

Berkala MIPA, 15(3), September 2005

STUDI SPEKTROSKOPI OPTOGALVANIK EKSITASI SATU FOTON ATOM NEON MENGGUNAKAN LASER ZATWARNA RH-B PULSA (570 – 603 NM) PADA VARIASI ARUS LUCUTAN DAN INTENSITAS LASER

(Study of One-photon-excitation Optogalvanic Spectroscopy of Neon Atom Using Pulsed Dye laser (570-603 nm) with Variation of Discharge Current and Laser Intensity)

I B A Paramarta¹, Karyono² dan A B Setio Utomo²

¹Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana-Denpasar

²Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada-Yogyakarta

ABSTRAK

Telah diteliti spektroskopi eksitasi satu foton dengan metode optogalvanik pada atom neon menggunakan lampu lucutan katoda berongga Na/Ne komersial dan laser zatwarna Rh-B pulsa tertala. Laser zatwarna ini mempunyai rentang panjang gelombang antara 570 nm - 603 nm dan lebar garis sekitar 0,6 nm. Variasi arus lucutan katoda berongga dan intensitas laser pengeksi-tasi telah menghasilkan 18 transisi yang diidentifikasi sebagai transisi satu foton atom neon sebanyak 16 transisi dan 2 transisi atom sodium bahan katoda.

Kata kunci: Eksitasi satu foton, metoda optogalvanik, atom neon, atom sodium

ABSTRACT

One photon excitation spectroscopy in a neon gas using optogalvanic method in a Na/Ne commercial hollow cathode discharge lamp and a Rh-B pulsed dye laser has been studied. The laser wavelength covers from 570 nm to 603 nm and the linewidth is around 0,06 nm. Variation of the hollow cathode discharge current and laser excitation intensity yields 18 transitions that are identified as an one photon transitions of neon as much as 16 transitions and the two sodium atom transitions.

Keywords: One photons excitation, optogalvanic method, neon atom, sodium atom.

Makalah diterima 17 September 2005.

1. PENDAHULUAN

Metoda optogalvanik merupakan salah satu teknik spektroskopi yang makin banyak digunakan untuk menerangkan/mempelajari struktur atom maupun molekul. Spektroskopi optogalvanik ini didasarkan pada efek optogalvanik, yaitu perubahan tegangan pada lampu lucutan karena perubahan laju ionisasi efektif yang diinduksi oleh berkas laser yang ditala secara resonan pada suatu transisi atom dari medium lucutan. Penyinaran dengan laser seperti ini biasanya menyebabkan peningkatan populasi pada aras tereksitasi, yang memperkaya ionisasi sehingga tegangan turun (Ben-Amar dkk, 1983). Hal yang sangat menarik dari spektroskopi optogalvanik adalah metode deteksinya, yaitu pendeteksian gejala optik tetapi tidak menggunakan peralatan deteksi optik. Dalam hal ini lampu lucutan digunakan sebagai tempat sampel yang akan dideteksi sekaligus sebagai detektor. Kenyataan ini menyebabkan metode spektroskopi optogalvanik menjadi pilihan yang menarik dibandingkan dengan metode spektroskopi yang lain, misalnya metode spektro-skopi serapan (Stewart dan Lawler, 1990).

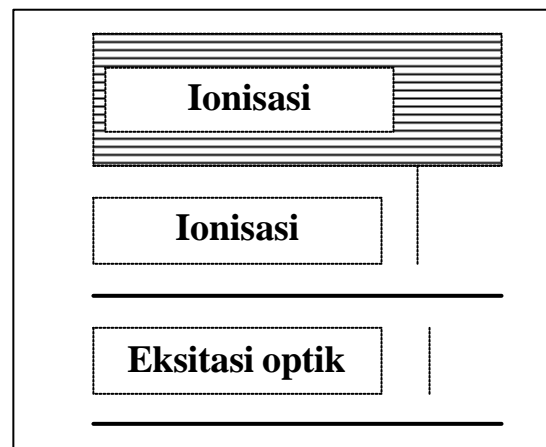
Spektrum atom neon telah banyak dipelajari dengan teknik optogalvanik. Spektrum LOG (laser optogalvanik) neon pada rentang panjang gelombang (634 – 708) nm telah dibahas oleh banyak peneliti. Widiatmono (1997) telah mengamati 19 garis transisi satu foton pada rentang panjang gelombang 579,80 nm – 605,50 nm menggunakan laser zatwarna rhodamine-6G (Rh-6G). Narayanam dkk.(1989) mengamati 45 garis transisi satu dan dua foton pada rentang panjang gelombang (610 – 730) nm. Bickel dan Ines memperoleh sejumlah besar garis transisi satu dan dua foton pada spektrum LOG neon pada daerah (720 – 760) nm dan (577 – 630) nm (Narayanan, dkk, 1989). Pada rentang panjang gelombang (400 – 760) nm telah dicakup dan sebagai tambahan spektrum satu foton yang biasa, transisi dua dan tiga foton juga telah diamati (Narayanan dkk., 1989). Pada makalah ini akan disajikan beberapa hasil dari eksperimen optogalvanik atom neon

yang diamati pada rentang panjang gelombang 570 nm - 603 nm, beserta garis - garis transisi dari satu foton menggunakan laser zatwarna rhodamine-B (Rh-B).

2. TEORI DASAR

Efek optogalvanik adalah suatu mekanisme perubahan impedansi pada tabung lucutan katoda berongga yang disebabkan adanya radiasi cahaya berpanjang gelombang sesuai dengan transisi atom. Salah satu sebab terjadinya perubahan impedansi lucutan tersebut adalah adanya peningkatan kecepatan ionisasi tumbukan atom - atom/molekul terradiasi dalam lucutan. Selain itu atom - atom yang mempunyai aras tenaga metastabil memegang peranan penting dalam menghasilkan ion sekunder. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh pada konsentrasi atom - atom metastabil yang mampu mengubah karakteristik lucutan.

Apabila terjadi serapan secara resonan maka akan terjadi eksitasi optis (*photo excitation*) dan akan mengubah distribusi populasi, yang kemudian diikuti dengan proses ionisasi tumbukan (*collisional ionization*) sehingga merubah faktor penggandaan M . (Gambar 1).



Gambar 1. Skema aras tenaga atom.

Faktor penggandaan M , yaitu faktor yang mempengaruhi cacah elektron sekunder akibat lepasnya elektron katoda akibat tumbukan dengan elektron primer,

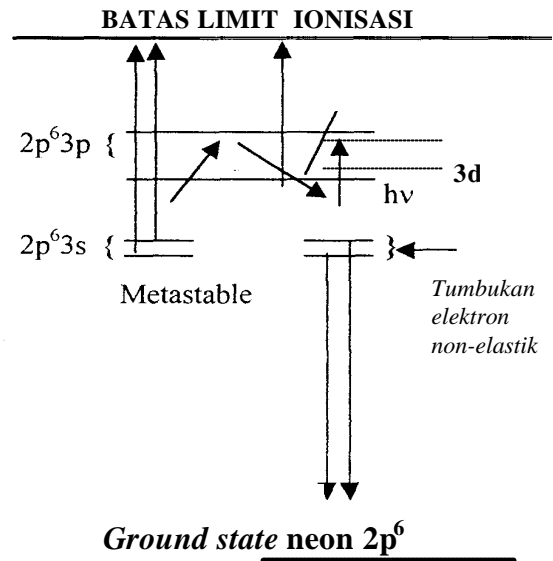
merupakan fungsi tegangan pada lucutan (V) dan populasi aras tenaga (n_i) pada berbagai aras tenaga ke i . Menggunakan laser pulsa, sinyal optogalvanik dapat digambarkan dari persamaan dinamis dengan asumsi bahwa pulsa laser lebih singkat daripada seluruh proses dalam plasma (Ben-Amar dkk, 1983).

Atom neon mempunyai 10 elektron dengan konfigurasi aras dasar adalah $1s^2 2s^2 2p^6$ ($1S_0$). Pada keadaan eksitasi pertama, satu elektron dari $2p^6$ tereksitasi ke aras $3s$ sehingga konfigurasi aras tereksitasi pertama menjadi $1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$. Elektron - elektron yang terletak pada aras tereksitasi ini tidak mengikuti gandingan (*coupling*) LS ataupun *jj* melainkan kopliling *jl* (Reddy dan Venkateswarlu, 1991). Dengan menggunakan kopliling *jl* aras eksitasi $1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$ memberikan empat aras eksitasi yaitu $3s(3/2)_2$; $3s(3/2)_1$; $3s'(1/2)_1$; $3s'(1/2)_0$, dalam notasi Paschen ditulis dengan berturut - turut sebagai $1s_5$, $1s_4$, $1s_3$ dan $1s_2$ yang dapat ditandai dengan $1s_n$ ($n = 2-5$) (Gambar 2).

Pada keadaan eksitasi kedua, konfigurasi aras tereksitasi menjadi $1s^2 2s^2 2p^5 3p^1$ yang memberikan sepuluh aras eksitasi yaitu $3p(5/2)_3$; $3p(5/2)_2$; $3p(3/2)_2$; $3p(3/2)_1$; $3p(1/2)_1$; $3p(1/2)_0$; $3p'(3/2)_2$; $3p'(3/2)_1$; $3p'(1/2)_1$ dan $3p'(1/2)_0$ yang ditandai dengan $2p_n$ ($n = 1 - 10$), dengan nilai n menurun dari aras yang lebih tinggi. Nilai yang ditunjukkan dalam kurung merupakan jumlahan vektor j ionik dan l dari elektron tereksitasi, sedangkan nilai yang ada dibelakang kurung menunjukkan spin elektron tereksitasi terkopel dengan nilai j ionik membentuk J total (Reddy dan Venkateswarlu, 1991).

3. METODE PENELITIAN

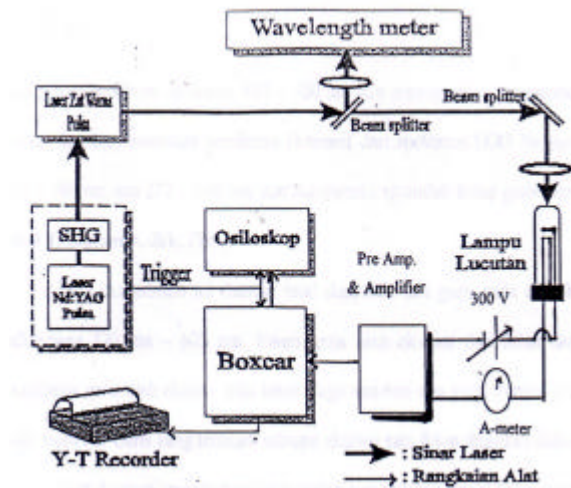
Spektrum optogalvanik Ne diamati dengan menggunakan lampu lucutan katoda berongga komersial Na/Ne. Rangkaian alat eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3. Laser Nd:YAG (*Quanta Ray*[®] DCR-11) digunakan untuk memompa laser zatwarna adalah jenis laser pulsa.



Gambar 2. Skema aras tenaga atom neon.

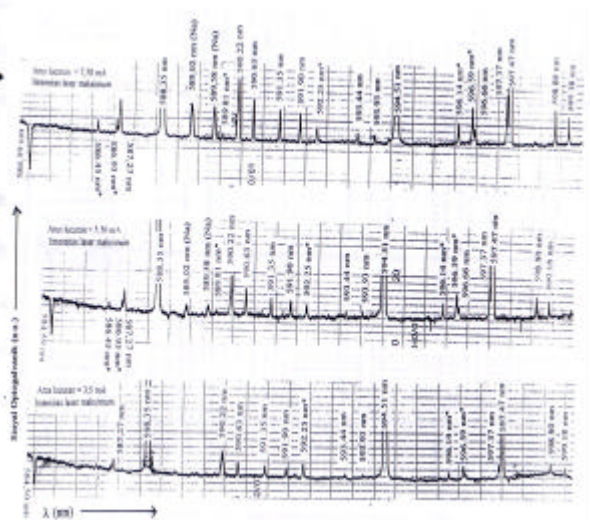
Setelah dilewatkan pada suatu kristal KD*P sebagai suatu SHG (*second harmonic generation*), yaitu pelipatdua frekuensi masukan, maka keluaran laser akan mempunyai panjang gelombang 532 nm (berwarna hijau). Sebagai bahan aktif laser zatwarna digunakan Rhodamin-B (Rh-B). Sedangkan untuk mengolah sinyal optogalvanik digunakan boxcar model SR 250 (*Stanford Research System*). Boxcar dipicu (secara eksternal) oleh pulsa pemicu dari laser Nd:YAG untuk membangkitkan gerbang (*gate*) dengan repetisi 10 Hz. Sinyal keluaran boxcar direkam pada alat perekam Y-T recorder.

Spektrum optogalvanik satu foton direkam pada arus lucutan bervariasi pada intensitas laser pengekstasi tetap dan pada intensitas laser pengekstasi bervariasi pada arus lucutan tetap. Untuk memvariasi intensitas laser pengekstasi digunakan pemecah berkas (*beam splitter*).



Gambar 3. Rangkaian eksperimen untuk spektroskopi optogalvanik (Paramarta, 2002).

karena sodium termasuk unsur alkali yang sukar diionkan (Widiatmono, 1997).



Gambar 4. Spektrum optogalvanik atom Ne pada intensitas laser pengeksitasi yang tetap (100%) dengan arus lucutan yang divariasi ($I_{\text{lucutan}} = 3,5; 5,5; 7,5 \text{ mA}$).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rekaman spektrum optogalvanik pada variasi arus lucutan dengan intensitas laser pengeksitasi tetap dan variasi intensitas laser pengeksitasi pada arus lucutan tetap untuk spektrum optogalvanik satu foton disajikan pada Gambar 4, 5, 6 dan 7.

Hasil rekaman spektrum optogalvanik pada intensitas laser pengeksitasi tetap dengan arus lucutan yang divariasi disajikan pada Gambar 4. Sinyal optogalvanik yang teramati makin tinggi dengan semakin besarnya arus. Hal ini dikarenakan dengan semakin besarnya arus lucutan akan menyebabkan lebih banyak aras-aras tenaga eksitasi yang lebih tinggi yang terdapat elektron. Puncak-puncak resonansi yang telah ada sebelumnya pada arus yang lebih rendah akan bertambah tinggi karena ionisasi yang meningkat dengan semakin banyaknya elektron yang tereksitasi.

Dua sinyal yang diidentifikasi sebagai transisi sodium (Na) teramati pada spektrum optogalvanik 7,50 mA dan 5,50 mA, tetapi tidak muncul pada spektrum optogalvanik 3,50 mA. Hal ini disebabkan karena dengan arus 3,50 mA tidak cukup untuk mengionisasi atom sodium (Na) bahan katoda. Dalam hal ini diperlukan arus yang lebih tinggi untuk mengionisasikannya,

Hasil rekaman spektrum optogalvanik pada arus lucutan yang tetap dengan intensitas laser pengeksitasi yang divariasi disajikan pada Gambar 5. Terlihat bahwa penampilan sinyal secara umum bertambah tinggi dengan bertambahnya intensitas laser pengeksitasi. Hal ini disebabkan karena dengan makin tinggi intensitas laser pengeksitasi akan menyebabkan lebih banyak atom yang tereksitasi dari keadaan awal yang berbeda dari atom neon, yang berarti juga meningkatkan laju ionisasi. (Paramarta, 2002)

Dapat dilihat juga bahwa beberapa sinyal optogalvanik yang teramati pada intensitas laser pengeksitasi maksimum dan 50 % tidak muncul pada spektrum optogalvanik yang direkam pada arus yang sama tetapi intensitas rendah (25 %). Hal ini juga berlaku untuk arus lucutan yang berbeda yaitu 5,50 mA dan 3,50 mA. Dalam hal ini menunjukkan bahwa pada intensitas laser pengeksitasi kecil, tenaga laser yang diserap oleh atom neon juga kecil dan tidak cukup untuk melakukan transisi yang mempunyai kebolehjadian yang kecil. Sedangkan sinyal optogalvanik yang mempunyai kebolehjadian transisi cukup

besar tetap muncul meskipun pada intensitas laser pengekstisasi rendah.

Dua sinyal yang diidentifikasi sebagai transisi sodium, juga muncul pada semua variasi intensitas laser (maksimum, 50% dan 25%.) pengekstisasi pada arus 7,50 mA dan 5,50 mA tetapi tidak pada arus 3,50 mA (Gambar 6 dan 7). Hal ini makin menunjukkan bahwa transisi sodium tidak dipengaruhi oleh intensitas laser pengekstisasi tetapi hanya tergantung pada arus lucutan, yaitu kemampuan arus lucutan untuk melepas atom bahan katoda.

Spektrum optogalvanik yang teridentifikasi untuk transisi satu foton sebanyak 16 transisi. Tiga diantara transisi-transisi tersebut menunjukkan sinyal yang sangat tinggi, yaitu pada panjang gelombang 588,35 nm [3s(3/2) - 4p'(3/2)], 594,51 nm [3s(3/2) - 4p'(3/2)] dan 597,47 nm [3s'(3/2)⁰ - 4p'(1/2)]. Ketiga transisi tersebut sesuai dengan transisi serapan resonansi aras metastabil 1s dan ketiga transisi ini tetap tampil paling dominan meskipun untuk arus lucutan dan intensitas laser pengekstisasi yang terendah karena ketiga garis transisi ini memiliki kebolehjadian transisi yang besar (Paramarta, 2002).

Tigabelas transisi satu foton yang lainnya mempunyai puncak resonansi yang lebih rendah dari tiga puncak yang dibahas sebelumnya. Ketigabelas garis transisi ini tidak berada tepat pada garis spektral neon. Hal ini menunjukkan bahwa transisi-transisi pada aras-aras tenaga eksitasi yang lebih tinggi akan mempunyai kebolehjadian yang lebih kecil ditempati elektron dari pada aras-aras tenaga yang lebih rendah.

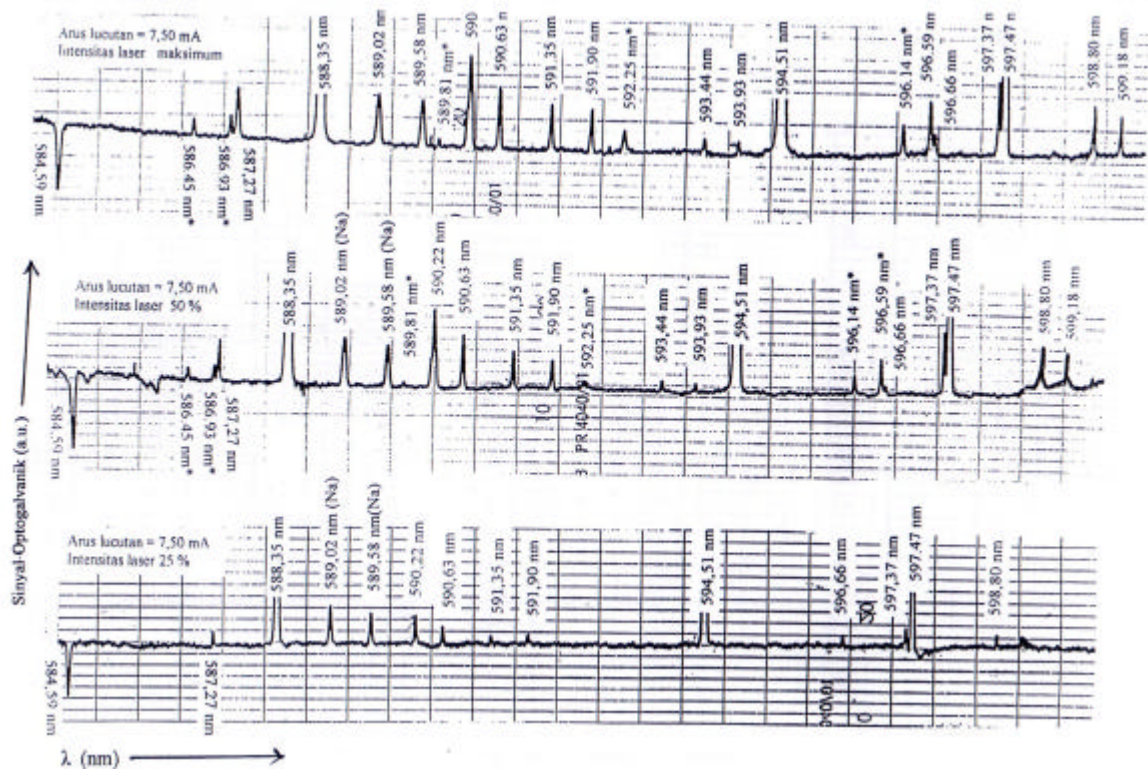
Dari tigabelas transisi satu foton yang teramati, duabelas diantaranya berasal dari 2p (Paramarta, 2002). Puncak transisi yang terakhir dengan panjang gelombang 584,59 nm menunjukkan polaritas negatif. Aras 3s adalah aras non-metastabil. Dalam keadaan tidak disinari dengan laser elektron-elektron pada aras metastabil lebih mudah terionisasi dibandingkan dengan elektron-elektron pada aras non-metastabil, sehingga arus lucutan bertambah yang mengakibatkan tegangan berkurang. Sebaliknya jika aras non-metastabil dikenai laser maka ionisasi bertambah besar karena elektron yang tereksitasi tidak akan lama berada pada aras

tenaga tereksitasi tetapi meluruh ke aras metastabil yang ada di bawahnya. Hal ini menyebabkan arus lucutan bertambah besar sehingga tegangan berkurang, muncul sinyal negatif (Narayanan dkk, 1989). Saat disinari dengan laser, elektron-elektron yang tereksitasi tidak akan lama berada pada aras tereksitasi tetapi langsung mengalami deeksitasi ke aras tenaga dasar melalui aras non-metastabil. Hal ini menyebabkan populasi pada aras metastabil menjadi kosong karena eksitasi oleh laser sehingga arus lucutan menjadi turun dan tegangan naik sehingga menghasilkan sinyal positif, dan dirangkum pada Tabel 1.

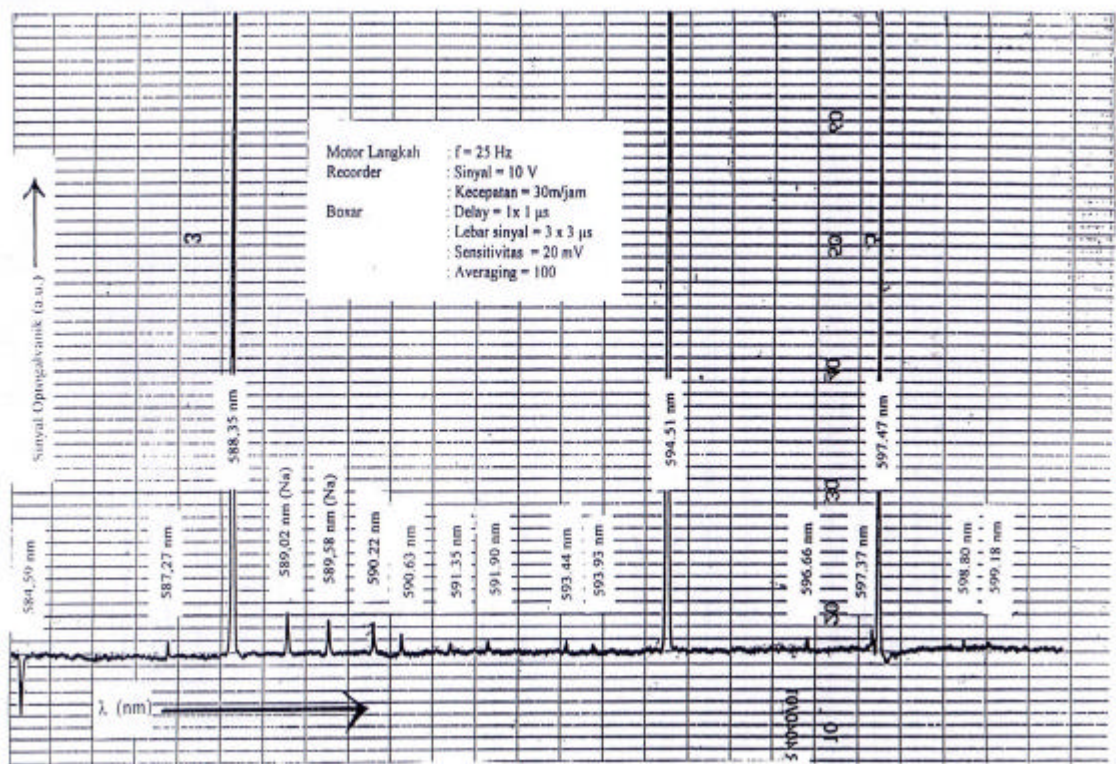
Tabel 1. Transisi satu foton atom neon yang teramati ($\lambda = 570 \text{ nm} - 603 \text{ nm}$).

No.	λ_{terukur} (nm)	λ_{ref} (nm)	Transisi	Polaritas sinyal
1.	584,59	585,24	3s'(1/2) - 3p'(1/2)	-
2.	587,27	587,28	3p(3/2) - 4d(5/2) ⁰	+
3.	588,35	588,19	3s(3/2) - 3p(1/2)	+
4.	590,22	590,25	3p(3/2) - 4d(5/2) ⁰	+
5.	590,63	590,64	3p(3/2) - 4d(5/2) ⁰	+
6.	591,35	591,36	3p(3/2) - 4d(3/2) ⁰	+
7.	591,90	591,91	3p(3/2) - 4d(3/2) ⁰	+
8.	593,44	593,45	3p(3/2) - 4d(1/2) ⁰	+
9.	593,93	593,93	3p(5/2) - 5s(1/2) ⁰	+
10.	594,51	594,48	3s(3/2) ⁰ - 3p(3/2)	+
11.	596,66	596,62	3p(1/2) - 4d(5/2) ⁰	+
12.	597,47	597,46	3p(3/2) - 4d(5/2) ⁰	+
13.	597,55	597,55	3s(3/2) ⁰ - 3p(3/2)	+
14.	598,80	598,79	3p(3/2) - 4d(7/2) ⁰	+
15.	599,18	599,16	3p(3/2) - 4d(7/2) ⁰	+
16.	601,02	600,09	3p(3/2) - 4d(1/2) ⁰	+

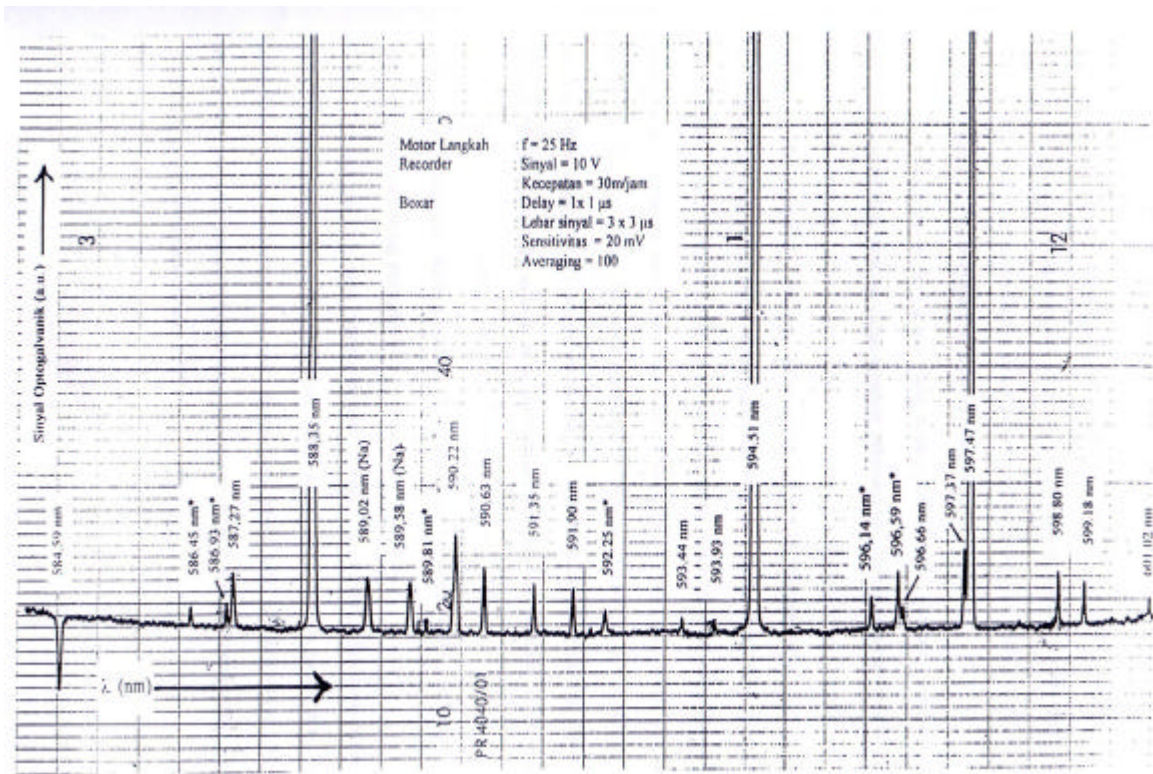
Kebolehjadian transisi dengan panjang gelombang 593,44 nm [3p(3/2) - 4d(1/2)⁰] dan 593,93 nm [3p(5/2) - 5s(1/2)⁰] sangat kecil dibandingkan dengan transisi pada panjang gelombang yang lainnya. Hal ini akibat dari sangat sedikit elektron yang tereksitasi sehingga amplitude sinyal optogalvanik sangat kecil/rendah dan pada osciloskop teramati sinyal ini meluruh dengan sangat cepat. Sebaliknya transisi-transisi dengan kebolehjadian yang lebih besar menunjukkan sinyal optogalvanik yang lebih tinggi dan waktu pemunculan sinyal pada *oscilloscope* lebih lama.



Gambar 5. Spektrum optogalvanik atom Ne pada arus lucutan yang tetap (7,50 mA) dengan intensitas laser pengeksitasi yang divariasi.



Gambar 6. Spektrum optogalvanik atom Ne pada arus lucutan 7,50 mA dan intensitas laser pengeksitsi 25%.



Gambar 7. Spektrum optogalvanik atom Ne pada arus lucutan 7,50 mA dan intensitas laser pengeksitasi maksimum.

Tiga diantara transisi-transisi tersebut menunjukkan sinyal yang sangat tinggi, yaitu pada panjang gelombang 588,35 nm, 594,51 nm dan 597,47 nm. Ketiga transisi tersebut sesuai dengan transisi serapan resonansi aras metastabil 1s. Ketiga sinyal muncul tepat pada saat berkas laser berhimpit dengan garis-garis spektral lampu neon dalam *wavelength meter*.

Transisi tersebut adalah $3s(3/2) - 4p'(3/2)$, $3s(3/2) - 4p'(3/2)$ dan $3s'(3/2)^0 - 4p'(1/2)$. Ketiga transisi ini tetap tampil paling dominan meskipun untuk arus lucutan dan intensitas laser pengeksitasi yang terendah karena ketiga garis transisi ini memiliki kebolehdjadian transisi yang besar.

Tigabelas transisi satu foton yang lainnya mempunyai puncak resonansi yang lebih rendah dari tiga puncak yang dibahas sebelumnya. Ketigabelas garis transisi ini tidak berada tepat pada garis spektral neon. Hal ini menunjukkan bahwa transisi-transisi pada aras-aras tenaga eksitasi yang lebih tinggi akan mempunyai kebolehdjadian yang

lebih kecil tertempati elektron dari pada aras-aras tenaga yang lebih rendah. Dari tigabelas transisi satu foton yang teramati, duabelas diantaranya berasal dari 2p dalam notasi Paschen yaitu 4 dari $2p_6$, 4 dari $2p_7$, 1 dari $2p_5$, 1 dari $2p_4$, 1 dari $2p_8$ dan 1 dari $2p_1$ serta satu dari 3s. Puncak transisi yang terakhir dengan panjang gelombang 584,59 nm menunjukkan polaritas negatif. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: Aras 3s adalah aras non metastabil. Dalam keadaan tidak disinari dengan laser elektron-elektron pada aras metastabil lebih mudah terionisasi dibandingkan dengan elektron-elektron pada aras nonmetastabil, sehingga arus lucutan bertambah yang mengakibatkan tegangan berkurang.

Sebaliknya jika aras nonmetastabil dikenai laser maka ionisasi bertambah besar karena elektron yang tereksitasi tidak akan lama berada pada aras tenaga tereksitasi tetapi meluruh ke aras metastabil yang ada di bawahnya. Hal ini menyebabkan arus lucutan bertambah besar sehingga tegangan

berkurang, muncul sinyal negative (Narayanan dkk.,1990).

Saat disinari dengan laser, elektron-elektron yang tereksitasi tidak akan lama berada pada aras tereksitasi tetapi langsung mengalami deeksitasi ke aras tenaga dasar melalui aras nonmetastabil. Hal ini menyebabkan populasi pada aras metastabil menjadi kosong karena eksitasi oleh laser sehingga arus lucutan menjadi turun dan tegangan naik sehingga menghasilkan sinyal positif.

Dua transisi pada panjang gelombang 589,02 nm dan 589,58 nm diidentifikasi sebagai garis-garis (puncak-puncak serapan) atom sodium karena panjang gelombang ini tidak terdapat dalam tabel spektrum optogalvanik untuk atom neon, juga karena bahan katoda lampu lucutan katoda berongga yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan bahan sodium (Na). Kedua garis transisi ini baru muncul pada arus lucutan 5,50 mA karena untuk melepaskan elektron dari katoda diperlukan arus lebih besar karena sodium termasuk alkali yang sukar diionkan. Transisi aras tenaganya didapatkan dengan menggunakan diagram Gotrian, yaitu transisi 3s – 3p. Pada keadaan normal hanya transisi ini yang dapat ditemui karena walaupun pada suhu tinggi secara ekstrim hanya pada keadaan dasar saja populasi atom sodium bertransisi ke keadaan yang lebih tinggi (Haken dan Wolf, 1994; Widiatmono, 1997).

5. KESIMPULAN

Spektrum optogalvanik atom neon telah diperoleh pada rentang panjang gelombang 570 nm – 603 nm menggunakan laser zatwarna Rh-B. Teramati 18 garis transisi dari atom neon serapan satu foton (16 transisi) dan 2 garis transisi yang berasal dari atom sodium bahan katoda. Agar mendapatkan lebih banyak lagi garis – garis transisi baik serapan satu foton, eksperimen ini dapat dikembangkan lagi dengan pengamatan pada rentang panjang gelombang yang lebih lebar misalnya pada daerah (450 – 750) nm dengan mengganti

bahan aktif laser zatwarnanya. Juga ketersediaan Watt-meter untuk laser pulsa akan memberikan informasi yang jelas dari intensitas laser pengekstiasi yang digunakan.

Daftar Pustaka

- Ben-Amar., Erez G. dan Shuker R., 1983, *Pulsed Resonant Optogalvanic Effect in Neon Discharges*, Physics Department, Ben-Gurion University, Israel.
- Haken H dan Wolf HC, 1994, *The Physics of Atoms and Quanta 4th*, Springer-Verlag.
- Narayanan K., Ullas G. dan Rai SB., 1989, *One and Two Photon Optogalvanic Spectrum of Ne: 610-730 nm*. **Chem. Phys. Lett.** pp. 55-60.
- Paramarta I B A, 2002, **Tesis S-2 Fisika FMIPA-UGM**.
- Reddy dan Venkateswarlu, 1991, *Optogalvanic Effect in Neon Hollow Cathode Discharge*. **Optics Comm.** vol 85, no 5,6, p 491-499.
- Stewart R.S. dan Lawler J.E., 1990, *Optogalvanic Spectroscopy*, Great Britain by Galliard Ltd., Great Yarmout, Notfolk.
- Widiatmono, R.,1997, *Studi Spektroskopi Optogalvanik Pada Lampu Lucutan Katoda Berongga Komersial (Na/Ne) Menggunakan Laser Zatwarna Pulsa Rh6G*, **Skripsi S1**, Program Studi Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.