

## LASER ZAT WARNA DENGAN PEMOMPAAN OPTIS LASER N<sub>2</sub> PULSA

Eko T. Sulistyani, Zahara M.<sup>1</sup>,  
Hendrik K.<sup>2</sup>, Djoko S.P.<sup>3</sup>

### INTISARI

Telah dibahas tentang laser zat warna (dye laser) yang dipompa dengan laser nitrogen pulsa tekanan rendah (TE N<sub>2</sub>). Laser pemompa ini mempunyai energi sebesar 3,2 mJ dengan lebar pulsa 5 ns sehingga daya puncaknya adalah 0,64 MW. Divergensi dari berkas laser pemompa adalah ~ 13,3 mrad. Dalam eksperimen laser zat warna ini menggunakan kisi (1200 alur/mm) dan tidak dilengkapi dengan pengaturan slit sehingga keluarannya terdiri dari seluruh panjang gelombang dari zat warna yang dipakai. Pada eksperimen ini sebagai zat warna yang dipakai adalah Rhodamine B, Rhodamine 6G, Coumarine 1 dan Pyrene. Intensitas maksimum untuk Rhodamine B terletak pada  $\lambda = 615$  nm, Rhodamine 6G pada  $\lambda = 603$  nm, Coumarine 1 pada  $\lambda = 503$  nm dan Pyrene pada  $\lambda = 520$  nm.

*Kata-kata kunci: Zat warna, laser zat warna, laser nitrogen, tekanan rendah.*

### DYE LASER OPTICALLY PUMPED BY PULSE N<sub>2</sub> LASER

#### ABSTRACT

It has been proved that dye laser can be operated well by using a relatively low pressure N<sub>2</sub> laser (TE N<sub>2</sub>) as a pumping source. The N<sub>2</sub> laser has energy of 3,2

---

<sup>1</sup> Jurusan Fisika, FMIPA UGM

<sup>2</sup> Lab. spektroskopi Laser, FPS Optoelektronika dan Aplikasi Laser Universitas Indonesia.

<sup>3</sup> Staff PPNY Batan Yogyakarta.

mJ with 5 ns pulse duration, thus achieving peak power of 0,64 MW. Beam divergence of this  $N_2$  laser was measured to be 13,3 mrad. The dye laser system used in these experiments was equipped with a holographic grating of 1200 grooves/mm. No slit was used with grating and as a result, the output of this dye laser system performs all wavelengths of the dye medium. In these experiments we used Rhodamine B, Rhodamine 6G, Coumarine 1, and Pyrene as a dye medium. The maximum intensity was found at a wavelength of 615 for Rhodamine B, at a wavelength of 603 nm for Rhodamine 6G, at a wavelength 503 nm for Coumarine 1 while Pyrene was at a wavelength of 520 nm.

*Keywords: Dye, dye laser, nitrogen laser, low pressure.*

## I. PENDAHULUAN

LASER merupakan sistem Penguatan Cahaya melalui Emisi Radiasi yang diaktifkan. Intensitas antara atom-atom pada aras eksitasi suatu medium aktif dengan medan elektromagnet yang menstimulasi menyebabkan terjadinya proses emisi stimulasi. Gelombang elektromagnet yang dihasilkan mempunyai fase, frekuensi dan arah rambat sama dengan yang menstimulasi, sehingga terjadi penguatan. Berkas cahaya inilah yang disebut laser.

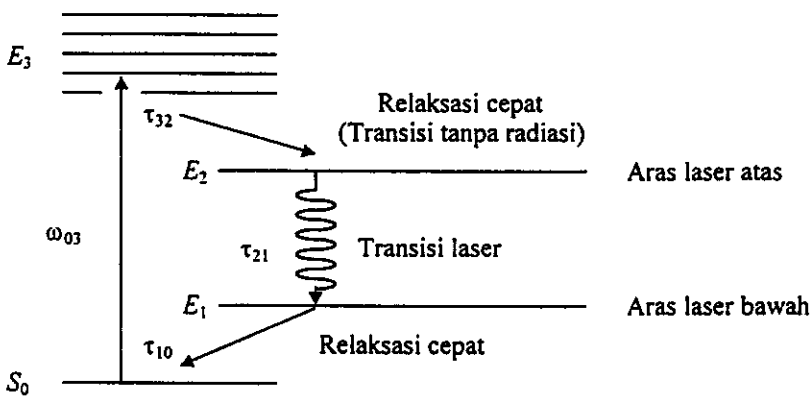
Menurut fase medium aktifnya laser dibedakan menjadi laser zat cair, laser zat padat dan laser gas. Eksperimen ini berhubungan dengan laser gas dan laser zat cair. Makalah ini menyajikan laporan pembuatan sistem laser zat warna yang dipompa oleh laser nitrogen dengan lebar pulsa 5 ns dan daya puncak 0,64 MW. Hasilnya ditampilkan langsung oleh rekorder berupa spektrum. Dengan mengganti jenis zat warna akan diperoleh bentuk spektrum yang berbeda-beda. Zat warna yang dipakai adalah Rhodamine B, Rhodamine 6G, Coumarine 1 dan Pyrene yang dilarutkan dengan alkohol. Pengamatan spektrum keluaran laser zat warna pada berbagai konsentrasi antara 0,5 g/l - 5,0 g/l telah dilakukan dalam eksperimen [Djoko, 1984].

## II. TEORI

Pembicaraan mengenai teori dalam eksperimen ini dibedakan dalam teori tentang laser nitrogen dan laser zat warna.

A. LASER NITROGEN

Bagaimana laser nitrogen dapat dipakai sebagai sumber pemompa terhadap laser zat warna dapat dijelaskan dalam teori berikut. Laser nitrogen merupakan laser dengan model empat aras, terdiri satu aras energi pemompaan ( $E_3$ ), dua aras transisi laser ( $E_2$  dan  $E_1$ ) dan aras dasar ( $E_0$ ), di mana inversi populasi antara  $E_2$  dan  $E_1$  dapat dicapai dengan mudah tanpa ambang pemompaan dari aras energi  $E_0$  ke  $E_1$  yang terlalu tinggi. Karena untuk mencapai keadaan inversi populasi ( $N_2 - N_1$ ) tidak memerlukan jumlah  $N_2$  yang besar, maka hanya diperlukan sebagian kecil dari atom pada aras dasar untuk dieksitasi. Menurut distribusi Boltzman  $N_1/N_0 = \exp (E_1 - E_0) / kT \ll 1$  untuk  $T$  yang tidak terlalu tinggi dan  $(E_1 - E_0)$  yang cukup besar. Ini berarti dalam keadaan setimbang, populasi  $E_1$  jauh lebih kecil dari populasi  $E_0$  sehingga mudah untuk dilampaui oleh  $N_2$  [Tjia, 1984, Svelto., 1976]. Diagram tenaga laser empat aras dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Laser empat aras.

Mekanisme laser empat aras dalam gambar 1, dapat dijelaskan sebagai berikut :

Pada kesetimbangan termal, atom-atom berada pada aras dasar  $E_0$ . Agar dapat terjadi aksi laser maka harus dilakukan pemompaan atom dari keadaan dasar  $E_0$  ke aras tenaga  $E_3$ . Pengeksitasi atom-atom itu dilakukan dengan cara pemompaan listrik/ optis. Setelah mencapai aras tenaga  $E_3$  atom segera mengalami relaksasi cepat ke aras  $E_2$  dengan tanpa radiasi. Atom-atom yang

berada pada aras tenaga  $E_2$  akan turun pada aras  $E_1$  secara radiatif dan memungkinkan terjadinya aksi laser bila diberi resonator optis dalam sistem. Pada saat aras  $E_2$  terisi maka terjadi inversi populasi antara aras  $E_2$  dan aras  $E_1$ .

Sistem laser nitrogen memenuhi syarat  $\tau_{21} \gg \tau_{32}$  dan  $\tau_{21} \gg \tau_{10}$ , di mana  $\tau$  adalah umur transisi radiatif pada transisi laser.  $\tau_{32}$  adalah umur transisi dari aras tenaga  $E_3$  ke aras  $E_2$ ,  $\tau_{21}$  adalah umur transisi dari aras tenaga  $E_2$  ke aras  $E_1$ ,  $\tau_{10}$  adalah umur transisi dari aras  $E_1$  ke aras  $E_0$ .  $E_2$  berfungsi sebagai aras metastabil sehingga populasi atom dapat terkumpul dengan cepat dan bertahan di aras  $E_2$ . Sedang aras  $E_3$  dan  $E_1$  selalu kosong untuk memudahkan pemompaan dan tercapainya inversi populasi ( $N_2 - N_1$ ).

Sehingga inversi populasi dapat ditulis [Sulistiyani, 1993] :

$$N_2 - N_1 = \omega N_0 (\tau_{21} - \tau_{10}) \quad (1)$$

dimana  $\omega$  adalah laju pemompaan dari  $E_0$  ke  $E_3$  yang tidak lain adalah koefisien Einstein untuk transisi dari  $E_0$  ke  $E_3$  dikalikan kerapatan tenaga medan elektromagnet yang menstimulasi. Persamaan (1) memperlihatkan bahwa inversi populasi dapat terjadi jika  $\tau_{21} > \tau_{10}$ , yang berarti bahwa  $N_2$  selalu lebih besar dari  $N_1$ .

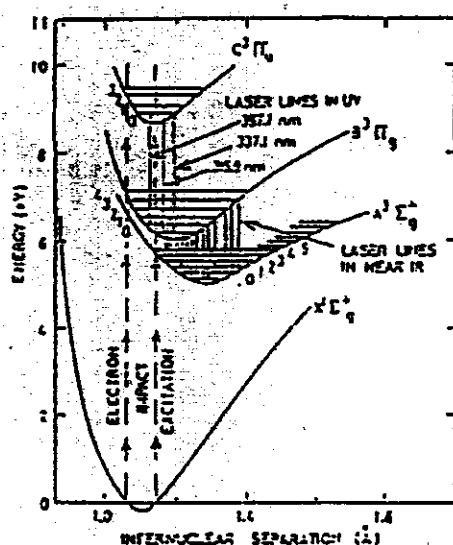
Perbedaan populasi antara aras laser atas dan aras laser bawah dibandingkan dengan populasi total pada laser empat aras dapat ditulis sebagai

$$\frac{N_2 - N_1}{N_2 + N_1} = \frac{\omega\tau}{\omega\tau + 1} \quad (2)$$

Jadi pada laser empat aras inversi populasi dapat terjadi hanya dengan laju pemompaan yang relatif kecil.

Laser  $N_2$  dengan  $\lambda = 337,1$  nm ini dipilih sebagai sumber pemompa tenaga laser zat warna karena panjang gelombangnya relatif pendek dan terletak di daerah ultraviolet sehingga energi keluaran dan daya puncaknya besar, serta lebar pulsa cukup sempit.

Osilasi laser pada molekul nitrogen terjadi pada 2 transisi. Tiga aras elektronik triplet terendah dari molekul nitrogen ditandai sebagai aras A, B dan C. Transisi sistem positif pertama terletak di daerah 704 - 1240 nm, merupakan transisi dari aras tenaga  $E_2$  ke aras tenaga  $E_1$  (transisi  $B^3\Pi_g - A^3\Sigma_g^+$ ) dan menghasilkan laser nitrogen inframerah. Transisi sistem positif kedua di daerah 281,4 - 497,6 nm, merupakan transisi dari aras tenaga  $E_3$  ke aras tenaga  $E_2$  (transisi  $C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$ ) yang menghasilkan laser nitrogen ultraviolet. Transisi dari aras  $E_3(v' = 0)$  ke aras  $E_2(v'' = 0)$  merupakan yang paling dominan dengan  $\lambda = 337,1$  nm. Diagram aras tenaga parsial pada molekul nitrogen dapat dilihat pada gambar 2. [Sunarto, 1988].

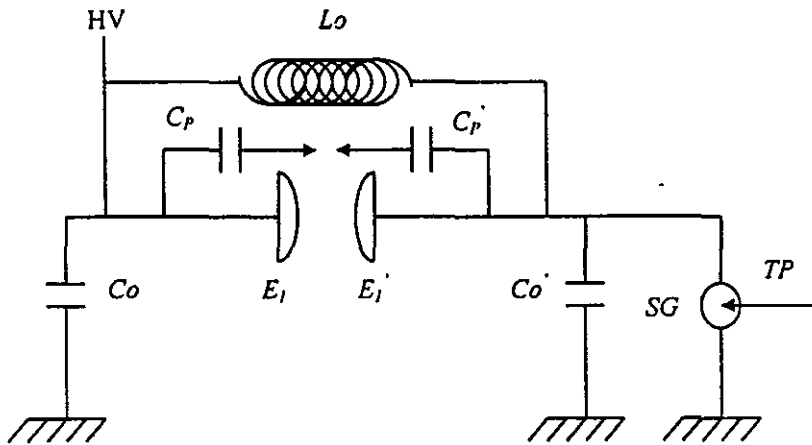


Gambar 2. Diagram aras tenaga parsial pada molekul nitrogen

Selama pemompaan dengan lucutan listrik, molekul gas  $N_2$  tereksitasi dari aras tenaga dasar ( $X^1\Sigma_g^+$ ) ke aras tenaga ketiga ( $C^3\Pi_u$ ). Kedua aras tenaga ini mempunyai perbedaan tenaga sekitar 10 ev, sedang beda tenaga antara aras tenaga  $C^3\Pi_u$  dan aras tenaga  $B^3\Pi_g$  sekitar 3,6 ev yang menghasilkan radiasi ultraviolet dengan panjang gelombang 337,1 nm. Aras A bersifat metastabil dengan waktu hidup sekitar 2 detik. Waktu hidup aras B dan aras C yakni 10  $\mu$ s dan 40 ns.

Dalam kebanyakan eksperimen laser nitrogen, dipakai rangkaian Blumlein

line karena pada lucutan utamanya mampu memompa molekul  $N_2$  dari aras dasar ke aras eksitasi dalam waktu yang sangat singkat. Bentuk sederhana rangkaian Blumlein-line seperti terlihat pada gambar 3. [Kurniawan, 1988].



Gambar 3. Bentuk sederhana rangkaian Blumlein-line.

Keterangan :

$C_p, C_p'$  = kapasitor preionisasi      HV      = tegangan tinggi searah (10 - 25 kV)

$L_o$       = Induktor       $E_1, E_1'$  = elektroda utama 1 dan 2

P      = elektroda preionisasi      SG      = celah lucutan (Spark Gap)

$C_o, C_o'$  = kapasitor penyimpan tenaga pada sisi 1 dan 2 elektroda utama

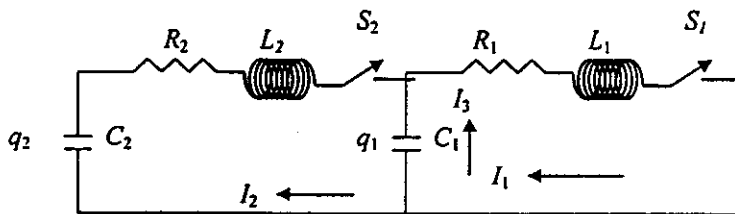
TP      = sinyal pemicu (Trigger Pin) (40 ns, 33 kV).

Sinyal trigger TP dikirim dengan frekuensi repetisi tertentu (maksimum 20 Hz) pada sisi bawah/ sisi netral SG. Sinyal ini fungsinya untuk membangkitkan elektron awal, sehingga lucutan pada kanal laser utama dapat terjadi. HV dipasang tertentu maka  $E_1$  dan  $E_1'$  mempunyai tegangan yang hampir sama. Elektron awal pada sisi SG menyebabkan lucutan listrik antara sisi atas SG dengan sisi netral, sehingga seluruh muatan  $C_o'$  dibuang melalui SG, akibatnya untuk waktu yang sangat singkat tegangan  $E_1'$  akan mendekati 0 sehingga timbul beda potensial antara  $E_1$  dan  $E_1'$  dan juga antara elektroda preionisasi. Beda potensial ini

menyebabkan terjadi lucutan utama pada kanal laser, sehingga dipakai untuk memompa molekul  $N_2$  ke aras tenaga  $E_3$ . Pada saat pelucutan utama terjadi, seluruh muatan  $Co$  akan dibuang melalui  $Co'$  dan SG. Agar proses pembuangan berlangsung cepat, harga  $Co'$  harus sama atau lebih besar dibandingkan dengan  $Co$ . Pada laser  $N_2$  konvensional harga  $Co$  selalu sama dengan  $Co'$ .

Untuk membuat lucutan utama  $E_1 \rightarrow E_1'$  homogen, dipasang elektroda P (preionisasi). Lucutan pada elektroda P terjadi sesaat sebelum lucutan E berlangsung (jarak elektroda P < jarak elektroda E). Lucutan ini menghasilkan berkas uv dengan panjang gelombang 200 nm yang akan sangat efektif untuk membangkitkan elektron bebas yang pada akhirnya akan membuat pelucutan E homogen. Agar tidak semua tenaga  $Co$  dibuang untuk preionisasi, dipasang kapasitor  $C_p$  dan  $C_p'$ .

Rangkaian ekivalen Blumlein-line laser nitrogen untuk analisa elektriknya dapat dilihat pada gambar 4. [Kurmiawan, 1988].



Gambar 4. Rangkaian ekivalen Blumlein-line.

Keterangan :

$S_1, S_2$  = celah lucutan, kanal pelucutan laser

$R_1, R_2$  dan  $L_1, L_2$  = resistansi dan induktansi celah lucutan dan kanal pelucutan laser

$C_1, C_2$  = kapasitansi total celah lucutan dan kanal lucutan

$I_1, I_2$  = arus lucutan

$q_1, q_2$  = muatan pada kapasitor.

Persamaan rangkaian yang terlibat diberikan oleh :

$$L_1 \left[ \frac{d^2 q_1}{dt^2} + \frac{d^2 q_2}{dt^2} \right] + R_1 \left[ \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt} \right] + \frac{q_1}{C_1} = 0 \quad (3)$$

$$L_2 \left[ \frac{d^2 q_2}{dt^2} \right] + R_2 \left[ \frac{dq_2}{dt} \right] - \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{dq_1}{dt} = -I_3 \quad (5)$$

$$\frac{dq_2}{dt} = -I_2 \quad (6)$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (7)$$

Untuk lebih memudahkan penyelesaiannya  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L_1$  dan  $L_2$  dianggap tidak bergantung waktu, meskipun kuantitas karakteristiknya bervariasi dengan waktu transisi dimana arus lucutan pulsa mengalir. Waktu tunda adalah selang waktu sebelum terjadi laser sampai mulai terjadi lucutan laser. Dari hasil eksperimen, waktu tunda ini berkisar antara 10 - 40 ns.

Berdasarkan arah medan listrik yang menimbulkan lucutan laser, laser nitrogen dibedakan menjadi dua :

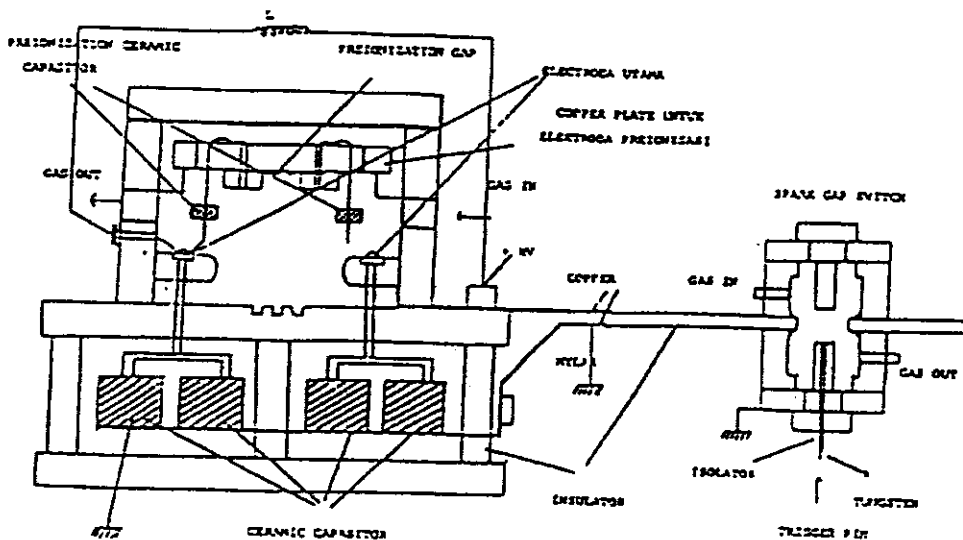
1. Tereksitasi secara longitudinal di mana arah medan listrik sejajar arah berkas. Laser ini bekerja pada tekanan rendah (1-10 torr).
2. Tereksitasi secara transversal di mana medan listrik bekerja dalam arah tegak lurus pada berkas laser. Laser ini bekerja pada tekanan rendah (TE) dan tekanan tinggi (TEA).

Spesifikasi jenis laser ini disajikan dalam tabel 1. [Kurniawan, 1988].



Tabel 1. Spesifikasi jenis laser TE dan TEA.

No.	Spesifikasi	Laser TE	Laser TEA
1	Tekanan operasi	Tekanan rendah (1-10 torr)	- Tekanan rendah (10 - 100 torr) - Tekanan tinggi (1 - 5 atm)
2	Tenaga keluaran	1 - 10 mJ	100 - 1000 $\mu$ J
3	Lebar pulsa	4 - 10 ns	0,5 - 2 ns
4	Pemakaian	Spektroskopi uv/ plasma  (untuk kerapatan tenaga tinggi)	Spektroskopi fluoresensi/ sub nanosecond  (untuk lebar pulsa sangat pendek)

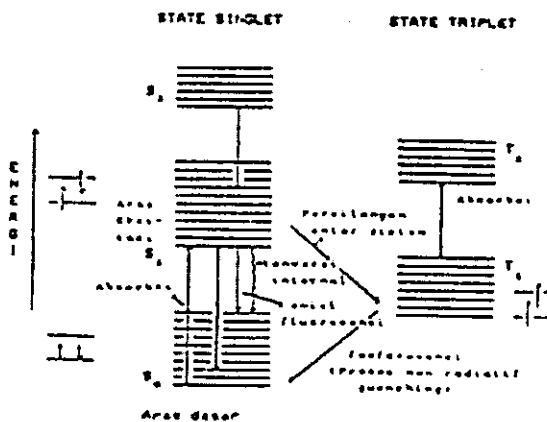


Gambar 5. Tampang lintang sistem Laser N<sub>2</sub>

Pada eksperimen ini dipakai laser nitrogen jenis TE. Penampang lintang laser ini dapat dilihat pada gambar 5. Elektroda utama terbuat dari plat aluminium dengan tebal 10 mm, panjang dan jarak antar elektroda 760 mm dan 20 mm. Kapasitor keramik SrTiO<sub>3</sub> (25 kV, 600 ps) dipasang berderet dan terdistribusi merata sepanjang kedua elektroda utama. Masing-masing elektroda utama mempunyai 2 baris kapasitor masing-masing 19 buah. Jadi kapasitor total yang dipakai adalah  $2 \times 2 \times 19 = 76$  buah. Tepat di atas elektroda utama dipasang preionisasi dengan jarak 7 mm dan dihubungkan dengan elektroda utama melalui kapasitor keramik (25 kV, 250 ps). Bagian elektroda utama dihubungkan ke celah lucutan melalui "copper clad circuit board" dengan tebal 3 mm. Sinyal pemicu diberikan melalui "trigger pin" (Sulistiyani, 1993) ke celah lucutan untuk menghasilkan elektron awal.

## B. LASER ZAT WARNA

Keistimewaan laser zat warna adalah merupakan sumber cahaya koheren yang mempunyai panjang gelombang yang bervariasi dari daerah ultraviolet, daerah tampak dan daerah inframerah dekat, karena aras energi senyawa zat warna berbentuk pita tenaga.



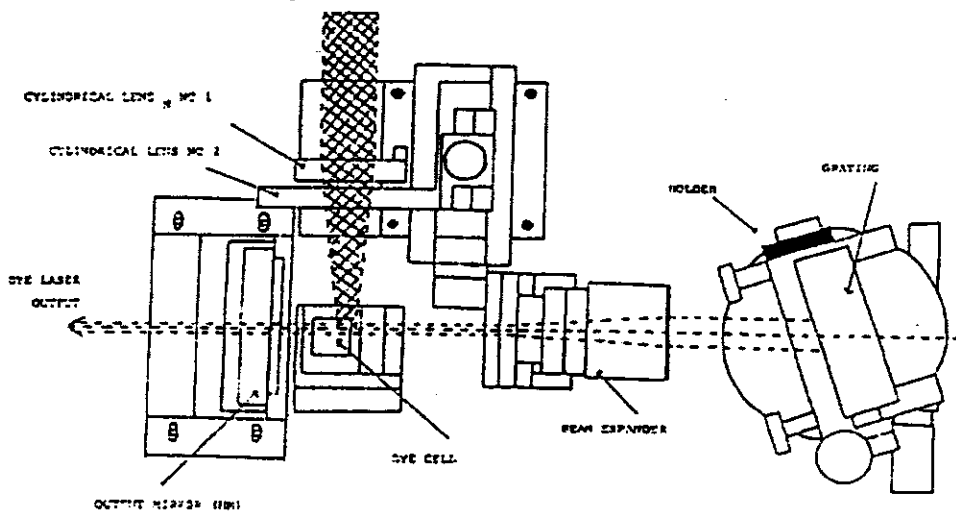
Gambar.6. Diagram tingkat tenaga dan proses emisi fluoresensi molekul zat warna organik.

Diagram aras tenaga dan proses emisi fluoresensi molekul zat warna organik dilukiskan Jablonski dalam gambar 6. [Schafer, 1977].

Mekanisme absorpsi dan emisi pada senyawa zat warna dijelaskan sebagai berikut : [Snively, 1969]

Aras tenaga elektronik senyawa zat warna merupakan pita tenaga yang tersusun oleh aras-aras vibrasi dan rotasi, yang mempunyai singlet S atau triplet T. Aras singlet mempunyai bilangan kuantum total spin nol, sedangkan untuk aras triplet total spin satu. Transisi antar aras tenaga elektronik bisa terjadi bila  $\Delta S = 0$ , berarti transisi singlet - triplet diijinkan.

Jika memperoleh radiasi cahaya, molekul zat warna akan tereksitasi dari  $S_0$  ke aras vibrasi  $S_1$ . Transisi dari aras  $S_1$  ke  $S_0$  berupa emisi spontan dengan umur transisi  $\tau_{sp}$  dan emisi stimulasi. Transisi non radiatif dari aras  $S_1$  ke  $S_0$  disebut konversi internal dan transisi non radiatif dari  $S_1$  ke  $T_1$  disebut persilangan antar sistem, dengan kelajuan  $k_{st}$ .

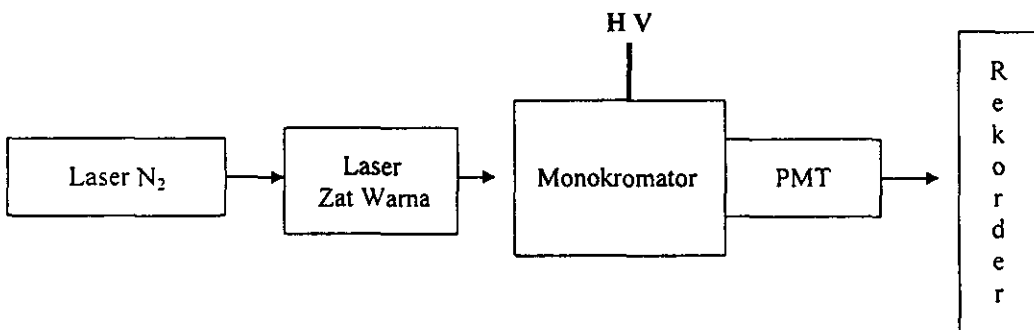


Gambar 7. Konfigurasi Dye Laser

Molekul pada aras  $T_1$  dapat bertransisi langsung ke aras  $S_0$  baik secara radiatif maupun non radiatif. Transisi radiatif dari aras  $T_1$  ke  $S_0$  mengalami proses

penundaan waktu di antara absorpsi dan emisi yang disebut fosforesensi, dengan umur berorde ms. Juga terjadi pembalikan spin. Fluoresensi terjadi jika pancaran kembali secara langsung -tanpa penundaan waktu. Proses transisinya tidak mengubah spin elektron. Konfigurasi laser zat warna dapat dilihat pada gambar 7.

Berkas laser  $N_2$  dengan panjang gelombang 337,1 nm pada tekanan 90 torr masuk ke dalam sistem laser zat warna dan diterima oleh lensa silinder I sehingga berkas membentuk garis yang tajam (lebar 12 mm). Berkas tersebut difokuskan lagi dengan lensa silinder II sehingga membentuk garis dengan lebar 6 mm (selebar sel zat warna). Sel zat warna terbuat dari bahan kuartz berukuran 1,1 X 1,1 X 4,2 cm<sup>3</sup>. Posisinya diatur dengan sudut kemiringan tertentu untuk menghindari efek refleksi. Cermin parsial dan kisi difraksi dipasang berhadapan pada kedua ujung tempat zat warna dalam arah berkas fluoresensi dan diatur, sehingga membentuk kolom resonator optis sampai terjadi aksi laser. Berkas laser zat warna yang diperoleh masuk ke monokromator tipe Czerny Turner yang dilengkapi dengan motor dan diatur kecepatan monokromator 100 nm/menit, kemudian dilewatkan pada PMT untuk mengubah signal optis menjadi signal elektrik. Hasilnya direkam langsung pada rekorder berupa spektrum. Dengan mengganti jenis zat warna maka akan diperoleh spektrum emisi laser zat warna yang bentuk, lebar dan intensitasnya berbeda-beda. Diagram eksperimen pengambilan spektrum laser zat warna dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Skema pengambilan spektrum laser zat warna

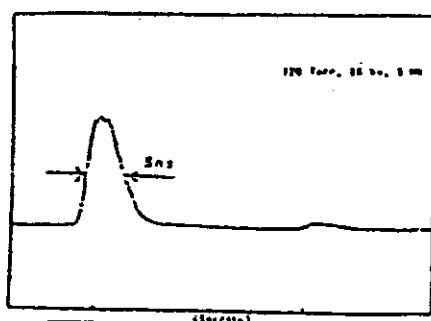
### III. HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

Laser pemompa yang dipakai dalam eksperimen adalah laser N<sub>2</sub> yang mempunyai spesifikasi seperti tercantum dalam tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi laser N<sub>2</sub> yang dipakai dalam eksperimen.

Besaran Fisika	Nilai
Panjang gelombang	337,1 nm
Energi per pulsa	3,2 mJ (12,5 kV, 5 Hz)
Lebar pulsa	5 ns
Ukuran berkas	5 X 20 mm <sup>2</sup>
Divergensi berkas	13,3 mrad
Daya puncak	0,64 MW
Frekuensi pengulangan pulsa	0,5 - 10 Hz.

Bentuk pulsa laser N<sub>2</sub> dapat dilihat pada gambar 9.



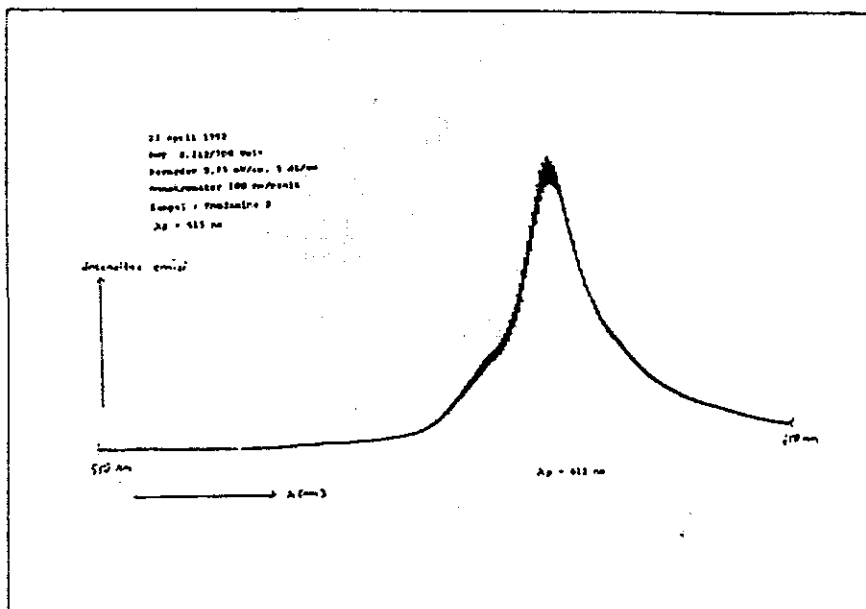
Gambar 9. Bentuk pulsa laser N<sub>2</sub>

Hasil eksperimen laser zat warna dapat dilihat dalam tabel 3.

Tabel 3. Hasil eksperimen laser zat warna.

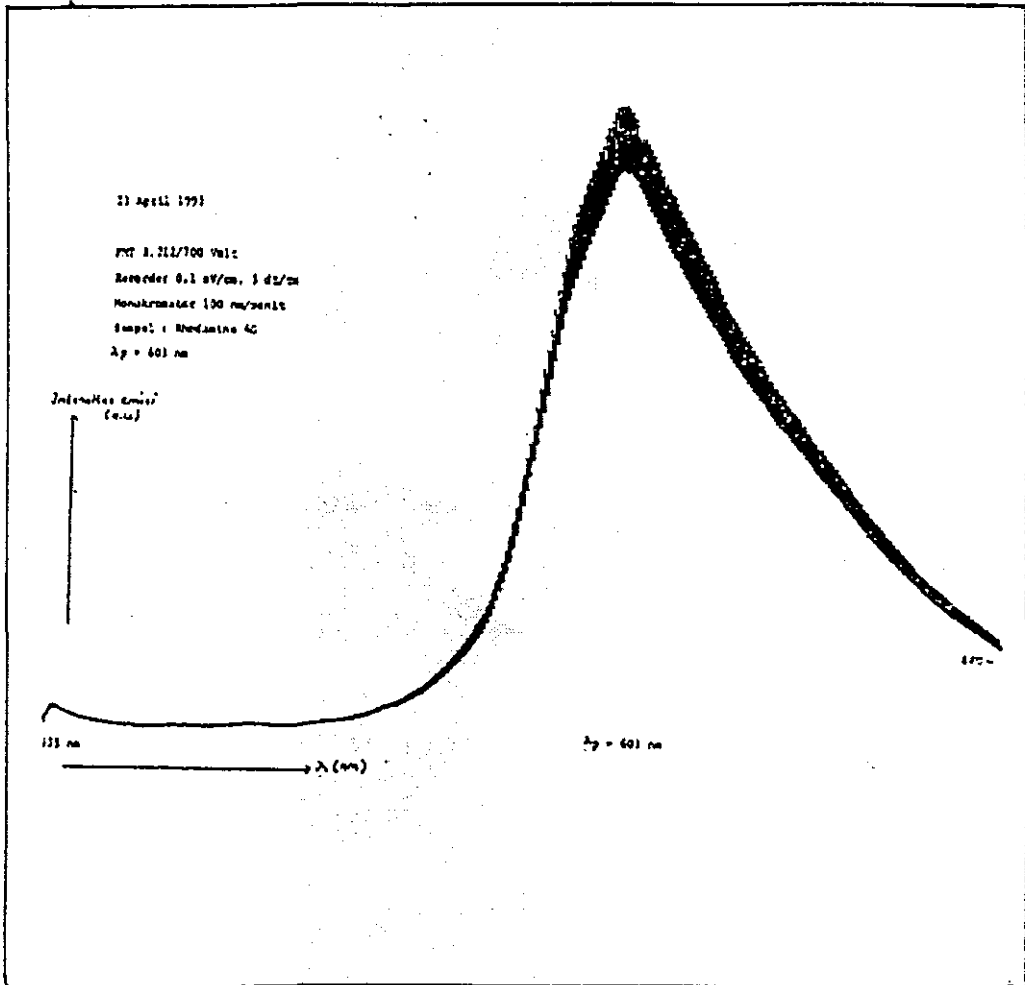
No	Zat warna	Rumus molekul	$\lambda_p$ (nm)	Warna	$\lambda$ (nm) [Snively, 1969]	Spektrum Laser
1	Rhodamine B	$C_{28}H_{30}N_2O_3HCl$	615	Merah	605 - 635	Gambar 10
2	Rhodamine 6G	$C_{28}H_{28}N_2O_3HCl$	603	Jingga	570 - 610	Gambar 11
3	Coumarine 1	-	503	Hijau	440 - 585	Gambar 12
4	Pyrene	$C_{10}H_{10}$	520	Hijau kekuningan	500 - 540	Gambar 13

Spektrum laser zat warna untuk Rhodamine B dapat dilihat pada gambar 10.



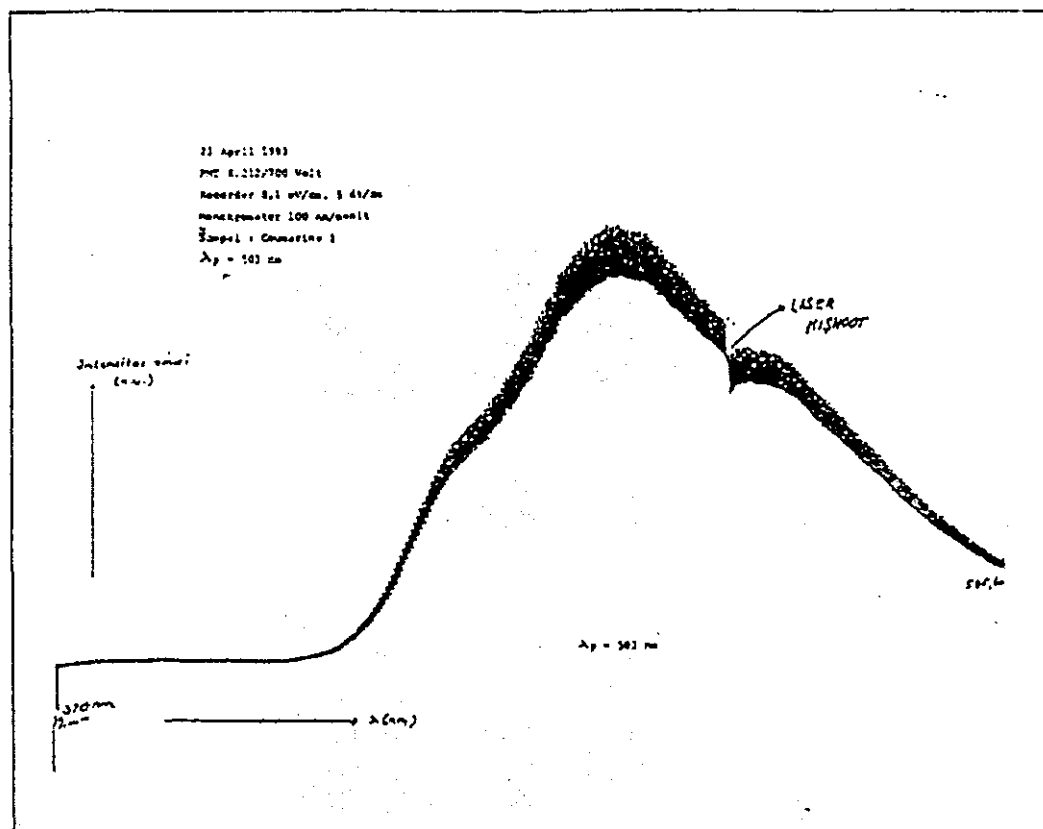
Gambar 10. Spektrum Rhodamine B.

Spektrum laser untuk Rhodamine 6G dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Spektrum Rhodamine 6G.

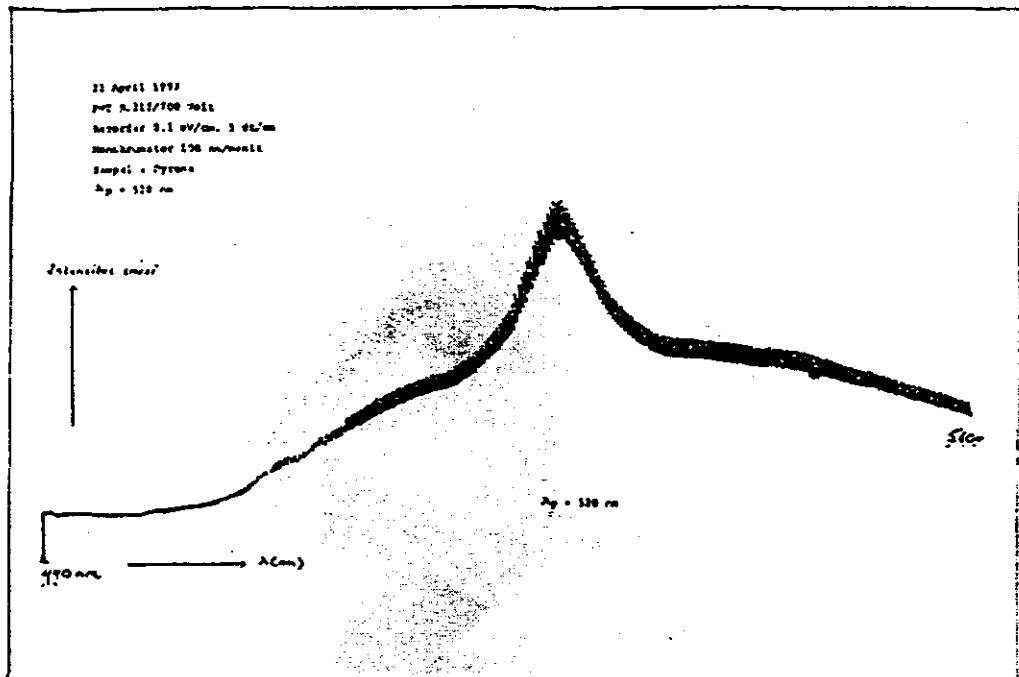
Spektrum laser untuk Coumarine 1 dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Spektrum Coumarine 1.



Spektrum laser zat warna untuk Pyrene dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Spektrum Pyrene.

#### IV. KESIMPULAN.

Dari eksperimen diperoleh sistem laser zat warna dengan rentang panjang gelombang yang cukup besar (400 - 650 nm). Bentuk, lebar dan intensitas spektrum emisi laser zat warna yang dihasilkan tergantung pada zat warna yang dipakai. Spektrum emisi dari laser zat warna dari Rhodamine B mempunyai intensitas maksimum pada  $\lambda = 615$  nm, Rhodamine 6G pada  $\lambda = 603$  nm, Coumarine I pada  $\lambda = 503$  nm dan Pyrene pada  $\lambda = 520$  nm.

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH.

Terima kasih kepada segenap staff FPS Optoelektronika dan Aplikasi Laser UI dan segenap staff Lab. Zadat FMIPA UGM atas kerjasamanya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Djoko S.P., 1984, *Konstruksi Sederhana Laser Zat Warna Pulsa dengan Eksikator Laser N<sub>2</sub>*, Skripsi S<sub>1</sub> UGM, Yogyakarta.
- Kurniawan, H., 1988, *Coherent Nitrogen Laser System*, OEAL-UI, Jakarta.
- Schafer, F. P, 1977, *Dye Lasers*, Second Revised Edition, Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Snavely, B.B., 1969, *Flashlamp - Excited Organic Dye Laser* Proc. IEEE, V. 57, 1374-1390.
- Sulistiyani, E. T., 1993, *Laser Zat Warna dengan Pemompaan Optis Laser Nitrogen Pulsa*, Skripsi S<sub>1</sub>, UGM, Yogyakarta.
- Sunarto, 1988, *N<sub>2</sub> Laser Fluorescence Spectrometer by Gating Photomultiplier*, OEAL-UI, Jakarta.
- Svelto, O., 1976, *Principles of Lasers*, Plenum Press New York and London.
- Tjia M. O., 1984, *Konsep Dasar Teori Laser*, Kursus Laser, LFN-LIPI, Bandung.