

Fabrikasi dan Karakterisasi *Directional Coupler* Konfigurasi 3×3 Planar Berbahan Serat Optik Plastik *Step-Index* Moda Jamak Tipe FD-620-10

Mohammad Ainul Yaqin dan Gontjang Prajitno
Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: gontjang@physics.its.ac.id

Abstrak—Fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar berbahan serat optik plastik *step index* moda jamak tipe FD-620-10 telah dilakukan dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm dan 65 mm menggunakan pendekatan metode *Fused Biconical Tapered (FBT)* yang menghasilkan karakteristik yang berbeda. Hasil karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar menggunakan BF5R-D1-N menunjukkan bahwa semakin besar panjang kupasan maka semakin besar rugi daya dan semakin kecil intensitas cahaya yang diteruskan. Pada *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dengan panjang kupasan 60 mm dan input pada Port B1 didapatkan nilai CR = 0.34 : 0.31 : 0.35 ; Le = -3.59 dB; Lins = -8.24 dB, -8.67 dB, -8.19 dB; dan D = -13.33 dB, -13.43 dB. Piranti ini paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

Kata Kunci—*directional coupler* konfigurasi 3×3 planar, fabrikasi, karakterisasi.

I. PENDAHULUAN

COUPLER merupakan piranti optik pasif yang berfungsi sebagai penggabung dua atau lebih panjang gelombang atau sinyal ke dalam serat optik tunggal serta memecah/membagi sinyal menjadi dua atau lebih. *Directional coupler* adalah termasuk *coupler* yang paling dikembangkan. Terdapat beberapa metode pembuatan *directional coupler* berbahan serat optik plastik yang digunakan sebagai piranti komunikasi jarak pendek. Metode yang ada untuk mengembangkan *coupler* adalah metode *fused coupler*, salah satu teknik pembuatan *coupler* yang paling terkenal. Proses pembuatannya sederhana dimana dua serat optik didekatkan dan ditempelkan dengan panjang kopling tertentu dan dipadukan pada daerah kopling tersebut [1].

Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 2×2 telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Diantaranya yaitu *directional coupler* dari bahan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-320-05 (200/500 μm) telah dilakukan dengan metode *Fused Biconical Tapered* yang digunakan untuk pembagi daya (*power divider*). *Directional coupler* yang dihasilkan memiliki *coupling ratio* 0,31 pada panjang interaksi kopling antar serat optik 25 mm [2].

Penelitian berikutnya yaitu fabrikasi *directional coupler* pada bahan serat optik plastik *step index multimode* tipe FD-620-10 (950/1000 μm) yang mudah diperoleh di pasaran dengan panjang kopling lebih besar dari 25 mm

diperoleh nilai *coupling ratio* 0,498 yang sesuai untuk piranti pembagi daya (*power divider*) [3]. Rahayu dan Yudoyono [4] melanjutkan penelitian Hariyanto memfabrikasi *directional coupler* dan *double coupler* dengan bahan yang sama namun dengan panjang kopling yang berbeda. Dihilangkan *directional coupler* dan *double coupler* yang memenuhi standar fabrikasi, yaitu dengan nilai *coupling ratio* 0,491 pada *directional coupler* dan 0.492 pada *double coupler* dengan panjang kopling 34 mm.

Sementara *directional coupler* konfigurasi 3×3 masih jarang difabrikasi oleh peneliti-peneliti Indonesia. Padahal sudah banyak difabrikasi dan dimanfaatkan oleh peneliti luar negeri. Misalnya yang telah dilakukan oleh Sun yaitu memfabrikasi *directional coupler* serat optik 3×3 [5], dan juga fabrikasi interferometer serat optik dengan *directional coupler* 3×3 [6], serta fabrikasi interferometer menggunakan *coupler* 3×3 dan cermin Faraday [7].

Tulisan ini melaporkan hasil fabrikasi dan karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar menggunakan bahan serat optik plastik *step index* moda jamak tipe FD-620-10 dengan metode *Fused Biconical Tapered (FBT)* pada variasi panjang kupasan yaitu 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm, dan 65 mm.

Untuk memahami sifat-sifat umum *directional coupler fiber* 3×3, dimulai dari persamaan moda terkopel sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dz} = j\beta_1 A + j\kappa_{21} B + j\kappa_{31} C, \quad (1)$$

$$\frac{dB}{dz} = j\beta_2 B + j\kappa_{32} C + j\kappa_{12} A, \quad (2)$$

$$\frac{dC}{dz} = j\beta_3 C + j\kappa_{13} A + j\kappa_{23} B, \quad (3)$$

dimana A, B, C adalah amplitudo medan optik dengan masing-masing tetapan propagasinya $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Sedangkan κ_{ij} adalah koefisien kopling. Dalam kasus pandu gelombang tanpa rugi daya, berlaku kekekalan energi, $AA^* + BB^* + CC^* = \text{Konstan}$, berdasarkan hubungan $\kappa_{12} = \kappa_{21}^*$, $\kappa_{23} = \kappa_{32}^*$, $\kappa_{31} = \kappa_{13}^*$. Kebanyakan *coupler* 3×3 dalam prakteknya terbuat dari 3 serat optik identik dengan indeks bias efektif n_{eff} sama. Sehingga persamaan kopling disederhanakan menjadi:

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = j \begin{pmatrix} \beta & \kappa_{12}^* & \kappa_{31} \\ \kappa_{12} & \beta & \kappa_{23}^* \\ \kappa_{31}^* & \kappa_{23} & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \quad (4)$$

Persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan solusi percobaan dalam bentuk $\propto \exp(j\gamma z)$ dengan konstanta propagasi gabungan γ , yang ditentukan dari persamaan nilai eigen:

$$\begin{pmatrix} \beta - \gamma & \kappa_{12}^* & \kappa_{31} \\ \kappa_{12} & \beta - \gamma & \kappa_{23}^* \\ \kappa_{31}^* & \kappa_{23} & \beta - \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = 0. \quad (5)$$

Untuk memastikan solusi agar tidak bernilai nol maka determinannya harus sama dengan nol, menghasilkan persamaan:

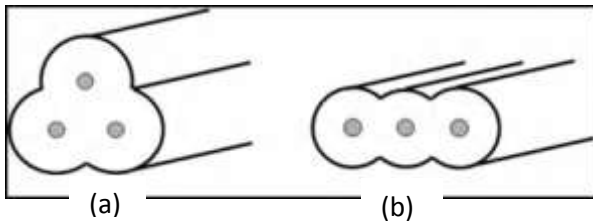
$$x^3 - 3p^2x - 2q^3 = 0 \quad (6)$$

dimana $x = \gamma - \beta$, $3p^2 = |\kappa_{12}|^2 + |\kappa_{23}|^2 + |\kappa_{31}|^2$, dan $2q^3 = \kappa_{12}^*\kappa_{23}\kappa_{31} + \kappa_{12}\kappa_{23}^*\kappa_{31}$. Bentuk terakhir juga dapat ditulis $2q^3 = 2|\kappa_{12}\kappa_{23}\kappa_{31}| \cos(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)$ dengan fase ϕ_i masing-masing koefisien kopling dalam bentuk kompleks. Solusi yang diperoleh yaitu:

$$\gamma_n = \beta - 2p \cos \left[\frac{2(n-1)\pi}{3} + \frac{\theta}{3} \right] \quad (n = 1, 2, 3), \quad (7)$$

dengan $\theta = \cos^{-1}(-q^3/p^3)$. Karakteristik transmisi diberikan jika koefisien kopling diketahui [8].

Coupler 3x3 lebih rumit daripada *coupler* 2x2 karena terdapat lebih banyak parameter geometri dan parameter fisika yang mempengaruhi karakteristiknya. Pada proses fabrikasi *coupler* 3x3, terdapat 2 tipe struktur yang sering digunakan, yaitu konfigurasi segitiga dan konfigurasi planar seperti ditunjukkan secara skematis pada Gambar 1.



Gambar 1. Dua tipe konfigurasi *coupler* 3x3: (a) segitiga dan (b) planar [8].

Untuk *coupler* 3x3 tipe konfigurasi planar, diasumsikan bahwa tidak terjadi kopling antar-kedua pandu gelombang tepi (kanan-kiri). Sekarang persamaan moda terkopel ditulis sebagai:

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = j \begin{pmatrix} \beta & \kappa_{12}^* & 0 \\ \kappa_{12} & \beta & \kappa_{23}^* \\ 0 & \kappa_{23} & \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \quad (8)$$

dengan solusi percobaan dalam bentuk $\propto \exp(jyz)$ diperoleh persamaan nilai eigen:

$$x^3 - (|\kappa_1|^2 + |\kappa_2|^2)x = 0. \quad (9)$$

Konstanta propagasi gabungan menjadi:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \beta, \\ \gamma_{2,3} &= \beta \pm \kappa, \end{aligned} \quad (10)$$

dimana $\kappa = \sqrt{|\kappa_1|^2 + |\kappa_2|^2}$. Substitusi nilai eigen ke dalam persamaan (8), diperoleh persamaan transmisi sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \cos \kappa z + 1 & j\sqrt{2} \sin \kappa z & \cos \kappa z - 1 \\ j\sqrt{2} \sin \kappa z & \sqrt{2} \cos \kappa z & j\sqrt{2} \sin \kappa z \\ \cos \kappa z - 1 & j\sqrt{2} \sin \kappa z & \cos \kappa z + 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Sebuah kasus khusus dimana faktor fase kopling memenuhi $\cos \kappa l = 1$, membuat persamaan transmisi menjadi matriks identitas 3x3. Kegunaan lain dari *coupler* planar 3x3 adalah sebagai piranti yang panjang kopling l_c dan koefisien koplingnya diatur untuk memenuhi $\cos \kappa l = 0$, dan matriks transmisinya ditulis sebagai:

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & j\sqrt{2} & -1 \\ j\sqrt{2} & 0 & j\sqrt{2} \\ -1 & j\sqrt{2} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Persamaan (12) tersebut menunjukkan bahwa ketika sinyal optik masukan diberikan pada port tengah *coupler*, tidak ada sinyal yang terdeteksi pada port keluaran tengah, sedangkan pada kedua port keluaran samping (kanan & kiri) diperoleh sinyal yang sama besar dan dalam satu fase [8].

Parameter-parameter pokok dalam piranti *directional coupler* optik antara lain:

1. *Splitting ratio* atau *Coupling ratio* (CR), yaitu proporsi daya masukan pada masing-masing keluaran. Jika daya masukan diberikan pada Port B1, nilai CR diperoleh dari saluran keluaran, yaitu Port A2, Port B2, dan Port C2 dengan menggunakan persamaan berikut [9]:

$$CR = \frac{P_{A2}}{(P_{C2} + P_{B2} + P_{A2})} = \frac{P_{C2}}{(P_{C2} + P_{B2} + P_{A2})} \quad (13)$$

2. *Insertion loss*, (L_{ins}) atau *port-to-port loss*, yaitu rugi sisipan yang terjadi karena daya dari saluran masukan *coupler* serat optik terdistribusi di antara saluran keluaran. *Insertion loss* diukur sebagai perbandingan daya keluaran tunggal terhadap daya masukannya.

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{port\ keluaran}}{P_{port\ masukan}} \right) \text{ dB} \quad (14)$$

Sebagai contoh, *Insertion loss* pada Port B2 adalah:

$$L_{ins} = 10 \log \left(\frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right) \text{ dB} \quad (15)$$

Selanjutnya rumus ini menunjukkan *Insertion loss* pada Port B2 atau *port-to-port loss* antara Port B1 ke Port B2 [9].

3. *Excess loss* (L_e), adalah rugi daya total. Jika 10 mW masuk ke dalam perangkat dan hanya 9 mW yang keluar, maka yang 1 mW dinyatakan sebagai rugi daya. Energi cahaya terhambur dan diserap di dalam *coupler* dan tidak didapatkan di saluran keluaran. Pada kasus *coupler* 3x3, daya keluaran merupakan penjumlahan dari Port A2, B2 dan C2 sedangkan daya masukan pada Port B1. Sehingga *Excess loss* dinyatakan sebagai:

$$L_e = 10 \log \left(\frac{\sum P_j}{P_i} \right) \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{P_{A2} + P_{B2} + P_{C2}}{P_{B1}} \right) \text{ dB} \quad (16)$$

Dengan P_j adalah daya keluaran dan P_i adalah daya masukan [9].

4. *Direktivitas* (*directivity*) atau *Crosstalk*. Ketika daya masukan diberikan pada Port B1 maka daya keluaran akan terdeteksi pada Port A2, B2 dan C2 bukan pada Port A1 dan C1 yang merupakan Port masukan lainnya. Sayangnya, oleh karena hamburan balik di dalam *coupler*, beberapa energi dipantulkan balik dan terdeteksi di Port A1 dan Port C1. Hamburan balik ini sangat sedikit dan disebut *direktivitas* (*Directivity*) atau *crosstalk*. *Direktivitas* dari *coupler* optik diukur antar port-port masukan *directional coupler* [9].

$$D = C_t = 10 \log \frac{P_{A1}}{P_{B1}} \text{ dB} = 10 \log \frac{P_{C1}}{P_{B1}} \text{ dB} \quad (17)$$

II. METODE

A. Tahap Fabrikasi

Prosedur fabrikasi *directional coupler* mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tahap Pemotongan & Pengupasan *Coating* dan *Cladding*

Serat optik dipotong menggunakan alat pemotong fiber dengan panjang 20 cm sebanyak 3 buah. Untuk memudahkan identifikasi, ketiga serat optik tersebut diberi label A, B, dan C. Serat optik B diletakkan ditengah dan diapit oleh serat optik A dan serat optik C.

Dengan bantuan alat pengupas yang telah dibuat, serat optik yang akan dikupas ditempatkan di tengah-tengah bagian alat tersebut dan ditempelkan selotip agar tidak geser. Selanjutnya serat optik dikupas dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm menggunakan *cutter* yang tajam.

2. Tahap Pemolesan

Pada tahap ini, serat optik diletakkan pada alat pemoles dengan bagian yang terkupas menghadap ke atas. Seperti pada tahap sebelumnya, serat optik harus pada keadaan lurus dan sejajar. Kemudian dengan menggunakan ampelas serat optik digosok searah. Ampelas yang digunakan yaitu dengan mesh 400, 1200, 1500 dan 2000. Hal ini dilakukan agar seluruh serat optik yang dipoles mempunyai permukaan yang rata dan ketebalan yang sama. Kemudian ujung-ujung serat optik diratakan menggunakan ampelas dengan cara digosok membentuk angka delapan. Hal ini dilakukan agar seluruh permukaan rata. Selanjutnya di bersihkan menggunakan alkohol 70 % dan dikeringkan.

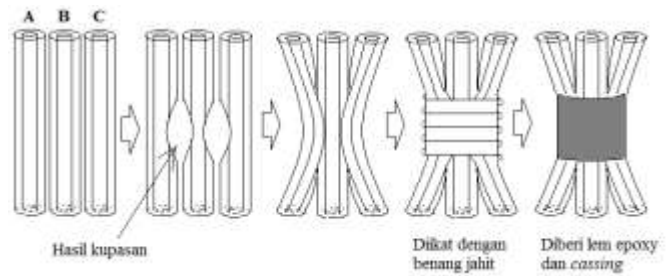
3. Tahap Penggandengan

Tahap ini merupakan tahapan terakhir pembuatan *directional coupler*. Penggandengan dilakukan dengan cara menggandeng ketiga serat optik pada bagian yang telah dipoles dengan mengikatnya menggunakan benang jahit, kemudian lilitan benang tersebut direkatkan menggunakan lem epoxy. Pada tahap ini harus dilakukan dengan perlahan dan diusahakan ketiga bagian serat optik yang telah dipoles benar-benar *matching* agar dihasilkan penggandengan yang baik. Agar tidak mengalami pergeseran dalam penggunaannya, *directional coupler* yang dihasilkan diberi pelindung (*casing*) yang pemanen. Pada penelitian ini *directional coupler* dimasukkan ke dalam pipa kecil (selongsong bekas spidol). Tahap penggandengan dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan desain hasil fabrikasi *directional coupler* diperlihatkan pada Gambar 3.

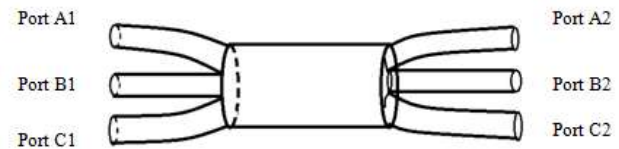
B. Tahap Karakterisasi

Karakterisasi *directional coupler* hasil fabrikasi menggunakan BF5R-D1-N. Karakterisasi ini bertujuan untuk memperoleh nilai *coupling ratio* (CR), *crossstalk* (Ct) atau *directivity* (D), *excess loss* (Le) dan *insertion loss* (Lins). Sensor ini merupakan sensor khusus untuk menganalisis daya keluaran yang diterima dari fiber optik. Pada karakterisasi ini digunakan dua buah BF5R-D1-N, yang pertama sebagai sumber cahaya dan yang kedua sebagai fotodetektor[10].

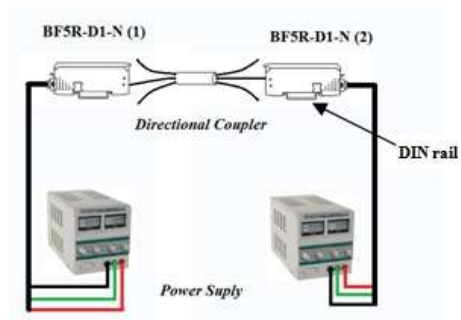
Set up alat untuk karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N



Gambar 2. Tahap penggandengan *directional coupler*



Gambar 3. Desain hasil fabrikasi *directional coupler*



Gambar 4. *Set up* alat pada proses karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N pada *directional coupler*

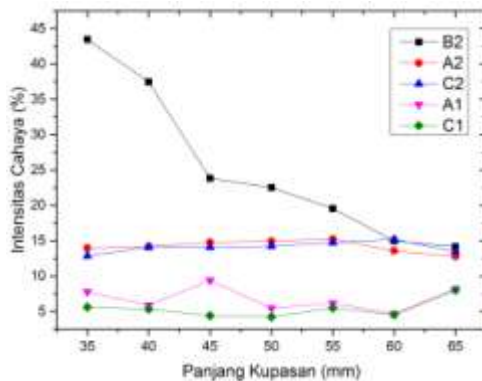
ditunjukkan pada Gambar 4. Kedua BF5R-D1-N diletakkan di atas *DIN rail* agar bisa berdiri tegak dan sejajar antarkeduanya. Sumber tegangan DC dari *power supply* yang digunakan pada kedua BF5R-D1-N adalah sebesar 13 Volt, nilai ini berada di rentang tegangan kerja BF5R-D1-N yaitu 12-24 Volt DC. Untuk mengetahui karakteristik dari *directional coupler* yang telah di fabrikasi, dilakukan pengukuran menggunakan BF5R-D1-N pada masing- masing port keluaran sebanyak 20 kali pengulangan. Setiap 5 kali pengambilan data, BF5R-D1-N dimatikan dan dihidupkan kembali setelah ± 1 menit, hal ini dilakukan agar data yang diperoleh lebih akurat karena BF5R-D1-N sensitif terhadap panas, jika digunakan dalam jangka waktu yang lama akan panas dan data yang ditampilkan tidak stabil dan intensitas cahaya yang terdeteksi cenderung menurun. Untuk setiap panjang kupasan, BF5R-D1-N yang digunakan sebagai sumber cahaya dipasang di Port masukan B1, A1 dan C1 secara bergantian, sementara BF5R-D1-N yang digunakan sebagai detektor dipasang di Port lainnya untuk mendeteksi cahaya yang diteruskan dan cahaya yang balik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

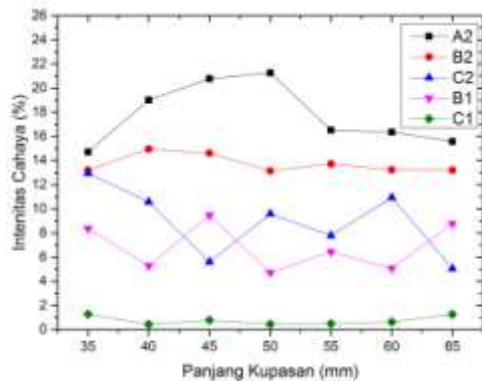
Hasil fabrikasi *directional coupler* serat optik konfigurasi 3×3 planar diperlihatkan pada Gambar 5. Pada proses karakterisasi, digunakan BF5R-D1-N (1) sebagai *input* dan BF5R-D1-N (2) sebagai *output*.



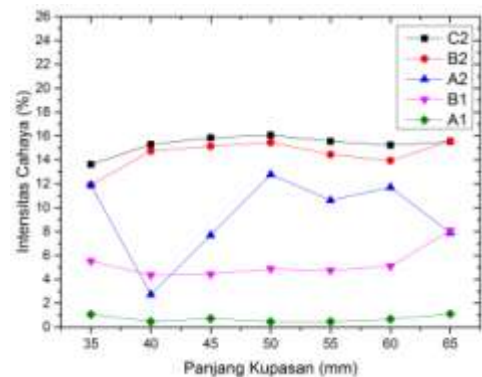
Gambar 5. Hasil Fabrikasi *directional coupler* Konfigurasi 3x3 Planar dengan Panjang Kupasan Berturut-turut 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 55 mm, 60 mm dan 65 mm.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port B1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 7. Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port A1 sebagai Sinyal *Input*



Gambar 8. Grafik Pengaruh Panjang Kupasan terhadap Prosentase Intensitas Cahaya Pada Tiap *Output* dengan Port C1 sebagai Sinyal *Input*

Sinyal input dari BF5R-D1-N diberikan pada Port B1, A1 dan C1 secara bergantian, sementara sinyal *output* pada tiap Port dikarakterisasi oleh BF5R-D1-N (2). Selama proses karakterisasi, *display* sensor BF5R-D1-N (2) menampilkan nilai intensitas cahaya yang diterima pada *output* tiap port, dan dilakukan pengambilan data sebanyak 20 kali. Nilai rata-rata intensitas cahaya *output* dikonversi menjadi prosentase terhadap intensitas cahaya *input* dan disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.

Kemudian untuk mengetahui nilai parameter *directional coupler* berdasarkan persamaan (13), (14), (16), dan (17), dilakukan perhitungan yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 1-7.

TABEL 1. KARAKTERISTIK *DIRECTIONAL COUPLER* DENGAN PANJANG KUPASAN 35 MM

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.62	-3.62	-1.53	-11.09
	0.20	-8.55		-12.50
	0.18	-8.91		
A1	0.36	-8.32	-3.89	-10.77
	0.32	-8.80		-18.97
	0.32	-8.88		
C1	0.36	-8.66	-4.27	-12.58
	0.32	-9.24		-19.72
	0.32	-9.25		

TABEL 2. KARAKTERISTIK *DIRECTIONAL COUPLER* DENGAN PANJANG KUPASAN 40 MM

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.57	-4.26	-1.82	-12.29
	0.22	-8.48		-12.72
	0.21	-8.52		
A1	0.43	-7.21	-3.51	12.78
	0.34	-8.26		23.64
	0.24	-9.76		
C1	0.47	-8.15	-4.84	13.61
	0.45	-8.31		23.36
	0.08	-15.65		

TABEL 3. KARAKTERISTIK *DIRECTIONAL COUPLER* DENGAN PANJANG KUPASAN 45 MM

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.45	-6.23	-2.78	-10.28
	0.28	-8.30		-13.55
	0.27	-8.51		
A1	0.51	-6.82	-3.87	-10.24
	0.36	-8.35		-21.09

	0.14	-12.51		
C1	0.41	-8.00	-4.12	-13.56
	0.39	-8.20		-21.42
	0.20	-11.14		

TABEL 4. KARAKTERISTIK *DIRECTIONAL COUPLER* DENGAN PANJANG KUPASAN 50 MM

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.44	-6.47	-2.86	-12.65
	0.29	-8.26		-13.73
	0.28	-8.46		
A1	0.48	-6.72	-3.57	-13.26
	0.30	-8.81		-23.36
	0.22	-10.18		
C1	0.36	-7.94	-3.53	-13.11
	0.35	-8.11		-23.36
	0.29	-8.93		

TABEL 5. KARAKTERISTIK *DIRECTIONAL COUPLER* DENGAN PANJANG KUPASAN 55 MM

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.39	-7.09	-3.05	-12.09
	0.31	-8.17		-12.59
	0.30	-8.32		
A1	0.43	-7.82	-4.20	-11.91
	0.36	-8.63		-23.10
	0.20	-11.09		
C1	0.38	-8.08	-3.91	-13.25
	0.36	-8.40		-23.36
	0.26	-9.74		

TABEL 6. KARAKTERISTIK *DIRECTIONAL COUPLER* DENGAN PANJANG KUPASAN 60 MM

Input	CR	Lins(dB)	Le (dB)	D (dB)
B1	0.34	-8.24	-3.59	-13.33
	0.31	-8.67		-13.43
	0.35	-8.19		
A1	0.40	-8.06	-3.96	-13.10
	0.33	-8.62		-21.96
	0.27	-9.68		
C1	0.37	-8.17	-3.88	-12.93
	0.34	-8.56		-21.79
	0.29	-9.32		

TABEL 7. KARAKTERISTIK *DIRECTIONAL COUPLER* DENGAN PANJANG KUPASAN 65 MM

Input	CR	Lins(dB)	Le	D

B1	0.35	-8.49	-3.93	-10.87
	0.32	-8.93		-10.97
	0.33	-8.69		
A1	0.46	-8.06	-4.75	-10.41
	0.39	-8.86		-18.95
	0.15	-13.18		
C1	0.40	-8.09	-4.09	-10.92
	0.40	-8.07		-19.61
	0.20	-11.03		

Kebocoran gelombang bertambah besar seiring dengan bertambahnya panjang kupasan sehingga rugi daya semakin besar pada saat panjang kupasan semakin besar. Oleh karena itu intensitas cahaya yang ditransmisikan ke dalam serat optik akan semakin kecil jika panjang kupasan semakin besar. Seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 6, intensitas cahaya dari *input* Port B1 yang melewati Port B2 semakin kecil dengan bertambahnya panjang kupasan. Serta rugi daya yang dialami juga tambah besar. Perlu diperhatikan juga ternyata kebocoran gelombang dari serat optik B yang semakin besar cenderung meningkatkan intensitas cahaya yang melalui serat optik disekelilingnya yaitu serat optik A dan serat optik C yang dibuktikan oleh meningkatnya intensitas cahaya pada keluaran Port A2 dan Port C2. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 7, bahwa intensitas cahaya dari *input* Port A1 yang melewati Port A2 cenderung semakin kecil dengan bertambahnya panjang kupasan. Grafik B2 pada Gambar 6 dan grafik A2 pada Gambar 7 menunjukkan kemiringan dengan gradien negatif yang berarti intensitas cahaya cenderung menurun dengan bertambahnya panjang kupasan.

Berdasarkan prosentase *output directional coupler* yang ditampilkan secara eksplisit pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8, bahwa nilai intensitas cahaya terbagi rata di ketiga keluaran serat optik yaitu Port A2, Port B2 dan Port C2 pada panjang kupasan 60 mm dan 65 mm dengan *input* pada Port B1 serta pada panjang kupasan 35 mm dengan *input* pada Port A1 dan Port C1. Karakteristik *directional coupler* dengan panjang kupasan 60 mm dan *input* pada Port B1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0.34 : 0.31 : 0.35 dan Le = -3.59 dB, sementara pada panjang kupasan 65 mm dan *input* pada Port B1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0.35 : 0.32 : 0.33 dan Le = -3.93 dB. Sedangkan karakteristik *directional coupler* dengan panjang kupasan 35 mm dengan *input* pada Port A1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0.36 : 0.32 : 0.32 dan Le = -3.89 dB, sementara pada panjang kupasan 35 mm dengan *input* pada Port C1 menunjukkan bahwa nilai CR = 0.36 : 0.32 : 0.32 dan Le = -4.27 dB. Ketiga panjang kupasan ini sangat baik digunakan sebagai piranti pemecah berkas (*beam splitter*) maupun sebagai pembagi daya (*power divider*). Dari hasil karakterisasi menggunakan BF5R-D1-N, dapat disimpulkan bahwa *directional coupler* konfigurasi 3x3 planar dengan panjang kupasan 60 mm paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

IV. KESIMPULAN

Hasil karakterisasi *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar menggunakan BF5R-D1-N menunjukkan bahwa semakin besar panjang kupasan maka semakin besar rugi daya dan semakin kecil intensitas cahaya yang diteruskan. Pada *directional coupler* konfigurasi 3×3 planar dengan panjang kupasan 60 mm dan *input* pada Port B1 memiliki nilai CR = 0.34 : 0.31 : 0.35 ; Le = -3.59 dB; Lins = -8.24 dB, -8.67 dB, -8.19 dB; dan D = -13.33 dB, -13.43 dB. Piranti ini paling baik digunakan sebagai pembagi daya maupun pemecah berkas sehingga selanjutnya dapat digunakan sebagai piranti dalam sensor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Agama Republik Indonesia yang memberikan bantuan finansial pada penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Program Beasiswa Santri Berprestasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.S. Ab-Rahman, L.S. Supian, and N. Arsad, "Etching Technique Study for POF Coupler Fabrication Using Circular Blocks," *Optik.*, vol. 125, pp. 893-896, 2014.
- [2] Supadi, Y. Hadi Pramono, dan G. Yudhoyono, "Fabrikasi dan Karakterisasi Directional Coupler sebagai Devais Pembagi Daya, " vol. 2, no. 1, pp. 060106-1-060106-6, 2006.
- [3] E. Hariyanto, "Aplikasi Directional Coupler Serat Optik Moda Jamak Sebagai Sensor Getaran Berbasis Modulasi Intensitas, " Thesis, Fisika-Fmipa Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2011.
- [4] L.P. Rahayu, "Fabrikasi Dan Karakterisasi Directional Coupler Dan Double Coupler pada Bahan Serat Optik Plastik Step Index Multimode Tipe Fd-620-10," Tugas Akhir, Fisika-Fmipa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2013.
- [5] L. Sun, P. Ye, "General-Analysis of [3x3] Optical-Fiber Directional Couplers," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 2, pp. 52-54, 1989.
- [6] S.K. Sheem, "Optical Fiber Interferometers With [3x3] Directional-Couplers-Analysis," *Journal of Applied Physics*, vol. 52, pp. 3865-3872, 1981.
- [7] J. Breguet, N. Gissin, "Interferometer Using a 3x3 Coupler and Faraday Mirrors," *Optics Letters*, vol. 20, pp. 1447-1449, 1995.
- [8] Z. Fang, K.K. Chin, R. Qu, and H. Chai, "Fundamentals of Optical Fiber Sensors," New York: John Wiley & Sons, 2012.
- [9] J. Crisp, "Introduction to Fiber Optics 2nd Edition," Oxford: Jordan Hill, 2001.
- [10] Selection Guide, *Catalog Sensor P.T Autonics*. Jakarta: Mulia Teknik Indonesia, 2011.