

Perancangan *Coupling* Antara *Solar Collector*-Serat Optik untuk Sistem Pencahayaan Alami

Bantara Bayu Perrmana Putra, Sekartedjo, dan Agus M. Hatta

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: amhatta@ep.its.ac.id

Abstrak—*Solar lighting* merupakan salah satu energi alternatif yang memanfaatkan matahari sebagai sumber cahaya untuk penerangan ruangan. *Solar lighting* dapat diaplikasikan dengan berbagai macam metode, salah satunya adalah dengan menggunakan serat optik. Sistem *solar lighting* berbasis serat optik terdiri dari dua komponen utama, yaitu *solar collector* dan serat optik. *Solar collector* merupakan alat yang digunakan untuk memantulkan dan mengumpulkan sinar matahari pada satu titik, sedangkan serat optik merupakan alat yang digunakan sebagai media transmisi cahaya. Salah satu masalah yang dapat mempengaruhi transmisi cahaya adalah *coupling* dari *solar collector* ke serat optik. Dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem *coupling* antara *solar collector* dengan serat optik pada sistem *solar lighting* berbasis serat optik dengan hasil intensitas keluaran serat optik sesuai dengan standar SNI03-6575-2001 dalam pencahayaan laboratorium (500 lux). Dasar perancangan dalam sistem *coupling* adalah pemilihan - pemilihan parameter dari kolektor parabola dan serat optik untuk besar berkas masukan cahaya tertentu. Berdasarkan diameter berkas cahaya yang diterima kolektor dan sudut penerimaan maksimal dari serat optik dapat ditentukan besar harga parameter panjang fokus (f) dan *aperture* (D) yang menghasilkan *coupling* yang maksimum. Selain itu panjang serat optik dapat mempengaruhi dari transmisi. Pada tugas akhir ini digunakan serat optik sepanjang 50 m sebagai salah satu batasan penelitian. Hasil dari perhitungan, untuk memperoleh intensitas sebesar 500 lux pada keluaran serat optik diperlukan parabola dengan panjang fokus 1,51 m dan *aperture* 1,31 m, sedangkan hasil eksperimen dengan panjang fokus dan *aperture* yang sama diperoleh intensitas kurang dari 500 lux. Ketidaksiharian antara hasil perhitungan dengan eksperimen ini dapat diakibatkan oleh kurang simetrisnya kolektor parabola yang dibuat. Hal ini dapat dilihat dari terjadinya pelebaran *spot size* berkas cahaya masukan pada serat optik.

Kata kunci-*Solar Lighting*, Kolektor, dan Serat Optik.

I. PENDAHULUAN

PENINGKATAN konsumsi energi listrik di dunia semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi, pembangunan dan lain – lain pada tiap negara. Khususnya pada negara Indonesia, telah digunakan energi listrik sebesar 258.747 GWh pada tahun 2010 yang meningkat 2 kali lipat dari tahun 2000 [1]. Diperlukan energi alternatif untuk mengurangi pemakaian energi listrik tersebut. Saat ini energi alternatif yang berkenaan dengan listrik banyak diteliti seperti penggunaan *solar cell* atau pun yang lain khususnya pada pemanfaatan pencahayaan. Adapun beberapa contoh yaitu penggunaan lampu LED (*Light Emitting Diode*), pemanfaatan jendela sebagai pencahayaan alami pada siang hari. Namun solusi tersebut

masih belum dapat mengurangi pemakaian listrik secara berarti.

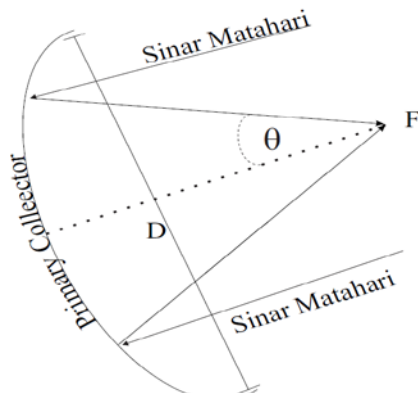
Berbagai solusi lain telah ditawarkan misalnya penggunaan *fiber optic day lighting system*[2]. Saat ini telah banyak dikembangkan penelitian lain yang berkaitan dengan *fiber optic day lighting system* dengan berbagai desain pada *collector* dan sistem transmisinya. Misalnya pada penelitian yang dilakukan oleh Couture dimana diteliti seberapa besar pengaruh 4 jenis kolektor, masing-masing dilengkapi dengan dan tanpa lensa Fresnel. Disimpulkan bahwa kolektor harus memiliki bentuk mengerucut atau memiliki fokus agar cahaya yang ditangkap agar dapat masuk dalam serat optik [3]. Selain itu penelitian telah dilakukan oleh Nugrahani dengan judul “Perancangan Sistem Transmisi Sinar Matahari Melalui Serat Optik” [4]. Pada penelitian tersebut dibahas tentang percobaan dengan menggunakan berbagai jenis *solar collector*, yakni jenis parabola, cermin datar, limas segi empat dan kerucut. Bentuk Parabola digunakan untuk *primary collector* sedangkan cermin datar, limas segi empat dan kerucut digunakan untuk *secondary collector*. Hasil transmisi daya maksimal didapatkan dengan menggunakan parabola sebagai *primary collector* dan kerucut sebagai *secondary collector*, dimana output atau intensitas yang diukur pada ujung keluaran fiber sebesar 206 lux. Namun untuk mendapatkan output atau intensitas pada serat optik yang tinggi perlu dilakukan analisa pada setiap sistem *solar lighting* itu sendiri. Salah satu masalah yang berpengaruh adalah *coupling* antara *solar collector* dengan serat optik. Dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan *coupling* antara *solar collector* dengan serat optik untuk memperoleh transmisi daya yang optimum.

II. URAIAN PENELITIAN

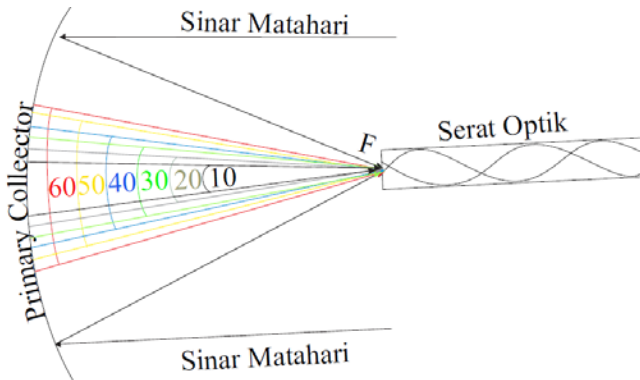
Penelitian tugas akhir ini disusun berdasarkan beberapa tahapan yaitu perancangan dengan perhitungan dan perancangan dengan eksperimen.

A. Perancangan dengan Perhitungan

Perancangan dengan perhitungan ini merupakan perancangan *solar collector* dengan bantuan software OSLO. Perancangan *solar collector* ini digunakan adalah bentuk parabola. Perancangan *solar collector* menggunakan *aperture*(d) dan panjang fokus (f) yang telah ditentukan. Kemudian perancangan tersebut disimulasikan dengan software OSLO. Dengan menggunakan perbandingan f dan d maka akan diperoleh sudut θ atau sudut yang dibentuk oleh sinar matahari di titik fokus sesuai dengan rumus berikut [5]:



Gambar. 1. Skema parameter kolektor parabola yang digunakan di dalam OSLO.



Gambar. 2. Penjalaran Sinar pada Setiap Sudut.

$$\theta = 2 \arctan \left[\frac{1}{f/d} \right] \tag{1}$$

Adapun parameter – parameter yang digunakan dalam OSLO yaitu *aperture* (d) dan panjang fokus(F) seperti Gambar 1.

Adapun spesifikasi dari serat optik yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Jenis: Solid core end glow cable
- Bahan core : Polymethyl Methacrylate Resin (PMMA)
- Bahan cladding : Fluorinated Polymer
- Bahan jacket : black PVC
- Indeks bias core : 1,49
- Diameter core : 6 mm
- Sudut penerimaan : 60°
- Loss : 0,3 dB/m

Penyesuaian spesifikasi serat optik yaitu besar numerical aperture. Penyesuaian *numerical aperture* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut [6]:

$$NA = n \sin \theta \tag{2}$$

dimana :

- NA = Numerical Aperture
- n = Indeks bias udara
- θ = Sudut penerimaan

Langkah pertama yang dilakukan adalah mendapatkan besar intensitas di titik fokus dengan menggunakan persamaan dibawah ini

$$loss(dB/m) = 10 \log \frac{I_{in}}{I_{out}} \tag{3}$$

dimana :

loss (dB/m) = besar nilai loss pada serat optik

I_{in} = Intensitas masukan

I_{out} = Intensitas keluaran

Data intensitas keluaran sebesar 153 lux. Data tersebut diambil dari penelitian Nugrahani dengan panjang fokus kolektor sebesar 46 cm. Kemudian mencari besar sudut dengan menggunakan NA sebesar 0.866, 0.766, 0.6428, 0.5, 0.342, dan 0.1736 dengan panjang fokus 46 cm. Setelah nilai *aperture* diperoleh dilakukan perhitungan untuk memperoleh intensitas pada masing – masing NA. Adapun perhitungan perbandingan tersebut dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut

$$\frac{d_x}{d_o} = \frac{I_x}{I_o} \tag{4}$$

dimana :

d_x = Aperture surface x

d_o = Aperture surface awal

I_x = Intensitas x

I_o = Intensitas awal

Setelah memperoleh nilai intensitas awal di masing – masing NA maka dilakukan perancangan dengan mengubah parameter *aperture*(d) dan panjang fokus (f) di masing – masing sudut θ menggunakan perbandingan geometrik seperti Gambar 2.

Kemudian dilakukan perhitungan kembali agar mendapatkan intensitas di titik fokus pada setiap sudutnya. Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan analogi perbandingan antara panjang fokus dengan intensitas seperti persamaan berikut.

$$\frac{f_x}{f_o} = \frac{I_{xn}}{I_o} \tag{5}$$

dimana :

f_x = Panjang fokus surface x

f_o = Panjang fokus surface awal

I_{xn} = Intensitas xn

I_o = Intensitas awal

Setelah mendapatkan intensitas dari persamaan (5) maka dilakukan kembali perhitungan dengan menggunakan persamaan (3) dengan intensitas masukan serat optik (I_{in}) sama dengan intensitas xn.

B. Perancangan dengan Eksperimen

Perancangan dengan eksperimen ini merupakan hasil rancangan dari perhitungan yang direalisasikan dengan menentukan *aperture* (d) dan panjang fokus (f) yang telah memenuhi SNI. Perancangan dengan eksperimen ini dilakukan 3 pengambilan data yaitu pengambilan data pada intensitas matahari, intensitas di titik fokus dan intensitas keluaran serat optik.

III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan dengan Perhitungan

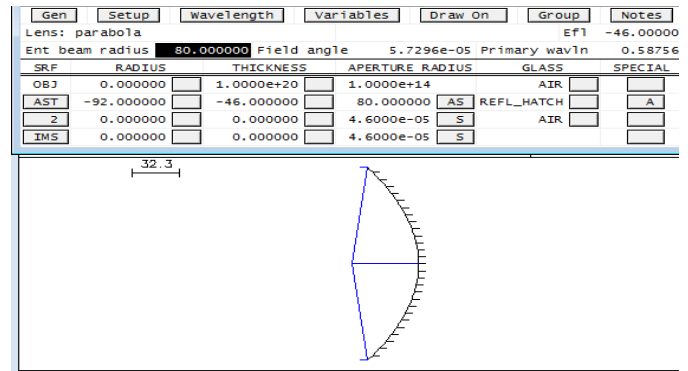
Perancangan dengan perhitungan ini merupakan perancangan kolektor parabola dengan mengubah parameter panjang fokus dan *aperture*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar sudut berkas cahaya yang dipantulkan oleh kolektor pada muka serat optik atau sudut θ .

Sesuai Gambar 3 parameter yang digunakan adalah efl atau titik fokus sebesar -46 cm. Nilai tersebut dimaksudkan bahwa titik fokus berada pada jarak 46 cm dan angka negatif merupakan letak titik fokus tersebut berada di sebelah kiri sumbu x . Hal ini terjadi karena sinar datang pada software OSLO berasal dari sumbu $-x$ atau berasal dari sumbu negatif. Kemudian parameter kedua adalah *aperture*. Nilai *Aperture* tersebut sebesar 80 cm dan diletakkan pada *surface* kedua dalam OSLO disebut *aperture stop* (AST). *Aperture stop* yaitu letak dimana sinar cahaya tersebut akan berakhir atau berhenti sehingga *surface* kedua ini berfungsi sebagai letak dimana sinar tersebut akan dipantulkan dan difokuskan. Setelah kedua parameter tersebut sesuai selanjutnya dilakukan perubahan *numerical aperture* serat optik seperti Gambar 4.

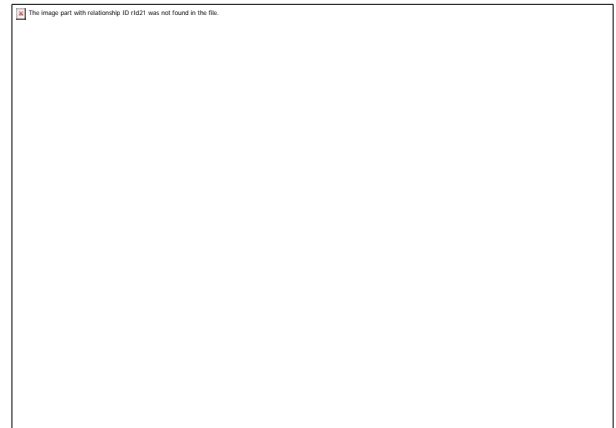
Pada Gambar 4 dapat dilihat parameter yang diubah adalah parameter *numerical aperture*. Nilai parameter tersebut sebesar $0,866$. Angka ini diperoleh dari hasil perhitungan pada persamaan 2 dimana syarat sinar matahari yang dipantulkan dapat masuk secara maksimal pada serat optik harus membentuk sudut 60° . Dengan menggunakan parameter NA, sinar yang dapat masuk secara maksimal hanya sebesar $39,836$ cm. Nilai tersebut terlihat pada kolom *aperture* di *surface* kedua. Sehingga dengan menggunakan panjang fokus 46 cm dan *aperture* sebesar 80 cm, sinar yang dipantulkan dan difokuskan tidak sepenuhnya masuk atau diterima oleh serat optik (sesuai spesifikasi $\theta \leq 60^\circ$) melainkan sebagian sinar keluar atau tidak diterima. Hal tersebut terjadi karena sinar tersebut membentuk sudut θ sebesar $\geq 60^\circ$ dengan menggunakan perhitungan geometri. Dapat disimpulkan bahwa desain sistem optik tersebut masih perlu diperbaiki dalam hal bentuk (kelengkungan) dari kolektor.

Setelah melakukan perbandingan geometri untuk mencari sudut yang dibentuk kemudian mencari intensitas pada titik fokus. Besar nilai intensitas keluaran pada serat optik telah ditentukan sebelumnya sebesar 153 lux. Dengan menggunakan persamaan 3 intensitas yang masuk pada serat optik sebesar $4838,284$ lux. Seharusnya sinar yang masuk lebih besar dua kali lipat yaitu ± 9676 lux. Hal ini terjadi karena sebagian tidak masuk pada serat optik atau sinar – sinar tersebut tidak membentuk sudut 60° melainkan lebih seperti Gambar 5. Setelah mengetahui besar intensitas yang diperoleh, dilakukan perhitungan besar intensitas kurang dari sama dengan sudut 60° .

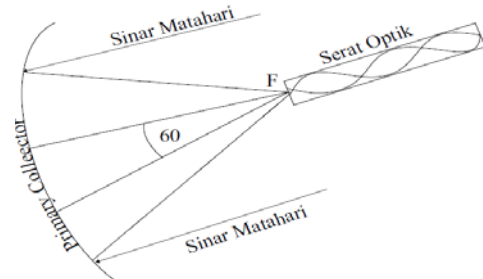
Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin kecil sudut yang dibentuk maka intensitas yang dapat masuk semakin kecil pula. Dalam gambar tersebut terlihat polanya dari kanan ke kiri besar intensitas semakin kecil. Pada sudut 60° intensitas yang dihasilkan adalah $4838,384$ lux dan besar *aperture* $39,836$ cm. Pada sudut 50° besar intensitas lebih kecil daripada sudut 60° yaitu sebesar $\pm 3909,455286$ lux atau besar *aperture* yang dibentuk adalah $30,64$ cm.



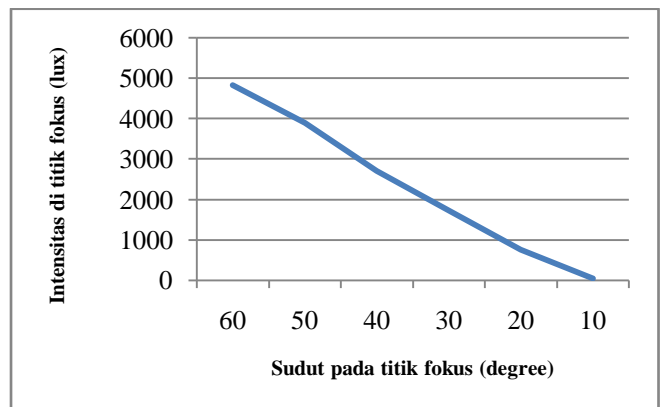
Gambar. 3. Parameter – parameter yang digunakan dalam OSLO.



Gambar. 4. Penyesuaian *numerical aperture* serat optik.

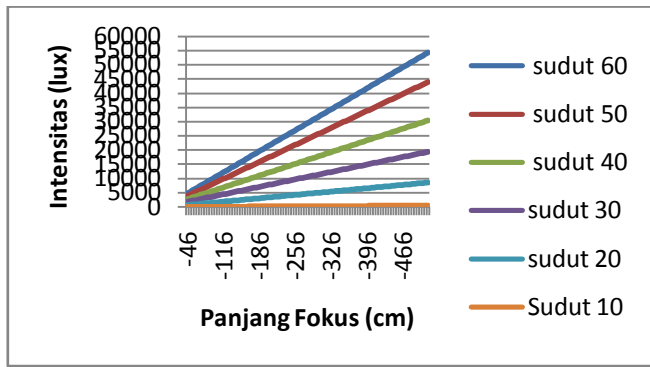


Gambar. 5. Penjalaran sinar yang membentuk sudut 60° .



Gambar. 6. Grafik hubungan intensitas dengan sudut pada panjang fokus sebesar 46 cm.

Kemudian pada sudut 40° pun besar intensitasnya semakin kecil yaitu $2707,307$ lux dan *aperture* sebesar $25,72$ cm. Dapat disimpulkan bahwa *aperture* sebanding dengan intensitas dan sudut. Hal ini dibuktikan dengan semakin besar *aperture* maka semakin besar pula intensitas yang dihasilkan dan semakin kecil sudut yang dibentuk maka nilai dari *aperture* akan semakin kecil.



Gambar. 7. Grafik hubungan intensitas dengan panjang fokus pada setiap sudut.

Tabel 1.

Pengukuran intensitas cahaya matahari dengan intensitas cahaya pada fokus parabola.

	29 Juni 2013		30 Juni 2013		01 Juli 2013	
	Intensitas Matahari (lux)	Intensitas di Fokus Parabola (lux)	Intensitas Matahari (lux)	Intensitas di Fokus Parabola (lux)	Intensitas Matahari (lux)	Intensitas di Fokus Parabola (lux)
10:00	90800	192500	89000	190100	58100	123800
11:00	99500	198000	86100	189300	21700	42000
12:00	94900	193200	52200	99800	11200	21000
13:00	95700	194800	4700	9600	5100	9900
14:00	2600	5400	3200	6500	3800	7500

Tabel 2.

Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari dengan Intensitas Cahaya pada Fokus Parabola 06-07 Juli 2013.

	06 Juli 2013		07 Juli 2013	
	Intensitas Matahari (lux)	Intensitas di Fokus Parabola (lux)	Intensitas Matahari (lux)	Intensitas di Fokus Parabola (lux)
10:00	73400	183200	89800	192000
11:00	95200	197300	91000	193000
12:00	80000	188000	72200	181100
13:00	71500	182000	65000	154000
14:00	23200	47000	15100	30300

Tabel 3.

Besar Intensitas Keluaran Serat Optik

	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
29 Juni 2013	244,7 lux	268,5 lux	268,8 lux	268,8 lux	11,7 lux
30 Juni 2013	233,4 lux	233,2 lux	148,9 lux	52 lux	25,6 lux
01 Juli 2013	151 lux	119,9 lux	73 lux	52,6 lux	39,3 lux
06 Juli 2013	227,4 lux	266 lux	230,7 lux	213,6 lux	126,8 lux
07 Juli 2013	237 lux	247,4 lux	208,2 lux	183,4 lux	109,5 lux

Perubahan kelengkungan parabola ini merupakan perancangan desain kolektor parabola agar sinar matahari yang datang dan dipantulkan akan membentuk sudut $\leq 60^\circ$ sesuai dengan spesifikasi dari serat optik. Sesuai dengan persamaan 1 sudut tersebut dapat diatur dengan mengubah

tingkat kelengkungan dari parabola itu sendiri. Perubahan kelengkungan dapat dilakukan dengan perbandingan rasio antara panjang fokus dengan *aperture*. Perubahan kelengkungan ini dilakukan dengan acuan sinar yang dibentuk sudut $\leq 60^\circ$.

Perubahan kelengkungan ini dilakukan dengan mengubah besar *aperture* dan panjang fokus agar mendapatkan intensitas ≥ 16000 lux. Perubahan tersebut dilakukan agar sinar yang terbentuk pada titik fokus yaitu $60^\circ, 50^\circ, 40^\circ, 30^\circ, 20^\circ$ dan 10° . Untuk sudut 60° perbandingan rasio antara panjang fokus dengan *aperture* sebesar 1,1547. Kemudian untuk sudut 50° atau perbandingan antara panjang fokus dengan *aperture* sebesar 1.31. Untuk sudut sebesar 40° atau perbandingan antara panjang fokus dengan *aperture* adalah 1.56. Untuk sudut sebesar 30° atau perbandingan antara panjang fokus dengan *aperture* adalah 2,00. Untuk sudut sebesar 20° atau perbandingan antara panjang fokus dengan *aperture* adalah 2,92. Dan untuk sudut sebesar 10° atau perbandingan antara panjang fokus dengan *aperture* adalah 5,76.

Hasil intensitas pada Gambar 7 tersebut diperoleh dengan menghitung menggunakan perbandingan sesuai dengan persamaan 5. Pada gambar diatas fokus bernilai negatif karena didalam software OSLO sinar datang dari arah sumbu negatif sehingga pada saat sinar tersebut mengenai kolektor akan dipantulkan dan difokuskan pada sumbu negatif juga. Pada Gambar 7 grafik tersebut linier naik ke atas karena semakin besar titik fokus maka semakin besar intensitas yang dihasilkan. Jika diamati pada Gambar 7. tersebut intensitas ≥ 16000 lux pada sudut 60° memiliki *aperture* lebih besar dari 130.766cm dan panjang fokus lebih dari -151 cm. Kemudian untuk sudut 50° berada pada panjang fokus -191 cm dan *aperture* sebesar 146.306cm. Untuk sudut 40° berada pada panjang fokus -271 cm dan *aperture* sebesar 174.1988cm. Dan untuk sudut 30° berada pada panjang fokus -421 cm dan *aperture* sebesar 210,5 cm. Namun untuk sudut 20° dan 10° nilai intensitas kurang dari 16000 lux untuk rentang panjang fokus 5 meter. Namun intensitas 16000 lux akan didapat apabila panjang fokus lebih dari 5 meter. Dari beberapa hasil yang diperoleh dengan mengubah perbandingan antara panjang fokus dengan diameter (*aperture*), didapatkan desain sistem yang optimal yaitu memiliki panjang sistem yang pendek, permukaan yang luas dan dapat menghasilkan intensitas pada titik fokus ≥ 16000 lux. Desain tersebut adalah desain dengan sudut yang dibentuk pada titik fokus sebesar 60° yang memiliki panjang fokus 1,51 m dan *aperture* 1,3m.

B. Perancangan dengan Eksperimen

Perancangan dengan eksperimen merupakan perancangan kolektor parabola dengan parameter *aperture* (D) dan panjang fokus (f) yang maksimal dan diperoleh dari perhitungan. Rancangan yang digunakan adalah panjang fokus 1,51 m dan *aperture* atau diameter 1,3 m.

Dengan melakukan pengukuran intensitas matahari, intensitas pada titik fokus dan intensitas keluaran serat optik yang dimulai pukul 10:00 sampai 15:00 dapat dilihat pada Tabel 1, 2 dan 3. Pada Tabel 1 dan 2 terlihat bahwa intensitas matahari mengalami kenaikan 2 kali lipat dititik fokus. Hal tersebut akibat luasan parabola yang menerima intensitas matahari kemudian sinar matahari difokuskan pada luasan yang lebih kecil sehingga intensitas tersebut naik. Kemudian dilakukan persentase antara besar intensitas di titik fokus dengan intensitas yang pada keluaran serat optik seperti Tabel 4.

Tabel 4.
 Persentase *Coupling* antara Intensitas di Titik Fokus dengan Intensitas
 Keluaran Serat Optik.

	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
29 Juni 2013	0,1271%	0,1361%	0,1391%	0,138%	0,2167%
30 Juni 2013	0,1288%	0,1232%	0,1492%	0,5427%	0,3938%
01 Juli 2013	0,1219%	0,2854%	0,316%	0,5313%	0,524%
06 Juli 2013	0,1241%	0,1348%	0,1227%	0,1174%	0,2698%
07 Juli 2013	0,1234%	0,2719%	0,2884%	0,2822%	0,3614%

Pada Tabel 4.dapat dilihat bahwa cahaya tidak dapat ditransmisikan dengan baik. Dalam perhitungan cahaya seharusnya dapat ditransmisikan secara maksimal.Namun hal tersebut terjadi akibat pada pembuatan parabola yang kurang tepat atau simetris. Hal ini dapat dilihat pada perhitungan dengan menggunakan software OSLO spot size kurang dari diameter *core* yaitu sebesar $4,13 \times 10^{-3}$ mm sedangkan dalam eksperimen lebih besar dari diameter *core*.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Telah dilakukan perancangan sistem pencahayaan alami dengan serat optik dengan menggunakan 1 kolektor parabola dan 1 serat optik jenis end glow sepanjang 50 m.
2. Dari hasil perhitungan dapat diperoleh kolektor parabola dengan panjang fokus 1,51 m dan aperture radius atau diameter 1,30 m yang dapat memenuhi kriteria SNI yaitu intensitas keluaran serat optik sebesar 500 lux.
3. Pada percobaan diperoleh persentase coupling rata – rat 0,2% sehingga sistem coupling cahaya tidak dapat berfungsi secara penuh. Hal ini diakibatkan oleh bentuk parabola yang kurang simetris sehingga diameter spot size berkas lebih besar daripada diameter core.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djojonegoro, W. (1992). *Pengembangan dan penerapan energi baru dan terbarukan, Lokakarya "Bio Mature Unit" (BMU) untuk pengembangan masyarakat pedesaan*. Jakarta: BPPT.
- [2] Werring, C. G. (2009). *Design And Application Of Fiber Optic Daylighting Systems*.
- [3] Couture, P., Mostefa, M., & Al-Azzawi, A. (2008). *Designs of Solar Collector for Hybrid Fiber Optic Lighting System. IEEE*.
- [4] Nugrahani, E. F. (2012). *Perancangan Sistem Transmisi Cahaya Matahari Melalui Serat Optik Untuk Pencahayaan Ruangan*.
- [5] Stine, W. B. (2003). *Power from the Sun*. Retrieved Maret 12, 2012, from www.powerfromthesun.net: www.powerfromthesun.net/Book/chapter08/chapter00.html.
- [6] Keiser, G. (1991). *Optical Fiber Communication*. Singapore: McGraw-Hill Book.