

KELUARAN LASER ZATWARNA RHODAMINE-6G PULSA SEBAGAI FUNGSI DESAIN SEL ALIR

S H J Tongkukut¹, Karyono² dan A B Setio Utomo.²

1. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado
2. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

INTISARI

Telah dilakukan studi keluaran laser zatwarna pulsa ($\lambda = 577$ nm) sebagai fungsi desain sel alir larutan zatwarna Rhodamin-6G dalam methanol dengan menggunakan berkas laser Nd:YAG pulsa ($\lambda = 532$ nm) sebagai pemompa. Larutan zatwarna dialirkan secara laminar melalui sel alir pada kecepatan dan konsentrasi tertentu dan kemudian ditembak dengan berkas laser pemompa hingga diperoleh keluaran laser zatwarna pulsa.

Pada tinjauan keluaran laser zatwarna pulsa sebagai fungsi desain lebar cekungan sel alir diperoleh hasil bahwa penambahan ukuran lebar cekungan akan menambah panjang daerah aktif bahan laser yang dipompa, berarti menambah luas permukaan aliran larutan yang menerima berkas pemompa dan akan mengurangi kecepatan aliran larutan. Kompromi antara kedua variabel sehingga dapat diperoleh intensitas keluaran laser yang maksimum. Namun, penurunan kecepatan aliran tersebut tidak boleh berada dibawah kecepatan aliran optimum, karena pada kecepatan aliran yang rendah justru menyebabkan intensitas keluaran laser menjadi turun.

Kata kunci : intensitas laser, sel alir dan zatwarna Rh-6G

THE PULSED RHODAMINE-6G DYE LASER OUT PUT AS A CUVET DESAIN FUNCTION

S H J Tongkukut¹, Karyono² dan A B Setio Utomo.²

ABSTRACT

Study of a pulsed dye laser output ($\lambda = 577$ nm) as a function of the cuvet design using Rh-6G dye and methanol as a solvent has been carried out. The dye solution is flowed laminarly, in a certain velocity dan concentration, across the cuvet which is pumped by a pulsed laser beam.

Respecting to the pulsed dye laser output as a function of the cuvet deepwidth design aspect, the increment of cuvet deepwidth will increase the active surface area of dye solution which interacts with the laser pumping, and simultanatenously it will decrease the flowing velocity of solution. Compromizing of the two variables is needed in order to reach the maximum intensity of laser output. However, the decreament of the flowing velocity can not be allowed under an optimum value of the flowing velocity because of lowering the flowing velocity will decrease the intensity of laser output.

Key words : laser intensity, cuvet and Rh 6G dye

I. PENDAHULUAN

Laser sebagai proses penguatan cahaya melalui emisi terangsang, merupakan sumber radiasi yang mempunyai sifat unggul dalam hal kemonokromatisan, koherensi, kesearahan serta intensitas yang tinggi. Pada bidang fisika kemajuan teknologi laser digunakan dalam spektroskopi atom dan molekul yang bermanfaat untuk mengamati struktur aras energi suatu bahan. Selain itu juga berguna untuk keperluan pendeteksian polusi udara, komunikasi optik, industri, bidang kedokteran dan lain-lain.

Secara umum perangkat laser dibagi atas sistem pemompaan optik, medium aktif laser serta rongga resonator. Medium aktif laser dapat berbentuk padatan, gas atau cairan (Millonni dan Eberly, 1991).

Penelitian ini difokuskan pada masalah medium aktif laser berupa zatwarna berbentuk cairan (larutan) yang dialirkan melalui sel alir (*cuvet*) yang mempunyai cekungan (*deep*). Agar diperoleh sistem laser zatwarna, maka diperlukan laser pemompa optik, antara lain laser pulsa Nd:YAG.

Proses pemompaan medium aktif laser zatwarna dilakukan dengan cara mengalirkan larutan zatwarna melalui sel alir yang mempunyai desain tertentu (Demtroder, 1981). Sistem pengaliran menggunakan sel alir, menurut Karyono (2001) telah dapat dibuat di laboratorium dengan biaya terjangkau serta komponennya mudah diperoleh di dalam negeri dibandingkan sel alir untuk sistem lain (misal: semprot). Selain itu sistem pengaliran dapat menjadi salah satu alternatif pilihan untuk mendapatkan keluaran laser zatwarna tertala. Dengan pertimbangan tersebut penelitian ini menggunakan sistem pengaliran larutan zatwarna untuk berbagai ukuran agar mendapatkan keluaran laser zatwarna pulsa yang optimum (Tongkukut, 2002).

II. TEORI DASAR

Pada prinsipnya laser diperoleh dalam bahan aktif (larutan zatwarna) yang dipompa secara optik sehingga mempunyai populasi inversi. Dalam keadaan ini jumlah molekul yang berada di aras tenaga atas (eksitasi) laser lebih besar dari pada molekul yang ada di aras bawah (dasar). Jika pada keadaan populasi inversi ini berinteraksi dengan gelombang elektromagnetik yang mempunyai energi sama dengan beda energi antara aras tenaga atas (N_2) dan aras tenaga bawah (N_1) maka akan terdapat peluang molekul di aras tenaga atas meluruh ke aras tenaga bawah dengan memancarkan gelombang elektromagnetik. Gelombang yang dipancarkan mempunyai frekuensi, fase dan arah perambatan yang sama dengan gelombang datang. Peristiwa inilah yang dikenal sebagai emisi terangsang dengan laju transisi (Svelto dan Hanna, 1989)

$$\left(\frac{dN_2}{dt} \right)_{st} = -W_{21} N_2 \quad (1)$$

dengan W_{21} adalah laju transisi terangsang dan untuk gelombang datar berlaku kaitan sebagai

$$W_{21} = \sigma_{21} F \quad (2)$$

dengan F adalah fluks foton gelombang datang dan σ_{21} adalah tampang lintang emisi terangsang. Persamaan (2) memberikan informasi bahwa W_{21} bergantung pada intensitas gelombang datang dalam bentuk fluks foton datang.

Selain laju transisi serapan dan laju transisi terangsang, terdapat juga koefisien yang menggambarkan interaksi gelombang datang dengan bahan berupa koefisien serapan bahan (α) yang dinyatakan (Svelto dan Hanna, 1989) sebagai

$$\alpha = \sigma_{12} (N_1 - N_2) \quad (3)$$

dengan $N_1 > N_2$ dan σ_{12} adalah tampang lintang serapan. Jika $N_2 > N_1$ koefisien serapan menjadi negatif dan terjadi populasi inversi yang berakibat dapat diperolehnya suatu penguatan. Untuk itu diperkenalkan suatu koefisien baru bernilai positif yang dikenal sebagai koefisien *gain* (α_g).

Koefisien *gain* dan panjang bahan aktif laser l kemudian membentuk besaran baru yang disebut *gain* (g) bahan (Svelto dan Hanna, 1989), yaitu

$$g = \alpha_g l \quad (4)$$

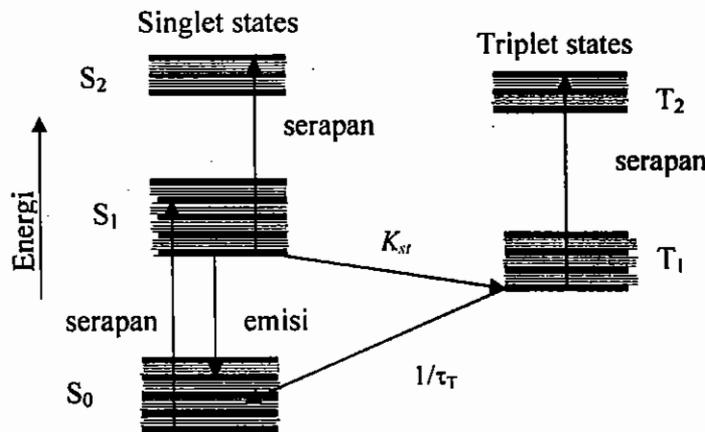
Agar diperoleh proses penguatan, diperlukan sistem pantul-balik yang sesuai. Pantulan balik diperoleh dengan meletakkan bahan aktif di antara dua cermin pemantul yang sangat peka (*resonator*). Pada keadaan ini gelombang elektromagnetik yang merambat pada arah tegak lurus cermin akan terpantul secara terus-menerus (osilasi) di antara dua cermin dan akan semakin diperkuat setiap melewati bahan aktif yang sudah dalam keadaan populasi inversi. Jika salah satu cermin dibuat tidak 100 % pantul maka berkas keluaran laser dapat diperoleh.

Agar proses osilasi dapat berlangsung secara baik, keadaan ambang harus terpenuhi. Untuk itu, osilasi akan dimulai pada saat *gain* bahan aktif mengimbangi kehilangan (*losses*) dalam proses terjadinya laser.

Laser cairan merupakan laser dengan medium aktif larutan zatwarna organik dalam berbagai pelarut antara lain etil alkohol, metil alkohol atau air. Zatwarna organik merupakan sekumpulan molekul poliatomik yang mempunyai ikatan konjugat ganda. Tingkat energi khas zatwarna organik ditunjukkan pada Gambar 1 (Yariv, 1988).

Masing-masing tingkat energi elektronik merupakan pita energi yang tersusun atas beberapa tingkat energi vibrasional dan rotasional (sub tingkat). Secara normal, keadaan dasar S_0 saat dikenai radiasi gelombang elektromagnetik akan terjadi transisi. Interaksi molekul dengan radiasi gelombang elektromagnetik akan mengeksitasikan molekul dari tingkat dasar S_0 ke salah satu tingkat eksitasi vibrasional pada keadaan S_1 . Selanjutnya molekul akan meluruh secara non-radiatif dalam waktu yang sangat pendek ($\tau_{nr} = 10^{-13}$ detik) ke tingkat vibrasional terendah pada keadaan S_1 (*singlet*) dan dari sana molekul akan meluruh secara radiatif (*fluoresens*) ke beberapa tingkat vibrasional tereksitasi pada keadaan dasar

S_0 . Dari tingkat vibrasional tereksitasi pada keadaan dasar S_0 molekul kembali bertransisi secara non-radiatif menuju tingkat vibrasional dasar pada keadan dasar S_0 . (Schafer, 1977)



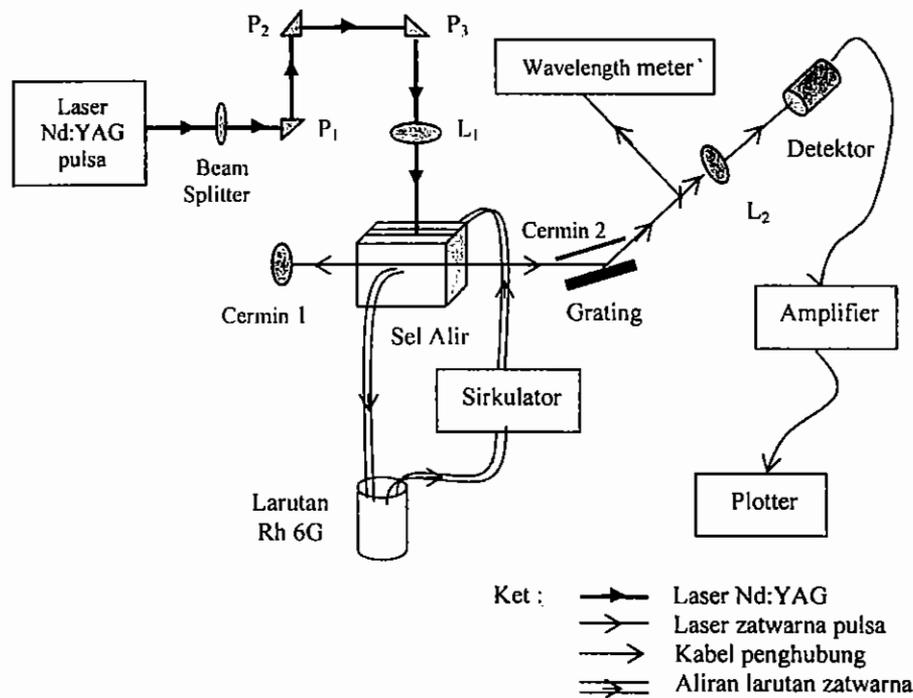
Gambar 1. Tingkat-tingkat energi molekul zatwarna organik (Yariv,1988) (garis tebal - keadaan vibrasional dan garis tipis - struktur halus rotasional)

Konsentrasi zatwarna sangat menentukan tingkat serapan bahan terhadap berkas pemompa, sehingga secara tidak langsung konsentrasi larutan juga mempengaruhi daya keluaran laser zatwarna. Menurut Karyono dkk., (2000) semakin tinggi konsentrasi larutan semakin tinggi pula intensitas serapan zatwarna. Intensitas serapan yang tinggi akhirnya akan mempengaruhi daya keluaran laser zatwarna. Untuk medium aktif larutan, sumbangan dari koefisien ekspansi termal serta kenaikan indeks bias yang disebabkan oleh kenaikan suhu tidak dapat diabaikan. Hal ini dapat dikendalikan dengan mendinginkan atau mengalirkan larutan melewati daerah pemompaan laser (Laud, 1988). Namun dalam mengalirkan larutan harus diusahakan aliran yang bersifat laminar sehingga kecepatan aliran dapat dikendalikan, tidak terjadi turbulensi yang dapat mengganggu proses *lasing* (Demtroder, 1981).

III. EKSPERIMEN

Karakterisasi keluaran laser zatwarna pulsa sebagai fungsi lebar cekungan dilakukan setelah pembuatan kuvet dengan beberapa ukuran lebar cekungan, penyusunan komponen optik beserta sel alir dan selang pengalir zatwarna. Sedangkan pengujian unjuk kerja sistem laser, dilakukan pada pemilihan panjang gelombang dan pengukuran intensitas keluaran sebagai fungsi lebar cekungan setelah dilakukan kalibrasi kecepatan aliran.

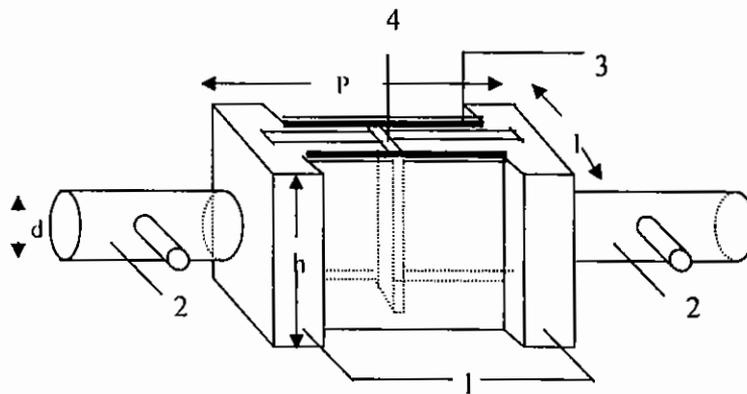
Skema peralatan laser zatwarna dengan sistem aliran laminar dan sistem pemompaan secara transversal yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 2 (Tongkukut, 2002).



Gambar 2 Skema laser zatwarna pulsa dengan pemompaan transversal (P_1, P_2, P_3 adalah prisma, L_1 lensa silindris dan L_2 lensa cembung)

Sedangkan sel alir yang digunakan terdiri atas lima macam variasi desain lebar cekungan yang merupakan daerah aktif pemompaan yaitu 5 mm, 7 mm, 9 mm, 11 mm dan 13 mm. (Gambar 3).

Sel alir yang digunakan dalam penelitian ini dibuat di bengkel gelas FMIPA UGM sesuai dengan desain dan ukuran yang telah direncanakan. Setelah semua peralatan yang dibutuhkan tersedia, langkah pertama adalah menyusun semua komponen optik dan sel alir di atas meja optik dengan mengusahakan agar berada dalam posisi yang stabil. Kemudian selang plastik dan wadah zatwarna dihubungkan ke sel alir dan sirkulator.



No.	NAMA	BAHAN	JUMLAH	UKURAN
1	Badan Sel	Gelas Fiber	1	Tinggi (h) 20 mm, panjang (p) 25 mm Lebar (l) 20 mm
2	Pipa Alir	Gelas Kaca	2	Panjang (p''') 30 mm Diameter (d') 16 mm
3	Penutup Sel	Kaca	2	Panjang (p'') 10 mm
4	Cekungan	-	-	Panjang (p') 4 mm Lebar (l') bervariasi

Gambar 3. Bentuk sel alir lengkap dengan ukurannya (Karyono dkk, 2000)

Susunan alat yang telah siap selanjutnya dicoba dengan cara mengalirkan larutan zatwarna dengan konsentrasi normal (0,15 gr/l) untuk dapat dilakukan pengujian unjuk kerja sistem laser atau dengan kata lain untuk mendapatkan sistem laser yang

memberikan *lasing*. Dalam hal ini dapat dilakukan pemilihan panjang gelombang dan spektrum laser Rhodamin-6G dengan posisi cermin 2 dibuat tetap sedemikian sehingga tidak terjadi lagi perubahan panjang gelombang.

Pengamatan untuk mengetahui pengaruh perubahan desain sel alir dalam hal ini ukuran lebar cekungan, dilakukan dengan merekam intensitas keluaran laser bagi setiap perubahan lebar cekungan. Desain sel alir yang digunakan terdiri atas lima macam ukuran lebar cekungan. Secara umum perekaman dilakukan dengan membuka dan menutup sinar laser zatwarna pulsa yang masuk ke detektor. Intensitas sinar laser diukur dengan mengenakan sinar laser tersebut pada daerah sensitif detektor selama ± 1 detik lalu ditutup untuk menghentikan perekaman. Cara ini dilakukan sebanyak 5 s/d 10 kali bagi setiap kecepatan aliran guna memperoleh hasil yang baik dan maksimal.

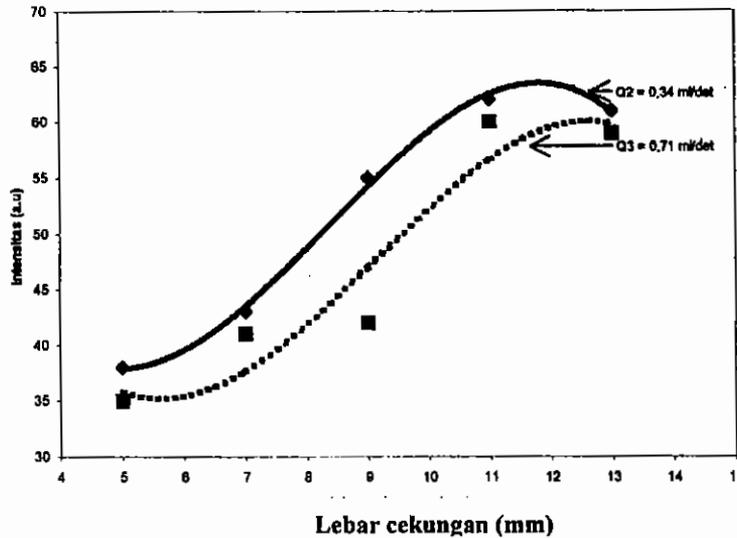
Untuk kalibrasi kecepatan aliran dilakukan dengan cara mula-mula memberi rentang skala kecepatan v_1 sampai dengan v_6 pada pengatur kecepatan sirkulator (tombol putar) dengan jarak putar antar setiap kecepatan adalah 10^0 . Dalam hal ini larutan yang paling kental dialirkan dari wadah larutan melalui selang plastik melewati sel alir dengan lebar cekungan 5 mm pada kecepatan v_1 . Larutan yang mengalir kemudian ditampung pada gelas ukur berskala dengan menghitung waktu yang dibutuhkan larutan untuk mencapai volume 10 ml sehingga debit aliran pada kecepatan v_1 dapat diketahui. Langkah yang sama dilakukan untuk kecepatan v_2 , v_3 , v_4 , v_5 dan v_6 pada konsentrasi dan sel alir yang sama seperti di atas.

Langkah di atas dilakukan untuk sel alir yang sama tetapi pada konsentrasi sedang (pertengahan antara paling kental, yaitu konsentrasi 0,05 gr/90 ml dan paling encer, yaitu konsentrasi 0,05gr/770 ml). Pemilihan konsentrasi yang akan dikalibrasi dengan memilih tiga konsentrasi ini merupakan pendekatan untuk keseluruhan konsentrasi. Hal ini dikenakan untuk sel alir dengan lebar cekungan yang berbeda mulai dari 7 mm, 9 mm, 11 mm dan 13 mm.

Hasil pengukuran debit aliran bernilai $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4 < Q_5$ (dalam satuan ml/detik) pada masing-masing konsentrasi bagi tiap sel alir. Keadaan ini menunjukkan besar debit aliran yang makin besar dari Q_1 hingga Q_5 dan berlaku untuk lima ukuran sel alir. Berdasarkan pada hukum kekekalan massa, debit aliran yang semakin tinggi untuk setiap sel alir mempunyai kecepatan aliran yang semakin tinggi pula yaitu $v_1 < v_2 < v_3 < v_4 < v_5$ di daerah cekungan dan di penampang keluaran sel alir. Untuk setiap debit aliran ke- i ($i = 1-5$) harga Q hampir sama untuk konsentrasi yang berbeda bagi tiap sel alir. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi belum mempengaruhi viskositas larutan secara signifikan sehingga kecepatan aliran ke- i masih relatif sama untuk konsentrasi yang berbeda. Dengan demikian anggapan sebelumnya bahwa larutan bersifat tak kental dapat dipenuhi. Selain itu, pada sel alir dengan ukuran lebar cekungan yang semakin bertambah dan luas penampang keluarannya berukuran sama, debit aliran keluaran ke- i tidak berubah bagi semua konsentrasi. Kesamaan debit aliran keluaran menunjukkan kecepatan aliran dalam cekungan yang makin berkurang seiring dengan bertambahnya lebar cekungan.

Perubahan atau penambahan lebar cekungan pada desain sel alir berakibat pada bertambah panjangnya daerah aktif pemompaan dan berkurangnya kecepatan aliran dalam cekungan. Pada suatu harga debit aliran tertentu, terjadi pengurangan kecepatan aliran dalam cekungan sel alir karena penambahan luas penampang cekungan.

Gambar 4 menampilkan bentuk kurva intensitas keluaran laser zatwarna pulsa sebagai fungsi ukuran lebar cekungan sel alir untuk dua debit aliran yang memberikan intensitas maksimum pada konsentrasi puncak yaitu 0,151 gr/l.



Gambar 4. Intensitas keluaran laser zat warna pulsa sebagai fungsi ukuran lebar cekungan pada konsentrasi $C_5 = 0,151$ gr/l untuk dua harga debit aliran dengan intensitas maksimal

Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa penambahan ukuran lebar cekungan menaikkan intensitas keluaran laser. Hal ini terjadi karena penambahan lebar cekungan secara otomatis menambah permukaan larutan yang dikenai berkas pemompa sehingga memperbesar peluang terjadinya populasi inversi yang akhirnya menambah intensitas keluaran laser zatwarna. Selain itu penambahan lebar cekungan sel alir akan mengurangi kecepatan aliran di daerah cekungan pada debit aliran yang tetap.

Debit aliran Q_2 sampai Q_3 merupakan debit aliran untuk intensitas keluaran maksimum sel alir (Tongkukut dkk, 2002). Pengurangan kecepatan dari harga Q_2 menuju Q_1 akan mengurangi intensitas keluaran laser, sedangkan pengurangan kecepatan dari Q_i ($i > 3$) menuju kecepatan pada debit Q_3 akan menambah intensitas keluaran. Dengan demikian pada Gambar 4 dengan konsentrasi optimum C_5 dan debit Q_2 , perubahan intensitasnya berasal dari dua faktor yaitu *pertama* kenaikan intensitas karena penambahan daerah aktif dan *kedua* penurunan intensitas karena pengurangan kecepatan aliran. Namun faktor pertama nampak lebih dominan sehingga memberikan bentuk kurva intensitas yang naik

bagi ukuran lebar cekungan yang makin bertambah. Sedangkan untuk debit aliran Q_3 , perubahan intensitasnya berasal dari dua faktor juga, *pertama* kenaikan intensitas karena penambahan daerah aktif dan *kedua* penambahan intensitas karena pengurangan kecepatan aliran sehingga secara keseluruhan memberikan bentuk kurva intensitas yang naik bagi ukuran cekungan yang makin bertambah. Masalahnya adalah kenaikan intensitas karena pengurangan kecepatan terjadi secara bersamaan dengan kenaikan intensitas karena penambahan daerah aktif sehingga perbedaan sumbangan kedua faktor tersebut sulit dibedakan. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa dari sel alir-4 ke sel alir-5 intensitas keluaran tidak naik lagi walaupun lebar cekungan bertambah. Hal ini karena ukuran lebar cekungan sudah melebihi panjang garis berkas pemompa sehingga tidak ada lagi penambahan intensitas karena penambahan daerah aktif. Di samping itu pengurangan kecepatan karena penambahan ukuran cekungan sel alir-5 pada debit Q_2 memang mengurangi intensitas dan pada debit Q_3 yang seharusnya menaikkan intensitas ternyata tidak signifikan untuk menaikkan intensitas keluaran. Masalah ini diduga karena kecepatan aliran dalam cekungan yang makin lebar dengan ukuran panjang yang kecil justru akan menyebabkan larutan terperangkap dalam cekungan dan tidak mengalir normal sehingga mengganggu proses pelaseran.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dengan melakukan inovasi desain sel alir telah dihasilkan suatu sistem laser zatwarna pulsa metode aliran laminar. Variasi terhadap ukuran lebar cekungan selain dapat menambah panjang daerah aktif laser zatwarna yang dikenai berkas laser Nd:YAG pulsa sebagai pemompa, selain juga ternyata dapat memperlambat kecepatan aliran zatwarna. Semakin luas permukaan aliran yang menerima berkas pemompa, yang ditandai dengan semakin lebar cekungan serta semakin turun kecepatan aliran, intensitas keluaran laser juga semakin besar. Namun penurunan kecepatan aliran akibat dari penambahan lebar cekungan tidak boleh dibawah kecepatan optimum karena pada kecepatan aliran larutan yang sangat rendah intensitas keluaran laser justru akan melemah.

Saran

Untuk melengkapi penelitian tentang pengaruh lebar cekungan pada intensitas keluaran laser zatwarna pulsa, dapat dipertimbangkan untuk memvariasi panjang gelombang keluaran, sehingga dapat dikaji apakah kondisi optimum berlaku untuk semua panjang gelombang keluaran laser. Untuk desain sel alirnya sendiri agar dalam pembuatan memperhitungkan konstruksi sel alir yang tidak mudah bocor, disamping juga mengurangi efek penguapan metanol dalam udara bebas.

DAFTAR PUSTAKA

- Demtroder W., 1981, *Laser Spectroskopi*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Karyono A, Hermanto, A B Setio Utomo, Y Utomo dan S Hariyanto, 2000, *Laser Zatwarna dengan Metode Aliran Laminer, Prosiding Simposium Fisika Nasional XVIII*, hal 159 - 166
- Laud B. B, 1988, *Laser dan Optika Non Linear* (Terjemahan Sutanto), UI press, Jakarta.
- Milloni P.W. dan J.H Eberly, 1991, *Lasers*, John Wiley & Sons, Singapore
- Schafer F. P, 1977, *Dye Laser* 2nd ed, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Svelto O. dan Hanna D C, 1989, *Principles of Laser* 3rd ed, Plenum Press, New York
- Tongkukut S. H. J, 2002, *Studi Keluaran Laser Zatwarna Pulsa sebagai Fungsi Desain Sel Alir, Konsentrasi dan Kecepatan Aliran Larutan Zatwarna Rh 6G*, Tesis PPS-UGM, Yogyakarta
- Tongkukut S H J, Karyono dan A B Setio Utomo, 2002, *Studi Keluaran Laser Zatwarna Rhodamine-6G Pulsa sebagai Fungsi Konsentrasi dan Kecepatan Aliran*, (akan terbit di Jurnal Fisika Indonesia atau Berkala MIPA)
- Yariv A, 1988, *Quantum Electronics*, John Wiley & Sons.