
FABRIKASI DAN KARAKTERISASI WAVEGUIDE POLYMETHIL METHACRYLATE (PMMA) DENGAN CORE MATERIAL EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) DAN UNSATURATED POLYESTER RESIN (UPR)

Nishfa Mufatihah¹, Agus Yulianto², Mahardika Prasetya Aji³, Ian Yulianti⁴

^{1,2,3,4} Universitas Negeri Semarang, Kota Semarang

*Email korespondensi: nishfa_mufatihah1@students.unnes.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian dengan karakterisasi dan fabrikasi waveguide berbasis polymethyl methacrylate (PMMA). Material inti yang digunakan adalah Expanded Polystyrene (EPS) dengan Unsaturated Polyester Resin (UPR) sebagai upaya meningkatkan keefisienan waktu dalam fabrikasi waveguide. Fabrikasi waveguide dilakukan dengan memahat PMMA berbentuk lurus dibagian tengah menggunakan computer numerical control (CNC), kemudian diisi material inti dan disambungkan dengan polymer optical fiber (POF) dan ditutup kembali menggunakan PMMA yang belum dipahat. Waveguide difabrikasi dengan variasi konsentrasi EPS dan UPR sebanyak enam variasi konsentrasi.. Karakterisasi dilakukan dengan cara melewatkan cahaya LED berwarna merah dengan panjang gelombang 660 nm ke dalam waveguide. Pengukuran tegangan keluaran pada waveguide dilakukan menggunakan detektor fotodiode yang disambungkan dengan multimeter. Untuk hasil karakterisasi, waveguide yang memiliki loss arus dan tegangan paling kecil adalah waveguide F dengan konsentrasi EPS dan UPR sebesar 70% dan 30%. Waveguide yang memiliki efisiensi dalam pembuatan adalah waveguide A dengan konsentrasi EPS dan UPR sebesar 20% dan 80%.

Kata kunci: *Expanded Polystyrene; Unsaturated Polyester Resin; Tegangan; Arus; Waveguide*

PENDAHULUAN

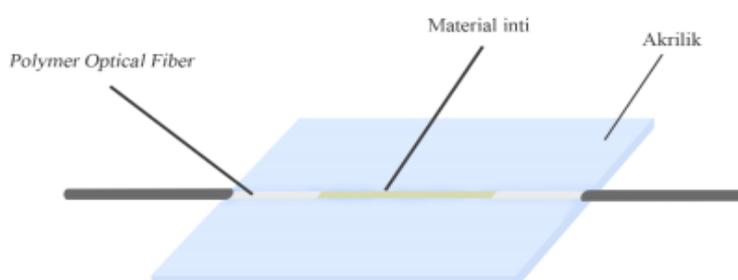
Fiber optik merupakan media transmisi berbentuk silinder yang dikembangkan sejak akhir 1960-an dan digunakan untuk mentransmisikan gelombang cahaya. Teknologi ini memiliki banyak keunggulan, seperti ukuran yang kecil dan sensitivitas tinggi (Mathews, 2014). Waveguide, baik jenis planar maupun non-planar, digunakan secara luas dalam sistem optik karena strukturnya yang kuat, ringan, dan mampu merealisasikan pengukuran intensitas cahaya dalam bentuk chip (Yulianti et al., 2018). Waveguide juga berperan sebagai jalur kontrol cahaya yang efektif (Du & Zhao, 2014), serta banyak diaplikasikan pada perangkat seperti laser semikonduktor, optical switch, dan sensor optik (Ismanto & Alaydrus, 2013).

Sebagai sensor optik (SO), waveguide telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti pendeteksian indeks bias, temperatur, tekanan, regangan, vibrasi, kelembapan, hingga kadar glukosa (Jiang et al., 2011; Woyessa et al., 2016; Hassan et al., 2016). Struktur dasar waveguide terdiri dari inti dan selubung. Beberapa material digunakan sebagai bahan waveguide, seperti polimer dengan substrat silikon, kuningan, dan MEH-PPV (Bahtiar & Kurniawati, n.d.; Mahmudin & Wijayanto, n.d.). PMMA (Poly-methyl methacrylate) atau akrilik merupakan material populer untuk selubung karena memiliki rugi daya optik rendah, harga terjangkau, dan ketahanan terhadap kelembapan (Prajzler et al., 2014; Kumar et al., 2015).

Untuk inti waveguide, Unsaturated Polyester Resin (UPR) dan polystyrene (PS) telah banyak diteliti. UPR menghasilkan rugi daya yang relatif tinggi, yaitu sekitar 7,89 dB hingga 13,85 dB (Yulianti et al., 2019), sementara PS memiliki indeks bias 1,59 dan digunakan dalam struktur planar (Sanjaya, 2012). Mufatihah (2022) melaporkan bahwa waveguide berbahan Expanded Polystyrene (EPS) memiliki rugi daya lebih rendah (3,98 dB), namun proses pengeringannya cukup lama. Oleh karena itu, kombinasi material UPR dan EPS dianggap potensial untuk meningkatkan efisiensi fabrikasi waveguide yang lebih optimal.

METODE PENELITIAN

Tahapan fabrikasi waveguide berbasis PMMA dengan inti material gabungan Expanded Polystyrene (EPS) dan Unsaturated Polyester Resin (UPR) terdiri dari dua bagian utama, yaitu pembuatan selubung (cladding) dan inti waveguide. Selubung dibuat menggunakan Polymethyl Methacrylate (PMMA) berukuran 4×2 cm dengan ketebalan 2 mm yang kemudian dipahat menggunakan mesin CNC sedalam 1 mm untuk membentuk rongga inti. Rongga ini berfungsi sebagai wadah bagi material inti yang nantinya akan diisi campuran EPS dan UPR. Untuk transmisi cahaya, ujung serat optik plastik (POF) sepanjang 17 cm dikupas pada bagian ujungnya untuk disambungkan ke system.

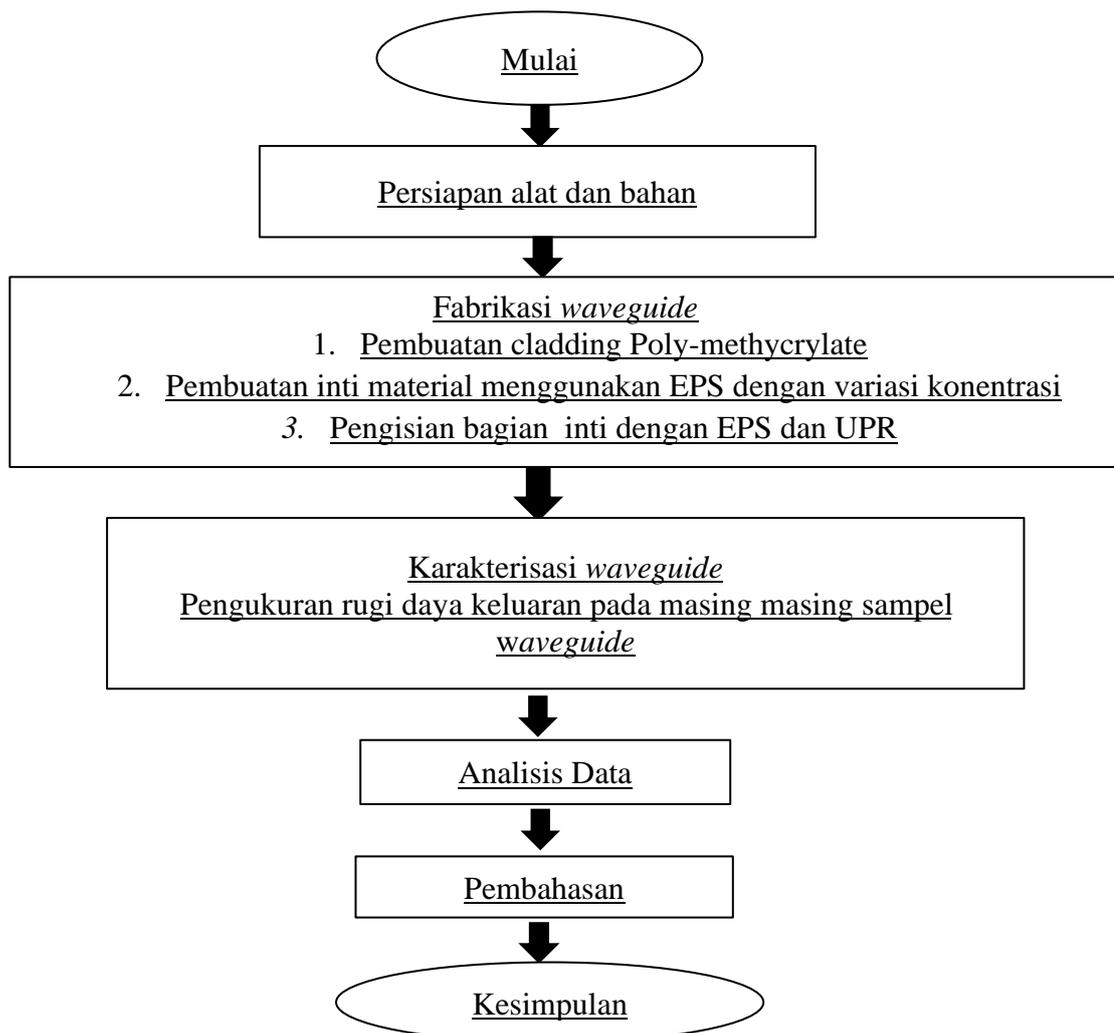


Gambar 1. Akrilik yang sudah diisi dengan material inti *waveguide* dan disambung dengan POF

Pembuatan material inti dimulai dengan pemanasan EPS hingga mencair pada suhu 210°C . Setelah mengkristal, EPS dihaluskan menjadi bubuk dan dicampur dengan toluene

dalam rasio 1 gram bubuk terhadap 3 ml pelarut. Larutan EPS kemudian dicampur dengan UPR sesuai variasi konsentrasi yang telah ditentukan. Campuran ini diisikan ke dalam rongga PMMA dan dibiarkan mengering di udara terbuka agar mengeras dan melekat sempurna pada selubung. Proses ini memungkinkan terbentuknya waveguide padat dengan integrasi POF yang baik untuk kebutuhan karakterisasi optik.

Karakterisasi dilakukan dengan menghubungkan ujung input POF ke sumber cahaya LED biru (660 nm), sementara ujung output disambungkan ke detektor intensitas. Tujuannya untuk mengukur rugi daya (loss) cahaya berdasarkan variasi konsentrasi material inti. Nilai rugi daya dihitung menggunakan rumus dengan intensitas input dan output diperoleh dari detektor dalam bentuk tegangan. Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk grafik, yang kemudian dianalisis untuk menentukan komposisi inti waveguide dengan rugi daya terendah.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

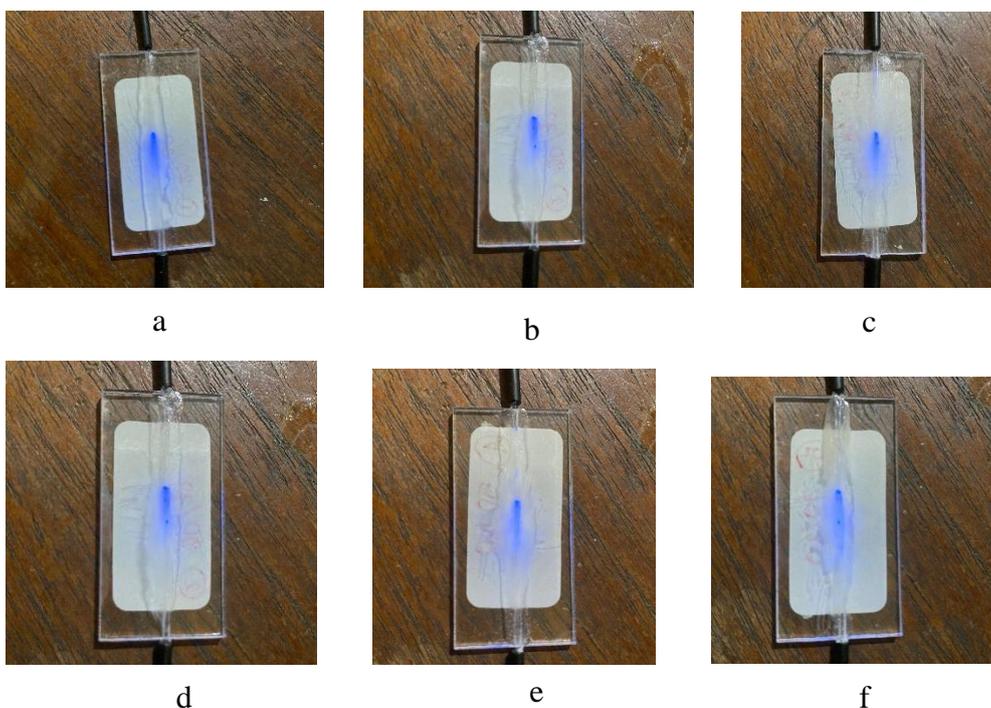
Fabrikasi Waveguide

Telah dilakukan fabrikasi waveguide dengan variasi konsentrasi EPS dan UPR yaitu (Sampel A), (Sampel B), (Sampel C), (Sampel D), (Sampel E), (Sampel F), dengan variasi konsentrasi seperti di tunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Konsentrasi Campuran EPS dan UPR

Sampel	EPS	UPR
1	20%	80%
2	30%	70%
3	40%	60%
4	50%	50%
5	60%	40%
6	70%	30%

Hasil permukaan sampel ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Struktur permukaan waveguide yang sudah di fabrikasi (a) Sampel A, (b) Sampel B, dan seterusnya hingga (f) Sampel F

Pada proses fabrikasi waveguide perhitungan waktu pengeringan pada masing masing sampel. Berikut hasil waktu pengeringan pada masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Waktu Pengeringan Sampel

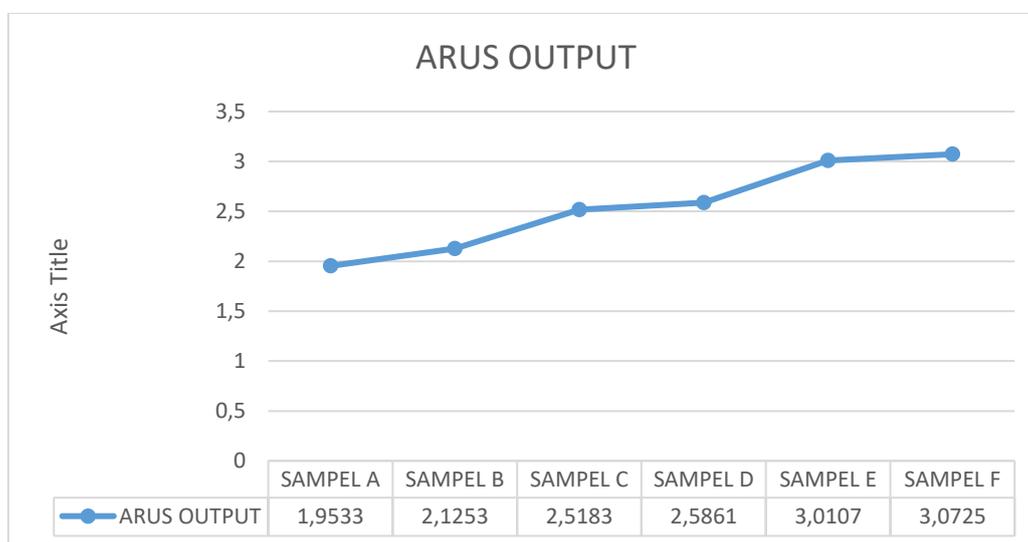
Sampel	Waktu (Menit)
A	48

B	65
C	70
D	89
E	93
F	110

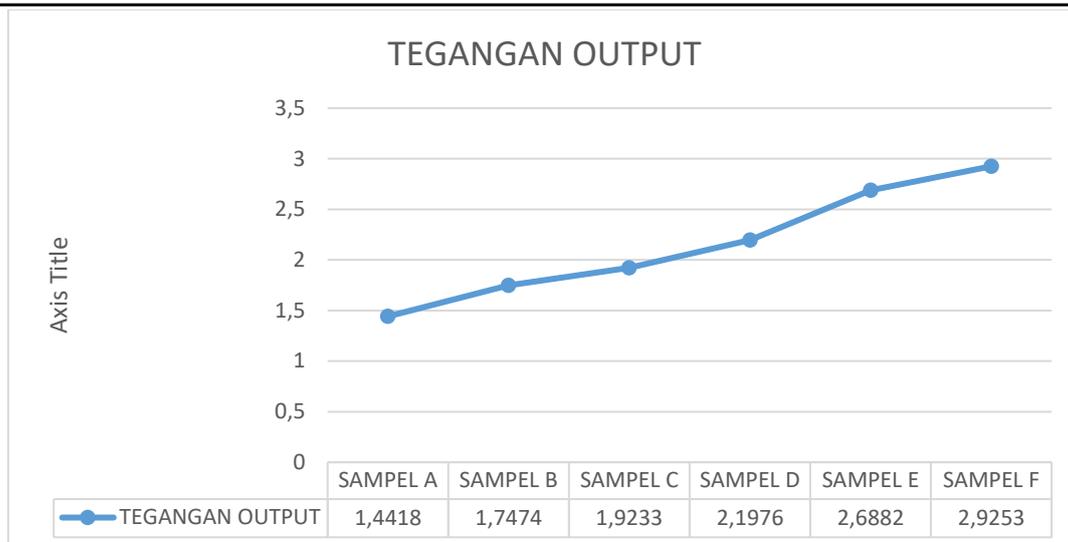
Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi UPR pada waveguide maka waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan akan semakin cepat. Hal ini dikarenakan UPR merupakan material yang mudah mengering. Jika dibandingkan dengan sampel yang lain, sampel A hanya membutuhkan waktu 48 menit hingga sampel mengering sempurna. Dan untuk sampel F membutuhkan waktu 110 menit agar sampel bisa kering dengan sempurna

Karakterisasi Waveguide

Perhitungan tegangan masukan dan keluaran cahaya pada waveguide dilakukan menggunakan detektor photodiode yang sudah dikalibrasi komponennya dan dihubungkan pada multimeter digital. Perbandingan tegangan input dan keluaran cahaya pada waveguide digunakan untuk perhitungan rugi daya keluaran waveguide. Setelah dilakukan pengukuran tegangan input LED pada masukan waveguide adalah 4,795 volt dengan arus 4,577 A. Hasil karakterisasi waveguide dengan variasi konsentrasi inti material ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 4. Grafik Arus Keluaran Pada Sampel Waveguide

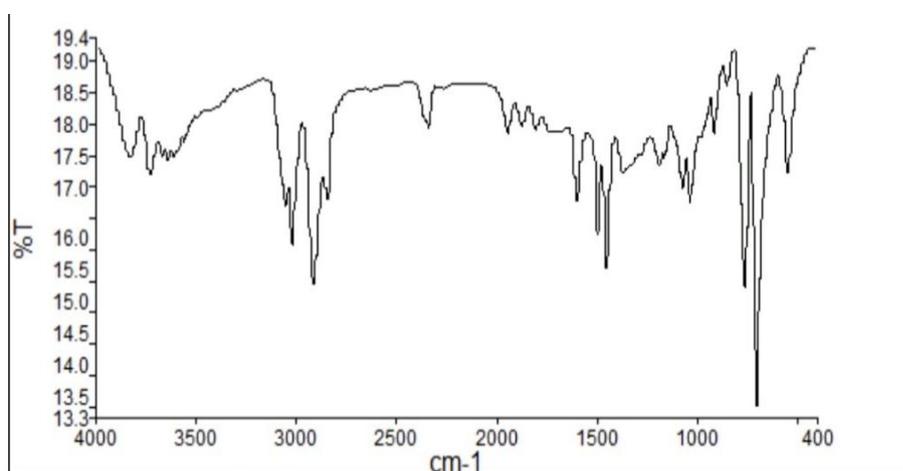


Gambar 5. Grafik Tegangan Keluaran Pada Sampel Waveguide

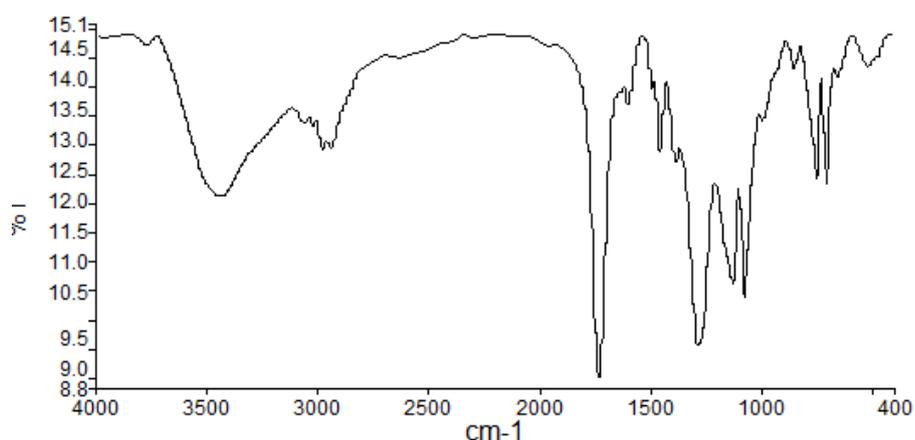
Dalam grafik tersebut menunjukkan sampel A memiliki loss tegangan dan arus yang cukup besar. Hal ini dikarenakan konsentrasi UPR lebih besar dibandingkan sampel yang lain. Perbandingan nilai arus dan rugi daya pada ke enam sampel dapat diamati dan dihasilkan bahwasannya semakin besar konsentrasi UPR pada inti material maka nilai loss arus dan tegangan semakin besar.

Uji FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimiawi yang terdapat pada sampel EPS yang telah dipanaskan pada suhu 200°C dan campuran EPS dengan resin UPR. Pada spektrum EPS termal (Gambar 6), tampak penurunan intensitas pada pita serapan sekitar 3000 cm⁻¹ yang berkaitan dengan regangan C–H aromatik, serta pelemahan puncak di sekitar 1600 cm⁻¹ yang menunjukkan regangan C=C pada cincin aromatik. Hal ini mengindikasikan adanya degradasi struktur kimia polistirena akibat proses pemanasan.

Sementara itu, spektrum FTIR pada campuran EPS dan resin UPR (Gambar 7) menunjukkan adanya puncak khas karbonil (C=O) dari gugus ester pada rentang 1715–1730 cm⁻¹, serta puncak-puncak lain di sekitar 1630 cm⁻¹ (C=C) dan 1100–1300 cm⁻¹ (C–O–C), yang merupakan karakteristik resin UPR. Puncak-puncak EPS masih teridentifikasi dengan jelas, menandakan bahwa struktur kimia kedua material tetap terjaga dan tidak mengalami reaksi destruktif selama proses pencampuran.



Gambar 6. Grafik Spektrum Serbuk EPS



Gambar 7. Grafik Spektrum Campuran EPS dan UPR

Hasil ini menunjukkan bahwa campuran EPS dan UPR memiliki kestabilan kimia yang baik dan menunjukkan adanya kompatibilitas antarfasa, yang memperkuat asumsi bahwa material ini membentuk struktur padat yang homogen. Dengan dukungan hasil uji morfologi dan optik tambahan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa campuran ini layak digunakan sebagai material inti dalam aplikasi waveguide.

KESIMPULAN

Waveguide yang memiliki loss arus dan tegangan paling kecil adalah waveguide F dengan konsentrasi EPS dan UPR sebesar 70% dan 30%. Waveguide yang memiliki keefektifan pembuatan adalah waveguide A dengan konsentrasi EPS dan UPR sebesar 20% dan 80%. Dapat dilakukan uji indeks bias pada material dengan nilai loss arus dan tegangan yang paling rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahtiar, A., & Kurniawati, Y. (n.d.). Efek Jenis Pelarut pada Sifat Optiko Morfologi Loss dari Pandu Permukaan dan Koefisien Wavegaide. 4, 2–6.
- Du, W., & Zhao, F. (2014). Surface plasmon resonance based silicon carbide optical waveguide sensor. *Materials Letters*, 115, 92–95. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.10.035>
- Ismanto, T., & Alaydrus, M. (2013). Perancangan Transisi Koaxial Ke Waveguide WG8 Toni Ismanto 1, Mudrik Alaydrus 2. 4(2), 36–43.
- Jiang, L., Yang, J., Wang, S., Li, B., & Wang, M. (2011). Fiber Mach-Zehnder interferometer based on microcavities for high-temperature sensing with high sensitivity. In *Optics Letters* (Vol. 230, Issue 19).
- Kumar, D., Anandan, R., & Ekanthamoorthy, J. (2015). Advances in Dental-PMMA based artificial teeth through Rapid Prototyping technology. *Biomed Res*, 26, S6-8.
- Mathews, A. J. (2014). Object-based spatiotemporal analysis of vine canopy vigor using an inexpensive unmanned aerial vehicle remote sensing system. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 085199. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.8.085199>
- Mufatihah, Nishfa (2022). Fabrikasi Dan Karakterisasi Waveguide Dengan Inti Material Limbah Expanded Polystyrene
- Prajzler, V., Maštera, R., & Jeřábek, V. (2014). Large Core Planar 1 x 2 Optical Power Splitter with Acrylate and Epoxy Resin Waveguides on Polydimethylsiloxane Substrate. Czech Technical University.
- Sanjaya, E. (2012). Fabrikasi Dan Karakterisasi Film Tipis Polystyrene Untuk Aplikasi Gelombang Planar

- Woyessa, G., Nielsen, K., Stefani, A., Markos, C., & Bang, O. (2016). Temperature insensitive hysteresis free highly sensitive polymer optical fiber Bragg grating humidity sensor. *Optics Express*, 24(2), 1206. <https://doi.org/10.1364/oe.24.001206>
- Yulianti, I., Ngurah Made, D. P., Lestiyanti, Y., & Kurdi, O. (2018). Optimization of Ridge Waveguide Structure for Temperature Sensor Application Using Finite Difference Method. *MATEC Web of Conferences*, 159. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815902020>