

KARAKTERISTIK KELUARAN LASER ZAT WARNA DCM PULSA PADA BERBAGAI VARIASI KONSENTRASI LARUTAN

H. Anggraini, G. Maruto dan A. B. Setio Utomo
Jurusan Fisika FMIPA UGM

INTISARI

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi larutan zatwarna DCM pada karakteristik spektrum keluaran laser zatwarna DCM pulsa. Spektrum yang dihasilkan berupa intensitas dan jangkauan panjang gelombang.

Variasi konsentrasi DCM pada larutan methanol yang dilakukan yaitu: 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 gram/liter dan masing-masing menghasilkan spektrum yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi terhadap intensitas dan jangkauan panjang gelombang keluaran laser. Makin pekat konsentrasi larutan, intensitas keluarannya makin tinggi dan jangkauan panjang gelombangnya semakin lebar serta menstabilkan keluaran laser. Kondisi optimum dicapai pada konsentrasi 0,4 gram/liter.

Kata kunci: konsentrasi, larutan, spektrum.

THE CHARACTERISTICS OF A DCM PULSED DYE LASER OUTPUT BY VARYING CONCENTRATION OF SOLUTION

H. Anggraini, G. Maruto dan A. B. Setio Utomo

ABSTRACT

The influence of a solution concentration on the characteristics of a DCM pulsed dye laser output spectrum has been investigated. The active solution is a DCM dye (which is) soluted in methanol. The obtained spectrum is presented as the output intensity and the wavelength range of the dye laser.

There are nine different concentrations of a DCM dye in methanol, i.e., 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; and 1,0 grams/liter and the result spectrum is different for one to each other. Raising concentration will increase the intensity and the range of the laser wavelength and also stabilize the laser output. The optimum condition of the intensity and the wavelength range has been achieved on the 0,4 grams/liter concentration.

Key word: concentration, solution, spectrum.

I. PENDAHULUAN

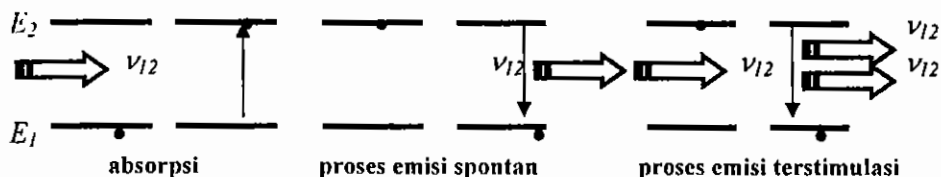
Istilah laser merupakan kependekan dari Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation yang berarti penguatan cahaya dengan pancaran radiasi terangsang. Sejak laser pertama ditemukan oleh Ruby tahun 1960 (Laud, 1988), teknologi laser terus dikembangkan dan mengalami kemajuan yang pesat dalam hal intensitas yang semakin tinggi, tingkat koherensi yang tinggi baik dalam ruang (*spatial*) maupun waktu (*temporal*), monokromatis dan berdurasi pendek (untuk laser pulsa) (Svelto dan Hanna, 1989). Selain dimanfaatkan dalam fisika dan spektroskopi laser, laser dapat diaplikasikan pula dalam bidang telekomunikasi, meteorologi, biologi, kedokteran, pertanian, dan teknologi terapan yang lain.

Khusus laser zatwarna ternyata mempunyai keunggulan tersendiri, sebab laser ini dapat ditala (*tunable*) dengan jangkauan panjang gelombang yang cukup lebar (Haranto, 1999) dan dalam spektroskopi atom atau molekul, laser zatwarna digunakan sebagai tenaga pengeksitasi.

Dalam eksperimen ini akan diteliti karakteristik keluaran (jangkauan panjang gelombang dan intensitas) laser zatwarna pulsa pada beberapa macam variasi konsentrasi larutan zatwarna. Sebagai pemompa laser, digunakan laser Nd:YAG pulsa. Sedangkan bahan aktif laser yang digunakan adalah zatwarna DCM dengan bahan pelarut methanol.

II. LANDASAN TEORI

Ada tiga macam transisi yang berkaitan dengan interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan materi, yaitu absorpsi induksi, emisi spontan, dan emisi terstimulasi (Beiser, 1995).



Gambar 1. Interaksi antara gelombang elektromagnetik dengan materi

Pada Gambar 1, jika atom mula-mula dalam keadaan 1 (keadaan dasar, tenaga E_1), atom tersebut dapat berubah ke keadaan 2 (keadaan eksitasi, tenaga E_2) dengan mengabsorpsi foton cahaya yang mempunyai energi sebesar $h\nu_{12} = E_2 - E_1$, dan proses ini disebut proses absorpsi induksi dengan kecepatan transisi dari keadaan 1 ke keadaan 2, (Svelto dan Hanna, 1989) adalah

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt} \right)_{Abs} = W_{12}N_1 = \sigma_{Abs}N_1F \quad (1)$$

dengan N_1 = cacah atom per satuan volume dalam keadaan 1, σ_{Abs} =ampang lintang absorpsi tergantung pada transisi 1 ke 2, W_{12} = kebolehjadian absorpsi keadaan 1 dan 2, F = fluks foton gelombang datang.

Proses kedua adalah proses di mana jika atom tersebut mula-mula dalam keadaan 2 (terekstiasi), atom tersebut dapat berubah ke keadaan 1 (dasar) dengan cara memancarkan foton berenergi $h\nu_{12}$, dan proses transisi ini dinamakan proses emisi spontan. Pada emisi spontan kebolehjadian terjadinya emisi spontan berbanding lurus dengan jumlah atom di aras keadaan 2, yang dirumuskan (Svelto dan Hanna, 1989) sebagai

$$\left(\frac{dN_{21}}{dt} \right)_{Sp} = -A_{21}N_2 = \frac{-N_2}{\tau_{Sp}} \quad (2)$$

dengan N_2 = cacah atom per satuan volume dalam keadaan 2, τ_{Sp} = waktu hidup atom dalam keadaan 2 (terekstiasi) untuk emisi spontan, A_{21} = kebolehjadian emisi spontan (koefisien Einstein).

Proses ketiga adalah emisi terstimulasi, dalam hal ini ada gangguan yang menyebabkan transisi radiatif dari keadaan 2 (terekstiasi) ke keadaan 1 (dasar). Reaksi ini menghasilkan dua foton, yang bergerak dalam arah sama dan dengan energi sama. sehingga akan mengakibatkan gelombang elektromagnetik terpancarkan mempunyai beda fase tetap (koheren) (Krane, 1992). Proses emisi terstimulasi ini mempunyai arti penting dalam proses terjadinya laser, karena proses seperti ini terus berlangsung dengan hasil penggandaan jumlah foton



sehingga tercipta seberkas cahaya yang kuat dan koheren. Kebolehjadian terjadinya emisi terstimulasi dapat dituliskan (Svelto dan Hanna, 1989) sebagai

$$\left(\frac{dN_2}{dt} \right)_{Stim} = -W_{21}N_2 = -\sigma_{Stim}N_2F \quad (3)$$

dengan σ_{Stim} =ampang lintang emisi terstimulasi, W_{21} = kebolehjadian emisi terstimulasi.

Pada kesetimbangan termal, kebolehjadian transisi dari aras tenaga dasar ke aras tenaga tereksitasi harus sama dengan kebolehjadian transisi sebaliknya, yang memenuhi (Svelto dan Hanna, 1989) persamaan:

$$\left(\frac{dN_1}{dt} \right) = \left(-\frac{dN_2}{dt} \right) = -B_{12}\rho(\nu)N_1 + B_{21}\rho(\nu)N_2 + A_{21}N_2 = 0 \quad (4)$$

dengan $\rho(\nu)$ = rapat tenaga radiasi dari luar pada daerah yang berfrekuensi $d\nu$ dan B_{12} , B_{21} adalah koefisien – koefisien Einstein.

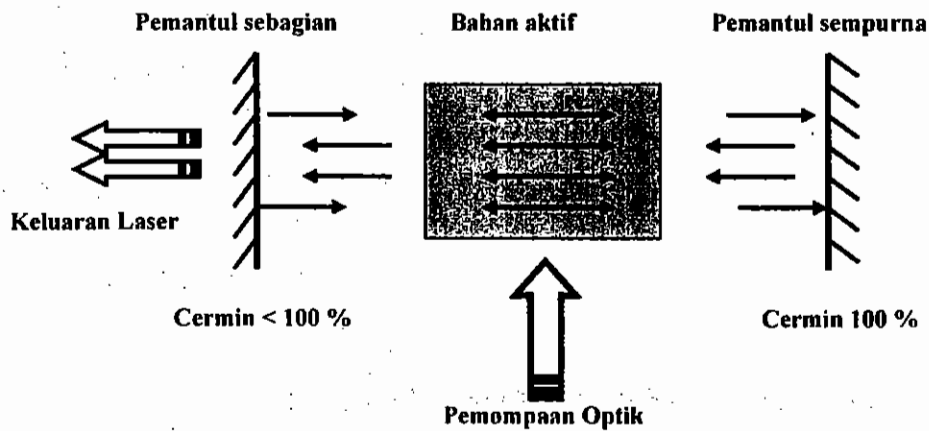
Adapun perbandingan rapat populasi atom/molekul, pada aras tereksitasi dan aras tenaga dasar mengikuti hukum distribusi Boltzman, yaitu

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(\frac{-(E_2 - E_1)}{kT}\right) = \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right) \quad (5)$$

yang berarti pada kesetimbangan termal populasi $N_2 < N_1$ ($E_1 < E_2$). Pada keadaan ini bahan lebih bersifat sebagai *absorber* atau dengan kata lain proses absorpsi lebih dominan.

Sedangkan bila dalam keadaan tidak setimbang, jumlah populasi atom N_2 lebih besar daripada populasi atom-atom N_1 , maka pada kondisi ini bahan laser lebih berfungsi sebagai penguat. Untuk kondisi operasional laser, N_2 harus lebih besar dari N_1 ($N_2 - N_1 > 0$). Jika kondisi ini dapat tercapai maka disebut keadaan inversi populasi (*population inversion*). Untuk mencapai keadaan inversi populasi ini diperlukan proses pembalikan (*inversion*) dengan cara pemompaan (*pumping*). Dalam hal ini ada beberapa proses pemompaan yang dapat dilakukan, yaitu secara

listrik (*electrical pumping*), optik (*optical pumping*) atau kimia (*chemical pumping*). Pada beberapa jenis laser tertentu, pemompaan ini dikenakan pada bahan aktif laser yang berada di antara dua resonator. Resonator ini berfungsi sebagai positif *feedback* yang akan menghasilkan penguatan terus-menerus sebagai keluaran laser. (Gambar 2)

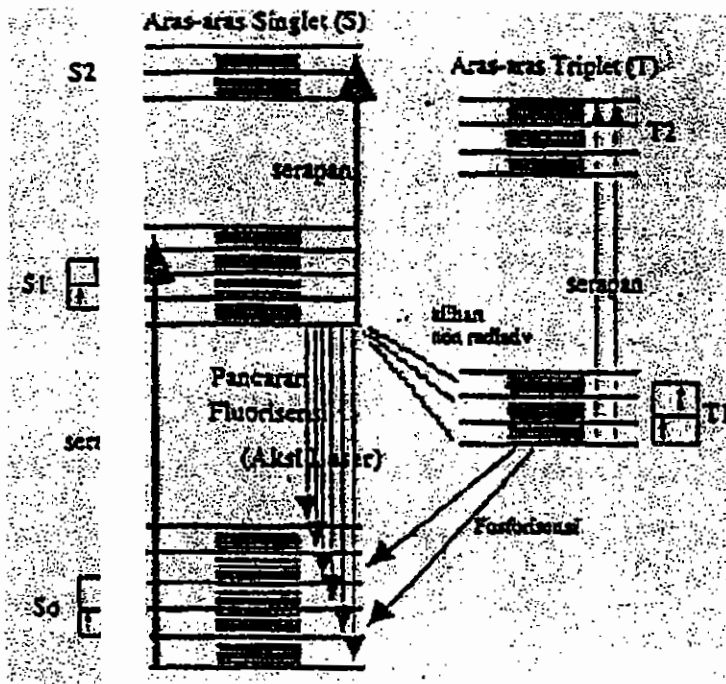


Gambar 2. Bagan pokok laser (Demtroder, 1981)

Sebagai medium aktif pada laser zatwarna adalah senyawa organik yang dikenal dengan senyawa zatwarna. Senyawa zatwarna yang digunakan mempunyai daya absorpsi cukup kuat di daerah spektrum tampak dan sifat ini hanya ditemui pada senyawa-senyawa organik yang mempunyai rantai ikat konjugat, yaitu rantai dengan ikatan rangkap dua dan ikatan tunggal silih berganti (Maeda, 1984).

Salah satu senyawa zatwarna adalah senyawa organik DCM yang digunakan sebagai bahan aktif laser dengan pelarut methanol pada konsentrasi larutan tertentu.

Molekul senyawa ini mempunyai keadaan singlet (S) dengan spin berlawanan dan triplet (T) dengan spin paralel. (Gambar 3).



Gambar 3. Skema aras tenaga molekul zat warna

Setiap aras tenaga molekul terdiri dari keadaan elektronik, masing-masing keadaan elektronik terdiri dari beberapa keadaan vibrasi dan masing-masing keadaan vibrasi mempunyai beberapa tingkat keadaan rotasi. Jarak antara tingkat-tingkat vibrasi sekitar $1400 - 1700 \text{ cm}^{-1}$ sedangkan jarak antara tingkat-tingkat rotasi sekitar 150 cm^{-1} .

Salah satu metoda pemompaan optik (*optical pumping*) adalah menggunakan laser Nd:YAG. Jenis laser ini mampu menaikkan molekul dari tingkat vibronik (vibrasi-elektronik) terbawah dari keadaan dasar S₀ ke salah satu tingkat vibronik dari keadaan tereksitasi S₁, maupun S₂ dan hal ini dimungkinkan oleh adanya aturan seleksi $\Delta S = 0$. Proses nonradiasi yang terjadi pada aras S₁, berlangsung sangat cepat dengan umur $\tau \sim 10^{-12} \text{ s}$ (Laud, 1988). Aksi deeksitasi terjadi antara tingkat S₁, ke salah satu aras vibronik S₀ dan diikuti dengan peluruhan nonradiasi lain untuk kembali ke tingkat dasar. Proses peluruhan non radiatif terjadi juga

antara aras vibronik S_1 dan aras vibronik T_1 , walaupun tidak memenuhi kaidah seleksi. Dalam hal ini terdapat kebolehjadian alihan relatif kecil yang disebabkan karena tumbukan dengan molekul-molekul pelarut, peristiwa ini dinamakan *intersystem crossing*.

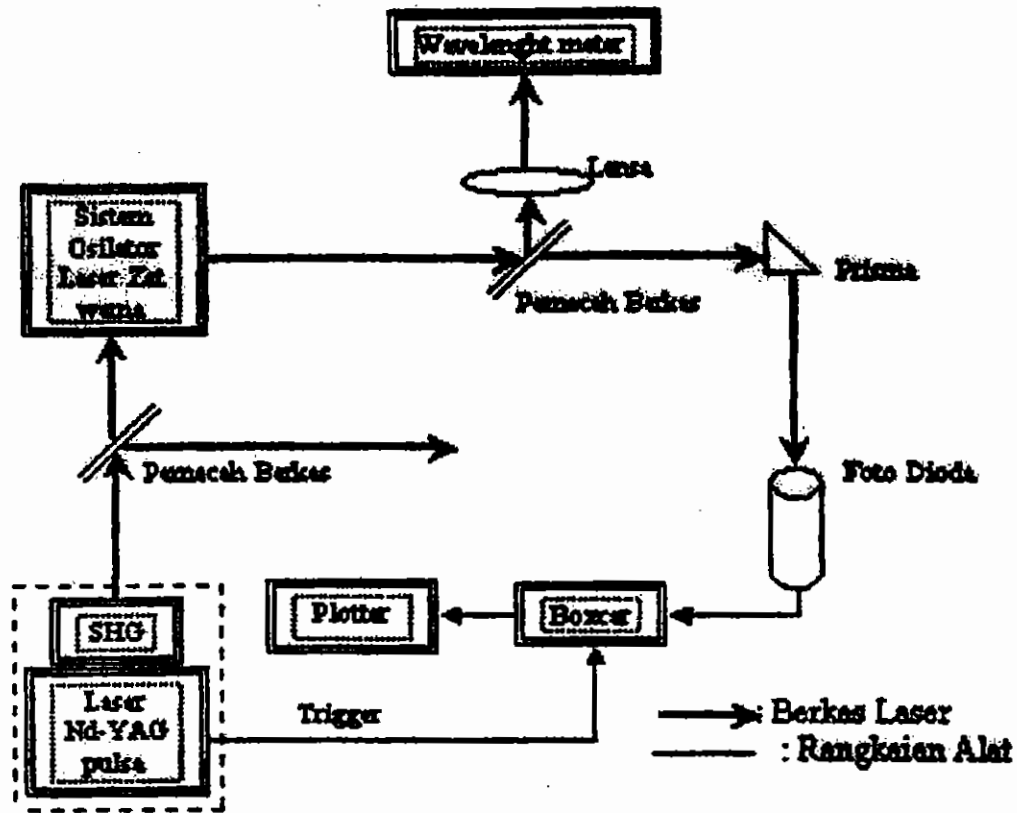
III. METODE EKSPERIMEN

Susunan peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 4, dengan komponen utama adalah: sistem laser pemompa Nd:YAG pulsa (Quanta-Ray DCR-11, Spectra Physics), sistem laser zatwarna pulsa, pengukur panjang gelombang (wavelength meter), detektor cahaya (fotodioda), sistem pengolah pulsa Boxcar SRS SR-250, Scope Kenwood CS 1021, dan perekam/*plotter*.

Laser pemompa Nd:YAG dengan bahan aktif YAG (Yttrium Alumunium Garnet), yang dikotori oleh ion Nd^{3+} , dipompa secara optis menggunakan *flashlamp*. Laser ini mempunyai keluaran cahaya berpanjang gelombang 1064 nm dan setelah dilewatkan pada kristal KDP (Potassium Dihydrogen Phospate, $KH_2 PO_4$) akan menjadi setengahnya yaitu 532 nm.

Sistem laser zatwarna pulsa menggunakan konfigurasi sinar menyusur. Sistem ini mempunyai kelebihan dibanding system lain, yaitu sederhana dan dapat memberikan resolusi keluaran lebih tinggi. Sedangkan bahan aktif laser yang digunakan adalah DCM yang dilarutkan dalam methanol pada beberapa variasi konsentrasi. Untuk memvariasikan konsentrasi digunakan berbagai macam pipet dan propipet dengan metode pengenceran.

Intensitas keluaran laser yang dihasilkan dideteksi menggunakan detektor fotodioda. Pulsa tegangan keluaran dioda ini kemudian diolah oleh Boxcar dan kemudian direkam pada alat perekam/*plotter* dengan ujud spektrum keluaran berupa intensitas vs jangkauan panjang gelombang.



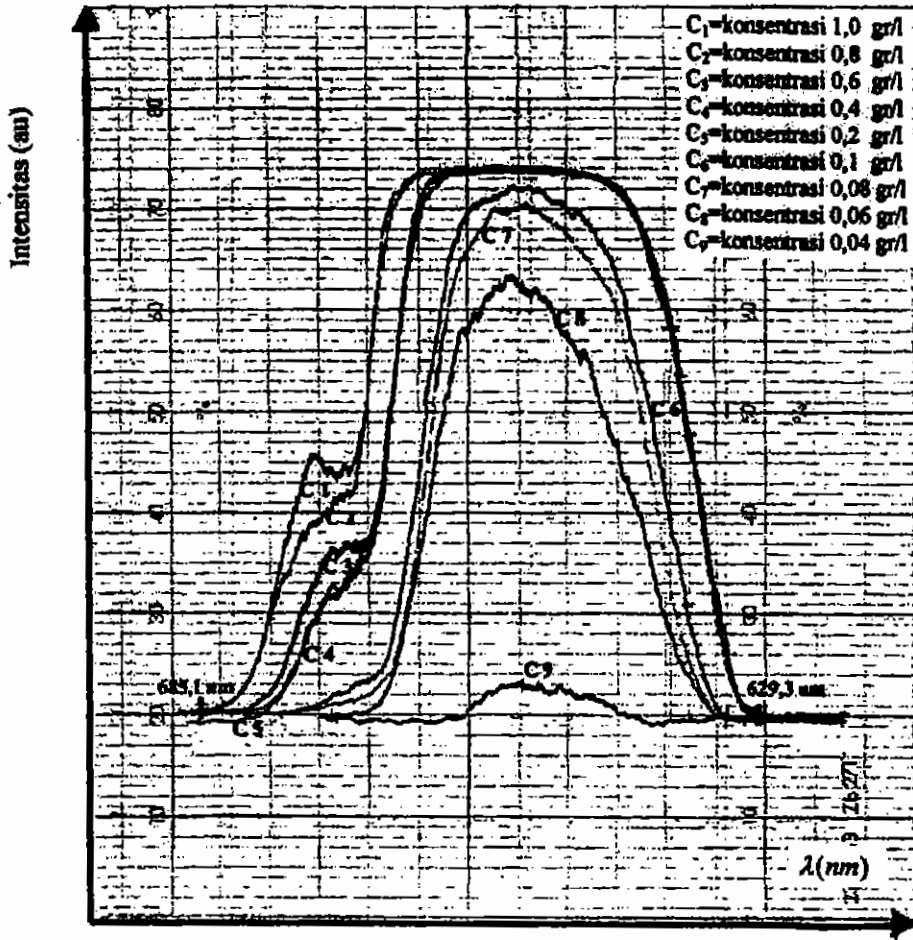
Gambar 4. Susunan alat-alat eksperimen untuk sistem laser zatwarna pulsa

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Rekaman spektrum laser zatwarna DCM pulsa yang diperoleh dalam eksperimen ini terlihat pada Gambar 5.

Pada Gambar 5, ditampilkan 9 macam kelakuan spektrum laser zatwarna DCM pulsa untuk masing - masing konsentrasi. Mulai dari konsentrasi yang paling pekat yaitu 1 gram/liter kemudian dilakukan pengenceran terus menerus hingga konsentrasinya menjadi 0,04 gram/liter dengan notasi C_1 sampai dengan C_9 . Terlihat ada perubahan nilai panjang gelombang dan intensitas untuk setiap variasi konsentrasi. Grafik hubungan antara intensitas keluaran laser zatwarna DCM pulsa dengan perubahan konsentrasi dapat dilukiskan pada gambar 6.

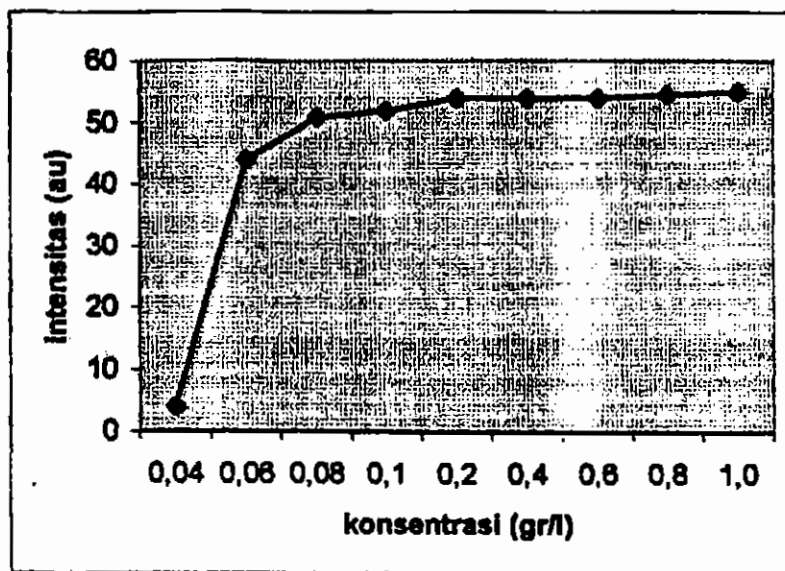
Terlihat adanya perubahan tinggi intensitas dengan adanya perubahan kepekatan konsentrasi. Adanya perubahan konsentrasi ini menunjukkan suatu kelakuan bahwa ada ketergantungan intensitas keluaran laser zatwarna pulsa dengan adanya perubahan konsentrasi.



Gambar 5. Spektrum keluaran laser zatwarna DCM pulsa

Dalam pemakaian sehari - hari di laboratorium untuk berbagai macam larutan zatwarna menggunakan acuan data pabrik pembuat zatwarna tersebut. Jika diamati untuk konsentrasi 0,6 gram/liter (C_3), 0,4 gram/liter (C_4) dan 0,2 gram/liter (C_5) ada kestabilan pada intensitas dan lebar puncak spektrum. Akan tetapi untuk pengenceran larutan berikutnya ternyata tinggi dan lebar puncak yang dihasilkan sudah kurang baik, sehingga kondisi konsentrasi larutan 0,4 gram/liter

(C₄) sudah dinilai cukup layak dan sesuai dengan data yang tercantum dalam tabel Radiant Dyes Laser Accessories GmbH (*data for dyes for Nd:YAG pumped dye lasers*). Dengan memperhatikan pertimbangan ekonomis untuk penggunaan larutan zatwarna terlalu pekat dinilai kurang efisien (dan kurang ekonomis), di samping hasilnya juga tidak terlalu ideal untuk suatu spektrum yang baik. Untuk larutan dengan konsentrasi yang tinggi kurang memberikan hasil optimal. Selain itu jika larutannya terlalu pekat ada kemungkinan terjadinya penumpukan molekul-molekul zatwarna dalam kuvet, yang dapat mengganggu proses pemompaan. Di samping itu untuk konsentrasi yang tinggi berarti viskositas juga tinggi dan hal ini berpengaruh pada laju aliran yang ditimbulkan, yaitu dapat membuyarkan proses *lasing* dalam larutan (Karyono dan Hermanto, 2000). Dalam hal ini dapat menyebabkan kurang optimalnya hasil keluaran laser.



Gambar 6. Grafik hubungan intensitas (au) dan konsentrasi (gram/liter)

Untuk kondisi larutan yang kepekatannya semakin rendah ternyata kurang ideal untuk menghasilkan spektrum keluaran laser zatwarna. Dalam hal ini terjadi penurunan intensitas dan lebar puncak spektrum yang menyempit. Untuk suatu kondisi tertentu seperti pada konsentrasi 0,04 gram/liter (C₉) terjadi suatu keadaan

yang cukup "berbeda". Dalam hal ini mungkin disebabkan larutan sudah encer sekali sehingga spektrum yang dihasilkan kurang baik dan kurang stabil. Hal ini tidak begitu bagus jika digunakan dalam spektroskopi.

Dalam eksperimen ini, pada konsentrasi rendah lebar garis spektrum yang diperoleh dan teramati melalui wavelength meter sudah kurang baik/tidak jelas. Hal ini juga cukup menyulitkan dalam proses pengamatan berkas sinar pada *wavelength meter*, sebab semakin rendah konsentrasinya semakin berkurang intensitasnya.

Spektrum panjang gelombang keluaran laser zat warna DCM pulsa mempunyai rentang panjang gelombang yang berbeda-beda ($\Delta\lambda$) untuk setiap variasi konsentrasi. (Tabel I.)

Tabel IV. 1 Konsentrasi larutan Zatwarna DCM dengan range panjang gelombang yang dihasilkan

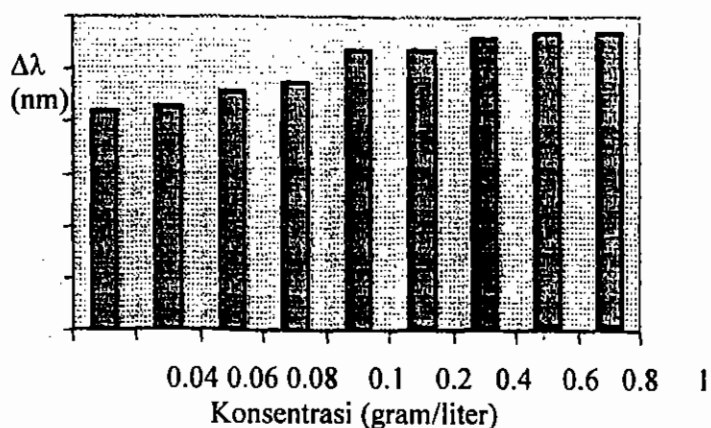
Notasi	Konsentrasi (gram/liter)	Range panjang gelombang (Nm).	$\Delta\lambda$ (nm)
C ₉	0,04	616,32 - 658,21	41,89
C ₈	0,06	615,84 - 658,69	42,84
C ₇	0,08	632,69 - 677,95	45,26
C ₆	0,1	632,21- 679,40	47,19
C ₅	0,2	629,32 - 682,77	53,45
C ₄	0,4	629,32 - 682,77	53,45
C ₃	0,6	628,84 - 684,21	55,37
C ₂	0,8	629,32 - 685,18	55,86
C ₁	1,0	629,32 - 685,18	55,86

Jangkauan panjang gelombang ($\Delta\lambda$) yang dihasilkan untuk setiap konsentrasi memperlihatkan adanya perubahan, walaupun tidak berlaku secara umum. Untuk konsentrasi yang pekat yaitu 1 gram/liter (C₁) dan 0,8 gram/liter(C₂) tidak terdapat perubahan jangkauan panjang gelombang tetapi setelah itu ada pengurangan $\Delta\lambda$ pada konsentrasi yang lebih encer. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa dengan

adanya perubahan konsentrasi akan mengakibatkan adanya perubahan jangkauan panjang gelombang.

Jika terjadi perubahan konsentrasi berarti terjadi pengurangan populasi molekul yang ada dalam zat warna tersebut. Hal ini berarti tampang lintangnya juga semakin kecil, sehingga peluang molekul-molekul yang mengalami emisi terstimulasi juga semakin berkurang.

Perubahan jangkauan panjang gelombang yang terjadi terutama pada daerah panjang gelombang besar atau tingkat energi rendah. Konsentrasi tinggi akan menyebabkan jangkauan panjang gelombang yang dihasilkan lebar, termasuk di daerah panjang gelombang besar tapi mempunyai tingkat energi yang rendah. Dalam hal ini molekul-molekulnya masih dimungkinkan untuk mengalami aksi *lasing* sampai pada aras vibronik terbawah. Di lain pihak untuk konsentrasi rendah, jangkauan panjang gelombang yang diperoleh sempit, karena molekul-molekulnya hanya mampu mencapai tingkat energi sedikit berada di atas tingkat energi sebelumnya.



Gambar IV.3 Grafik hubungan $\Delta\lambda$ (nm) vs konsentrasi larutan (gram/liter)

Untuk konsentrasi 0,4 gram/liter (C_4) dan 0,2 gram/liter (C_5) tidak terlihat adanya perubahan jangkauan panjang gelombang, sedangkan pada konsentrasi berikutnya ada pengurangan jangkauan panjang gelombang dengan semakin rendahnya konsentrasi. Selain perubahan/variasi konsentrasi, tenaga pemompa dapat juga menyebabkan daerah penalaan panjang gelombang keluaran laser zatwarna berubah (Schafer, 1975) dan hal ini dimungkinkan untuk kondisi yang ada pada penelitian ini.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Perubahan konsentrasi larutan zatwarna memberikan perubahan pada intensitas dan jangkauan panjang gelombang. Semakin pekat konsentrasi larutan maka intensitas semakin tinggi dan jangkauan panjang gelombangnya semakin lebar serta stabil. Kondisi optimum intensitas dan lebar jangkauan panjang gelombang dicapai pada konsentrasi 0,4 gram/liter, dengan intensitas sebesar (54 ± 1) au dan lebar jangkauan panjang gelombang sebesar $(53,45 \pm 0,01)$ nm.
2. Pengaruh perubahan kepekatan larutan pada spektrum keluaran laser zatwarna dapat memberikan hasil yang baik, jika perbandingan bahan pelarut dan terlarut proporsional.
3. Kondisi optimum dari alat dapat juga menghasilkan suatu kondisi yang baik, baik pada intensitas keluaran maupun pada lebar jangkauan panjang gelombang laser.

Beberapa saran yang dapat diberikan pada akhir penelitian ini adalah perlu dilakukan analisis kembali tentang pengaruh konsentrasi larutan. Hal ini terutama untuk kondisi larutan yang sangat pekat, jika ditinjau pada sisi pertimbangan ekonomis. Disamping perlu tersedia alat yang memadai untuk peningkatan kualitas penelitian tentang laser zatwarna ini, misalnya tersedianya power meter, beberapa kuvet dan alat-alat pengenceran larutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Beiser, A., 1995, *Konsep Fisika Modern*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Demtroder, W., 1981, *Laser Spectroscopy*, Springer Verlag-Berlin, Heidenberg
- Haranto, H.H., 1999, *Laser Zatwarna Pulsa dengan Konfigurasi Menyusur*, Skripsi SI, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- Karyono dan Hermanto A., 2000, *Komputasi Aliran Fluida dalam Sel Laser Zatwarna Kontinyu*, *Jurnal Fisika Indonesia* Vol IV No 13.
- Krane, K. S., 1992, *Fisika Modern*, Penerbit UI, Jakarta.
- Laud, B.B., 1988, *Laser dan Optika Non Linier*, Penerbit UI, Jakarta.
- Maeda, M., 1984, *Laser Dye, Properties of Organic Compounds for Dye Laser*, Academic Press, inc.
- Schafer, F.P., 1977, *Dye Laser*, Springer Verlag-Berlin Heidenberg, New York.
- Svelto O. dan Hanna D., 1989, *Principle of Laser* ^{3th} Edition, Plenum Press, New York.