17 | -13.4 |
| 3.5 | 5.833333 | 0.21 | -14.8 |
| 4 | 6.666667 | 0.23 | -15.9 |
| 4.5 | 7.5 | 0.24 | -17.2 |
| 5 | 8.333333 | 0.26 | -15.7 |
| 5.5 | 9.166667 | 0.29 | -13.2 |
| 6 | 10 | 0.35 | -11.1 |
| 6.5 | 10.83333 | 0.36 | -9.3 |
| 7 | 11.66667 | 0.4 | -10.9 |
| 7.5 | 12.5 | 0.43 | -11.9 |
| 8 | 13.33333 | 0.46 | -9.9 |
| 8.5 | 14.16667 | 0.52 | -8.1 |
| 9 | 15 | 0.53 | -6.2 |
| 9.5 | 15.83333 | 0.55 | -8.2 |
| 10 | 16.66667 | 0.59 | -9.7 |
| 10.5 | 17.5 | 0.63 | -8.9 |
| 11 | 18.33333 | 0.66 | -7.6 |
| 11.5 | 19.16667 | 0.7 | -7.5 |
| 12 | 20 | 0.72 | -7.6 |
| 12.5 | 20.83333 | 0.74 | -7.6 |
| 13 | 21.66667 | 0.8 | -7.6 |
| 13.5 | 22.5 | 0.81 | -7.6 |
| 14 | 23.33333 | 0.82 | -7.7 |
| 14.5 | 24.16667 | 0.85 | -7.1 |
| 15 | 25 | 0.88 | -7.4 |
| 15.5 | 25.83333 | 0.96 | -7.6 |
| 16 | 26.66667 | 0.96 | -7.8 |
| 16.5 | 27.5 | 1 | -7.6 |

| mm | V_A (V) | V_g (V) | I_{out} (mA) |
|------|-----------|-----------|----------------|
| 17 | 28.33333 | 1.02 | -7.4 |
| 17.5 | 29.16667 | 1.05 | -7.6 |
| 18 | 30 | 1.06 | -7.8 |
| 18.5 | 30.83333 | 1.09 | -7.8 |
| 19 | 31.66667 | 1.12 | -7.8 |
| 19.5 | 32.5 | 1.13 | -7.8 |
| 20 | 33.33333 | 1.16 | -7.8 |
| 20.5 | 34.16667 | 1.17 | -7.8 |
| 21 | 35 | 1.18 | -7.8 |
| 21.5 | 35.83333 | 1.21 | -7.8 |
| 22 | 36.66667 | 1.23 | -7.8 |
| 22.5 | 37.5 | 1.26 | -7.6 |
| 23 | 38.33333 | 1.29 | -7.1 |
| 23.5 | 39.16667 | 1.31 | -7.6 |
| 24 | 40 | 1.34 | -7.7 |
| 24.5 | 40.83333 | 1.37 | -7.9 |
| 25 | 41.66667 | 1.4 | -7.1 |
| 25.5 | 42.5 | 1.42 | -7.6 |
| 26 | 43.33333 | 1.48 | -7.7 |
| 26.5 | 44.16667 | 1.51 | -7.8 |
| 27 | 45 | 1.51 | -7.4 |
| 27.5 | 45.83333 | 1.53 | -7.1 |
| 28 | 46.66667 | 1.58 | -7.6 |
| 28.5 | 47.5 | 1.59 | -7.6 |
| 29 | 48.33333 | 1.61 | -7.1 |
| 29.5 | 49.16667 | 1.63 | -7.3 |
| 30 | 50 | 1.66 | -7.5 |

Analisis Data



Gambar 4 Grafik antara tegangan pemercepat (V_A) dengan kuat arus (I_{out}) pada suhu uap Hg sebesar 130°C .

Tegangan eksitasi (V_e) dapat ditentukan dari rata-rata jumlah beda tegangan dibagi dua dan diperoleh sebesar 5 Volt. Sedangkan energi eksitasinya (E_k) adalah 5 eV dan panjang gelombang foton yang dipancarkan adalah 2486,25 Angstrom yang berada pada daerah ultraviolet. Catatan arus I_{out} bernilai negatif karena tegangan pada anoda lebih kecil daripada tegangan pada grid.

Diskusi

Berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Franck-Hertz untuk uap Mercury pada suhu 180°C diperoleh nilai tegangan eksitasinya adalah 4,9 eV (gambar 2). Pada penelitian ini sangat sulit untuk menaikkan suhu uap Hg sampai 180°C , alat percobaan Franck-Hertz yang diperoleh dari dana IMHERE ternyata hanya mampu menaikkan suhu sampai 130°C sehingga diperoleh hasil yang cukup berbeda untuk tegangan eksitasinya yaitu 5 Volt. Panjang gelombang foton yang dipancarkan dari eksitasi atom Mercury adalah $2486,25\text{ \AA}$ ternyata berada pada daerah radiasi ultraviolet. Kemungkinan lainnya yang dapat dianalisis selain perbedaan suhu uap Hg adalah :

1. Keterbatasan alat untuk mengukur perubahan tegangan grid. Dalam percobaan ini perubahan tegangan grid ditentukan dengan menggunakan kalibrasi antara kertas milimeter dan penunjuk pada alat control unit. Tiap 6 mm akan sama dengan 10 Volt sehingga perubahan terkecil dari tegangan grid yang dapat dilakukan adalah 1,66666667 Volt.
2. Untuk melaksanakan percobaan Franck-Hertz dengan menggunakan peralatan ini sebaiknya yang perlu diperhatikan adalah persiapan untuk melakukan percobaan, karena dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk pemanasan gas Hg sehingga menjadi uap nya. Diperlukan waktu sekitar 30 menit.

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian mengenai energi elektron atom Mercury adalah terkuantisasi yang mengukuhkan kebenaran teori atom Bohr, membuat kurva hasil percobaan Franck-Hertz dari peristiwa penyerahan energi yang tidak kontinyu oleh elektron bebas kepada atom Mercury (Hg) dan menentukan nilai energi eksitasi atom Mercury (Hg) serta panjang gelombang foton yang dipancarkan, ternyata hasil yang diperoleh untuk tegangan eksitasinya adalah 5 Volt berbeda dengan hasil percobaan yang dilakukan oleh Franck-Hertz (4,9Volt). Perbedaan ini disebabkan oleh suhu uap Hg pada percobaan ini hanya mampu diukur pada suhu 130⁰ C sedangkan aslinya pada suhu 180⁰ C. Kurva yang dihasilkan pada percobaan ini serupa dengan hasil yang diperoleh Franck-Hertz. Energi elektron yang bertingkat atau terkuantisasi memiliki energi 5 eV dengan panjang gelombang foton yang dipancarkan dari eksitasi atom Mercury adalah 2486,25 Å⁰ (daerah ultraviolet).

Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, maka yang perlu diperhatikan adalah:

1. Bila mungkin pemanasan uap Mercury (Hg) dapat mencapai suhu 180⁰ C agar dapat dirunut jejak penelitian Franck-Hertz secara tepat.
2. Apabila ada kesempatan dapat dilakukan penelitian percobaan Franck-Hertz dengan menggunakan gas Neon sebagai perluasan pemahaman pada percobaan ini.
3. Usahakan untuk melakukan pemanasan gas Mercury selama 30 menit lebih dahulu kemudian baru dilanjutkan ke langkah berikutnya.
4. Sebaiknya peralatan percobaan Franck-Hertz ini dilengkapi dengan X_Y plotter sehingga kurva yang dibuat dapat diamati secara langsung dan tidak menunggu sampai dilakukan pengolahan data dengan menggunakan program excell

Daftar Pustaka

- Beiser, A., (Alih Bahasa: Dr The Houw Liong)., 1992, *Konsep Fisika Modern*, Penerbit Erlangga, Jakarta 10430, Hal 140 - 156.
- Kraftmakher, Y., 2007, *Eksperiments and Demonstration in Physics*, World Scientific Publishing. C. Pte. Ltd, Singapore, p 397 – 402.
- Krane, K., (Alih Bahasa: Hans J Wospakrik dan Sofia Niksolihin)., 1992, *Fisika Modern*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Melissinos, A. C., Napolitano, Jim., 2003, *Experiments in Modern Physics*, Second Ed, Academic Press, California 92101-4495, USA, p 10 -19.

Puri, Sanjiv., 2004, *Modern Physics Concepts and Applications*, Alpha Science, India , p 53.

Thornton, Stephen T., Rex, Andrew., 2006, *Modern Physics for Scientist and Engineers* Third ED, Thomson Brooks/Cole, p 154-156.