

Rekabentuk dan Fabrikasi Penceraai POF Bercabang Y Simetri Menggunakan Pandugelombang Satah

(Design And Fabrication of Symmetric Y-Branch POF Splitters Using Planar Waveguide)

Muhammad Azizul Hakim Zulkifli^a, XiaoHong Duana^e, Iszan Hana Kaharudin^b, Seri Mastura Mustaza^a,
 I-Shyan Hwang^c & Mohammad Syuhaimi Ab Rahman^{d*}

^a*Department of Electrical, Electronic and System Engineering, Faculty of Engineering & Built Environment,
 Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia*

^b*School of Liberal Studies, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia*

^c*Department of Computer Science and Engineering, Yuan-Ze University, Chung-Li, Taiwan*

^d*Electrical and Computer Engineering Program, Faculty of Engineering,
 Sohar University, PC:311, Sohar, Oman*

^e*School of Information Engineering, Shandong Huayu University of Technology, Dezhou 253034, China*

*Corresponding author: syuhaimi@ukm.edu.my

Received 17 March 2024, Received in revised form 21 April 2026

Accepted 21 May 2026, Available online 30 July 2026

ABSTRAK

Gentian optik adalah penting untuk komunikasi moden, mengatasi batasan sistem tradisional. Wi-Fi 6 menangani kesesakan rangkaian tetapi masih menghadapi masalah isyarat dan keselamatan. Gentian Optik Polimer (POF) ialah alternatif yang fleksibel kepada wayar kuprum atau gentian kaca. Untuk melaksanakan sistem WDM-POF, penceraai POF boleh dibuat menggunakan pelbagai teknik seperti memutar, acuan atau litografi. Bagi kajian ini, penceraai POF dibangunkan menggunakan teknik pandu gelombang satah yang telah diukir pada blok akrilik (PMMA) yang dipanggil sebagai pandugelombang optik polimer (POW). Objektif kajian adalah untuk mereka bentuk peranti penceraai optik bercabang Y, memfabrikasikan reka bentuk penceraai tersebut dan melakukan analisis prestasi terhadap peranti yang mempunyai teras dengan indeks biasan berlainan. Persamaan disediakan untuk mengira faktor seperti sudut cabang Y dan panjang tirus. Perisian CAD digunakan untuk proses reka bentuk, kemudian fabrikasi dibuat menggunakan mesin ukiran. Perisian OpticStudio yang digunakan untuk simulasi dan pengukuran kuasa dijalankan. Peranti penceraai optik 1x2 cabang Y telah berjaya dihasilkan dan dibuat dengan sudut cabang 17.5°. Nilai purata kehilangan sisipan dengan hanya udara sebagai bahan teras untuk Port 1 ialah 17.3 dB dan Port 2 ialah 17.1 dB. Berdasarkan keputusan simulasi dengan nilai indeks daripada Epo-Tek OG603 dan epoksi SU-8, peranti ini mempunyai kehilangan sisipan sebanyak 3.77 dB dan 3.67 dB. Kehilangan Lebihan ialah 0.78 dB dengan Nisbah Pemisahan/Gandingan hampir 50:50. Walaubagaimanapun, peranti POW yang dibangunkan menggunakan bahan Epo-Tek OG603 mempunyai nilai kehilangan sisipan antara 7 dB hingga 14 dB. Ini menunjukkan bahawa penceraai cabang Y berjaya menjadi penceraai kuasa 3 dB dan boleh diserapkan dalam rangkaian sistem WDM-POF.

Kata kunci: Gentian optik polimer; penceraai optik; penyurihan sinar

ABSTRACT

Optical fiber is crucial for modern communication, overcoming limitations of traditional systems. Wi-Fi 6 addresses network congestion but still faces signal and security issues. Polymer Optical Fiber (POF) is a flexible alternative to copper wire or glass fiber. To implement WDM-POF systems, POF splitters can be fabricated using various techniques such as twisting, moulding or lithography. For this study, POF splitters were developed using a waveguide technique that was engraved on an acrylic block (PMMA) which is called as polymer optical waveguide (POW). The objectives of the study are to design a Y-branched optical splitter device, fabricate the POF splitter design and perform a performance analysis of the device that has various cores with different refractive indexes. Equations are provided to calculate splitters specification such as Y branch angle and taper length. CAD software is used for the design process, then fabrication is done using an engraving machine. OpticStudio software used for simulations and power measurements was carried out. Y-branch 1x2 optical splitters device has been successfully produced and fabricated with a branch angle of 17.5°. The average value of insertion loss with only air as core material for Port 1 is 17.3 dB and Port 2 is 17.1 dB. Based on simulation results with index values from Epo-Tek OG603 and SU-8 epoxy, the device has an Insertion Loss of 3.77 dB and 3.67 dB. Excess Loss is 0.78 dB with a Split/Coupling Ratio near 50:50. However, the fabricated POW devices using Epo-Tek OG603 are having insertion loss from 7dB to 14 dB. This shows that the Y-branch splitter is a successful 3 dB power splitter and can be incorporated in the WDM-POF system network.

Keywords: Polymer optical fiber; optical splitter; ray tracing

PENGENALAN

Gentian Optik telah menjadi kunci utama infrastruktur komunikasi pada masa kini, dalam menangani masalah kekangan jalur lebar dan kadar ralat bit yang wujud dalam sistem komunikasi berasaskan isyarat elektromagnet tradisional dan memastikan isyarat dapat dihantar secara berterusan kepada pengguna (Aziz et al. 2009)(Ab-Rahman et al 2010a). Walaupun adanya teknologi rangkaian kawasan setempat tanpa wayar iaitu Wi-Fi 6 yang telah berkembang pesat sehingga dapat mengawal kesesakan lalulintas rangkaian seperti kesesakan frekuensi 2.4GHz dengan menggunakan frekuensi 5GHz, ia tetap mempunyai kebarangkalian untuk mengalami gangguan isyarat, pelemahan isyarat, masalah masa lengah dan juga masalah keselamatan data. Teknologi konvensional masih terikat dengan lebar jalur terhad tetapi gentian optik berkembang pesat dan melampaui dari jangkaan (Ab-Rahman et al. 2009). Kini, gentian optik polimer (POF) telah menjadi media penghantaran alternatif menggantikan kuprum atau gentian optik kaca untuk komunikasi jarak dekat. Ini kerana, POF mempunyai ketahanan terhadap gegaran serta lebih fleksibel dan mempunyai jejari pembengkokan yang lebih tinggi berbanding GOF (Kuzyk 2007). Kelebihan POF adalah ia dipasangkan dengan LED untuk komunikasi. LED adalah ideal kerana ia tidak akan terbakar dengan cepat dan lebih selamat. Disamping itu, LED juga lebih murah dantahan lama. Untuk mengaplikasi sepenuhnya sistem rangkaian WDM-POF, adalah penting untuk mengetahui peranti utama yang digunakan untuk sistem ini seperti pemancar, penceraai, pengganding, POF dan lain-lain. Dalam penyelidikan ini kita akan memberi tumpuan kepada peranti penceraai/ganding optik. Paling penting POF ini sangat mesra kepada pengguna.

Berdasarkan ciri-ciri POF dan kelebihanannya, ia sangat sesuai diaplikasikan dalam sistem rangkaian jarak dekat terutamanya rangkaian maklumat dalam kereta, rangkaian komunikasi dalam rumah, hospital dan infrastruktur serta premis-premis bersaiz sederhana yang lain. Penggunaan rangkaian POF dalam sistem pengangkutan berorientasi media (MOST) adalah banyak di kalangan kereta yang berjenama mewah seperti BMW, Mercedes, Audi dan lain-lain. Topologi rangkaian MOST kebanyakannya adalah jenis cincin (ring) yang membawa isyarat dari bunyi, video, suara dan data. Antara sebab penggunaan POF dalam MOST adalah kerana jumlah komponen yang digunakan menjadi lebih ringan berbanding wayar kuprum (Ab-Rahman et al. 2022). Bukan itu sahaja, POF juga dapat digunakan sebagai bahantara rangkaian komunikasi dalam rumah menggantikan kabel kuprum bagi memindahkan data. Ia dapat diaplikasikan dalam sistem data tiga jenis 'triple play services' iaitu video, audio dan data. Contohnya menyambungkan CCTV diluar rumah pada skrin komputer. Sistem ini juga dapat ditambah baik dengan menggunakan teknik pemultipleks pembahagi panjang gelombang (WDM-POF) dimana semua jenis data dapat dihantar menggunakan satu kabel POF sahaja sebelum berlaku penyahmultipleks semula

Terdapat banyak teknik menghasilkan penceraai POF. Teknik-teknik ini termasuk memutar dan bercantum, menggilap sisi, goresan kimia, pemotongan dan pelekatan, ubah bentuk haba, pengacuan, badan bikon dan badan pemantul. Kaedah pandu gelombang satah telah digunakan dalam kajian ini bagi merealisasikan reka bentuk penceraai POF. Antara reka bentuk penceraai POF yang selalu digunakan adalah berbentuk cabang Y. Sebelum ini, penceraai cabang Y biasanya dibuat dengan menggilap beberapa gentian dan melekatkan kedua-duanya bersama-

sama. Selain itu, teknik litografi juga pernah dilakukan iaitu acuan induk direka dari plastik akrilik, PMMA dibentuk melalui pemesinan CNC berkelajuan tinggi. Acuan induk ini kemudiannya digunakan untuk menghasilkan pencerai 1×N cabang Y (Ghazali et al. 2021).

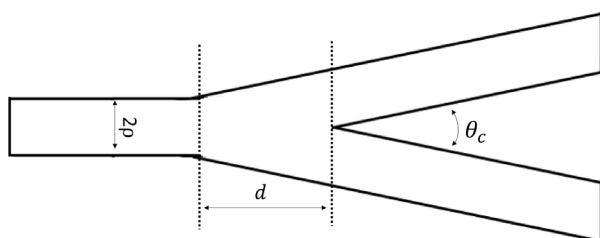
Melalui hasil kajian daripada (Ab-Rahman et al. 2010b), pencerai terakur tirus atau dikenali sebagai *Low-Cost Fused Taper* (LFT) yang menggunakan konsep buat sendiri atau 'DIY' telah dihasilkan. Ia mempunyai kecekapan pemisahan yang baik, dengan nilai di bawah 5 dB kehilangan sisipan. Melalui kajian (Sariki et al. 2021), kajian yang dilakukan menggunakan kaedah acuan pandu gelombang tirus. Reka bentuk peranti yang dihasilkan adalah berbentuk 1x2 pencerai-Y dengan sudut pemisahan sebanyak 53°. Kehilangan sisipan adalah 8.23 dB dan 11.6 dB. Kajian daripada (Ghazali et al. 2021) pula menggunakan kaedah litografi lembut dengan kehilangan lebih peranti 1 (tiada Epo-Kwick) ialah kira-kira 1.0 dB, dan dalam peranti 2, lebih kurang 0.1 dB.

Kajian baharu dilakukan untuk menghasilkan pencerai optik melalui kaedah pandu gelombang satah cabang Y menggunakan bahan *Epo-Tek OG603* dan polimer *SU-8* sebagai teras manakala PMMA sebagai bahan salutan. Simulasi pergerakan sinar dilakukan terhadap model reka bentuk pencerai yang diubah suai supaya analisis yang dilakukan dapat memberi gambaran sebenar prestasi pencerai dengan teras berbeza. Kelebihan bagi teknik yang digunakan dalam kajian ini adalah penghasilan pencerai POF ini mempunyai kos rendah jika dihasilkan dalam kuantiti yang banyak dan sesuai untuk memenuhi permintaan pembeli jika ia berada di pasaran.

KAEDAH KAJIAN

PEMBANGUNAN PROTOTAIP PERANTI

Rajah 1 menunjukkan struktur geometri peranti cabang Y simetri yang digunakan dalam penyelidikan ini. (Beltrami et al. 1999) menunjukkan bahawa bagi penghasilan cabang Y tanpa kehilangan, faktor-faktor berikut perlu dikira berdasarkan persamaan yang diberikan.



RAJAH 1. Struktur geometri pencerai cabang Y

Sudut percabangan, Ω dinyatakan seperti di bawah,

$$\Omega \leq \frac{\theta_c D}{D+1} \quad (1)$$

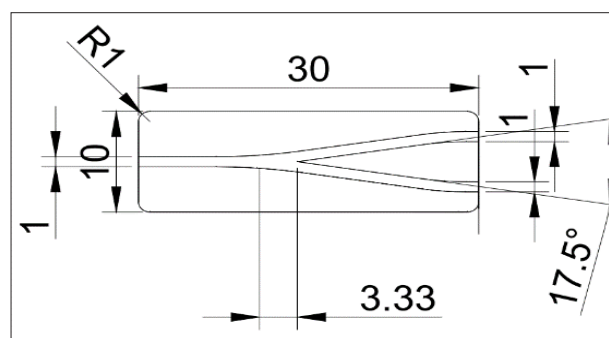
θ_c ialah sudut genting pelengkap, n_{teras} ialah indeks biasan bahan pandu gelombang bagi teras dan n_{salutan} ialah indeks biasan bahan pelapisan,

$$\theta_c \leq \sin^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{(n_{\text{teras}}^2 - n_{\text{salutan}}^2)}}{n_{\text{teras}}} \right\} \quad (2)$$

d ialah panjang tirus pandu gelombang dan ρ ialah separuh diameter pandu gelombang dimana SI POF yang digunakan adalah berdiameter 1 mm.

$$D = \frac{d \cdot \sin \Omega}{\rho \cdot (2 - \cos \Omega)} \quad (3)$$

Rajah 2 menunjukkan reka bentuk struktur geometri peranti cabang Y simetri yang digunakan dalam penyelidikan ini berdasarkan Rajah 1. Reka bentuk telah dihasilkan menggunakan perisian *AutoCAD 2023*. Bahan yang ditetapkan bagi teras pencerai adalah *Epo-Tek OG603* dengan $n=1.5037$ manakala salutan dan keseluruhan peranti adalah akrilik iaitu PMMA dengan $n=1.4906$. Bahan polimer *Epo-Tek OG603* merupakan bahan yang mempunyai indeks biasan yang hampir kepada bahan PMMA yang membina gentian POF. Oleh itu ia sesuai sebagai bahan pandu gelombang.

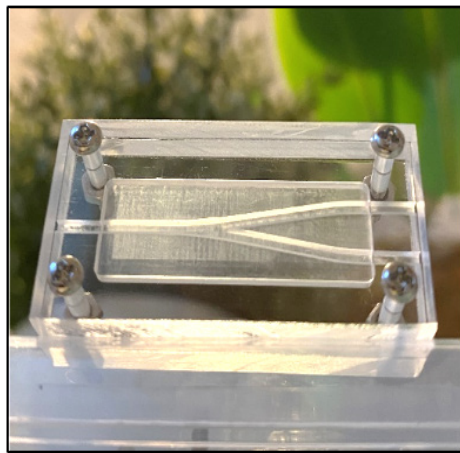
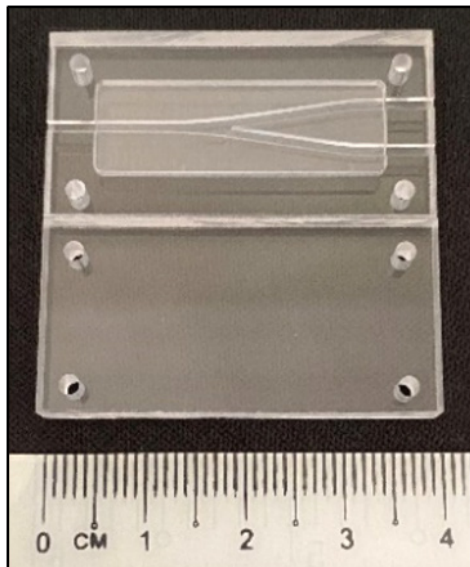


RAJAH 2. Reka bentuk CAD bagi pencerai optik

Proses penghasilan model 3D bermula dengan lukisan 2D, bahagian tapak perumahan dilukis berdasarkan struktur pencerai. Reka bentuk tapak perumahan juga dilukis dengan mengambil kira saiz POF iaitu 1 mm dan saiz skru M2 berdiameter 2 mm yang digunakan untuk mengetatkan

keseluruhan peranti setelah diletakkan penutup. Hasil reka bentuk yang dihasilkan seterusnya dieksport kepada fail berformat *Drawing Exchange Format* (DXF) untuk proses fabrikasi.

Rajah 3 menunjukkan hasil fabrikasi model 3D peranti yang berjaya diukir menggunakan mesin pengukir *Roland's Modela MDX-40A*. Peranti ini dipanggil pandugelombang optik polimer (polymer optical waveguide, POW)

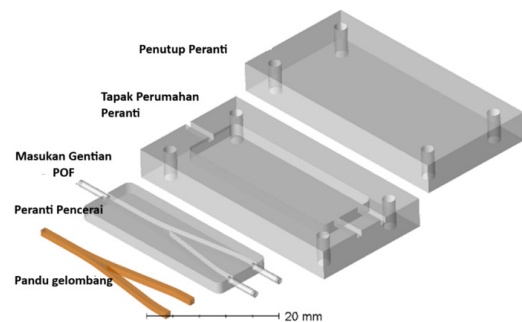


RAJAH 3. Peranti pencerai POW yang telah difabrikasi

SIMULASI PERGERAKAN CAHAYA DAN PENILAIAN PERANTI

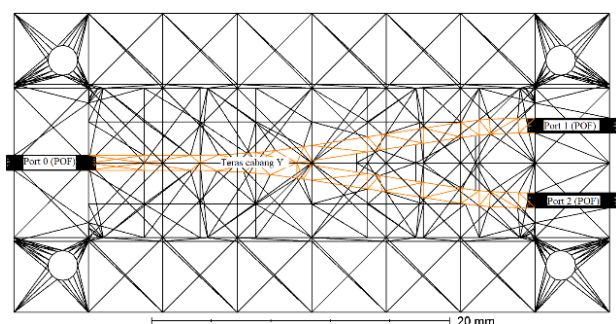
Simulasi peranti pencerai optik cabang Y ini telah dilakukan menggunakan perisian *Zemax OpticStudio*. Sebelum pengesanan sinar dilakukan menggunakan *Zemax*, beberapa parameter komponen yang digunakan dalam simulasi perlu ditakrifkan. Nilai indeks biasan bagi teras gentian POF adalah $n=1.49$ manakala indeks bagi

salutannya adalah $n=1.40$. Tapak perumahan dan penutup ditakrifkan sebagai akrilik atau PMMA yang pada dasarnya adalah bahan lutsinar dengan indeks $n=1.49$. Indeks biasan untuk teras pandu gelombang ditakrifkan sebagai $n=1.5037$ mewakili bahan polimer *Epo-Tek OG603*, $n=1.58$ sebagai epoksi *SU-8* dan indeks salutan (komponen selain teras) cabang Y ialah $n=1.49$ mewakili PMMA. Ujikasi menggunakan polimer SU-8 adalah sebagai rujukan sahaja. SU-8 merupakan salah satu bahan alternatif dalam teknologi pandu gelombang bersaiz mikro yang digandingkan dengan gentian kaca.



RAJAH 4. Komponen CAD bagi simulasi sinar

Rajah 4 menunjukkan model 3D bagi komponen pencerai sebelum digabungkan untuk simulasi. Untuk melaksanakan pengesanan sinar tidak berurutan (*Non Sequential Ray Tracing*) pada peranti, struktur ini dibahagikan kepada beberapa komponen berasingan. Komponen ini digabungkan untuk mensimulasikan komponen sebenar peranti pencerai yang telah difabrikasi. Antaranya ialah bahagian penutup, tapak perumahan, pencerai cabang Y, teras pandu gelombang dan gentian POF yang terdiri daripada teras gentian dan salutan gentian. Kesemua komponen diimport dari model yang dihasilkan dalam perisian *AutoCAD 2023*. Untuk komponen gentian POF pula, teras bersaiz $980\ \mu\text{m}$ dan salutan bersaiz $20\ \mu\text{m}$ digabungkan mewakili gentian SI POF 1 mm. Rajah 5 menunjukkan model simulasi yang telah dicantumkan dan bersedia untuk dilakukan simulasi ke atasnya.



RAJAH 5. Kedudukan komponen bagi simulasi

Sumber optik yang digunakan adalah sumber bulat/radial dengan panjang gelombang 650 nm, 850 nm, 1310 nm dan berkuasa 1 mW. Pengesan cahaya yang ditakrifkan pula berbentuk bulat serta berdiameter 1 mm seperti yang telah dilakukan oleh (Ghazali et al. 2021).



RAJAH 6. Alat pemancar dan pengukur kuasa optik

Seterusnya, peranti penceraai optik yang telah difabrikasi diuji pula dengan menggunakan perkakas pengukur kuasa. Kuasa keluaran peranti ini diukur pada panjang gelombang 650nm dengan kemasukan sebanyak 78 μ W menggunakan pemancar cahaya LED dari AF-OS417-MD dan pengukur kuasa optik AF-OM110A. Alat yang digunakan adalah seperti Rajah 6. Data yang diperoleh melalui alat ini seterusnya diproses kepada bentuk nisbah kehilangan seperti nilai nisbah ceraian (CR), kehilangan sisipan (IL) dan kehilangan lebihan (EL).

Nisbah ceraian (CR) adalah nisbah kuasa optik dari satu port keluaran (P_1) kepada purata jumlah semua port keluaran ($P_1 + P_2$). Ia dapat dirumuskan seperti:

$$CR = \left(\frac{P_1}{P_1 + P_2} \right) \times 100\% \quad (4)$$

Kehilangan sisipan (IL) adalah nisbah kuasa optik di port kemasukan (P_0) kepada salah satu port keluaran. Ia dapat dirumuskan seperti:

$$IL = -10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \quad (5)$$

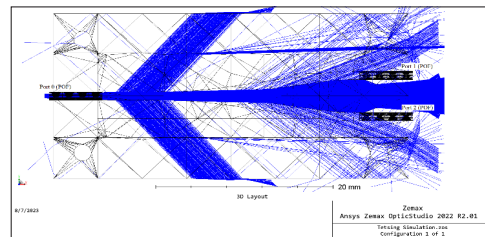
Kehilangan lebihan (EL) adalah nisbah kuasa optik dari satu port kemasukan kepada jumlah semua kuasa optik bagi port keluaran. Ia dapat dirumuskan seperti:

$$EL = -10 \log \left(\frac{P_1 + P_2}{P_0} \right) \quad (6)$$

CR, IL, dan EL merupakan parameter piawai dalam menilai prestasi sesebuah peranti optik. Ia menentukan betapa cekapnya peranti tersebut dalam mengagihkan isyarat optik ke setiap pangkalan output. Parameter-parameter ini penting kerana ia menyumbangkan kepada peruntukan kuasa bagi sesebuah rangkaian optik. Lebih kecil adalah lebih baik prestasi lesapan peranti tersebut.

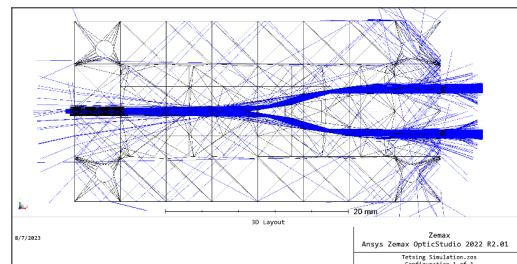
HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN

Peranti penceraai optik cabang Y 1x2 berjaya di hasilkan dan difabrikasikan dengan sudut cabang sebanyak 17.5°. Berdasarkan bentangan penyurihan sinar pada Rajah 7, sinar terserak dengan begitu banyak sehingga tersasar dari laluan pandu gelombang cabang Y. Hal ini kerana teras mempunyai nilai indeks yang lebih rendah dari salutannya menyebabkan cahaya terbias di kawasan luar pandu gelombang Y. Oleh itu, kebanyakan sinar bergerak kearah tengah peranti menuju penghujungnya dan tidak terpantul di dalam cabang Y.



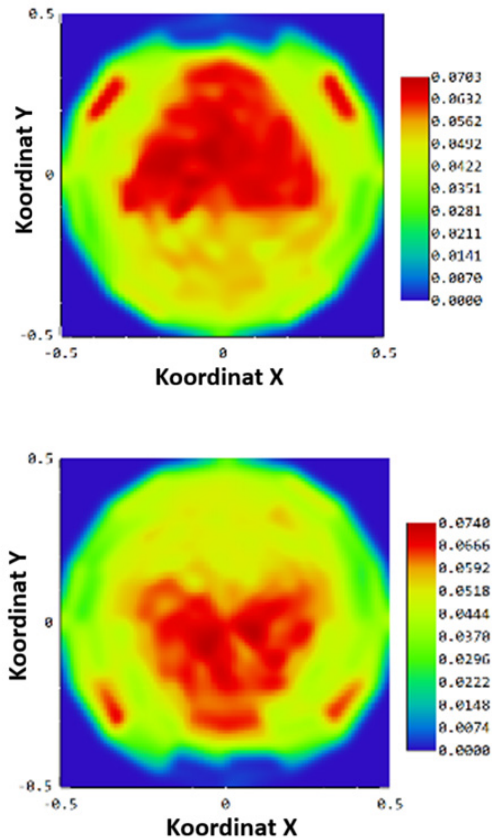
RAJAH 7. Penyurihan sinar bagi model berterasi udara

Berdasarkan Rajah 8, bentangan menunjukkan sinar lebih terurus di dalam laluan pandu gelombang cabang Y. Garis-garis sinar dapat dilihat terpantul di dalam lurah teras cabang Y. Hal ini kerana teras mempunyai nilai indeks yang lebih tinggi dari salutannya menyebabkan cahaya tidak terbias di kawasan luar pandu gelombang serta berlaku pantulan penuh (TIR) dalam kawasan teras. Oleh itu, kebanyakan sinar bergerak dan berpecah pada tengah cabang Y dan menuju ke Port keluaran 1 dan Port keluaran 2.



RAJAH 8. Penyurihan sinar bagi model berterasi 1.5037

Oleh itu, kita dapat lihat keamatan cahaya yang tinggi pada port keluaran peranti yang diletakkan POF seperti Rajah 9. Ini bermakna penceraai berjaya memandu gelombang sepanjang luruh cabang Y dengan baik.

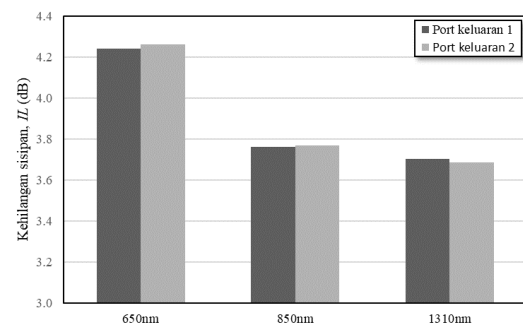


RAJAH 9. Pengesan sinar pada port keluaran penceraai

Namun begitu, masih ada beberapa serakan berlaku semasa sinar memasuki kabel POF (Port 1 dan Port 2) kerana cahaya dengan mod tinggi mempunyai bukaan berangka yang besar lalu terbias ke bahagian luar teras. Hal ini telah dijangkakan kerana apabila cahaya bergerak dari bahanantara yang berbeza, pasti akan berlaku pembiasan. Struktur geometri juga memainkan peranan berlakunya kehilangan kuasa kerana bentuk teras pandu gelombang adalah petak manakala POF berbentuk bulat.

Rajah 10 menunjukkan graf bar bagi purata kehilangan sisipan (*Insertion Loss*, dB) terhadap peranti berterasi $n=1.5037$. Ini ialah nilai purata bagi 6 simulasi secara rawak. Nilai sisipan yang unggul adalah pada 3.0 dB bagi setiap port keluaran. Nilai 3.0 dB bermaksud kuasa pada keluaran adalah separuh dan sangat bertepatan dengan ciri-ciri penceraai yang membahagikan kuasa kemasukan. Melalui graf ini, kita dapat lihat kehilangan adalah menghampiri 3.0 dB bagi cahaya kemasukan 850 nm dan 1310 nm. Oleh itu, berdasarkan hasil simulasi ini, sumber cahaya 1310nm berupaya untuk memberikan prestasi yang

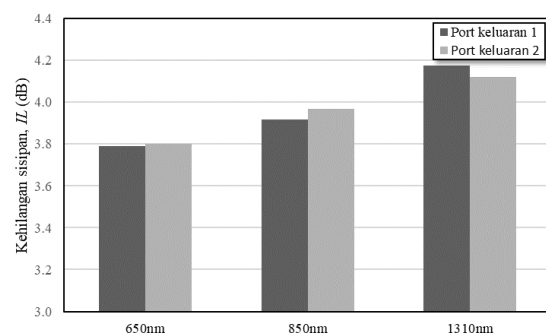
terbaik bagi peranti penceraai menggunakan teras berindeks 1.5037.



RAJAH 10. Purata kehilangan sisipan bagi teras 1.5037 (*Epo-Tek OG603*)

Rajah 11 pula menunjukkan graf bar bagi purata kehilangan sisipan (*Insertion Loss*, dB) terhadap peranti berterasi $n=1.58$. Melalui graf ini, kuasa keluaran bagi Port 1 dan Port 2 adalah tidak terlalu berbeza kerana nilai IL adalah tidak terlalu ketara. Ini menunjukkan bahawa nisbah gandingan (*Coupling Ratio*, CR) bagi peranti penceraai optik ini adalah sekitar 50:50 iaitu proses pencerai cahaya yang agak simetri. Purata kehilangan sisipan yang terendah bagi kedua-dua port keluaran antara ketiga-tiga panjang gelombang adalah apabila menggunakan sumber cahaya dengan panjang gelombang 650 nm. Hal ini berbeza jika dibandingkan dengan simulasi berterasi 1.5037, dimana nilai terendah adalah bagi panjang gelombang 1310 nm.

Ini menunjukkan bahawa bahan berindeks 1.58 dapat memberikan prestasi yang terbaik apabila diuji dengan cahaya 650nm. Penyerakan, penyerapan dan pembiasan yang menyumbang pada kehilangan optik adalah sedikit pada 650nm menyebabkan prestasi penceraai adalah optimum menggunakan teras serta sumber cahaya ini.



RAJAH 11. Purata kehilangan sisipan bagi teras 1.58 (SU-8)

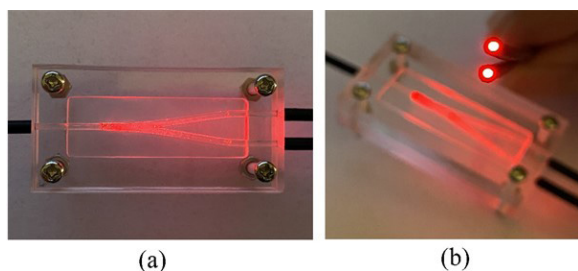
Rajah 12 menunjukkan persediaan peralatan yang digunakan untuk mengukur kuasa keluaran peranti penceraai optik yang telah difabrikasi. Penyesuai AD-510 digunakan

pada kedua-dua alat bagi memudahkan penyambungan kabel POF. Set peranti optik disimpan di dalam bekas yang mempunyai pembalut gelembung bagi mengurangkan hentakan pada set-set peranti serta mengelakkan kerosakan semasa penyimpanan. Kuasa port keluaran diukur satu persatu bagi kesemua set peranti. Suis 650nm dipilih pada Pemancar optik AF-OS417-MD bagi mengeluarkan cahaya merah dari LED



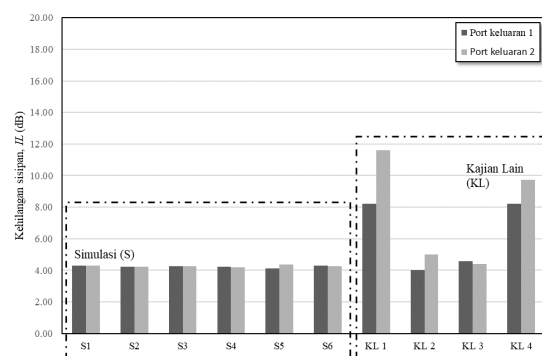
RAJAH 12. Persediaan alatan yang semasa ujikaji

Rajah 13(a) menunjukkan keadaan peranti pencerai POF ketika diuji dengan sumber cahaya LED bewarna merah (650nm). Port kemasukan mempunyai kabel POF yang disambungkan pada LED dan terus memasuki peranti pada Port 0. Cahaya terbias keluar dari kabel POF lalu bergerak dalam cabang Y peranti. Berdasarkan pemerhatian pada warna dalam Rajah 13(a), terdapat kehilangan kuasa optik yang diwakili oleh titik cahaya merah yang terang. Titik merah ini menunjukkan bahawa cahaya di kawasan tersebut telah terpantul dan dapat dilihat dengan mata kasar. Keputusan uji kaji ini adalah diluar jangkaan kerana berdasarkan simulasi, apabila indek pembiasan yang digunakan adalah udara, hampir mustahil untuk membuatkan cahaya bergerak melalui cabang Y. Walaupun cahaya masih bergerak melalui cabang Y, kehilangan optik adalah masih tinggi. Rajah 13(b) pula menunjukkan cahaya pada kedua-dua port keluaran pencerai yg disambungkan pada kabel POF. Cahaya keluar pada port 1 dan 2 adalah seragam dan menunjukkan reka bentuk peranti ini menghasilkan pencerai yang simetri.



RAJAH 13. (a) Cahaya bergerak dari port kemasukan ke dalam cabang Y (b) cahaya pada kedua-dua port keluaran

Rajah 14 menunjukkan perbandingan antara nilai kehilangan sisipan yang diperoleh dari kajian ini berbanding kajian oleh penyelidik lain. Data yang dipilih adalah kehilangan sisipan bagi peranti dengan teras $n=1.5037$ iaitu simulasi bagi teras polimer *Epo-Tek OG603*. Purata kehilangan sisipan adalah sebanyak 4.25 dB bagi Port 1 dan 4.26 dB bagi Port 2.

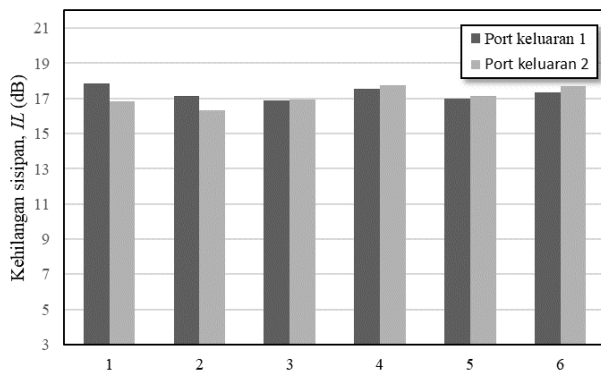


RAJAH 14. Perbandingan data simulasi dan kajian lain

JADUAL 1. Data prestasi terbaik pencerai bagi teras berbeza

Sampel	Teras Pandu Gelombang (n)	Kehilangan Sisipan (dB) @ 650nm	
		Port Keluaran 1	Port Keluaran 2
1	1.0000 (uji kaji)	16.9	16.9
2	1.0000 (simulasi)	44.7	44.7
3	1.5037 (simulasi)	4.2	4.2
4	1.5800 (simulasi)	3.8	3.7

Rajah 15 pula menunjukkan nilai kehilangan sisipan bagi 6 sampel peranti yang telah diuji menggunakan set pengukur kuasa optik. Peranti ini hanya mempunyai teras udara dengan nilai indeks biasa sebanyak $n=1.0$. Nisbah gandingan bagi Port 1 dan Port 2 untuk kesemua sampel adalah dalam julat 44.3% sehingga 55.7%, menunjukkan bahawa nisbah gandingan peranti ini adalah simetri 50:50. Namun, kehilangan sisipan adalah sangat tinggi kerana jauh melebihi 3dB dan bertepatan dengan dapatan dari simulasi iaitu peranti dengan teras lebih rendah dari salutannya tidak sesuai dijadikan pencerai optik kerana kehilangan kuasa yang sangat tinggi. Purata nilai kehilangan sisipan bagi Port 1 adalah 17.3 dB dan Port 2 adalah 17.1 dB.



RAJAH 15. Nilai kehilangan dalam uji kaji pencerai

Hanya data bagi uji kaji menggunakan sumber cahaya 650 nm yang menjadi tumpuan kerana sistem POF pada asalnya bertujuan untuk beroperasi dalam panjang gelombang kawasan spektrum yang boleh dilihat iaitu pada 650 nm.

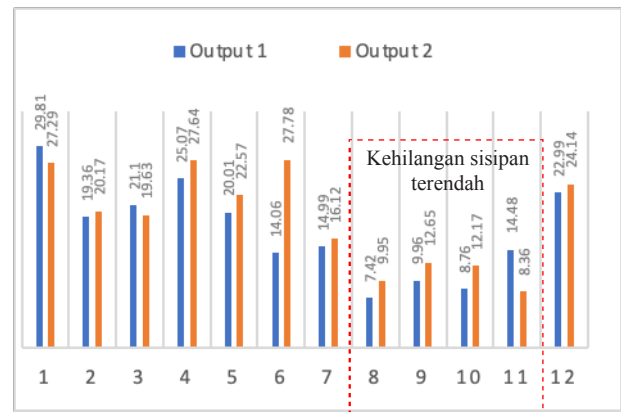
Beberapa masalah yang dihadapi semasa penyelidikan adalah seperti saiz reka bentuk awal adalah terlalu panjang. Ia menyebabkan masa pengukiran oleh mesin menjadi terlalu lama dan tidak sesuai. Oleh itu, saiz reka bentuk dikecilkan supaya ia sesuai untuk pengukiran dan masih lagi mengekalkan spesifikasinya.

Kehilangan kuasa adalah perkara biasa berlaku dalam peranti optik kerana pembiasan, pantulan dan pelemahan cahaya sentiasa berlaku akibat struktur bahan yang tidak sempurna. Semakin tinggi nilai indeks biasan bagi bahan-tara yang digunakan sebagai teras pencerai, semakin rendah nilai kehilangan yang dihasilkan pada port keluaran pencerai. Hasil kajian ini dapat dikaji dengan lebih lanjut apabila ia diaplikasikan dalam sistem WDM-POF. Selain daripada itu, nisbah agihan juga memberikan bacaan yang terbaik berbanding dengan peranti yang kini berada di pasaran.

PANDUGELOMBANG OPTIK POLIMER (POW)

Peranti pencerai kemudiannya dibangunkan menggunakan bahan pandu gelombang Epo-Tek. Rajah 16 menunjukkan ukuran kehilangan sisipan untuk pencerai POW. Sebagai perbandingan, didapati bahawa setiap port output pencerai POW mengalami kehilangan sisipan yang tinggi, antara 7 dB hingga 27 dB dengan 7.42 dB kehilangan sisipan minimum. Sampel 8 hingga 11 menunjukkan kehilangan sisipan yang rendah bermula 7 dB hingga 14 dB sahaja. Dalam kajian ini, kehilangan optik mungkin dikategorikan sebagai kehilangan ekstrinsik disebabkan oleh perubahan fizikal pandu gelombang (cabang) dan jurang antara pandu

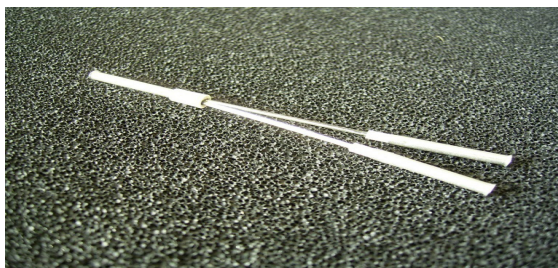
gelombang dan gentian (kecekapan gandingan). Dalam ujian pencirian, kehilangan optik mungkin berlaku melalui unjuran LED ke permukaan POF. Oleh itu, penyambung kehilangan rendah diperlukan untuk sambungan antara pemancar optik dan POF. Kuasa input ialah -2.95 dBm apabila laser dalam keadaan ON. Keseragaman juga memberangsangkan dengan perbezaan antara dua port untuk majoriti pencerai POW adalah kurang daripada 4 dB.



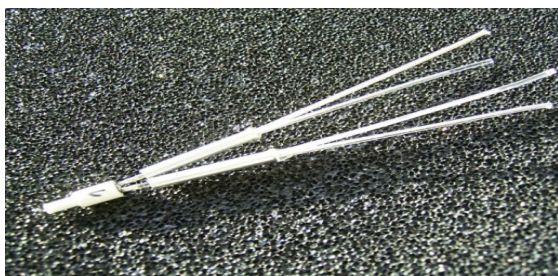
RAJAH 16 Kehilangan sisipan peranti POW

ANALISIS KOS

Kos penghasilan seunit sebuah peranti pencerai ini adalah sekitar RM700 bersamaan dengan Eur136 merupakan tawaran yang terbaik yang ada di pasaran. Teknologi pandu gelombang satah ini dipilih adalah disebabkan oleh keanjalan pada rekabentuk peranti yang dicorakkan di atas permukaan plastik tanpa melibatkan kos sampingan. Ia adalah pertama dilaporkan kerana peranti sedia ada di pasaran diperbuat daripada teknik pelakuran. Peranti berasaskan pandu gelombang satah ini membolehkan saiz rekabentuk peranti diubah (anjai) seperti 1x3, 1x4 dapat dibangunkan disamping membenarkan lebih banyak peranti diintegrasikan pada satu pelantar. Selain daripada itu juga, konsisten daripada pengulangan fabrikasi (repeatability) dan sesuai untuk pengeluaran bersaiz besar. Dilampirkan beberapa peranti komersial beserta harga pasaran dalam Rajah 17. Walaupun harga yang ditawarkan lebih rendah tetapi peranti yang dibangunkan lebih stabil dan boleh pelbagai variasi kerana dibina menggunakan teknik pandu gelombang satah.



(a) Syarikat A berharga Euro80



(b) Syarikat B berharga Eur100

RAJAH 17 Peranti sediada dipasaran beserta harga yang ditawarkan

KESIMPULAN

Secara umumnya, reka bentuk penceraai optik cabang Y telah berjaya direka menggunakan teori penceraai Y tanpa kehilangan oleh penyelidik Beltrami. Sebanyak 6 sampel penceraai optik berjaya difabrikasikan dari bahan PMMA menggunakan mesin pengukir. Analisis menggunakan simulasi dan ujikaji terhadap prestasi peranti ini berjaya dilakukan

Berdasarkan hasil simulasi, peranti ini mempunyai Kehilangan Sisipan (*Insertion Loss*) sebanyak 3.77dB dan 3.67dB. Kehilangan Lebihan (*Excess Loss*) adalah sebanyak 0.78dB dengan Nisbah Ceraian (*Splitting/Coupling Ratio*) hampir 50:50. Ini menunjukkan penceraai cabang Y berjaya menjadi pemisah kuasa 3 dB dan dapat diserapkan dalam sistem WDM-POF. Penyelidikan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menyuntik bahan polimer yang dinyatakan dalam kajian ini kedalam peranti yang telah difabrikasi demi mengkaji dan membezakan prestasi sebenar teras tersebut berbanding kaedah simulasi. Kehilangan sisipan peranti penceraai POW ini adalah sekitar 7dB hingga 14dB. Penceraai POW yang mempunyai prestasi sebegini dapat diaplikasikan dalam sistem WDM-POF untuk kegunaan rangkaian komunikasi dalam rumah, kereta, hospital dan infrastruktur lain yang bersaiz sederhana. Secara teori jarak maksimum yang boleh dicapai ialah 2 km tetapi dengan kemasukan isyarat lain menggunakan format WDM menjadikan jarak efektifnya menyusut sehingga 50 km sahaja. Walaubagaimanapun

50km ini sudah mencukupi untuk applikasi dunia kecil atau komuikais jarak dekat.

Kajian selanjutnya adalah untuk merendahkan nilai lesapan sisipan peranti dengan mengurangkan lesapan pada sambungan pandu gelombang-gentian serta melihat kestabilan pandu gelombang ini pada suhu yang berbeza.

PENGHARGAAN

Projek penyelidikan ini dijalankan di Makmal Penyelidikan Penyelidikan Teknologi Spektrum di bawah penyelidikan FRGS/1/2024/SS06/UKM/02/4 dan PRGS/1/2023/ICT10/UKM/01/1. Peranti ini telah didaftarkan hak milik dengan no pendaftaran MY=173757-A (19/2/2020) dan kini dalam proses pengkomersilan di bawah FKAB Edutech Sdn Bhd.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Ab-Rahman, M. S., Ng, B., Aziz, S. A. C., Tanra, M., Premadi, A., Saupe, M. N. M. & Jumari, K. 2010a. High efficiency of FTTH network management through SANTAD. *Journal of Network and Systems Management* 18(2): 210-231.
- Ab-Rahman, M. S., Guna, H. & Harun, M. H. 2010b. Fabrikasi dan pencirian penceraai optik 1 x 12 buatan tangan berprestasi tinggi berasaskan gentian optik plastik diperbuat daripada polimetil metakrilat. *Sains Malaysiana* 39(3): 459-466.
- Ab-Rahman, M. S., Safnal, H., Kaharudin, I. H. & Hwang, I. S. 2022. Green technology solution for small-world communication using plastic optical fiber (POF) and light emitting diode (LED)-design and application. *Sustainability* 14(17).
- Ab-Rahman, M. S., Md-Zain, N., Hassan, S. R. & Jumari, K. 2009. Rekabentuk peranti optik baru-penceraai-gabung optik 2 x 3 berasaskan pandu gelombang planar. *Jurnal Kejuruteraan* 21: 97-106.
- Annuar, A., Suaarr, S., Kamil, M. & Rasltenl, A. 2011. *Acrylic and Metal Based Y-Branch Plastic Optical Fiber Splitter with Optical NOA63 Polymer Waveguide Taper Region*. Laporan.
- Appajaiah, A. 2004. *Climatic Stability of Polymer Optical Fibers (POF)*. Laporan.
- Appajaiah, A., Kretzschmar, H. J. & Daum, W. 2007. Aging behavior of polymer optical fibers: Degradation characterization by FTIR. *Journal of Applied Polymer Science* 103(2): 860-870.

- Appajaiah, A., Wachtendorf, V. & Daum, W. 2006. Characterization of thermo-oxidative stability of polymer optical fibers using chemiluminescence technique. *Polymer Degradation and Stability* 91: 2605-2613.
- Aziz, S. A. C., Ab-Rahman, M. S. & Jumari, K. 2009. Customer access protection unit for survivable FTTH network. Dlm. *International Conference on Space Science and Communication 2009*, 26-27 Oktober 2009, Thistle Port Dickson, Negeri Sembilan, hlm. 71-73.
- Beltrami, D. R., Love, J. D. & Ladouceur, F. 1999. Multimode planar devices. *Optical and Quantum Electronics* 31(4): 307-326.
- Ehsan, A. A., Shaari, S. & Rahman, M. K. A. 2009. Metal-based 1 x 2 plastic optical fiber (POF) splitter for video over POF system application. Dlm. *2009 Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP)*.
- Ghazali, M. S. M., Romlay, F. R. M. & Ehsan, A. A. 2021. Manufacturing of polymer-based 1 x 2 Y-branch symmetric and asymmetric waveguide coupler through moulding technique. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering* 18(3): 8998-9005.
- Ghazali, M. S. M. & Ehsan, A. A. 2015. Fabrication of 1 x 2 Y-branch polymer waveguide coupler by using softlithography technique. Dlm. *I4CT 2015 - 2015 2nd International Conference on Computer, Communications, and Control Technology, Art Proceeding*, hlm. 446-449. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Jenny, R. 2000. *Fundamentals of Fiber Optics: An Introduction for Beginners*.
- Kagami, M. 2005. Visible optical fiber communication. *R&D Review of Toyota CRDL*.
- Kasap, S. O. 2007. Optoelectronics. Dlm. *The Optics Encyclopedia*.
- Kuzyk, M. G. 2007. *Polymer Fiber Optics: Materials, Physics, and Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Prajzler, V. & Mastera, R. 2017. Wavelength division multiplexing module with large core optical polymer planar splitter and multilayered dielectric filters. *Optical and Quantum Electronics* 49(4).
- Prajzler, V., Neruda, M. & Spirkova, J. 2013. Planar large core polymer optical 1 x 2 and 1 x 4 splitters connectable to plastic optical fiber. *Radioengineering*.
- Prajzler, V. & Zavrel, J. 2021. Large core optical elastomer splitter fabricated by using 3D printing pattern. *Optical and Quantum Electronics* 53(6).
- Sariki, R. K., Kambavalasa, S. K., Bandari, N. K. & Moningi, R. K. 2021. Design and fabrication of POF couplers/splitters for networking and displacement sensing. Dlm. *2021 International Symposium of Asian Control Association on Intelligent Robotics and Industrial Automation, IRIA 2021*, hlm. 183-186. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Senior, J. M. & Jamro, M. Y. 2009. *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*. Edisi ke-3. England: Pearson Education Limited.
- Snyder, A. W. & Love, J. D. 2012. *Optical Waveguide Theory*. New York: Springer US.
- Yang, B., Yang, L., Hu, R., Sheng, Z., Dai, D., Liu, Q. & He, S. 2009. Fabrication and characterization of small optical ridge waveguides based on SU-8 polymer. *Journal of Lightwave Technology* 27(18): 4091-4096.
- Ziemann, O., Krauser, J., Zamzow, P. E. & Daum, W. 2008. *POF Handbook: Optical Short Range Transmission Systems*.