

## PENGUKURAN STATUS ENERGI TERKUANTISASI ATOM MERKURI

**Ramlan, Arsali, A. Aminuddin Bama**  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya

### ABSTRAK

Hasil spektroskopi optik (S-0) menunjukkan bahwa emisi maupun absorpsi radiasi atomik terjadi hanya untuk frekuensi diskrit. Hal ini menandakan adanya kuantisasi energi dari atom. Sedangkan hasil dari Franck-Hertz (F-H) yang menandakan adanya energi untuk mengeksitasi atom ke tingkat energi di atas tingkat dasar. Energi elektron minimum yang diperlukan untuk mengeksitasi atom itu adalah 4,9 eV. Masalahnya adalah bagaimana mengkaitkan pengalaman dari eksperimen F-H dan S-0 sehingga diperoleh hasil yang cocok dengan yang ada pada buku-buku teks. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan status energi terkuantisasi dari atom Merkuri dengan cara melakukan eksperimen F-H dan S-0. Hal ini dilakukan untuk pengambilan data-data yang diperlukan dan mempelajari karakteristik spektrum atom Merkuri. Dari eksperimen telah didapatkan energi eksitasi  $4,969 \pm 0,082$  eV besesuaian dengan panjang gelombang  $2536,5 \text{ \AA}$  di dalam daerah ultraviolet. Dari kedua percobaan tersebut (F-H dan S-0), menunjukkan bahwa hanya transisi atomik tertentu yang diizinkan dan transisi tertentu ini mengindikasikan kediskritan dari tingkat energi atom Merkuri.

## PENDAHULUAN

### Spektrum Atom Merkuri

Seperti yang telah diketahui bahwa atom Merkuri mempunyai 2-elektron terluar, karena spektrum atom ini lebih dominan ditentukan oleh perilaku dua elektron tersebut.

Untuk membahas spektrum atom Merkuri mula-mula kita perhatikan kaidah seleksi umum untuk transisi terijinkan di bawah kopling  $L S^1$

$$\Delta L = 0, \pm 1$$

Transisi dari  $L=0$  ke  $L=0$  dilarang ( $L=0 \leftarrow \updownarrow \rightarrow L=0$ ) (1)

Bila hanya satu elektron yang terkait,  $\Delta L=0$  dilarang dan  $\Delta L= \pm 1$  merupakan satu-satunya kemungkinan. Akan tetapi kaidah umum disini melibatkan bilangan kuantum sudut orbital total  $L$ .

### Kaidah Laporte

Transisi yang diperbolehkan adalah genap ke ganjil atau ganjil ke genap, transisi yang tidak diperbolehkan adalah genap ke genap dan ganjil ke ganjil (genap  $\longleftrightarrow$  ganjil, genap  $\leftarrow \updownarrow \rightarrow$  genap, ganjil  $\leftarrow \updownarrow \rightarrow$  ganjil).

Disini "genap" dan "ganjil" berkenaan dengan perjumlahan aritmatika  $\Sigma L_i$  pada semua elektron. Hasil yang penting dari kaidah ini adalah bahwa transisi antar status yang berasal dari konfigurasi yang sama dilarang.

$\Delta J=0, \pm 1,$

Transisi  $J=0$  ke  $J=0$  dilarang ( $J=0 \longleftrightarrow J=0$ ) (2)

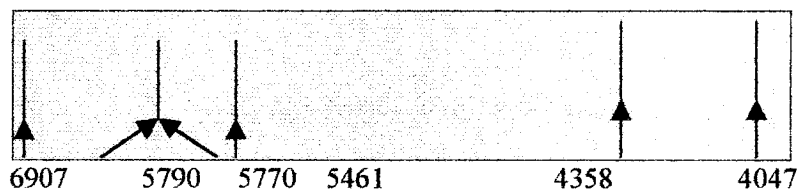
Kaidah ini sama untuk semua atom.

$\Delta S=0$

Penerapan kaidah ini hanya untuk atom-atom dengan inti kecil.

Konfigurasi dasar dari atom Merkuri adalah KLMN  $5s^2 5p^6 5d^{10} 6s^2$ . Kenaikan sebuah elektron dari orbital  $6s$  ke orbital  $6p$  menghasilkan status-status  $6^1p^1$ ,  $6^3P_0$ ,  $6^3P_1$  dan  $6^3P_2$ , 3 komponen  $6^3P$  energinya berbeda akibat adanya interaksi spin orbital. Pada atom ini terdapat penyimpangan kopling L-S dari momentum sudut. Hal ini ditunjukkan oleh adanya beberapa garis utama dalam spektrum timbul dari transisi yang melanggar kaidah  $\Delta S=0$ . Transisi  $6^3P_1$  ke  $6^1S_0$  merupakan suatu contoh dan merupakan penyebab dari garis 2536, 52 ° Å dalam daerah ultraviolet. Hal ini belum berarti bahwa peluang transisi sudah pasti harus sangat tinggi, karena tiga keadaan  $^3P_1$  merupakan keadaan terendah dari kelompok keadaan trikembar dan cenderung populasinya tinggi dalam uap raksa yang tereksitasi. Transisi  $6^3P_0$  ke  $6^1S_0$  dan  $6^3P_2$  ke  $6^1S_0$ , berturut-turut, melanggar aturan yang melarang transisi dari  $J=0$  ke  $J=0$  yang membatasi  $\Delta J$  menjadi 0 atau  $\pm 1$  dan juga melanggar  $\Delta S=0$ , sehingga peluangnya jauh lebih kecil dari transisi  $6^3P_1$  ke  $6^1S_0$ . Keadaan  $6^3P_0$  dan  $6^3P_2$  adalah metastabil, tanpa tumbukan, atom itu tetap dalam keadaannya masing-masing untuk waktu yang relatif lama. Interaksi spin orbit kuat yang menimbulkan pelanggaran pada kopling L-S juga merupakan penyebab dari pada jarak yang besar antara unsur trikembar  $^3P$ , seperti yang telah disebutkan di atas.

Spektrum merkuri yang dihasilkan dari percobaan spektroskopi optik ditunjukkan oleh gambar di bawah ini :



Gambar.1 Spektum atom Merkuri

Panjang gelombang dari kiri ke kanan makin kecil bersesuaian dengan,

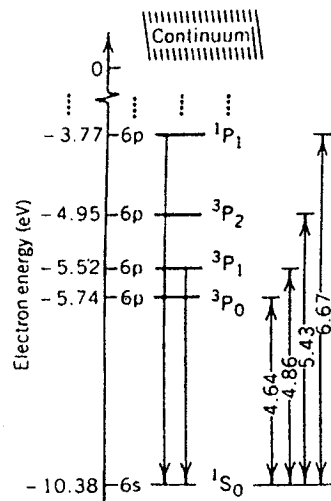
Merah	6907, 5 Å
Kembar Kuning	5789, 7 Å dan 5769, 6 Å
Trikembar Hijau	5460, 7 Å
Trikembar Biru	4358, 4 Å
Trikembar Violet	4046, 6 Å

### Potensial Resonansi

Seperti yang telah diketahui bahwa salah satu mekanisme emisi radiasi adalah tumbukan tak-lenting antara elektron-elektron bebas dengan atom. Mekanisme ini dapat dibuktikan melalui eksperimen F-H. Untuk melakukan eksperimen ini elektron-elektron bebas (elektron tembak) harus dipercepat dengan menaikkan tegangan pemercepat  $V_a$ , sehingga mereka dapat menaikkan elektron-elektron orbital dari status energi yang paling rendah (ground-state) sampai ke tak-hingga. Ionisasi ini dideteksi oleh bertambahnya arus melalui tabung. Tetapi sebelum elektron-elektron tembak mempunyai cukup energi untuk

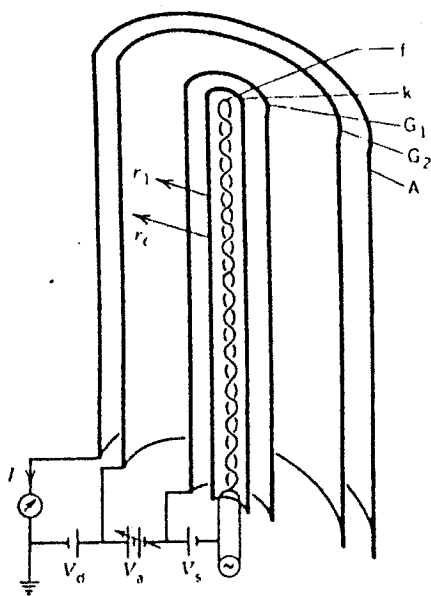
melepaskan sebuah elektron orbital mereka mempunyai cukup energi untuk menaikkan sebuah elektron ke status eksitasi. Elektron-elektron orbital dalam gas hanya dapat mengabsorpsi energi yang direpresentasikan oleh transisi antara tingkat-tingkat energi.

Untuk atom merkuri tingkat-tingkat energi yang relevan, berkenaan dengan transisi antar tingkat-tingkat energi untuk eksperimen F-H ditunjukkan oleh gambar di bawah ini,

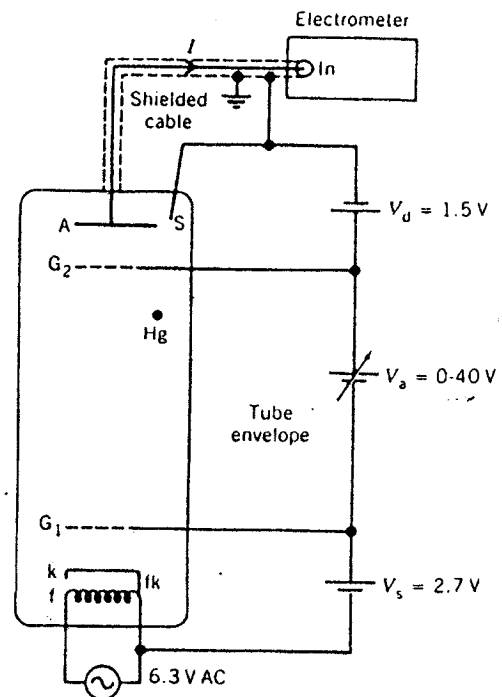


Gambar 2. Tingkat-tingkat energi yang relevan untuk percobaan Franck-Hertz. Empat anak panah berujung atas bawah disebelah kanan menunjukkan separasi tingkat-tingkat energi dalam eV<sup>4</sup>

sedangkan diagram skematik tabung dan bagan elektron F-H ditunjukkan berturut-turut pada gambar 3 dan 4 di bawah ini.



**Gambar 3**  
**Diagram skematika tabung**  
**Farnck-Herz<sup>4</sup>**



**Gambar 4**  
**Elektroda Franck-Herz**  
**'silindris koaksial'<sup>4</sup>**

Elektron yang menjalar dari katoda K ke anoda A mempunyai lintasan bebas rata-rata (*mean free path*) yang diberikan oleh persamaan .

$$\bar{l} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\eta R_0^2}} (m)$$

Dimana :  $R_0$  adalah jari-jari atom merkuri  $\cong 1,5 \times 10^{-10}$  m

$\eta$  adalah orde jumlah atom permenit volume ( $m^{-3}$ )

Energi kinetiknya adalah  $E_k = e E_i$  (joule) (5)

dimana :  $e$  adalah muatan elektron

$E$  adalah medan listrik yang ditentukan oleh tegangan percepatan (accelarating oltage)  $V_a$ .

Rapat jumlah atom  $\eta$  sangat peka terhadap temperatur tabung yang menyebabkan  $E_k$  dapat berubah-ubah sesuai dengan temperatur tabung. Karena itu stabilitas temperatur tabung harus dijaga.

Probabilitas terjadinya tumbukan tak elastis besar ketika energi elektron (dinyatakan dalam eV) sama dengan perbandingan energi antara status eksitasi dan status dasar dari atom merkuri (Hg) adalah 4,6eV; 4,9eV; 5,4eV; dan 6,7 eV.

Pada beberapa jarak radial  $r_i \pm \Delta r$  dari katoda silindris K, energi kinetik elektron sama dengan 4,6eV dan terjadi tumbukan tak elastis pertama. Tumbukan tak elastis terjadi di dalam rongga silindris pada jarak  $r_i \pm \Delta r$  berada pada status metastabil  $^3P_0$  dari atom merkuri (Hg) di dalam rongga. Elektron-elektron tembak berikutnya yang masuk ke dalam rongga akan menumbuk secara elastis atom merkuri (Hg) pada status  $^3P_0$ , sehingga elektron tersebut akan melewati rongga dengan energi yang masih cukup besar. Pada jarak lebih besar  $r_e \pm \Delta r$  elektron-elektron yang sama ini akan mempunyai energi pada  $e$  sama dengan 4, 9 eV dan

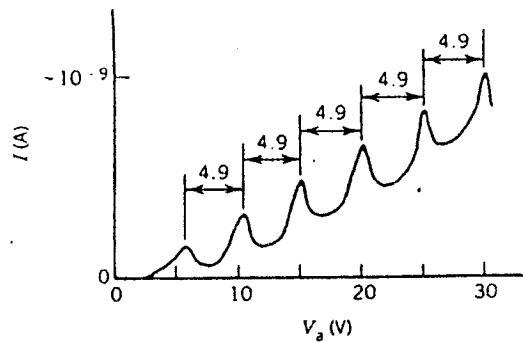
akan menumbuk secara tak elastis atom merkuri pada status dasar. Status  $^3P_1$  meluruh menjadi status  $^1S_0$  setelah kira-kira  $10^{-8}$  detik dengan mengemisikan foton, dan karena itu atom siap untuk melakukan tumbukan tak elastis berikutnya. Jika tegangan pemercepat  $V_a$  cukup tinggi proses tumbukan tak elastis bisa berlangsung di rongga silindris pada jejari  $r_{2,0} \pm \Delta r, r_{2,1} \pm \Delta r, \dots, r_{2,n} \pm \Delta r$ , dan seterusnya adalah jarak lintasan elektron yang dikehendaki untuk mencapai energi tertentu.

Arus pertama teramati ketika  $V_a$  melebihi 1,5 V (dengan tegangan penghambat 1,5 V), dan arus yang teramati akan bertambah seiring dengan bertambahnya  $V_a$  sampai 4,9 V. Ketika  $V_a = 4,9V$  elektron-elektron tembak kehilangan energi dari tumbukan tak elastis karena itu elektron-elektron tersebut tidak mempunyai cukup energi untuk mengatasi tegangan penghambat 1,5 V sehingga arus yang teramati tampak menurun.  $V_a = 4,9 V, 1,$  mendekati karak dari katoda K ke sisi  $G_2$ .

Jika tegangan  $V_a$  diperbesar lagi yaitu lebih dari 4,9V maka arus akan bertambah kembali sampai  $V_a = 9,8V$ , yaitu yang bersesuaian kelipatan dari tegangan terendah yang didapatkan pada jarak  $r_{2,0} \pm \Delta r$  dari katoda dimana tumbukan tak elastis pada atom yang menempati status  $^3P_1$  terjadi. Karena itu ketika  $V_a = 4,9n V$  dengan  $n = 1, 2, 3, \dots$  terjadi penurunan arus.

Kurva yang diharapkan antara arus  $I(A)$  dan tegangan pemercepat  $V_a$  ditunjukkan pada gambar dibawah ini.





**Gambar 5. Arus  $I(A)$  sebagai fungsi tegangan pemercepat  $V_a$**

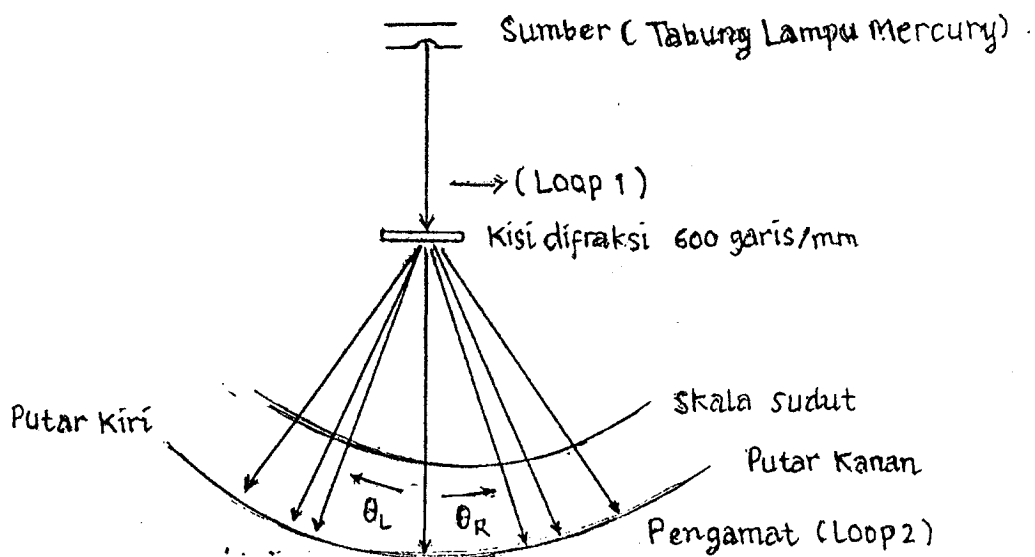
Tiap-tiap puncak menggambarkan tepat saat tumbukan tak elastis terjadi yang menempati status  $^3P_1$ . Sebenarnya puncak pertama tidak terjadi pada 4,9V karena adanya beda potensial antara katoda (K) dengan anoda (A).

## METODOLOGI

Dalam pengambilan data-data yang diperlukan alat yang digunakan adalah seperangkat alat eksperimen spektroskopi optik (S-O) dan seperangkat alat eksperimen Frack-Hertz (F-H) dengan tabung gas Merkuri.

### Ekperimen Spektroskopi Optik (S-O) untuk Atom Merkuri

- Bagan Percobaan sebagai berikut :



Gambar. 6. Bagan Ekperimen dengan manual spektrometer optik dengan memakai kisi difraksi 600 garis /mm



Setelah alat kita set seperti gambar 7 di atas yang pertama kita lakukan adalah memanaskan oven dengan menghidupkan catu daya, memasang penyambung  $V_a$  ke 30V pada kontrol (b) dan potensiometer dipasang pada posisi 10. Lalu memasang chanel-x pada perekam-xy (penyimpangan  $-x$  1V/cm Var, untuk mengukur  $V_a$ ). Kemudian potensiometer diset untuk keseluruhan lebar kertas yang dipakai. Tabung F-H dimasukkan kedalam open (suhu  $\pm 100^\circ\text{C}$ ) dan langsung menghidupkan catu daya (522 35) secara otomatis  $V_a$  naik. Setelah beberapa menit penguat arus dihidupkan lalu dilakukan pengoperasian potensiometer dengan 1-2 Volt dari Unit catu daya untuk melanjutkan kenaikan  $V_a$ . Kemudian memasang tegangan kontrol  $V_d$  1,5 Volt DC pada potensiometer (a) dari catu daya teregulasi dan yang terakhir melakukan pengukuran arus  $I_A$  beberapa kali. Dengan catatan 3 parameter yaitu suhu open, tegangan kontrol ( $V_d$ ) dan tegangan pemercepat ( $V_a$ ) harus sesuai (dibandingkan atau dicek).

Setelah diperoleh data yang diperlukan maka dilakukan perhitungan (data dari spektroskopi optik) sehingga diperoleh panjang gelombang spektrum atom Merkuri, menggambar grafik (plot tegangan dan arus) sesuai dengan data yang diperoleh dari eksperimen Franck-Hertz dan menganalisa hasil dari kedua eksperimen tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Data Pengukuran sudut untuk spektrum atom Merkuri yang dihasilkan dari eksperimen spektroskopi optik (S-O)

Tabel 1. Data pengukuran sudut untuk atom Merkuri

Warna Spektrum	Putar Kanan ( $\theta_R$ )	Putar Kiri ( $\theta_L$ )
Merah	24° 27'	24° 31'
Dwi Kembar Kuning	20° 18,5' - 20° 14'	20° 20,5' - 20° 16'
Tri kembar Hijau	19° 6,5'	19° 8,5'
Hijau Biru	17° 8'	17° 10'
Trikembar Biru	15° 8'	15° 11'
Trikembar Ungu	14° 1,5'	14° 4,5'

Pada eksperimen spektroskopi optik dipakai kisi difraksi 600 garis/mm, sedangkan orde difraksi  $n$  sama dengan 1 (orde pertama).

Tabel 2 . Data Pengukuran Tegangan Pemercepat ( $V_a$ ) dan Arus anoda ( $I_a$ ) yang dihasilkan dari eksperimen Franck-Hertz(F-H) dengan  $V_d = 1,5$  Volt dan  $V_a = 3 - 30$  Volt

$V_a$ (V)	$I_a$ (nA)	$V_a$ (V)	$I_a$ (nA)	$V_a$ (V)	$I_a$ (nA)
4,6	0,45	11,1	1,875	16,4	2,7375
5,1	0,55	11,2	1,90	16,5	2,675
5,6	0,75	11,3	1,9375	16,6	2,625
6,1	1,175	11,4	1,95	17,1	2,075
6,2	1,2375	11,5	1,9125	17,6	1,625
6,3	1,275	11,6	1,875	18,1	1,35
6,4	1,2875	12,1	1,575	18,6	1,2375
6,5	1,30	12,6	1,25	18,7	1,225
6,6	1,2875	13,1	1,05	18,8	1,225
7,1	1,05	13,6	0,9375	18,9	1,2375
7,6	0,80	13,7	0,925	19	1,2625
8,1	0,6125	13,8	0,9025	19,1	1,30
8,6	0,525	13,9	0,925	19,6	1,55
8,7	0,5125	14	0,95	20,1	2,075
8,8	0,5185	14,1	0,9625	20,6	2,825
8,9	0,50	14,6	1,10	21,1	3,325
9	0,5125	15,1	1,30	21,2	3,375
9,1	0,525	15,6	2,2875	21,3	3,3875
9,6	0,6375	16,1	2,70	21,4	3,45
10,1	0,8875	16,2	2,7375	21,5	3,3875
10,6	1,40	16,3	2,75	21,6	3,375

Dari data hasil eksperimen spektroskopi optik dapat dihitung panjang gelombang spektrum atom Merkuri dengan menggunakan perumusan umum untuk difraksi kisi,

$$n \lambda = d \sin \theta \quad (5)$$

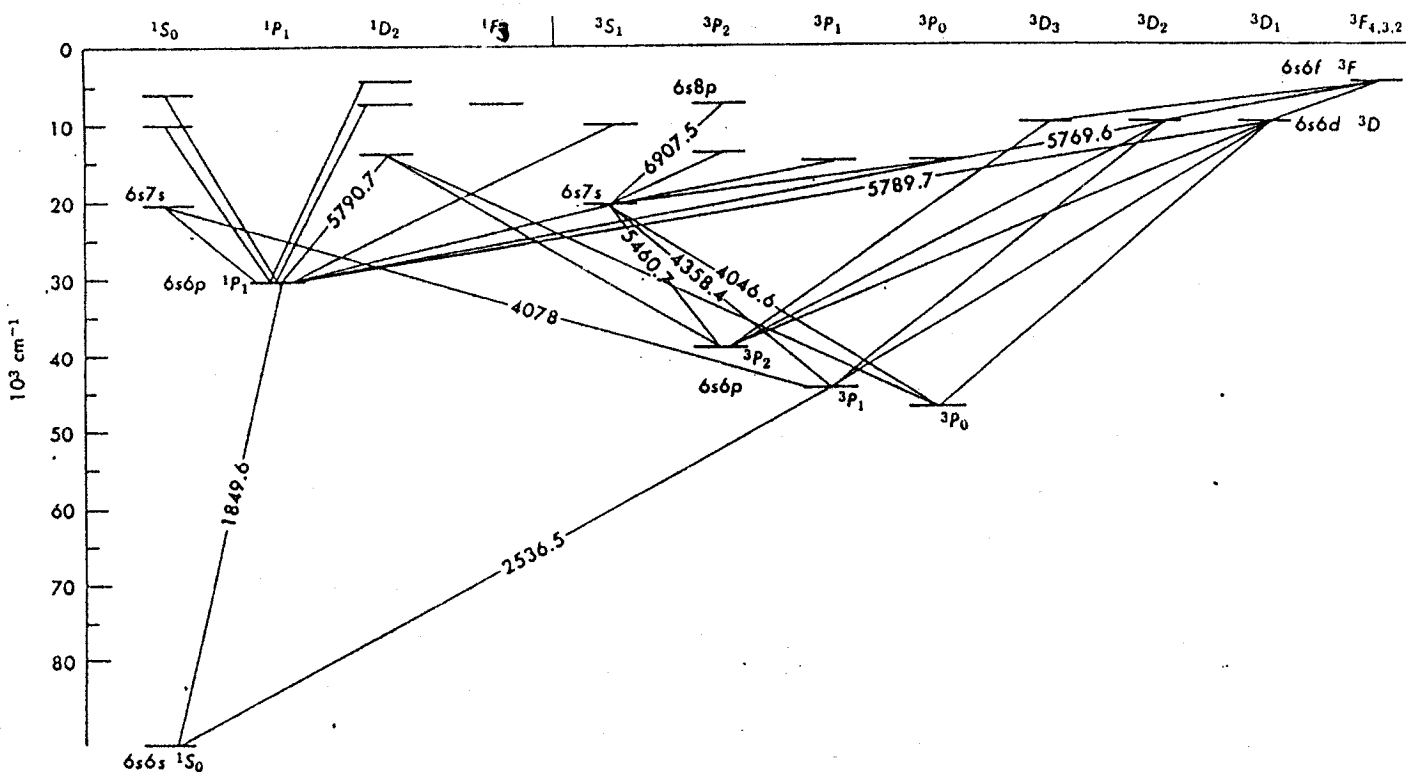
dimana  $d$  adalah jarak antara garis kisi, dalam hal ini  $d = (1/600) \times 10^7 \text{ \AA}$ , dan orde difraksi yang digunakan adalah orde pertama ( $n = 1$ ). Sedangkan sudut  $\theta$  diberikan oleh

$$\theta = \frac{R + L}{2}$$

**Tabel 3. Panjang Gelombang dari beberapa Garis Spektral atom Merkuri**

Warna	$\theta$	$\lambda$ (dari percobaan)	$\lambda$ (dibuku-buku teks)
Merah Dwikembar Kuning	24, 4833 °	6907, 1422 Å	6907, 5 Å
	20, 325 °	5789, 0809 Å	5789, 7 Å
Trikembar Hijau Hijau Biru	20, 25 °	5768, 6177 Å	5769, 6 Å
	19, 125 °	5460, 5031 Å	5460, 7 Å
Trikembar Biru Trikembar Ungu	17, 15 °	4914, 5717 Å	4916 Å
	15, 1583 °	4358, 1222 Å	4358, 4 Å
	14, 05 °	4046, 1425 Å	4046, 6 Å

Panjang gelombang yang diperoleh (seperti yang ditunjukkan pada tabel 3), berasal dari transisi atomatik, bersesuaian dengan garis-garis spektral seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Diagram tingkat-tingkat energi dan garis utama pada spektrum Merkuri

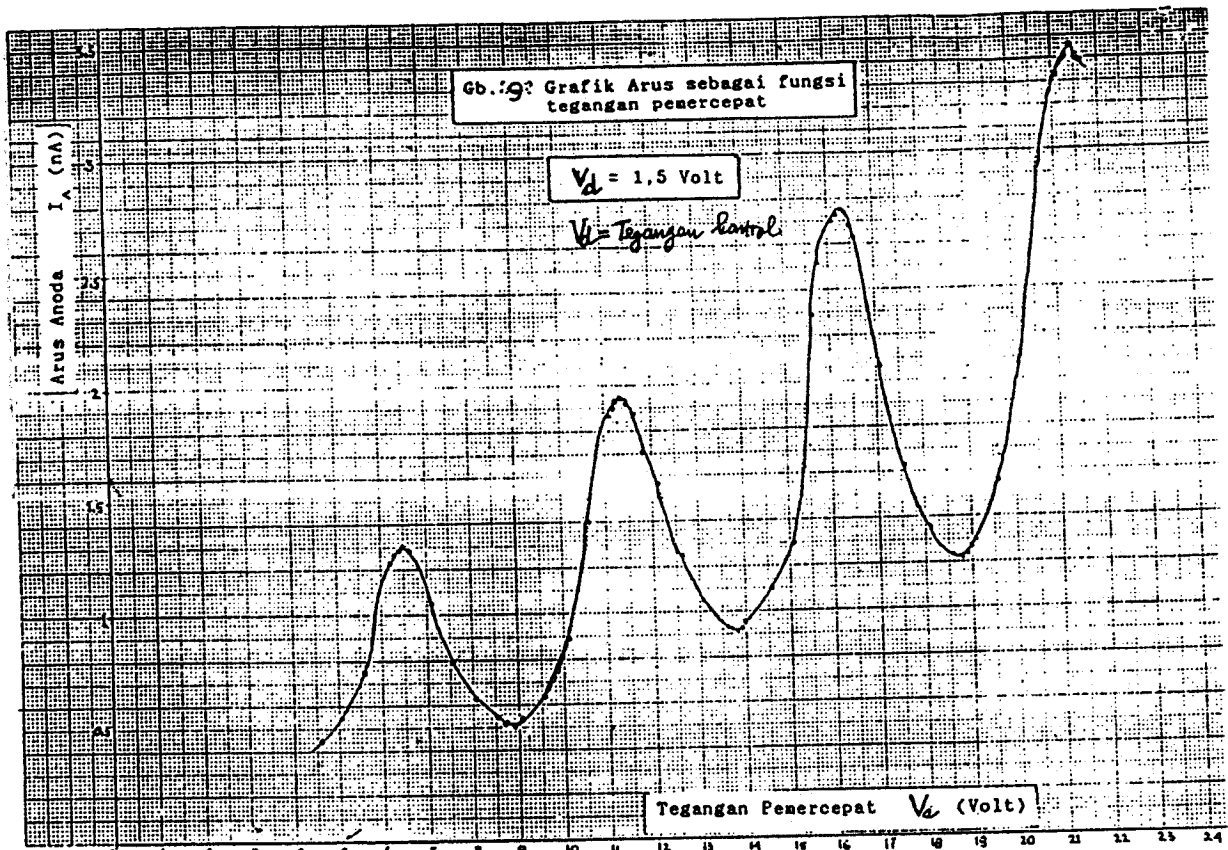
Panjang gelombang spektrum atomik yang diperoleh dari hasil percobaan bersesuaian dengan garis-garis spektral seperti yang ditunjukkan dalam gambar 8. Lengkapnya, spektrum trikembar violet dihasilkan dari transisi antara  $^3S_1$  dan  $^3S_1$  ke  $^3P_0$ , trikembar biru dan trikembar hijau berturut-turut., adalah transisi dari  $^3S_1$  ke  $^3P_2$  dan ke  $^3P_2$ . Sedangkan dwikembar kuning dihasilkan dari transisi antara  $^3D_1$  ke  $^1P_1$  dan  $^3D_2$  ke  $^1P_1$ . Merah dihasilkan dari transisi  $^3P_2$  ke  $^3S_1$ .

Lokasi puncak-puncak yang ditunjukkan pada gambar 9 diukur dengan voltmeter tabung vakum (VTVM). Nilai rata-rata yang diperoleh untuk spasi antar puncak adalah  $4,967 \pm 0,082$  V dibandingkan dengan nilai umum 4,90 V. Potensial kontak diperoleh dari selisih antara puncak pertama dengan spasi potensial antar puncak, dalam hal ini adalah (lebih kurang) 1,533 V.

Arus pertama teramati ketika  $V_a$  melebihi 1,533 V (potensial kontak), dan arus yang teramati akan bertambah seiring dengan bertambahnya  $V_a$  sampai 6,5 V. Ketika  $V_a = 6,5$ V elektron-elektron tembak kehilangan energi dari tumbukan tak lenting, karena itu elektron-elektron tersebut tidak mempunyai cukup energi untuk menembus potensial penghambat, sehingga arus yang teramati tampak menurun.

Penurunan secara signifikan arus elektron (kolektor) ditandai setiap kali potensial pada grid-2 bertambah mendekati 4,9 V. Hal ini mengindikasikan bahwa energi transper dari berkas hanya didalam paket-paket kuantum 4,9 eV. Energi sebesar ini bersesuaian dengan panjang gelombang 2536,5 Å (dalam daerah ultra ungu) yang merupakan transisi dari status eksitasi  $6s6p\ ^3P_1$  ke status dasar  $6s6s\ ^1S_0$ . Karena itu dapat diinterpretasikan bahwa berkas elektron yang mengeksitasikan atom Merkuri dari status dasar ke status  $^3P_1$  kehilangan energinya sebesar  $4,967 \pm 0,082$  eV.





Ket: Gambar grafik ini dibuat/diplot dari hasil pengukuran tegangan pemercepat ( $V_a$ ) dan arus anoda ( $I_a$ ).  
Pengeplotan ini dilakukan karena alat perekam x-y kami tidak dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan.

## KESIMPULAN

Dari eksperimen spektroskopi optik dihasilkan garis-garis warna (spektrum) pada jangkau cahaya tampak, yang panjang gelombangnya berkisar antara 4000 Å sampai 7000 Å. Sedangkan dari eksperimen F-H diperoleh energi eksitasi  $4,967 \pm 0,082$  eV bersesuaian dengan panjang gelombang 2536,5 Å di dalam daerah ultraviolet.

Dari kedua eksperimen yang telah dilakukan jelas bahwa transisi-transisi atomik tertentu yang diizinkan. Transisi-transisi tertentu ini mengindikasikan diskritan dari tingkat energi atom Merkuri. Dengan kata lain energi emisi (energinya terkuantisasi). Meskipun demikian, karena atom merkuri adalah atom berat, ada transisi-transisi yang menyimpang dari kaidah transisi. Hal ini disebabkan adanya interaksi spin orbit yang pengaruhnya lebih besar dari intensitas repulsif antar elektron.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hollas J.M., *Modern Spectroscopy*, University of Reading, New York, 1986.
- Leybold-Heraeus GMBH, *Physics Experiment*, Vol. 3 Optik, Atomic and Nuclear Physics, Solid-States Physics, 1st Edition, September 1986.
- Melissinos, A.C., *Experiment in Modern Physics*, Academic Press Division, Orlando, Florida, 1966.
- Preston, D.W. Dietz, E>R., *The Art of Experimental Physics*, John Wiley and sons, New York, 1991