

**SPEKTRUM OPTOGALVANIK ATOM NEON DI DAERAH
CAKUPAN PANJANG GELOMBANG
LASER ZAT-WARNA RHODAMINE 6G + B**

A. B. Setio Utomo dan Guntur Maruto.
Jurusan Fisika FMIPA - UGM.

INTISARI.

Dilakukan eksperimen teknik laser optogalvanik untuk mendeteksi transisi atom neon dalam lampu lucutan dengan cara mengarahkan berkas laser ke dalam lampu lucutan dan diamati perubahan tegangan akibat adanya serapan oleh transisi elektron dalam aras-aras tenaga atom neon. Eksperimen ini dikerjakan dengan menggunakan laser zat-warna (rhodamine 6G + rhodamine B) tertala, yang dipompa dengan laser pulsa Nd:YAG. Transisi-transisi atom neon yang dapat terdeteksi dengan teknik ini adalah pada panjang gelombang 594,5 nm; 596,2 nm; 596,6 nm; 597,5 nm; 603 nm; 609,6 nm; 612,8 nm; 614,3 nm dan 616,5 nm dengan panjang gelombang 594,5; 597,5 dan 614,3 nm berasal dari aras tenaga metastabil dan lebar garis spektrum optogalvanik $\Delta\lambda$ 0,08 nm (\approx 60 GHz).

**OPTOGALVANIC SPECTRUM OF NEON IN THE RANGE OF
RHODAMINE 6G+B DIE LASER WAVE LENGTHS**

A. B. Setio Utomo and Guntur Maruto.

ABSTRACT.

It has been done an experiment of laser optogalvanic to detect some transitions of neon in a commercial hollow cathode discharge lamp by sending the laser beam into the lamp and recording the voltage change due to electron transitions in energy levels of neon. Experiment have been performed using a tunable dye laser (Rh6G + RhB) which is pumped by a pulsed Nd:YAG laser. The line transitions of neon, which were investigated by this technique, are the lines of 594,5 nm; 596,2 nm; 596,6 nm; 597,5 nm; 603 nm; 609,6 nm; 612,8 nm; 614,3 nm and 616,5 nm. While the optogalvanic peak linewidth $\Delta\lambda$ is around of 0,08 nm (\approx 60 GHz).

I. PENDAHULUAN.

Teknik - teknik baru, berdasarkan pada sifat - sifat khas laser telah diperkenalkan untuk bidang spektroskopi optik, satu diantaranya adalah metoda spektroskopi optogalvanik untuk menyelidiki aras-aras tenaga/susunan dari atom (Camus, 1983; Demtroder, 1990).

Spektroskopi optogalvanik adalah pendeteksian gejala optik tapi tidak memakai peralatan deteksi optik. Dalam hal ini lampu lucutan berlaku sebagai sasaran yang akan dideteksi sekaligus berlaku sebagai detektor (Zink, 1990). Oleh sebab itu spektroskopi optogalvanik merupakan suatu pilihan yang penting dibanding metoda spektroskopi optik lainnya (Stewart dan Lawler, 1990).

Dalam penelitian ini sasaran yang akan dicapai adalah mengembangkan metoda spektroskopi laser optogalvanik untuk cuplikan atom neon yang berada dalam lampu lucutan. Laser yang dapat ditala paling umum digunakan masih laser zat-warna. Laser zat-warna mempunyai daerah dapat ditala elatif panjang dan kontinyu dan juga mencakup seluruh daerah panjang gelombang tampak (Nestor, 1982).

Dalam penelitian-penelitian terdahulu, telah dibentuk teknik spektroskopi atom metode hamburan menggunakan laser zat-warna Rhodamine 6G yang dipompa laser Nd:YAG pulsa untuk bahan cuplikan atom sodium dalam ruang vacum (Maruto, 1996), percobaan optogalvanik menggunakan laser zat-warna rhodamine 6G untuk atom neon dalam lampu lucutan (Setio Utomo dkk, 1997) dan juga optogalvanik menggunakan bahan zat-warna rhodamine B + DCM untuk mendeteksi atom neon (Setio Utomo dkk, 1997a).

II. TEORI DASAR SPEKTROSKOPI OPTOGALVANIK.

Dasar spektroskopi optogalvanik adalah efek optogalvanik. Efek ini terjadi disebabkan oleh adanya perubahan sifat kelistrikan dalam lampu

lucutan akibat disinari oleh cahaya yang mempunyai panjang gelombang sesuai dengan transisi aras-aras tenaga dari atom dalam lampu lucutan.

Penyinaran suatu lampu lucutan pada suatu panjang gelombang sesuai dengan transisi aras-aras tenaga atom dari materi lampu lucutan akan menyebabkan adanya gangguan pada kesetimbangan ionisasi lampu lucutan.

Kondisi kesetimbangan dapat mengganggu keadaan populasi melalui beberapa proses yang dominan dalam gas ucutan, antara lain (Setio Utomo dkk, 1997); a) Ionisasi langsung akibat tumbukan dengan elektron, b) Ionisasi berganda akibat tumbukan dengan elektron, c) Ionisasi Penning, d) Ionisasi akibat tumbukan metastabil-metastabil, disamping proses-proses lain yang melibatkan eksitasi ataupun deeksitasi non radiatif (misal : tumbukan dengan dinding lampu lucutan).

Gejala ini akan mengubah sifat kelistrikan (impedansi) dari lampu lucutan dan akan diikuti adanya perubahan tegangan dari tabung lucutan yang dikenal sebagai sinyal optogalvanik $\Delta V(t)$, dituliskan (Shuker dkk, 1982; Setio Utomo dkk, 1997) sebagai

$$\Delta V(t) = -\beta \sum_i a_i \Delta n_i(t) \quad (1)$$

dengan β - faktor kecepatan perubahan pelipatan elektron terhadap perubahan tegangan ($\equiv [\partial K / \partial V]_{ni} - 1$),

a_i - faktor kecepatan perubahan pelipatan elektron terhadap perubahan populasi aras tenaga atom ($\equiv [\partial K / \partial V]_{ni} - V$),

Δn_i - perubahan penyimpangan populasi dari nilainya sebelum pulsa laser ($\equiv n_a - n_b$),

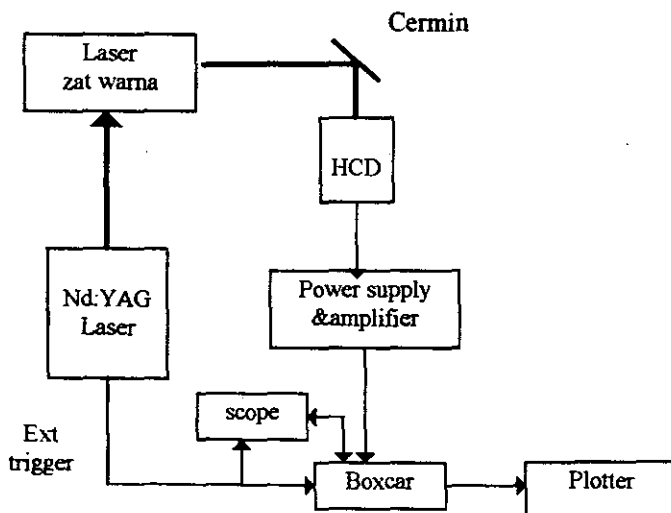
K - faktor pelipatan elektron.

Sifat sinyal optogalvanik ΔV menggunakan laser pulsa dapat digambarkan dengan persamaan dinamis, dengan pengandaian bahwa pulsa laser lebih singkat dari pada seluruh proses dalam plasma (Ben-Amar dkk, 1983).

Tentu saja gambaran perubahan tegangan ini tergantung pada struktur aras-aras tenaga dan mekanisme variasi relaksasi dari sistem atom yang terlibat.

III. EKSPERIMEN.

Peralatan untuk percobaan spektroskopi optogalvanik tersusun seperti pada gambar 1. Komponen utamanya adalah (i) laser zat-warna (Rh6G+RhB) sebagai sumber cahaya yang dapat ditala (tunable) dengan laser pemompanya adalah laser Nd:YAG buatan Quata-Ray DCR-11, (ii) lampu lucutan berongga (hollow cathod discharge-HCD) Ba/Ne sebagai sasaran dan (iii) sistem deteksi/ analisa data (a.l. boxcar SRS SR-250, scope Kenwood CS-1021, plotter YT). Jika suatu sumber tegangan DC (0-300 volt/ 0-100 mA), engan pengatur arus, dipasang antara anoda-katoda lampu lucutan berisi bufer gas (neon), maka gas neon akan tereksitasikan/terionisasikan dan arus akan mengalir dalam lampu lucutan tersebut. Arus ini disebabkan oleh adanya elektron ataupun ion. Tumbukan pada kecepatan tinggi antara ion dengan atom pada katoda akan menyebabkan sebagian atom katoda lepas dari materi katoda.



Gambar 1. Diagram skematik eksperimen optogalvanik menggunakan sumber cahaya laser zat-warna (Rh6G+RhB).

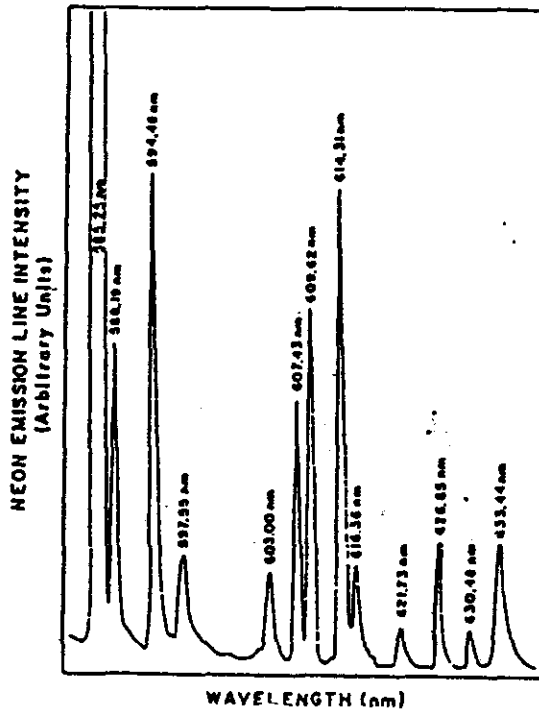
Bila sinar dari laser zat-warna diarahkan ke lampu lucutan dan sinar laser beresonansi pada suatu transisi aras tenaga pada atom lampu lucutan yaitu dengan cara menala panjang gelombang, maka efek optogalvanik akan teramati. Sinyal ini setelah diperkuat lewat pre-amplifier lalu di lewatkan ke boxcar dan akan diperoleh keluaran spektrum optogalvanik pada scope ataupun pada plotter YT.

Interpretasi dari spektrum optogalvanik dengan pembanding struktur garis atom emisi (gambar. 2) akan memberikan informasi tentang struktur aras- aras tenaga atom neon tersebut.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.

Hasil spektrum optogalvanik (gambar 3) dapat diperoleh dengan cara mengarahkan berkas laser ke gas neon dalam lampu lucutan yang dapat diatur tegangan dan arusnya.

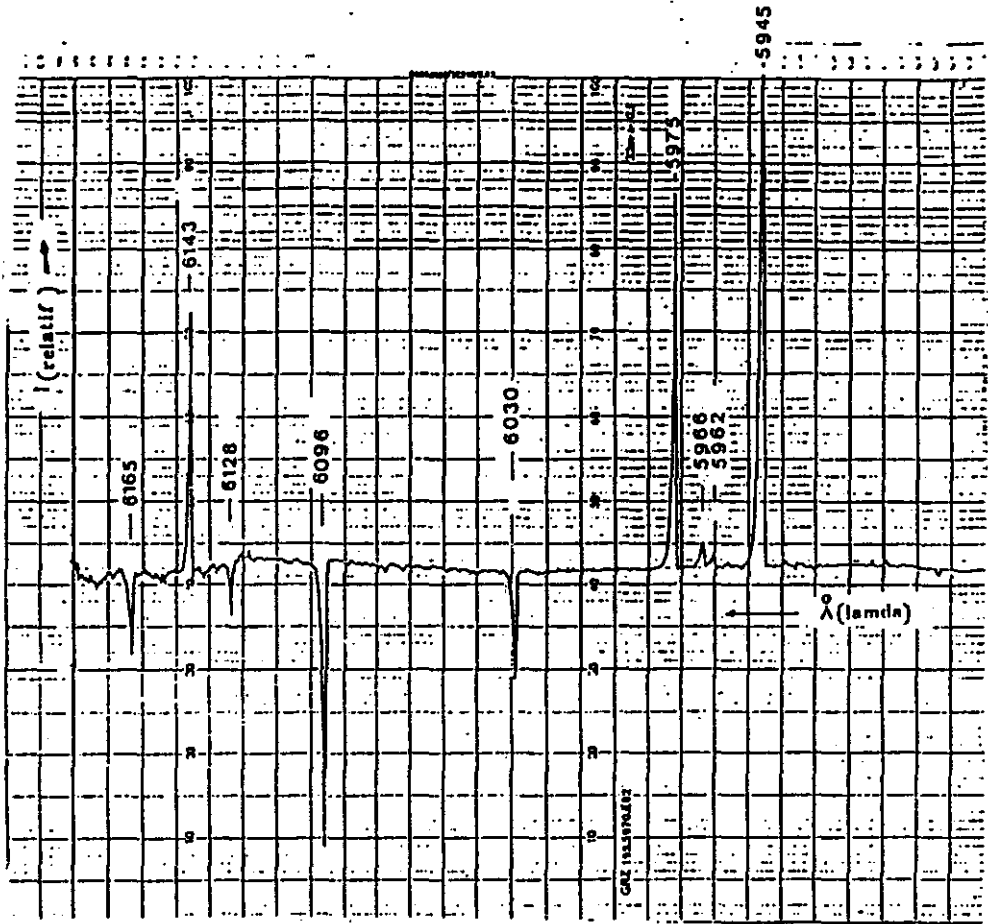
Konfigurasi aras tenaga dasar neon $1s^2 2s^2 2p^6$ diwujudkan dalam notasi kopling LS sebagai 1S_0 . Aras-aras tenaga tereksitasinya tidak mengikuti model kopling LS (interaksi) spin orbit lebih lemah dibanding interaksi elektrostatik) maupun kopling jj (interaksi elektrostatik lebih lemah dibanding interaksi spin-orbit) tetapi mengikuti model kopling "intermediate" jI. Interaksi ini terjadi jika interaksi elektrostatiknya lebih lemah dibanding interaksi spin-orbit ion akan tetapi cukup kuat dibanding kopling spin-spin elektron luar. Dalam hal ini momentum sudut total (j) dari ion dan momen orbital (l) dari elektron-elektron luar terkopel bersama dan resultannya akan membentuk kopling dengan spin elektron menjadi J (Racah, 1942).



Gambar 2. Spektrum emisi atom neon menggunakan monokromator (Arnett dkk, 1981).

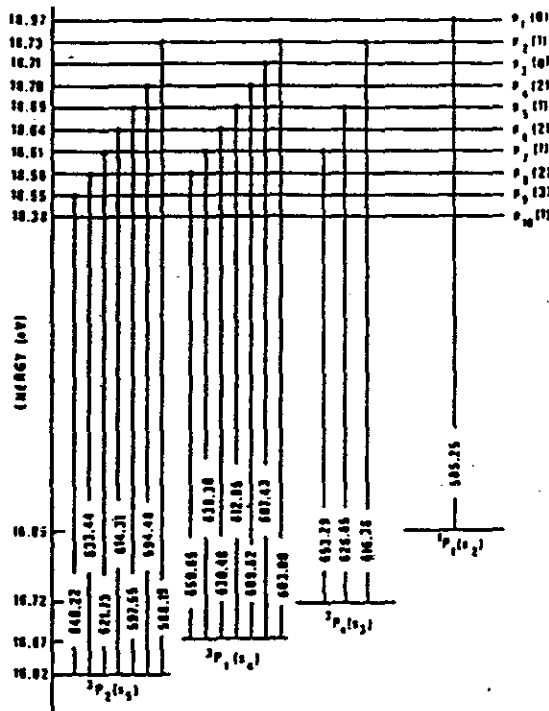
Kopling intermediate ini mengakibatkan aras tenaga akan terkelompokkan. Dalam notasi Racah, kopling jl atom neon untuk keadaan tereksitasi pertama dari $2p^6$ ke $3s$ terkonfigurasi $1s^2 2s^2 2p^5 3s$ mempunyai empat aras tenaga $3s[3/2]_2$, $3s[3/2]_1$, $3s'[1/2]_1$ dan $3s'[1/2]_0$. Angka dalam kurung menunjukkan salah satu dari nilai jumlahan vektor ionik j dan l dari elektron tereksitasi.

Spin elektron tereksitasi terkopel dengan nilai j ini membentuk total J , yang ditunjukkan oleh angka dibelakang kurung. Dalam notasi Paschen keadaan eksitasi pertama ini dinyatakan sebagai $1s_2$, $1s_3$, $1s_4$ dan $1s_5$, yang mendekati nilai notasi kopling LS sebagai 1P_1 , 2P_0 , 3P_1 dan 3P_2 (gambar. 4).



Gambar 3. Spektrum optogalvanik atom neon menggunakan laser zat-warna Rh6G + RhB.

Untuk keadaan eksitasi kedua atom neon yang mempunyai konfigurasi $1s^2 2s^2 2p_5 3p (2p^6 \rightarrow 3p)$ terdapat 10 aras tenaga, yaitu $3p[5/2]3$, $3p[5/2]2$, $3p[3/2]2$, $3p[3/2]1$, $3p[1/2]1$, $3p[1/2]0$, $3p'[3/2]2$, $3p'[3/2]1$, $3p'[1/2]1$, $3p'[1/2]0$. Dalam notasi Paschen ditunjukkan sebagai $2p (n=1-10)$ (Reddy dan Venkateswarlu, 1991).



Gambar 4. Skematik aras-aras tenaga neon. (Smyth dan Schenck, 1978)

Dalam kopling jl, untuk keadaan tereksitasi, hukum seleksi yang digunakan adalah $\Delta J = 0, \pm 1$ (tanpa $j=0 \rightarrow j=0$). Khusus keadaan eksitasi pertama dan aras tenaga dasar dapat didekati dengan kopling LS, sehingga mempunyai aturan seleksi $\Delta S = 0; \Delta L = 0, \pm 1$, dan $\Delta J = 0$ (tanpa transisi $j=0 \rightarrow j=0$). Dari aturan seleksi ini transisi dari aras dasar ke $^1P_1(1s)$ dimungkinkan, sedangkan ke aras tenaga $^3P_0(1s_3)$, $^3P_1(1s_2)$ dan $^3P_2(1s_5)$ terlarang. Hal ini menunjukkan bahwa $^3P_0(1s_3)$, $^3P_1(1s_4)$ dan $^3P_2(1s_5)$ adalah aras-aras tenaga metastabil dengan umur (lifetimes) beberapa detik (Reddy dan Venkateswarlu, 1991).

Oleh karena daerah cakupan dari laser zat-warna terbatas, maka yang teramati hanya beberapa puncak - puncak resonansi eksitasi akibat transisi elektron dalam atom neon. Transisi yang diperoleh sesuai dengan daerah

cakupan laser zat-warna (Rh6G + RhB) yaitu pada panjang gelombang - panjang gelombang (transisi) 594,5 nm ($1s_5 - 2p_4$); 597,5 nm ($1s_5 - 2p_5$); 603 nm ($1s_4 - 2p_2$); 609,6 nm ($1s_4 - 2p_4$); 612,8 nm ($1s_4 - 2p_5$); 614,3 nm ($1s_5 - 2p_6$) dan 616,5 nm ($1s_3 - 2p_2$) dengan lebar garis spektrum optogalvanik $\Delta\lambda \sim 0,08$ nm (≈ 60 GHz).

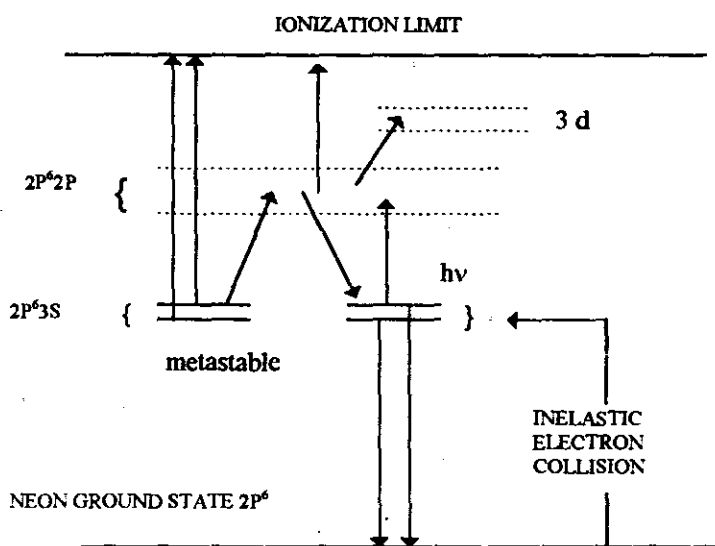
Terlihat dari hasil spektrum optogalvanik adanya puncak positif dan negatif. Puncak positif pada panjang gelombang 594,5 nm; 597,5 nm dan 614,3 nm berasal dari transisi aras tenaga $1s_5$ (3P_2) yang bersifat metastabil. Hal ini terjadi akibat pengurangan populasi elektron pada aras metastabil, karena bereksitasi ke aras yang lebih tinggi kemudian meluruh ke aras dasar, akan mengurangi arus ionisasi dan menyebabkan tegangan naik untuk memudahkan terjadinya proses ionisasi. Hal sebaliknya terjadi jika transisi dari aras yang bukan metastabil. Dalam hal ini eksitasi dan peluruhannya akan menambah populasi aras metastabil sehingga memudahkan terjadinya ionisasi, arus ionisasi akan naik dan tegangan akan turun.

Puncak - puncak resonansi tersebut diatas akibat dari transisi aras-aras tenaga $2p^5 3s - 2p^5 3p$ ($1s - 2p$ dalam notasi Paschen) yaitu aras tenaga eksitasi pertama ke aras tenaga eksitasi kedua, kecuali pada panjang gelombang 596,2 nm dan 596,6 nm terjadi akibat dari transisi aras tenaga eksitasi kedua ke aras tenaga eksitasi ketiga yaitu aras tenaga $2p^5 3p - 2p^5 3d$ ($2p - 4d$) (gambar 5). Terlihat bahwa puncak-puncak resonansi secara relatif sangat kecil dibandingkan dengan yang lain, 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 eksitasi yang lebih rendah.

Dari hasil spektrum optogalvanik diperoleh lebar garis (linewidth) spektrum optogalvanik $\Delta\lambda_o \sim 0,08$ nm (≈ 60 GHz) dan lebar garis (linewidth) laser zat-warna $\Delta\lambda_L \sim 0,05$ nm (≈ 40 GHz).

Dalam aplikasinya, spektrum optogalvanik dapat digunakan untuk memperkirakan daerah cakupan "lasing" laser zat-warna (Rh6G + RhB). Hal

ini disebabkan bahwa dalam keadaan tidak lasing, berkas laser zat-warna tidak cukup untuk menghasilkan sinyal optogalvanik. Hasil perkiraan daerah cakupan lasing laser zat-warna (Rh6G + RhB) mempunyai daerah cakupan panjang gelombang sekitar 590 nm - 617 nm dengan lebar garis laser zat-warna $\Delta\lambda \sim 0,05$ nm (≈ 40 GHz).



Gambar 5. Skematik aras-aras tenaga neon untuk transisi eksitasi kedua dan ketiga (Nestor, 1982).

V. KESIMPULAN.

Dari pembahasan hasil eksperimen laser optogalvanik diatas, spektrum optogalvanik atom neon memperlihatkan puncak- puncak resonansi ($\Delta\lambda \sim 0,07$ nm ≈ 60 GHz) akibat adanya transisi-transisi elektron dalam atom neon (1s - 2p dalam notasi Paschen), yaitu pada panjang gelombang - panjang gelombang 594,5 nm (1s₅ - 2p₄); 597,5 nm (1s₅ - 2p₅); 603 nm (1s₄ - 2p₂); 609,6 nm (1s₄ - 2p₄); 612,8 nm (1s₄ - 2p₅); 614,3 nm (1s₅ - 2p₆) dan 616,5 nm (1s₃ - 2p₅) dengan lebar garis spektrum optogalvanik $\Delta\lambda \sim 0,08$ nm (≈ 60 GHz). Puncak - puncak resonansi tersebut diatas akibat dari transisi aras-aras tenaga

$2p^5 3s - 2p^5 3p$ ($1s - 2p$ dalam notasi Paschen) yaitu aras tenaga eksitasi pertama ke aras tenaga eksitasi kedua.

Terlihat bahwa spektrum optogalvanik dapat menunjukkan adanya transisi yang berasal dari aras metastabil (puncak positif pada panjang gelombang 594,5 nm; 597,5 nm dan 614,3 nm) dan aras non-metastabil untuk puncak negatif. Sedangkan puncak resonansi pada panjang gelombang 596,2 nm dan 596,6 nm terjadi akibat dari transisi aras tenaga eksitasi dari transisi aras tenaga eksitasi kedua ke aras tenaga eksitasi ketiga yaitu aras tenaga $2p^5 3p - 2p^5 3d$ ($2p - 4d$), yang terlihat secara relatif sangat kecil dibandingkan dengan yang lain. 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 eksitasi yang lebih rendah.

Dari pembahasan hasil eksperimen laser optogalvanik diatas, dapatlah diperkirakan bahwa spektrum laser zat-warna (Rh6G dan RhB) mempunyai daerah cakupan panjang gelombang sekitar 590 nm - 617 nm dengan lebar garis laser zat-warna $\Delta\lambda \sim 0,05 \text{ nm}$ ($\approx 40 \text{ GHz}$).

VI. SARAN

Untuk kelengkapan spektrum optogalvanik dari atom neon pada daerah cakupan panjang gelombang lain, diperlukan penggantian bahan zat-warna jenis lain yang dapat mencakup daerah panjang gelombang-panjang gelombang tersebut. Dengan demikian sebagai aplikasi teknik laser optogalvanik ini adalah dapat digunakannya spektrum optogalvanik untuk menera daerah cakupan "lasing" dari laser zat-warna. Hal ini akan menghasilkan nilai-nilai yang lebih presisi daerah cakupan panjang gelombang lasing dari laser zat-warna, mengingat penentuan nilai-nilai daerah cakupan lasing laser zat-warna dengan wavelenght meter tidak begitu jelas pada daerah-daerah perbatasan antara lasing dan tidak lasing.

DAFTAR PUSTAKA.

- Arnett K, R Anderson dan R Alexander, 1981, *Modern spectroscopy with a spectrometer by the optogalvanic effect*, Am J Phys 49, p 767.
- Ben-Amar A, G Erez dan R Shuker, 1983, *Pulsed resonant optogalvanic effect in neon discharges*, J Appl Phys 54, p 3688.
- Camus P. (Editor), 1983, *International colloquium on optogalvanic spectroscopy and its applications*, J de Physique (Paris) C7.
- Dembroder W., 1990, in *Appl Laser Spectroscopy Series B Physics Vol 241*, Plenum Press. Maruto G, 1996 (akan dipublikasi di Prosiding HFIY).
- Nestor J. R., 1982, *Optogalvanic spectra of neon and argon in glow discharge lamps*, Appl Opt 21, p 4154.
- Racah G., 1942, *On a new type of vector coupling in complex spectra*, Phys Rev 61, p 537.
- Reddy B. R. dan P Venkateswarlu, 1991, *Optogalvanic effect in neon hollow cathode discharge*, Opt Commun 85, p 491.
- Setio Utomo A. B, Maruto G dan Hermanto A, 1997, *Teknik spektroskopi optogalvanik untuk menentukan transisi atom neon dalam lampu lucutan menggunakan laser zat-warna rhodamine*, J J Fisika 1, 8, p 27.
- Setio Utomo A. B, Maruto G dan Astuti S D, 1997a, (akan diterbitkan di Jurnal Fisika FMIPA-UGM).
- Shuker R., A Ben-Amar dan G Erez, 1982, *Inverted population observation using pulsed optogalvanic effect*, Optics Comm 42, p 29.
- Smyth K. C. dan Schenck P. K, 1978, *Opto-Galvanic spectroscopy of a neon discharge Mechanism studies*, Chem Phys Letters 55, 466.
- Stewart R. S. dan Lawler J. E.(Ed), 1990, *Optogalvanic*, IOP Series 113.
- Zink L., 1990, in *Appl Laser Spectroscopy Series Physics 241*, p 491, Plenum Press.