

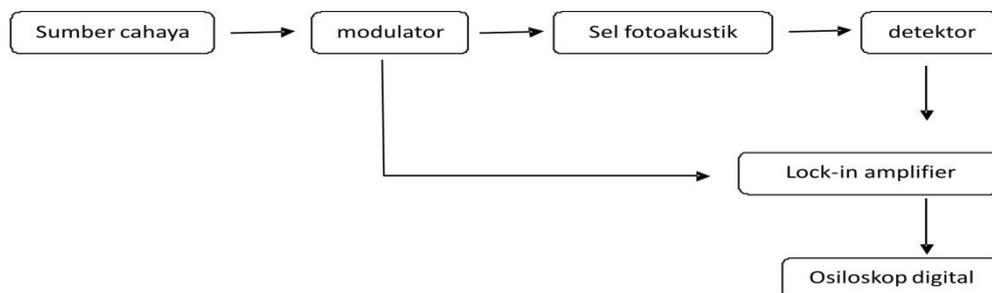
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Spektrofotometri

Spektrofotometri adalah salah satu analisis instrumental yang berhubungan dengan segala sesuatu tentang interaksi sinar dengan molekul. Hasil interaksi tersebut dapat menimbulkan satu atau lebih peristiwa seperti pemantulan, pembiasan, penyerapan, fluoresensi, fosforesensi dan ionisasi. Dalam analisis karakterisasi zat kimia dalam bahan, peristiwa penyerapan atau absorpsi merupakan dasar dari metode spektrofotometri karena proses tersebut bersifat spesifik untuk setiap zat kimia.

Spektrofotometri merupakan suatu metode untuk analisis struktur kimia secara kualitatif dan kuantitatif (Funatik, 2006). Aplikasi metode spektrofotometri dapat dibedakan menjadi beberapa macam seperti spektrofotometri fototermal, fotoakustik, dan lain-lain. Bentuk umum dari spektrofotometri fotoakustik adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1. Diagram Blok Spektrofotometri Fotoakustik Secara Umum

Dari Gambar 2.1 dapat diuraikan proses spektrofotometri fotoakustik sebagai berikut:

1. Sumber cahaya akan memberikan rangsangan kepada sampel berupa energi cahaya. Sumber cahaya yang digunakan harus memiliki panjang gelombang yang sesuai dengan rentang panjang gelombang serapan sampel yang digunakan.
2. Modulator akan memodulasi cahaya yang datang dari sumber. Pada penelitian ini modulator yang digunakan adalah modulator eksternal (*chopper*).
3. Sampel akan mengabsorpsi cahaya yang datang dan memberikan respons berupa indikasi adanya besaran fisis seperti termal, besaran optis seperti indeks bias, dan lain sebagainya.
4. Detektor akan menangkap respon yang diberikan oleh sampel dan mengubahnya ke dalam bentuk informasi listrik berupa tegangan, arus, dan frekuensi.
5. *Lock-in amplifier* akan memperkuat sinyal yang dideteksi oleh detektor.
6. Osiloskop digital akan menampilkan sinyal yang dikirim oleh detektor.

2.2 Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan pada pembangkitan sinyal fotoakustik adalah laser dioda dan laser Nd:YAG yang memiliki panjang gelombang yang sesuai dengan rentang panjang gelombang serapan sampel, sedangkan sumber cahaya yang digunakan pada sensor pergeseran serat optik adalah laser He-Ne. Laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*) adalah suatu sistem

penguatan cahaya sehingga emisi radiasi yang dihasilkan dari proses stimulasi dapat memancarkan gelombang pada frekuensi cahaya tampak dan inframerah. Dilihat dari sumber cahaya pemompa, laser dapat dibagi menjadi laser kontinu (*Continuous Wave/ CW*) dan berbentuk pulsa (Neimz, 2007), sedangkan pengaturan sistem pemompaan optis dapat dilakukan secara melintang (transversal, arah berkas pemompa tegak lurus dengan arah *lasing*) atau membujur (longitudinal, arah berkas pemompa sejajar dengan arah *lasing*). Pada laser dioda bahan aktif yang digunakan adalah bahan semikonduktor, pada laser He-Ne bahan aktif yang digunakan adalah gas helium dan neon dan pada laser Nd:YAG adalah ion Nd^{3+} yang dimasukkan dalam jaringan $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (yang dinyatakan oleh simbol YAG, singkatan Yttrium Aluminium Garnet) (Apsari, 2009). Laser Nd:YAG terdiri dari kristal padat yaitu Yttrium Aluminium Garnet. Kristal tersebut *didopping* dengan *neodymium* yang memproduksi energi sinar laser ketika disinari oleh pencahayaan dari *flash lamp*. Panjang gelombang yang dihasilkan adalah 1064 nm. Panjang gelombang ini berada pada daerah inframerah dekat pada spektrum gelombang elektromagnetik. Operasi laser dapat dimodifikasi untuk memproduksi panjang gelombang ganda dengan panjang gelombang 532 nm (Apsari,2009). Laser Nd:YAG dapat dioperasikan pada dua mode yaitu *continuous wave* dan pulsa.

2.3 *Q-Switching*

Sel *Pockel Q-switch* pada umumnya bekerja dalam resonator laser, yang merupakan satu teknologi yang digunakan untuk menghasilkan jangka waktu pemodulasian pendek dengan daya puncak yang tinggi. Teknologi ini dikenal dengan efek elektrooptik (Beesley, 1971; Yariv dan Yeh, 1984).

Ketika inversi populasi mencapai tingkat tinggi, rintangan yang terjadi pada resonator diubah dan laser memberikan luaran berupa pulsa pendek dengan daya yang tinggi. Proses ini disebut *Q-switching* (Apsari, 2009).

2.4 Serat Optik

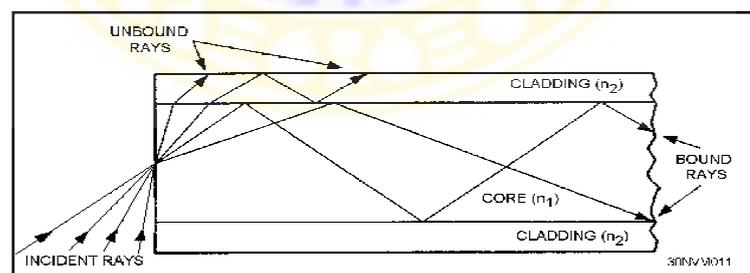
Serat optik adalah pandu gelombang dielektrik atau media transmisi gelombang cahaya yang terbuat dari bahan transparan berbentuk silinder. Serat optik terdiri dari bagian teras (*core*) yang dikelilingi oleh bagian yang disebut selubung (*cladding*). Bagian terluar dari serat optik disebut jaket (*coating*) yang berfungsi sebagai pelindung. Bagian teras yang mempunyai indeks bias n_1 merupakan jalur utama pemanduan gelombang cahaya, sedangkan bagian selubung mempunyai indeks bias n_2 yang nilainya sedikit lebih rendah daripada n_1 (Sholikhan, 2008). Skema bagian yang menyusun serat optik diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema Bagian Penyusun Serat Optik (Keiser, 1991)

Berdasarkan struktur indeks bias bahan bagian teras, serat optik terbagi menjadi dua jenis yaitu serat optik *step-index* dan serat optik *graded-index*. Jenis *step-index* bagian teras mempunyai nilai indeks bias yang seragam, sedangkan jenis *graded-index* bagian teras mempunyai nilai indeks bias yang menurun secara gradual dari sumbu serat sampai ke bidang batas selubung. Selubung kedua jenis mempunyai nilai indeks bias yang seragam. Berdasarkan jumlah moda gelombang yang terpandu, serat optik dibedakan menjadi dua yaitu serat optik moda tunggal (*singlemode*) jika hanya satu moda gelombang yang dipandu dan serat optik moda jamak (*multimode*) jika moda gelombang yang terpandu lebih dari satu (Sholikhan, 2008).

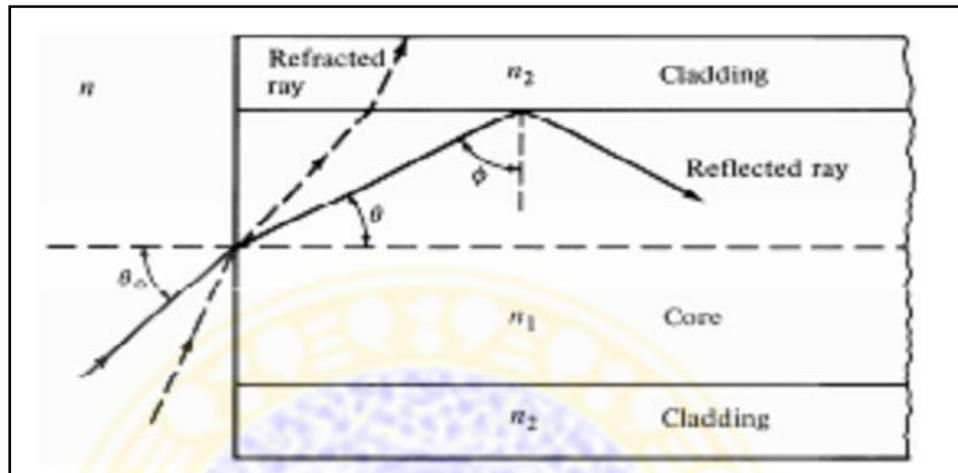
Mekanisme pemanduan gelombang cahaya dalam serat optik berdasarkan pada hukum Snellius dan pemantulan dalam total. Untuk memudahkan pemahaman mekanisme pemanduan gelombang cahaya dalam serat optik *step-index*, digunakan teori sinar dalam mendeskripsikan perambatan muka gelombang cahaya seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Perambatan Sinar Pada Serat Optik *Step-Index* (Keiser, 1991)

Penerapan hukum Snellius dilakukan pada proses pemantulan dan pembiasan sinar pada bidang batas antara dua medium yang berbeda. Pada bidang batas antara teras dan selubung dalam Gambar 2.4, pada sudut ϕ tertentu sinar

akan dibiaskan dalam arah sejajar bidang batas dan sudut ϕ pada keadaan tersebut dinamakan sudut kritis yang dilambangkan dengan ϕ_c .



Gambar 2.4. Sketsa perambatan sinar pada serat optik (Keiser, 1991)

Dengan menggunakan hukum Snellius diperoleh nilai sudut ϕ_c seperti berikut.

$$\phi_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.1)$$

Dengan n_1 dan n_2 menunjukkan indeks bias teras dan indeks bias selubung. Dalam ungkapan sudut θ melalui hubungan $\theta = \pi/2 - \phi$, sudut kritis dapat ditulis dalam bentuk

$$\theta_c = \arccos\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.2)$$

untuk nilai sudut $\theta < \theta_c$ dalam Gambar 2.4, tidak ada sinar yang dibiaskan ke dalam selubung, sehingga seluruh sinar akan terpandu dalam teras serat optik.

Untuk mengetahui sudut sinar masukan pada bagian teras serat optik agar sinar dapat terpandu, diterapkan hukum Snellius pada bidang batas antara teras

dan udara. Agar sinar dapat terpandu, maka sudut $\theta = \theta_c$ dan $\theta_a = \theta_0 = \theta_{0 \text{ maks}}$, dengan demikian persamaan snellius menjadi:

$$n \sin \theta_{0 \text{ maks}} = n_1 \sin \theta_c \quad (2.3)$$

dengan n adalah indeks bias udara yang nilainya 1. berdasarkan persamaan (2.2),

$\sin \theta_{0 \text{ maks}} = \frac{1}{n} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ sehingga persamaan (2.3) menjadi persamaan berikut.

$$n \sin \theta_{0 \text{ maks}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) menunjukkan hubungan antara sudut masukan sinar dengan indeks bias ketiga medium yang berinteraksi. Hubungan tersebut dinyatakan dengan tingkap numeris atau NA (*numerical aperture*), sehingga nilai NA serat optik dapat ditulis sebagai berikut.

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.5)$$

Didefinisikan beda indeks bias antara teras dan selubung (Δ) menurut persamaan:

$$\Delta = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1} \right) \quad (2.6)$$

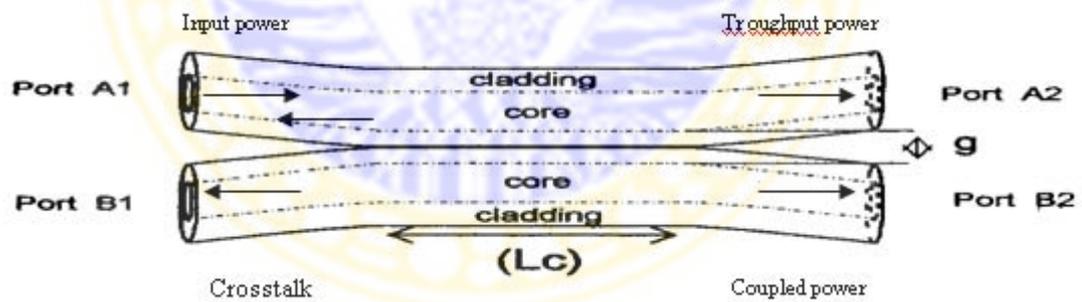
perbedaan nilai n_1 dan n_2 sangat kecil, sehingga nilai Δ juga kecil. Dengan demikian bentuk persamaan (2.5) dapat ditulis:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.7)$$

Nilai Δ berkisar 1% sampai 3% untuk serat optik *multimode* dan 0.2% sampai 1% untuk serat optik *singlemode* (Sholikhah, 2009).

2.5 Fiber Coupler

Fiber coupler adalah piranti optik yang berfungsi sebagai pembagi daya optik (*power divider*). *Fiber coupler* dapat dibuat dari serat optik *multimode* dengan cara menggabungkan (*fused*) kedua buah serat optik tersebut dengan panjang lintasan kopling dan lebar gap tertentu (Samian, 2008). *Fiber coupler* yang demikian disebut *fiber coupler* struktur simetri 2 x 2 yang mempunyai empat port. Serat optik *multimode* dipilih karena gejala *evanescent* yaitu penetrasi gelombang pada daerah selubung cukup besar untuk moda-moda orde tinggi, sehingga transfer daya optik antara serat optik cukup tinggi (Sholikhan, 2008). Skema *fiber coupler* struktur simetri 2 x 2 dari bahan serat optik dengan metode *fused* diperlihatkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5. *Fiber Coupler* Struktur Simetri 2x2 Berbahan Serat Optik Dengan Metode *Fused* (Fernando, 2007 dalam Sholikhan, 2008).

Parameter-parameter *fiber coupler* sebagai devais optik yang perlu diketahui adalah *coupling ratio* (CR), *insertion loss* (L_{ins}), *excess loss* (L_e) dan *crosstalk* (C_t). Dengan mengacu pada Gambar 2.5, parameter-parameter tersebut dituliskan dalam persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$CR = \frac{P_{B2}}{(P_{A2} + P_{B2})} \quad (2.8)$$

$$L_{ins} = 10 \log \left[\frac{P_{input}}{P_{output}} \right] \quad (2.9)$$

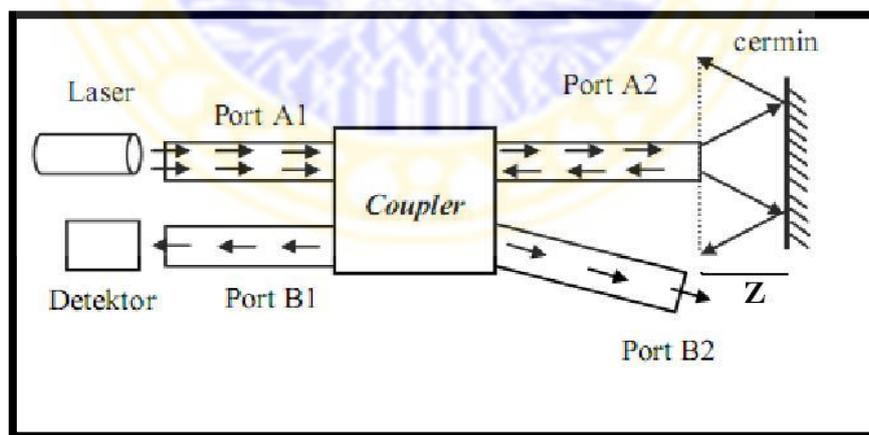
$$L_e = 10 \log \left[\frac{P_{A1}}{P_{A2} + P_{B2}} \right] \quad (2.10)$$

$$C_t = 10 \log \left[\frac{P_{B1}}{P_{A1}} \right] \quad (2.11)$$

Jika $P_1 = P_2$, maka nilai $CR = 0.5$, disebut *coupler* 3 dB (Fernando, 2007).

2.6 Fiber Coupler Sebagai Sensor Pergeseran

Alat-alat yang digunakan pada sensor pergeseran serat optik antara lain *fiber coupler* 2 x 2, cermin datar, laser He-Ne, mikrometer, detektor. Gambar sensor pergeseran diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Struktur *Fiber Coupler* Sebagai Sensor Pergeseran (Samian,2008)

Prinsip pengukuran pergeseran Z adalah dengan cara membandingkan daya optik cahaya pantulan dari cermin yang dikopel balik ke port A2 terhadap daya

optik cahaya yang dipancarkan oleh sumber melalui port A2. Nilai daya optik yang diterima oleh port A2 dapat diketahui dari persamaan berikut:

$$P_i = P_o \left\{ 1 - \exp \left(\frac{2}{(CZ+1)^2} \right) \right\} \quad (2.12)$$

Dengan P_i , P_o , Z berturut-turut adalah daya optik cahaya yang diterima port A2, daya yang dipancarkan oleh sumber melalui port A2, dan pergeseran cermin. Nilai C adalah sebagai berikut

$$C = (2 \tan(\sin^{-1}(NA))) / d \quad (2.13)$$

Dengan NA dan d masing-masing adalah tingkap numerik dan diameter *core* serat optik (Samian, 2008). *Fiber coupler* yang digunakan pada sensor pergeseran serat optik memiliki nilai *coupling ratio* 0,27 dan *excess loss* 1,064. Hasil eksperimen menunjukkan performansi sensor mampu mendeteksi pergeseran objek sampai rentang 4 mm, rentang daerah linier sebesar 1 mm, resolusi sebesar 5 μm dan sensitivitas sebesar 55,4 $\mu\text{W}/\text{mm}$ (Samian, 2008).

2.7 Sampel

Pada penelitian ini digunakan sampel berupa larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ diencerkan sehingga mendapat beberapa konsentrasi. Penggunaan bahan kimia yang serapannya tidak berada pada daerah panjang gelombang (UV, cahaya tampak dan infrared) dapat diubah frekuensi atau panjang gelombang serapannya dengan direaksikan bahan kimia lain yang hasilnya dapat ditunjukkan dengan adanya perubahan warna pada substansi tersebut (D. Christian, Gary, 1994). Penggunaan reagen *alizarin* pada larutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dapat menghasilkan serapan pada daerah panjang gelombang warna hijau.

2.8 Peristiwa Terjadinya Fotoakustik

Peristiwa serapan radiasi pada spektrofotometri fotoakustik terjadi jika molekul sampel menyerap radiasi foton, maka molekul yang menduduki tingkat energi dasar E_0 (*ground state*) akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi E_1 (*excited state*), dengan $\Delta E = E_1 - E_0 = hu$ merupakan perbedaan energi antara dua tingkat tersebut sedangkan ν merupakan frekuensi radiasi foton yang diserap. Molekul yang tereksitasi tersebut berada dalam keadaan tidak stabil sehingga cenderung kembali ke keadaan dasar yang stabil dengan cara membuang energi ΔE (proses deeksitasi). Efek fotoakustik terjadi karena atom-atom atau molekul-molekul sukar mengalami deeksitasi radiatif, tetapi mengalami deeksitasi secara mekanis (melalui tumbukan).

Radiasi inframerah menyebabkan molekul tereksitasi keseluruhan tingkat vibrasi. Dari tingkat vibrasi tersebut, energi eksitasi ditransfer ke dalam bentuk energi translasi melalui proses tumbukan molekul satu dengan yang lain. Panas yang timbul akibat tumbukan tersebut mengakibatkan kenaikan energi kinetik rata-rata, sehingga temperatur molekul-molekul naik. Pada volum tertutup kenaikan temperatur akan mengakibatkan kenaikan tekanan. Jika berkas radiasi yang datang pada sampel dimodulasi intensitasnya secara periodik pada frekuensi audio maka akan didapatkan kenaikan dan penurunan tekanan secara periodik pula yang mengakibatkan gelombang akustik pada frekuensi yang sama dengan frekuensi modulasi radiasi yaitu pada frekuensi audio.

Hukum Lambert-Beer menyatakan bahwa intensitas radiasi yang menembus sampel (I_{trans}) dengan konsentrasi substansi penyerap cahaya (C) diberikan oleh (Funatik, 2006):

$$I_{trans} = I_0 e^{-\alpha C} \quad (2.14)$$

Dengan α merupakan keserapan (*absorbance*) cuplikan tiap satuan panjang (m^{-1}), sedang I_0 mewakili intensitas radiasi yang datang. Dengan demikian intensitas yang diserap sampel atau materi (I_{abs})

$$I_{abs} = I_0 - I_{trans} = I_0(1 - e^{-\alpha C}) \quad (2.15)$$

Apabila serapan sampel cukup lemah ($\alpha C \ll 1$) maka ekspansi persamaan (2.15) dapat dihasilkan besarnya intensitas absorpsi (I_{abs}) berbanding langsung dengan intensitas radiasi yang datang (I_0), koefisien serapan (α), dan konsentrasi cuplikan (C) yang dapat dinyatakan oleh persamaan (2.16)

$$I_{abs} \approx I_0 \alpha C \quad (2.16)$$

2.9 Optical Breakdown

Pada dasarnya apabila laser berkekuatan tinggi difokuskan dalam udara atau cairan, maka fenomena *optical breakdown* akan dihasilkan. Ketika densitas daya laser berkekuatan tinggi diberikan, maka medan listriknya mempunyai potensial tinggi untuk menghasilkan *optical breakdown* (Mills, 1991). Parameter fisik yang mempengaruhi *optical breakdown* oleh *Q-switch* laser Nd:YAG adalah panjang gelombang dan jangka waktu pemodulasian (*pulse duration*) sinar laser (Torrissi, *et al*, 2001).

Sebagian besar *optical breakdown* dapat dilihat sebagai cahaya terang dan ditandai dengan munculnya bunyi 'klik'. Dalam proses *optical breakdown*, foton

bebas akan diserap dan ini akan membuat gas disekitarnya menjadi panas (Koechner, 1988). Proses penyerapan dan pemanasan akan membuat penempatan gas meluas dan menghasilkan gelombang kejut (*shock wave*) (Apsari, 2009).

