

Analisis Efisiensi Daya Pada Transmisi Daya Optik Lewat Bundel Serat Optik

Retno Sukmaningrum
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111
retno@eepis-its.edu

Abstrak

Salah satu aplikasi dari serat optic dalam bidang instrumentasi dan kedokteran adalah sensor optic. Sensor optic dibagi dalam dua kategori dasar, yaitu sensor modulasi intensitas dan sensor modulasi fasa. Dibandingkan sensor modulasi fasa, sensor modulasi intensitas lebih banyak membutuhkan cahaya. Hal ini mengakibatkan sensor modulasi intensitas menggunakan inti serat moda jamak yang besar (bundle serat optic).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Heri Suyanto dkk¹⁴ telah dilakukan penelitian tentang pengaruh ukuran diameter gukungan dan jumlah lilitan fiber optic terhadap efisiensi dan rugi-rugi (atenuasi) transmisi daya laser dalam serat optic moda jamak. Penelitian efisiensi ini lebih menekankan pada pengaruh lilitan dan diameternya hanya pada serat tunggal.

Pada penelitian ini, analisis efisiensi daya pada transmisi daya optic lewat dilakukan pada bundle serat optic moda jamak. Eksperimen dilakukan dengan melewati cahaya pada bundle serat optic dengan bahan plastic yang berdiameter inti (core) 120 μ m dan diameter selubung (cladding) 510 μ m pada tiga proses, yaitu proses transmisi, proses transmisi-refleksi dan proses transmisi-refleksi-transmisi. Pada proses transmisi, cahaya dengan panjang gelombang 630 nm dari sumber optic dilewatkan kolimator dan diterima oleh bundle transmisi. Keluaran bundle transmisi diterima oleh detector. Pada proses transmisi-refleksi, keluaran dari bundle transmisi diarahkan ke reflector. Cahaya yang terpantul dari reflector diterima oleh detector. Pada proses transmisi-refleksi-transmisi, keluaran dari bundle transmisi diarahkan ke reflector dan cahaya yang terpantul dari reflector diterima oleh bundle penerima. Daya keluaran dari bundle penerima diterima detector dan ditunjukkan oleh power meter digital. Faktor-faktor yang berpengaruh pada hasil efisiensi daya optic pada ketiga proses tersebut adalah jumlah serat dalam bundle, susunan geometris serat dalam bundle dan penggandengan antara sumber

dengan bundle. Area aktif dengan susunan geometris dan penggandengan yang memenuhi sudut penerimaan maksimum atau aperture numeric (NA) akan meningkatkan kemampuan bundle menerima daya optic. Dari hasil eksperimen, pada proses transmisi dicapai efisiensi daya optic sebesar $\eta = -24,84$ dB, pada proses transmisi-refleksi sebesar $\eta = -37,30$ dB dan pada proses transmisi-refleksi-transmisi sebesar $\eta = -46,20$ dB. Secara teoritis, pada transmisi dicapai hasil sebesar $\eta = -11,5$ dB, pada proses transmisi-refleksi sebesar $\eta = -20,77$ dB dan pada proses transmisi-refleksi-transmisi $\eta = -32,33$ dB.

Kata Kunci: Efisiensi daya, Bundel Serat Optik, Numerical Aperture, Transmisi, Refleksi

1. Pendahuluan.

Dalam memenuhi kebutuhan pelayanan medis, instrumentasi dan komunikasi untuk saat ini dan masa datang, diperlukan suatu peralatan yang jauh lebih baik keandalannya. Sejalan dengan perkembangan teknologi, serat optic menjadi salah satu alternative di dalam menjawab tantangan tersebut.

Salah satu aplikasi dari serat optic dalam bidang instrumentasi dan kedokteran adalah sensor optic. Sensor optic dibagi dalam dua kategori dasar, yaitu sensor modulasi intensitas dan sensor modulasi fasa. Dibandingkan sensor modulasi fasa, sensor modulasi intensitas lebih banyak membutuhkan cahaya. Hal ini mengakibatkan sensor modulasi intensitas menggunakan inti serat moda jamak yang besar (bundle serat optic).

Pada proses penyaluran cahaya dari sumber cahaya ke bundle serat optic, efisiensi cahaya dipengaruhi oleh penggandengan (coupling) antara sumber dengan bundle serat optic dan antara bundle serat optic dengan detector. Selain itu juga dipengaruhi oleh aperture numeric (NA), serta profil indeks bias dari jenis serat optic yang digunakan.

Pada makalah ini dilakukan pengukuran dan analisis efisiensi daya yang ditransmisikan oleh sumber

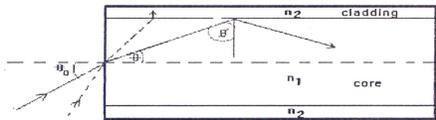
cahaya melalui bundle serat optic moda jamak. Pengukuran dilakukan dalam tiga proses, yaitu proses transmisi, proses transmisi-refleksi dan proses transmisi-refleksi-transmisi. Proses penyaluran daya terbagi menjadi dua cara, yakni hubungan langsung antara kedua komponen dan hubungan tidak langsung dengan menggunakan lensa sebagai komponen pengkopel. Agar diperoleh efisiensi daya maksimum pada tiap-tiap proses, maka permasalahan yang dihadapi adalah penetapan factor-faktor fisis dari bundle serat optic dan penetapan susunan alat.

Dalam proses pengukuran, diasumsikan gelombang yang digunakan berupa gelombang planar, permukaan sumber cahaya berupa lingkaran. Letak sumbu masing-masing bundle sama dan selama eksperimen cahaya luar tidak masuk.

2. Teori Dasar

2.1 Apertur Numerik

Seberkas sinar meridional, seperti terlihat pada gambar (2-1), memasuki serat optic step indeks dengan indeks bias inti n_1 dan indeks bias selubung n_2 yang terletak pada medium dengan indeks bias n_0 dan sudut datang θ terhadap sumbu serat.



Gambar 2-4 Perambatan sinar meridional pada serat optic step indek yang ideal ¹³

Pada medium n_1 , sinar ini dibiaskan dengan sudut bias Φ_1 dan menjalar menuju bidang batas inti-selubung dengan sudut datang θ'_c . Jika sinar tersebut memenuhi syarat pantulan dalam total, maka dari Hukum Snell ¹³

$$\sin \theta_{maks} / \sin \theta'_c = n_1 / n_2 \quad (2.1)$$

Disini $\theta_c = \cos^{-1}(n_2 / n_1)$, atau $\theta_{maks} = \sin^{-1}(n_1 \sin \theta'_c) = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$

$$\theta_{maks} = n_1 \sqrt{2\Delta} = n_1 \sqrt{2(n_1 - n_2) / n_1} \quad (2.2)$$

Jadi sinar yang membuat sudut datang lebih kecil daripada θ_{maks} akan dipantulkan secara total dalam serat. Dalam hal ini didefinisikan sebagai aperture numerik

$$NA = \sin \theta_{maks} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.3)$$

Karena aperture numerik bersangkutan dengan sudut datang maksimum (yaitu sudut penerimaan) maka

persamaan (2.3) dipakai sebagai ukuran kemampuan serat untuk menerima cahaya yang akan dipandu, disamping penting untuk perhitungan efisiensi pengkopelan cahaya dari sumber cahaya ke serat optic, beragam teknik penyambungan antar serat optic dan dari serat ke detektor cahaya.

2.2 Pelemahan Daya Optis (Atenuasi)

Pelemahan daya, atau biasa disebut juga rugi serat (fiber loss) atau rugi sinyal (signal loss) menipalkan sifat yang sangat penting dari serat optic karena menentukan seberapa sinyal optis dapat ditransmisikan dalam serat.

Dasar dari mekanisme pelemahan ada tiga macam, yakni :

- absorpsi
- hamburan
- rugi-rugi radiasi akibat pelengkungan serat

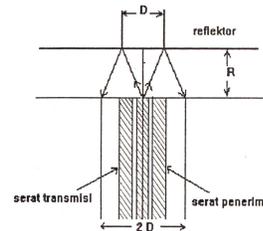
Pelemahan sinyal (rugi serat) didefinisikan sebagai berikut :

$$\alpha = 10/L \log(P_{in} / P_{out}) \text{dB/km} \quad (2.4)$$

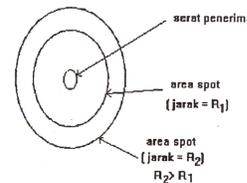
Dengan P_{in} dan P_{out} masing-masing daya masukan dan daya keluaran dari serat optic, α adalah koefisien pelemahan (dB/km).

2.3 Konsep Refleksi

Pada konsep refleksi ini, sensor terdiri dari dua bundel serat atau sepasang serat tunggal. satu bundel mentransmisikan cahaya ke reflektor, sedangkan bundel yang lain menangkap cahaya refleksi dan mentransmisikannya ke detektor.



Gambar 2-14 Geometri target serat ¹⁴



Gambar 2-2 Area spot pada reflektor ¹³

Intensitas cahaya yang terdeteksi tergantung pada jarak antara dengan ujung serat optik. Jarak ini juga berpengaruh pada ukuran titik (spot size) yang terbentuk pada reflektor. Ukuran titik yang terbentuk pada reflektor dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$2 R \tan \theta = D \quad (2.5)$$

Dimana θ adalah sudut paruh antara normal permukaan serat dengan aperture numerik NA dan D adalah diameter titik.

Jika sudut refleksi sama dengan sudut datangnya maka ukuran titik yang mengenai ujung bundel serat setelah refleksi adalah dua kali ukuran yang mengenai reflektor. Jika jarak dari reflektor bertambah, area titik akan bertambah pula sebanding dengan kuadrat jarak (R^2). Dan sebaliknya cahaya yang terdeteksi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak ($1/R^2$).¹³

3. Metode Dan Urutan Pengukuran

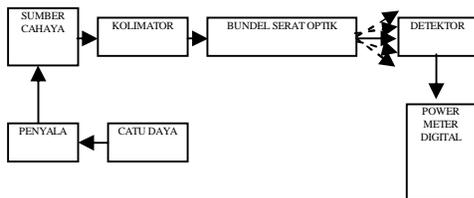
Efisiensi daya optik pada transmisi daya optik yang dilewatkan pada bundel serat optik moda jamak ditentukan dengan mengukur dan membandingkan daya yang diterima oleh detektor dan daya yang dipancarkan oleh sumber cahaya.

3.1 Pengukuran Apertur Numerik Serat

Sebelum melakukan pengukuran efisiensi daya optik pada proses transmisi lewat bundel serat optik, terlebih dahulu akan ditentukan aperture numerik (NA) serat optik yang digunakan dalam eksperimen. Metode pengukuran untuk menentukan aperture numerik tersebut adalah sebagai berikut :

Dari gambar (3.1) terlihat bahwa titik pengukuran dilakukan untuk :

- Jarak antara bundel serat optik terhadap detektor (x) tetap untuk setiap pengukuran
- Posisi detektor diubah-ubah pada arah lateral sehingga menghasilkan daya keluaran yang bervariasi, yang ditunjukkan oleh power meter digital (optical power meter digital).

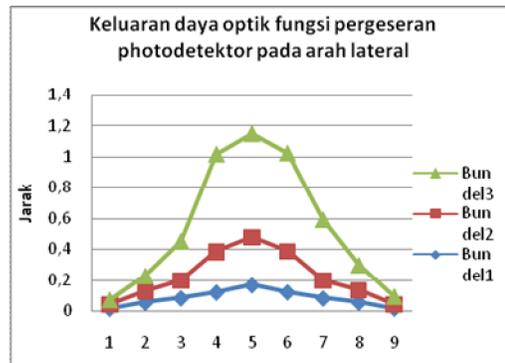


Gambar 3-1 Set-up rangkaian pengukuran NA serat optik

Tabel 3-1 Data keluaran daya optik dengan perubahan arah detektor

Jarak (μm)	Bundel I (μW)	Bundel II Pout (μW)	Bundel III Pout (μW)
2	0,016	0,024	0,030
1,5	0,054	0,071	0,101
1	0,082	0,114	0,256
0,5	0,119	0,264	0,635
0	0,166	0,310	0,675
-0,5	0,120	0,266	0,639
-1	0,081	0,112	0,399
-1,5	0,055	0,076	0,165
-2	0,017	0,023	0,052

Dari data di atas ditentukan grafik sebagai berikut :



Grafik 3-1 Keluaran daya optik fungsi pergeseran photodetektor pada arah lateral

Dari grafik yang diperoleh, ditentukan harga setengah daya keluaran (setengah grafik). Penentuan ini didasarkan pada asumsi bahwa dengan harga tersebut telah memenuhi sudut penerimaan maksimum dari bundel serat optik. Dari grafik dapat ditentukan besarnya pergeseran detektor ($r = y$) dan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 3-2 Data pengukuran aperture numerik (NA)

Bundel	x (μm)	y (μm)	r (μm)	Sin $\theta = \text{NA}$
I	2,5	1,71	3,03	0,56
II	2,5	1,55	2,94	0,53
III	2,5	1,60	2,96	0,54

NA serta optik = 0,54

Karena indeks bahan inti dan selubung serat tidak diketahui, maka untuk menentukannya, pertama-tama

jenis bahan inti diperkirakan. Inti serat optik diperkirakan terbuat dari *polymethyl methacrylate* yang mempunyai :

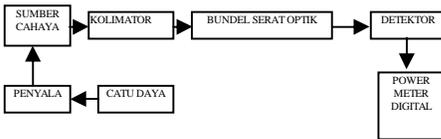
$$n_1 = 1.49$$

Sebagai bahan inti diperkirakan *polymethyl methacrylate* karena beberapa artikel menyebutkan penggunaan serat optik plastik yang intinya terbuat dari bahan tersebut^{7,9,11,12}

Hasil dari pengukuran NA dapat digunakan untuk memperkirakan indeks bisa selubung. Dari persamaan (2.3) diperoleh harga $n_2 = 1,38 \approx 1,4$. Dengan harga n_2 tersebut diperkirakan bahan cladding terbuat dari *copolymer*.¹²

3.2 Pengukuran Efisiensi Daya Optik Pada Proses Transmisi

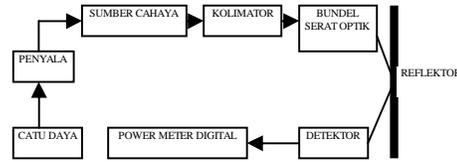
Untuk penetapan sistem pengukuran, sebagai langkah pertama dilakukan pengukuran efisiensi daya optik pada proses transmisi dengan metode langsung maupun tidak langsung pada. Bundel L yang terdiri dari sembilan serat. Selanjutnya dengan cara yang sama dilakukan pengukuran untuk bundel II yang terdiri dari sembilan belas serat dan bundel III dengan jumlah serat tiga puluh satu buah. Untuk pengukuran dengan metode tidak langsung menggunakan lensa L_1 dan L_2 , masing-masing mempunyai jarak fokus 10 cm dan 20 cm. Adapun Set-up rangkaian dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3-2 Susunan sistem pengukuran efisiensi daya optik pada proses transmisi

3.3 Pengukuran Efisiensi Daya Optik Pada Proses Transmisi-Refleksi

Pada pengukuran ini digunakan cermin datar sebagai reflektor. Pada proses ini, cahaya dari sumber ditransmisikan melalui bundel ke reflektor. Cahaya yang terpantul dari reflektor diterima oleh detektor. Reflektor diletakkan di depan ujung bundel digandeng oleh photodetektor maksimal. Dari pengukuran diketahui bahwa keluaran daya yang terpantul dari reflektor sebesar 12% dari daya masukannya (daya keluaran bundel yang dipantulkan ke reflektor).

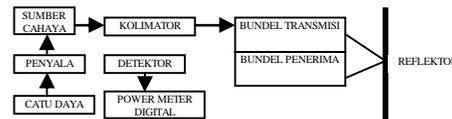


Gambar 3-3 Susunan sistem pengukuran efisiensi daya optik pada proses transmisi-refleksi

3.4 Pengukuran Efisiensi Daya Optik Pada Proses Transmisi-Refleksi-Transmisi

Pada pengukuran ini bundel yang digunakan terdiri dari tiga macam, sebagaimana pada proses Transmisi

Pada proses ini, cahaya ditransmisikan melalui bundel transmisi ke reflektor (cermin datar) dengan daya terpantul sebesar 12% dari daya masuknya. Cahaya yang terpantul dari reflektor diterima oleh bundel penerima, yang selanjutnya keluaran dari bundel penerima diterima oleh detektor. Jarak antara bundel transmisi dan bundel penerima terhadap reflektor tertentu, sebab bila jarak ujung bundel terhadap reflektor terlalu dekat maka cahaya yang direfleksikan tidak berpasangan dengan bundel penerima. Sebaliknya bila jarak ujung bundel terlalu jauh dari reflektor maka hanya sedikit permukaan bundel penerima yang memotong cahaya yang terpantul dari reflektor. Susunan sistem pengukuran pada gambar - berikut :

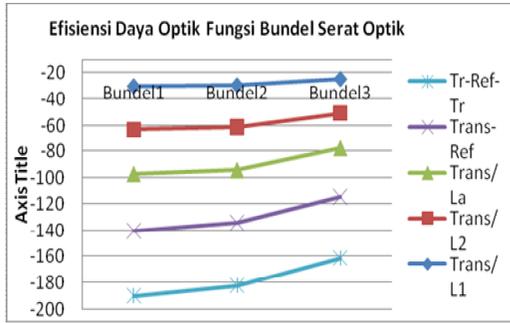


Gambar 3-4 Susunan sistem pengukuran efisiensi daya optik pada proses transmisi-refleksi-transmisi

Dari pengukuran efisiensi daya optik pada ketiga proses di atas diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 3.3 Data eksperimen efisiensi daya optik lewat bundel serat optik

Metode	Pin (µW)	Bundel I (0.058 cm ²)		Bundel II (0.06 cm ²)		Bundel III (0.075 cm ²)	
		P _{out} (µW)	η (dB)	P _{out} (µW)	η (dB)	P _{out} (µW)	η (dB)
Trans/L ₁	267	0,266	-30,02	0,310	-29,35	0,875	-24,84
Trans/L ₂	267	0,135	-32,96	0,173	-31,88	0,682	-25,93
Trans/L _a	267	0,112	-33,77	0,144	-32,68	0,542	-26,92
Trans-Ref	267	0,012	-43,47	0,0256	-40,18	0,0495	-37,30
Tr-Ref-Tr	267	0,0029	-49,6	0,004	-48,2	0,0064	-46,2



Grafik 3-2 Efisiensi daya optik fungsi bundel serat optik moda jamak (data eksperimen)

4. Analisa Efisiensi Daya Optik

4.1 Analisa Pengaruh Jumlah Serat Optik Dalam Bundel

Bila ditinjau dari susunan geometris serat dalam bundel dapat dijabarkan sebagai berikut : daya input sebanding dengan luasan sumber yang ditransmisikan yang mengenai bundel ($P_{in} \approx L_{in} = \pi r^2$), dimana r merupakan jari-jari luasan sumber yang ditransmisikan, sedangkan daya output sebanding dengan luasan output, dimana luasan output merupakan perbandingan luasan inti (core) dan luasan total, dikalikan dengan luasan sumber yang ditransmisikan yang mengenai bundel, atau :

$$P_{out} \approx L_{out} = \frac{A_c}{A_{tot}} \times L_{in} \quad (4.1)$$

Dimana : A_{core} = luasan core dalam bundel
 A_{tot} = luasan yang memenuhi sudut penerimaan maksimum
 L_{in} = luasan sumber yang ditransmisikan yang mengenai bundel serat optik

Dari rumus di atas diperoleh tabel sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data teoritis efisiensi daya pada transmisi daya optik lewat bundel serat optic

Bundel	A_{core} (cm ²)	A_{tot} (cm ²)	L_{in} (cm ²)	L_{out} (cm ²)	Trans. η (dB)	Trans-Ref η (dB)	Trans-Ref-Tran η (dB)
I (0,058 cm ²)	0,001	0,018	0,027	0,0015	-12,55	-21,76	-34,33
II (0,060 cm ²)	0,002	0,035	0,045	0,0026	-12,38	-21,62	-33,97
III (0,075 cm ²)	0,004	0,057	0,073	0,0051	-11,55	-20,77	-32,33

Pada data eksperimen menunjukkan harga efisiensi daya. optik yang lebih kecil dibandingkan dengan data teoritis. Hal ini disebabkan kurang tepatnya pengkopelan

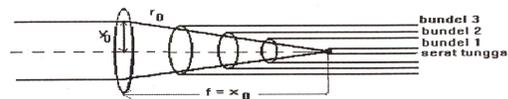
daya pada bundel serat optik pada saat eksperimen, selain itu banyak serat yang patah dan retak pada proses pengikatan, serta tidak rata pematangan permukaan serat dari bundel, sehingga menyebabkan berkurangnya keluaran daya optiknya.

Bila syarat cahaya dapat terpandu dalam serat optik adalah cahaya yang memenuhi sudut penerimaan maksimum atau apertur numerik serat, maka. jika diperhatikan lebih seksama pada transmisi daya optik yang dilewatkan pada bundel serat optik, semua serat dalam bundel memenuhi sudut penerimaan tersebut, namun perbandingan daya yang terdistribusi pada masing-masing serat berbeda disebabkan susunan geometris serat dalam bundel.

Untuk serat yang terletak pada posisi yang lebih dalam pada bundel, selain masuk pada core, daya input juga mengenai bagian cladding dan lubang-lubang (hole-hole) antar serat dalam bundel, sedangkan serat-serat yang terletak pada posisi tepi dari bundel hanya sedikit daya yang mengenai cladding maupun lubang-lubang antar serat dalam bundel.

4.2 Analisa perbandingan daya masukan (P_{in}) dan daya keluaran (P_{out})

Seberapa besar tingkat perbandingan daya masukan dan daya keluaran tetap dipengaruhi kemampuan bundel memenuhi sudut penerimaan maksimum atau aperture numerik (NA). Untuk memenuhi sudut penerimaan maksimum pada masing-masing bundel maka letak bundel dirubah/digeser terhadap titik fokus. Adapun metode pengukuran letak bundel terhadap titik fokus sebagai berikut:



Gambar 4-1 Pengukuran pergeseran bundel terhadap titik fokus

Dari persamaan (2.3) dan gambar (4.1) maka dapat dilihat :

$$NA = \sin \theta_{0,max} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = \frac{y_0}{r_0}$$

Dimana : y_0 = jari-jari sumber pada lensa, yaitu sebesar 0,25 cm

diperoleh harga :

$$r_0 = 0,46 \text{ cm}$$

$$x_0 = f = 0,38 \text{ cm}$$

Dengan mendasarkan bahwa NA pada sistem keseluruhan masing-masing bundel sama NA serat tunggal (monofiber) maka dapat ditentukan seberapa jauh pergeseran letak bundel terhadap titik fokus (f) dari hubungan berikut :

$$\frac{y_0}{x_0} = \frac{y_n}{x_n}$$

Dimana : y_n = jari-jari luasan total dari bundel ke-n (n = I, II, III)
 x_n = jarak letak bundel terhadap titik fokus

Tabel 4.2 Data pergeseran letak bundel terhadap titik focus

Bundel n	Yn (cm)	Xn (cm)
I	0,075	0,114
II	0,105	0,159
III	0,135	0,205

Dari tabel tersebut dapat diketahui jarak pergeseran bundel terhadap titik fokus. Untuk bundel I agar mempunyai sudut penerimaan maksimum maka harus digeser sejauh 1,1 mm dari titik fokus, sedangkan bundel II digeser sejauh 1,6 mm dan bundel III digeser sejauh 2,0 mm Dengan demikian semakin luas area aktif bundel maka jarak lensa dengan bundel semakin dekat.

5. Kesimpulan

Dari keseluruhan eksperimen dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Jumlah serat dan susunan geometris serat dalam bundel, serta penggandengan antara sumber dengan bundel serat optik dan antara bundel dengan detektor merupakan faktor-faktor yang berpengaruh pada hasil efisiensi daya optik yang dilewatkan pada bundel serat optik. Area aktif dengan susunan geometris serat dalam bundel dan penggandengan (pengkopelan) yang memenuhi sudut penerimaan maksimum atau apertur numerik (NA) akan meningkatkan kemampuan bundel menerima daya optik.
2. Agar tiap bundel dapat memenuhi sudut penerimaan maksimum, maka letak bundel terhadap titik fokus ditentukan. Untuk bundel I bergeser sejauh 1,1 mm, bundel II sejauh 1,6 mm dan bundel III bergeser sejauh 2,0 mm dari titik fokus.

3. Dari hasil eksperimen, pada proses transmisi dicapai efisiensi daya optik sebesar $\eta = -24,84$ dB, pada proses transmisi-refleksi $\eta = -37,3$ dB dan pada proses transmisi-refleksi-transmisi $\eta = -46,2$ dB, Dari data teoritis, pada proses transmisi dicapai hasil $\eta = -11,55$ dB, pada proses transmisi-refleksi $\eta = -20,77$ dB, pada proses transmisi-refleksi-transmisi $\eta = -32,33$ dB.
4. Pada metode langsung efisiensi daya optik cukup rendah dibandingkan dengan metode tidak langsung. Hal ini disebabkan terutama karena ukuran diameter berkas lebih besar dibandingkan dengan diameter luasan bundel yang mampu mentransmisikan cahaya. Pada metode tidak langsung yaitu dengan menggunakan lensa, efisiensi daya optik cukup tinggi. Kondisi tersebut sesuai dengan tinjauan sebelumnya, bahwa jika luasan aktif dari sumber tidak sesuai dengan luasan aktif dari bundel maka sudut pengumpulan berkas cahaya dapat ditingkatkan dengan mensisipkan sistem optik (lensa) yang sesuai antara bundel dengan sumber.
5. Hal-hal lain yang berpengaruh pada efisiensi daya optik adalah penentuan jarak reflektor terhadap ujung bundel, manapun jarak reflektor terhadap detector

Referensi

- [1] Allard, F.C., *Fiber Optics Handbook for Engineers and Scientists*, Mc Graw Hill, 1990.
- [2] Born, M dan Wolf, E, *Principles of Optic*, Pergamon Press, 1959.
- [3] Cherin, A.H, *An Introduction to Optical Fiber*, Mc Graw Hill, 1983.
- [4] Cheremisnoff, N.P. dan Paul N., *Flow Measurement of Engineers and Scientist*, Marcell Dekker, 1988.
- [5] Dakin, J.P., *The Distributed Fiber Optic Sensing Handbook*, IFSLtd, 1990.
- [6] Dobsow, LS.J, Cox A, Watson P.J., *A telescopic Illumination System for A Wide Field Endoscypc*, Optics and Lasers Tech., Vol. 23, No. 1, 1991.
- [7] Frieabelle, EJ., Sigel, G.H, Gingerich, M.E, *Radiation Response of Fiber Optic Waveguides in The 0,4 to 1,7 μRegion*, IEEE Transaction on Nuclear Science, 1978, hlm. 198 - 205.
- [8] Gray, D.E., *American Institute of Physics Hanbook*, New York, 1972, hlm 6-26.
- [9] Hikara T., *Visibility of Interference Fringes Effect of The Optical Guide Length in Coherent Light*, Apl. Opt, Vo116, No. 22, 1977.
- [10] Hollanders, D., *Castro Intestinal Endoscopy*, Bailliere Tindal, London, 1979.

- [11] Iga, K. dan Yamamoto, N., *Plastic Focusing Fiber for Imaging Application*, Appl. Opt, Vol. 16, No. 5, 1977
- [12] Keiser, G, *Optical Fiber Communication and Other Application*, Maxwell Macmillan, 1991.
- [13] Krohn, DA, *Fiber Optic Sensors, Fundamental and Application*, Maxwell Macmillan,1991
- [14] Suyanto,H., Dahlan, A. dan Ramzah,H.,”*Pengaruh Ukuran Diameter Gulungan Dan Jumlah Lilitan Fiber Optik Terhadap Efisiensi Daya Keluaran Sinar Laser*”, Jurnal Fisika, Agustus 2002