

ANALISIS DIRECTIONAL COUPLER DENGAN INTI POLIMER OPTICAL FIBER DAN CLADDING POLYMETHYL METACRYLATE: SIMULASI DAN EKSPERIMEN

SHIVA MAULANA KHOIRU INSAN^{1,*}, IAN YULIANTI¹, NGURAH MADE DHARMA PUTRA¹

¹Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang
Jl. Raya Banaran, Sekaran, Kec. Gn. Pati, Kota Semarang, Jawa Tengah 50229

*Corresponding author
Email: shivamaulana@students.ac.id

Diserahkan: 03/07/2026
Diterima: 28/07/2026
Dipublikasikan: 07/08/2026

Abstrak. Analysis of a Directional Coupler with a Polymer Optical Fiber Core and Polymethyl Methacrylate Cladding Through Simulation and Experimentation. The simulation process involves determining physical parameters such as the refractive index of the core and cladding, light source (red at 550 nm), geometry (a rectangular cladding panel measuring 0.2×2×4 cm, and two identical cylindrical cores with a 0.1 cm diameter aligned longitudinally in the center of the cladding), materials (POF for the core and PMMA for the cladding), and concludes with result analysis. The experimental process includes fabrication steps starting from material preparation, stripping the POF, and cutting the PMMA into dimensions of 0.2×2×(2/3/4) cm (length variations), followed by digging longitudinal grooves measuring 0.2×0.1 cm in the center to place the POF core. Characterization utilizes a red LED (550 nm) as the light transmitter, a phototransistor as the transducer, and a multimeter for measurement. The simulation yields light propagation images of the red light within the directional coupler, while the experiment determines the coupling factor values of the directional coupler. This study reveals the propagation pattern images, the peak and low intensity points of light, and the potential for interference in large-scale directional couplers. It also highlights the potential of the coupler to be assembled and fabricated into a simple photonic device with four customizable cables. The study's conclusion emphasizes the need for further research to achieve the coupling factor that meets specific requirements, improving the usability and quality of the coupler in practical applications such as optical communication systems and optical sensors.

Kata kunci: Directional coupler simulation, Optical coupler, Polymer Optical Fiber (POF), Polymethyl Methacrylate (PMMA), Coupling Factor.

Abstract. Analisa Directional Coupler dengan inti Polimer Optical Fiber Dan Cladding Polymethyl Metacrylate melalui simulasi dan eksperimen. Proses simulasi melalui penentuan parameter fisis seperti indeks bias core dan cladding, cahaya (merah 550 nm), geometri (cladding panel persegi berdimensi 0.2×2×4 cm, dan core 2 silinder identik berdiameter 0.1 cm sejajar membujur di tengah cladding), material (core menggunakan POF dan Cladding PMMA), diakhiri analisa hasil. Eksperimen melalui Proses fabrikasi dari persiapan bahan, pengupasan POF, dan pemotongan PMMA menjadi dimensi 0.2×2×(2/3/4) cm (variasi panjang), digali lubang mambujur berdimensi 0.2×0.1 cm di tengah untuk meletakan inti POF.



This work is licensed under a CC Attribution 4.0 International License.

DOI: <https://doi.org/10.24198/jiif.v10i2.71469>

e-ISSN: 2549-7014

Karakterisasi menggunakan LED (merah 550 nm) sebagai light transmitter, photo transistor sebagai transducer, dan multimeter untuk pengukuran. Proses simulasi menghasilkan citra propaksi cahaya merah dalam *directional coupler*, dan eksperimen mendapatkan nilai coupling factor dari *directional coupler*. Melalui penelitian ini diketahui citra pola perambatan, titik-titik cahaya mencapai peak dan low serta potensi interferensi dalam *directional coupler* berdimensi besar. Juga potensi *coupler* untuk dirangkai dan difabrikasi menjadi perangkat fotonik sederhana dengan empat kabel yang dapat divariasikan. Kesimpulan penelitian menekankan perlunya penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan coupling factor yang sesuai kebutuhan, meningkatkan kemudahan penggunaan dan kualitas *coupler* dalam aplikasi praktis seperti sistem komunikasi optik dan sensor optik.

Keywords: Simulasi *Directional coupler*, *Coupler* optik, *Polimer Optical Fiber* (POF), Polimethyl Metacrylate (PMMA), Coupling Factor.

1. Pendahuluan

Dalam dunia telekomunikasi dan teknologi optik, pengembangan perangkat fotonik menjadi semakin penting. *Optocoupler* atau *Coupler optik*, adalah perangkat yang secara umum memiliki fungsi sebagai penggandeng, secara khusus dapat digunakan sebagai saklar optik dan juga pemisah optik [1]. Di pasaran, harga dari sebuah *Coupler Optic* sangat bervariasi, yakni berada pada kisaran 25 ribu hingga 178 ribu rupiah (Sumber : Survei toko online :Tokopedia, Shopee, Alibaba ; 2024). Dengan dibuatnya *coupler Optic* dengan menggunakan bahan yang mudah didapat, tentu menawarkan sebuah solusi yang sederhana namun cukup memenuhi kebutuhan fungsional dari pengguna. khususnya yang menggunakan *Polimer Optical Fiber* (POF) sebagai *waveguide* dan *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) sebagai *Cladding*, menawarkan potensi untuk aplikasi yang luas dalam sistem komunikasi dan sensor optik.

Sebuah *directional coupler* pada dasarnya mempunyai 2 masukan dan 2 keluaran, namun tak jarang juga terdapat variasi jumlah masukan dan keluaran sesuai maksud dan tujuan dari *directional coupler* itu sendiri. Sebuah *directional coupler* dalam cara kerjanya memanfaatkan hukum Snellius, dengan mempengaruhi indeks bias dan sudut cahaya, kita dapat memanipulasi hasil keluaran yang didapatkan sesuai dengan tujuan alat [2]. Pada dasarnya sebuah *coupler* adalah sebuah *waveguide* yang dimodifikasi, dan dalam cara kerjanya, *waveguide* memanfaatkan fenomena Total internal reflection, yang menjaga agar gelombang terpancui tetap berada di dalam *waveguide* [3]. Namun jika syarat total internal reflection tak terpenuhi, maka gelombang akan keluar dari *waveguide*, namun justru keluarnya gelombang dari *waveguide* ini yang kemudian dimanfaatkan agar coupling dapat terjadi [4].

Untuk membuat *Directional Coupler Waveguide* POF-PMMA membutuhkan analisa desain yang baik sebelum masuk ke tahap eksperimen fisik [5]. Pemanduan gelombang pada *directional coupler* sangat sensitif terhadap kondisi geometris dan indeks bias dari penyusun *waveguide* [6]. Oleh karena itu, simulasi numerik berbasis komputer dilakukan untuk memprediksi proses propagasi cahaya secara akurat [7].

Dalam penelitian ini, perangkat lunak COMSOL Multiphysics digunakan sebagai alat pemodelan/simulasi sebelum melakukan eksperimen laboratorium (COMSOL Multiphysics 2024). *Finite Element Method* (FEM) dalam COMSOL digunakan untuk menyelesaikan persamaan Helmholtz pada struktur *waveguide* [8]. Simulasi ini berfungsi untuk memetakan distribusi medan listrik (*mode profile*), menentukan panjang

kopling optimal (*coupling length*), dan menganalisis efisiensi transfer daya antar-inti serat [7].

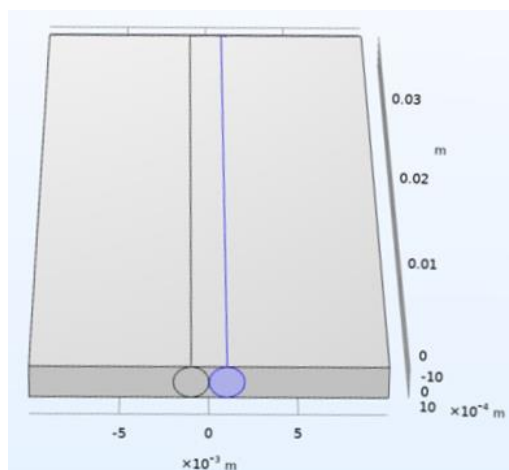
2. Metode Penelitian

2.1 Simulasi dengan Comsol Multiphysics

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak COMSOL Multiphysics® dengan modul *Wave Optics (Electromagnetic Waves, Frequency Domain)*. Simulasi ini bertujuan untuk memperoleh citra perambatan cahaya dalam *directional coupler*.

Menentukan parameter konstan material pada bagian *Global Definitions*. Indeks bias untuk inti (*core*) *Polimer Optical Fiber (POF)* diatur sebesar ($n_{core} = 1.55$) dan indeks bias untuk selubung (*Cladding*) PMMA diatur sebesar ($n_{cladding} = 1.49$) sesuai dengan panjang gelombang operasi ($\lambda = 550$ nm) yang ditentukan. Dimensi geometris seperti diameter inti ($d = 1$ mm), jarak antar-inti (*edge-to-edge spacing*, $s = 1$ mm), dan panjang interaksi kopling ($L = 4$ cm)) dimasukkan sebagai variabel parameter.

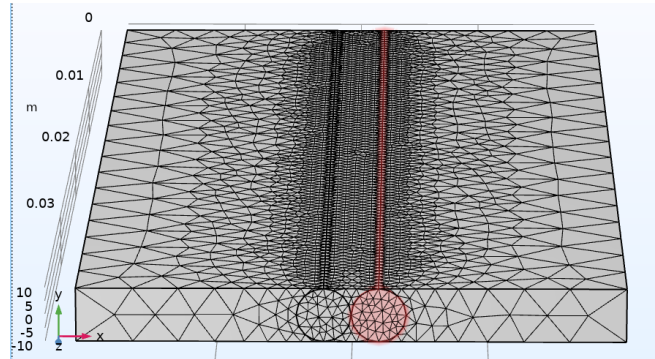
Struktur fisik *directional coupler* dibangun sesuai dengan desain awal *directional coupler* seperti pada Gambar 1. Pemodelan dilakukan secara dua dimensi (2D) penampang melintang (*cross-section*) untuk analisis modulus (*Boundary Mode Analysis*) dan tiga dimensi (3D) untuk analisis propagasi gelombang elektromagnetik sepanjang sumbu-z. Struktur terdiri dari dua silinder inti polimer paralel yang tertanam di tengah lembar *Cladding* PMMA. Secara melintang seperti pada Gambar 1. Core sebelah kanan adalah core A yang akan diberi propagasi cahaya dan sebelah kiri adalah core B yang akan menjadi target coupling gelombang elektromagnetik.



Gambar 1. Desain Directional Coupler

Kondisi batas diterapkan untuk mengisolasi domain gelombang elektromagnetik dan merepresentasikan kondisi fisik yang sesungguhnya, kondisi batas yang digunakan yaitu *Scattering Boundary Condition (SBC)* atau *Perfectly Matched Layer (PML)* yang ditempatkan pada batas luar *Cladding* untuk menyerap gelombang yang bocor dan mencegah refleksi semu kembali ke dalam sistem. Dan *Port Boundary Condition* terletak pada sisi masukan (*input port*) untuk mempropagasikan daya gelombang elektromagnetik, serta pada dua sisi keluaran (*output ports*) untuk mengukur daya yang berhasil ditransmisikan [9].

Agar komputer mampu menghitung nilai E pada setiap titik di dalam *waveguide*, maka perlu memotong desain *waveguide* menjadi banyak luasan dan volume untuk dianalisis secara fisika satu per satu, teknik ini dinamakan *meshing* yang berarti memotong desain menjadi banyak *mesh* kecil. Proses diskretisasi geometri ini menggunakan jenis *Physics-controlled mesh* dengan ukuran elemen *Extremely Fine*. Pada area batas kritis seperti antarmuka (*interface*) antara inti polimer dan *Cladding* PMMA dilakukan perapatan kisi (*custom mesh refinement*). Ukuran elemen maksimum dipastikan berada di bawah nilai $\lambda/(6n) = 550 \text{ nm} / 9,3 = 59,1 \text{ nm}$ untuk menjamin akurasi dan konvergensi hasil perhitungan medan listrik [10].

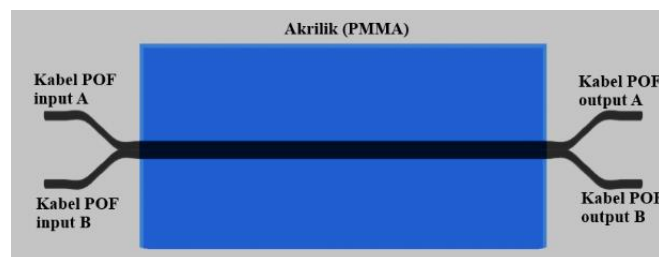


Gambar 2. Meshing pada desain Directional Coupler Waveguide

Studi komputasi diselesaikan menggunakan dua tahapan Solver yaitu *Boundary Mode Analysis*: Digunakan untuk mencari nilai indeks bias efektif ($n_{efektif}$) serta memetakan profil modus simetris (*even mode*) dan asimetris (*odd mode*) pada penampang *waveguide*. Dan *Frequency Domain Study*: Digunakan untuk menghitung propagasi medan listrik sepanjang struktur 3D. Dari studi ini, visualisasi distribusi medan listrik ($E - field$) diperoleh, dan nilai efisiensi kopling dihitung berdasarkan rasio daya output pada *Port 1* dan *Port 2* menggunakan integrasi nilai *Poynting Vector* [11].

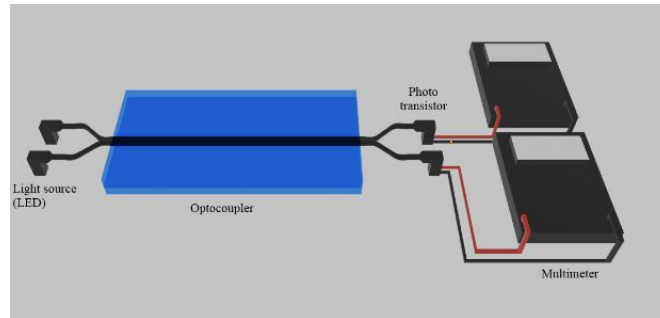
2.2 Eksperimen

Proses fabrikasi diawali dengan menyiapkan bahan, menggunakan *Polimer Optical Fiber* (POF) sebagai *waveguide* dan juga PMMA sebagai *cladding*. POF dipotong sepanjang 30 cm sebanyak 6 buah. Kemudian pada bagian tengah jaket dari POF dikupas sepanjang 4 cm, 3 cm, dan 2 cm masing-masing 2 buah sehingga meninggalkan bagian corenya saja. Setelah itu *cladding* disiapkan dengan cara memotong lembar akrilik dengan ketebalan 2 mm dan lebar 2 cm serta panjang divariasikan yaitu 4 cm, 3 cm, dan 2 cm. Kemudian bagian tengah akrilik dipahat sebagai jalur untuk inti dari POF yang sudah dikupas. Kemudian POF yang sudah dikupas dipasangkan ke dalam PMMA yang sudah dipahat dan selanjutnya bagian atasnya ditutup dengan lembar akrilik lain [12] seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain pemasangan PMMA dan POF

Karakterisasi pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *coupling factor* dari *coupler* dengan *waveguide* POF dan *cladding* PMMA, dengan variabel bebasnya adalah panjang *coupling area* yaitu 2 cm, 3 cm, dan 4 cm. Dengan menggunakan LED warna merah sebagai *light transmitter* photo transistor sebagai *reciever* dan *detektor*, dan multimeter untuk mengukur resistansi diantara emitor dan collector. Basis phototransistor akan menentukan besar arus mengalir dari collector ke emmitor, dengan mengatur nilai resistansi antara emitor dan collector [13]. Sehingga dengan mengetahui nilai resistansi antara emitor dan collector bisa didapatkan perbandingan nilai input cahaya yang masuk ke detektor dan mendapatkan *Coupling Factor* dari *coupler* yang dibuat. Kemudian alat dan bahan disusun seperti pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Desain karakterisasi

Nilai *Coupling Factor* dari *coupler* yang dibuat didapatkan dari hasil perbandingan antara intensitas dari jalur tak silang (input dan output pada kabel yg sama) dengan intensitas dari jalur silang (input dan output pada kabel yg berbeda).

Nilai *Coupling Factor* (κ) dalam decibel menggambarkan efisiensi coupling cahaya yang terjadi, nilainya dapat diperoleh dari perbandingan antara cahaya terpandu (I_{terpandu}) dengan cahaya ter-coupling [10], [14]

$$\kappa = 10 \log \frac{P_{\text{terpandu}}}{P_{\text{tercoupling}}} \quad (1)$$

Nilai dari intensitas cahaya yang masuk sebanding dengan nilai arus listrik yang bisa melewati phototransistor dan berbanding terbalik dengan nilai Resistansi photo transistor, sehingga nilai *Coupling Factor* (κ) dapat dihitung seperti berikut.

$$\kappa = 10 \log \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

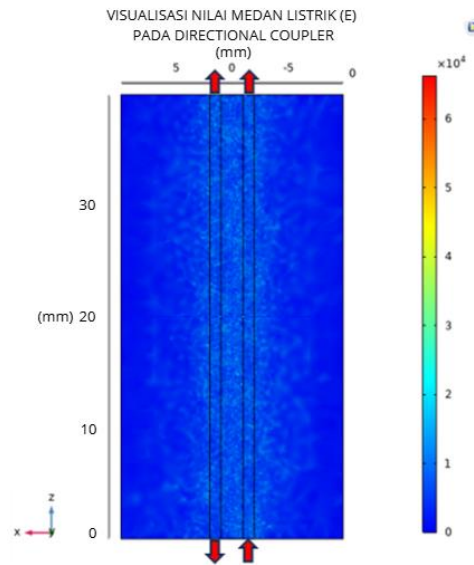
Untuk mendapatkan nilai *Coupling Factor* (κ), diukur nilai resistansi input A ke output A (R_{AA}), resistansi input B ke Output B (R_{BB}), resistansi input A ke output B (R_{AB}), dan resistansi input B ke Output A (R_{BA}), kemudian dihitung nilai logaritmik dari perbandingan nilai resistansi jalur silang (R_{AB} dan R_{BA}), terhadap jalur lurus (R_{AA} dan R_{BB})

$$\kappa = 10 \log \frac{R_{AA}}{R_{AB}} \text{ atau } \kappa = 10 \log \frac{R_{BB}}{R_{BA}} \quad (3)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Simulasi

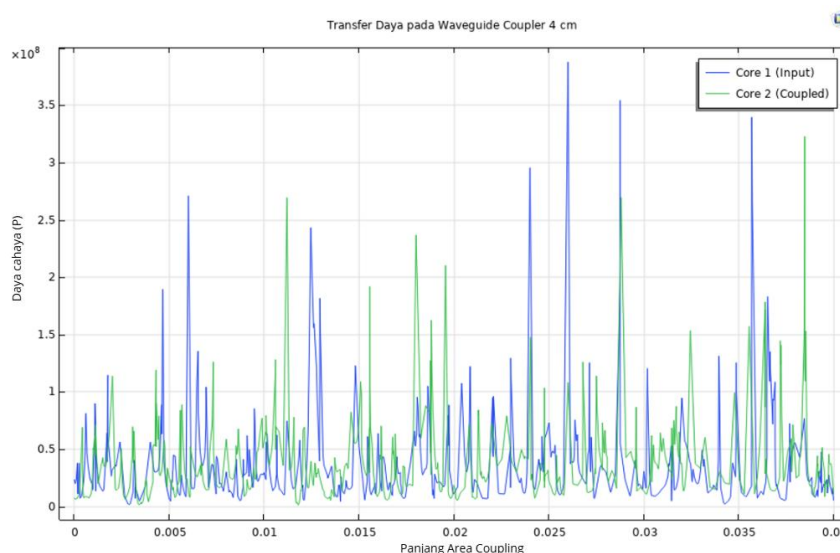
Dengan parameter yang telah ditentukan dan bentuk geometri sesuai dengan desain Simulasi, dilakukan analisa terhadap kuat medan listrik E di seluruh titik pada *directional coupler*, dan didapati hasil yang disajikan dalam bentuk citra pada Gambar 5.



Gambar 5. Visualisasi dari nilai E pada setiap titik pada *Directional Coupler*

Terlihat bahwa pada setiap titik di *core* dan *cladding* nilai medan listriknya terdistribusi tidak merata, memiliki puncak-puncak pada titik tertentu dan lembah pada titik lainnya. Distribusi E lebih rapat sepanjang jalur *core*, baik *core A* maupun *core B*, dan semakin jauh dari *core*, semakin rendah kerapatan dan nilai dari E .

Propagasi gelombang elektromagnetik di dalam *core* menghasilkan distribusi nilai medan listrik E sepanjang *core* yang divisualisasikan dalam grafik Gambar 6. Tidak ada linearitas nilai distribusi di titik titik sepanjang *core*, dengan jumlah nilai E pada 2 titik paralel pada *core A* dan *B* selalu konstan. Dengan fabrikasi yang memiliki akurasi tinggi, grafik Gambar 6 bisa digunakan sebagai acuan dalam menentukan panjang area coupling untuk mendapatkan koefisien coupling yang diinginkan.



Gambar 6. grafik nilai daya di setiap titik sepanjang *core* directional coupler

3.2 Fabrikasi

Proses Fabrikasi melalui beberapa tahapan seperti variasi panjang *cladding* PMMA kemudian variasi panjang POF yang dikelupas seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8

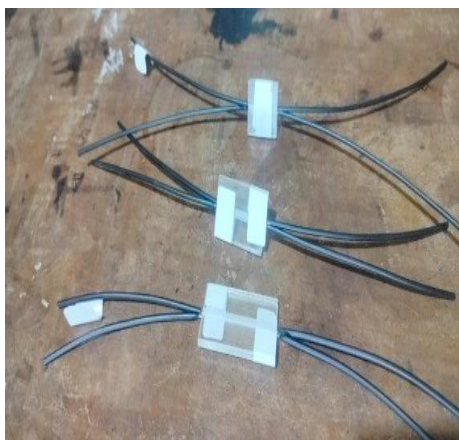
serta menghasilkan beberapa 3 jenis sampel seperti terlihat pada Gambar 9. sampel tersebut kemudian disiapkan untuk proses karakterisasi .



Gambar 7. Cladding Akrilik Variasi Panjang 2, 3, 4 cm



Gambar 8. POF dengan Variasi Panjang 2, 3, 4 cm



Gambar 9. Hasil fabrikasi coupler dan siap untuk dikarakterisasi

Secara teoritik nilai *Coupling Factor* dipengaruhi oleh panjang dari *Coupling Length* (panjang area kopling) [15]. Dari hasil eksperimen terlihat pada tabel 1, bahwa rata-rata nilai *coupling factor* dari setiap *coupler* bervariasi dan berbeda pada setiap titiknya.

Table 1. Hasil Eksperimen

Panjang Coupling	Input A output A	Input A output B	Input B output B	Input B output A	<i>Coupling Factor</i>
2cm	10	384	10	410	-16 db
3cm	10	170.2	10	165	-12.2 db
4cm	10	93	10	97	-9.7 db

Dari hasil simulasi dan eksperimen nilai koefisien *coupler* dipengaruhi oleh panjang dari *Coupling Length* (panjang area kopling). Dari hasil eksperimen terlihat bahwa nilai *coupling factor* dari setiap *coupler* berbeda pada setiap perubahan panjang *Coupling Length*.

Melalui eksperimen sederhana menggunakan *waveguide* POF, bisa dirangkai dan difabrikasi menjadi sebuah perangkat fotonik, yaitu *coupler* sederhana dengan 4 kabel yang dapat divariasikan menjadi input dan output sesuai kebutuhan. Namun perlu penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan *coupling factor* yang sama untuk setiap jalur silang pada *coupler* agar nantinya *coupler* dapat digunakan lebih mudah dan lebih berkualitas.

4. Kesimpulan

Penelitian ini fokus pada Simulasi, eksperimen fabrikasi dan karakterisasi *coupler optik* yang menggunakan *Polimer Optical Fiber* (POF) sebagai *waveguide* dan *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) sebagai *cladding*. Proses fabrikasi melibatkan langkah-langkah persiapan bahan, pengupasan POF, dan pemotongan serta pengukiran PMMA untuk menciptakan *coupler* yang efisien. Karakterisasi dilakukan dengan memvariasikan panjang coupling area untuk menentukan *coupling factor*.

Dari hasil simulasi didapatkan kesimpulan bahwa desain *Directional Coupler* sederhana mampu mentransmisikan dan membuat efek coupling gelombang elektromagnetik dari core A ke core B, meskipun distribusi coupling pada setiap titiknya tidak linier, namun dengan bantuan software simulasi Comsol Multiphysics bisa didapatkan grafik yang memvisualisasikan distribusi medan listrik yang fluktuatif tersebut sehingga dapat dimanfaatkan untuk dijadikan acuan dalam aplikasi fabrikasi *coupler* sesuai kebutuhan.

Dari hasil eksperimen, didapatkan bahwa koefisien kopling dari *coupler* bervariasi dari beberapa variasi panjang coupling length. Temuan ini sejalan dengan teori bahwa panjang coupling area mempengaruhi kinerja *coupler*, namun perlu diperhatikan bahwa efeknya tidak linier.

Pentingnya penelitian ini terletak pada kontribusinya terhadap pemahaman lebih lanjut tentang karakteristik *coupler* POF dan PMMA, khususnya dalam variabilitas panjang coupling area dan efeknya terhadap koefisien kopling. Dengan menggunakan *waveguide* POF, penelitian ini menunjukkan bahwa *coupler* dapat dirangkai dan difabrikasi menjadi perangkat fotonik sederhana dengan empat kabel yang dapat divariasikan sesuai kebutuhan.

Daftar Pustaka

1. M. J. Wahidah and Asnawi, "Studi Awal Fabrikasi Pandu Gelombang Symetric dengan Tin Oksida sebagai Directional Coupler," *Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 7, no. 1, pp. 19–23, 2018.
2. L. S. Supian and dkk, "Polymer Optical Fiber Splitter Using Tapered Techniques for Green Technology," *IntechOpen Photonics*, vol. 12, pp. 104–115.
3. I. Vaeruza, K. E. Kurniansyah, F. Darma, and I. Yulianti, "Fabrikasi sensor serat optik plastik untuk deteksi ion logam merkuri dalam air," *Komunikasi Fisika Indonesia*, vol. 16, no. 2, pp. 123–129, 2019.
4. M. Longobucco and dkk, "Calculation of the Coupling Coefficient of Twin-Core Fiber Based on the Supermode Theory with Finite Element Method," *Optical Fiber Technology*, vol. 65, pp. 1025–1032.
5. P. Gašo, D. Pudiš, and dkk, "Advances in waveguide to waveguide couplers for 3D integrated polymer platforms," *Nature Light: Science & Applications*, vol. 15, pp. 88–97.
6. A. Miranda and dkk, "Directional coupler and multimode interference devices based on SiN: An approach to investigating fabrication tolerances," *Results in Optics*, vol. 14, pp. 1004–1012.
7. M. Mohammed, H. A. Waheeb, H. F. Abass, and A. Ahmad, "Numerical evaluation of the coupling between several directional coupler designs," *F1000Res.*, vol. 15, no. 303, pp. 1–18, 2026.
8. A. Al-Azzawi and dkk, "Optical Coupling Efficiency of a Coupler with Double Combined Lenses under Varied-NA," *Opt. Express*, vol. 33, pp. 16696–16708.
9. R. Budiati, G. A. Pauzi, and Warsito, "Analisis Pengaruh Tekanan Pada Serat Optik Terhadap Sistem Transmisi Data Berbasis Mikrokontroler ATmega32 Dengan Akuisisi Data Menggunakan Matlab," *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 04, no. 01, pp. 107–114, 2016.
10. K. Okamoto, *Fundamentals of Optical Waveguides*, 3rd ed. San Diego, CA: Academic Press, 2022.
11. S. Bhadra and A. Ghatak, *Guided Wave Optics and Photonic Devices*. 2017. doi: 10.1201/b14841.
12. F. B. S. A. Nugroho, D. S. G. Purwono, and S. H. W. Widodo, "Fabrikasi dan karakterisasi directional coupler konfigurasi 3x3 planar berbahan serat optik plastik," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 12, no. 1, pp. 45–50, 2016.
13. R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 12th Global. Boston, MA: Pearson.
14. J. Wang et al., "A high sensitivity dual-parameter sensor based on glycerin filled fine-core polarization maintaining photonic crystal fiber," *Optical Fiber Technology*, vol. 55, no. January, p. 102139, 2020, doi: 10.1016/j.yofte.2020.102139.
15. Mendez A and Morse TF, *Specialty Optical Fibers Handbook*, 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press, 2022.