

Fabrikasi dan Pencirian Penceraai Optik 1×12 Buatan Tangan Berasaskan Gentian Optik Polimer Diperbuat daripada Polimetil Metakrilat

(Fabrication and Characterization of Hand-Made 1×12 Splitter Based on Polymer Optical Fiber Made of Polymethyl Methacrylate)

MOHD SYUHAIMI AB-RAHMAN, HADI GUNA*, MOHD HAZWAN HARUN
& KASMIRAN JUMARI

ABSTRAK

Kajian ini dijalankan untuk membangunkan penceraai optik 1×12 berasaskan gentian optik polimer (POF) diperbuat daripada polimetil metakrilat (PMAA) sebagai media penghantar isyarat optik berprestasi tinggi. Pada asasnya, peranti optik ini mempunyai 1 pangkalan POF masukan dan 12 pangkalan POF keluaran dalam bentuk gentian terberkas. Banyak sistem yang menggandingkan atau menceraikan isyarat optik menerusi beberapa saluran yang berbeza-beza, yang masing-masing mempunyai kekangan yang tersendiri telah dipasarkan. Walau bagaimanapun, teknologi tersebut terlalu mahal untuk digunakan pada beberapa aplikasi tertentu. Tujuan utama peranti buatan tangan ini ialah untuk membangunkan penceraai optik berkos rendah menggunakan PMMA-POF bagi aplikasi pelbagai guna. Pengganding disuntik dengan diod pemancar cahaya (LED) berwarna merah dengan panjang gelombang 650 nm bagi menganalisis kecekapan kuasa pengganding. Kecekapan yang diperolehi mencapai sehingga 80% kuasa isyarat optik yang merentasi penceraai optik tersebut. Prestasi bagi penceraai optik buatan tangan ini masih dapat diperbaiki melalui latihan yang berterusan.

Kata kunci: Gentian optik polimer; penceraai optik; polimetil metakrilat

ABSTRACT

This research was conducted to develop a 1×12 optical splitter based on polymer optical fiber (POF) made from polymethyl methacrylate (PMMA) material as a high efficiency optical signal transmission medium. Basically, the optical device has 1 POF input port and 12 POF output ports in a bundled fiber form. There are several system available in the market which are able to split or couple optical signals transmitted into some different channels, which are all afflicted with certain constrains. However, these systems are too expensive for most applications. The goal of this research was to develop an economical splitter for multi-purpose application over PMMA-POF. Red LED with 650 nm wavelength was injected into the splitter with the aim to analyze the power efficiency of the splitter. A coupling efficiency of 80% was demonstrated. The performance of these hand-made splitters can be improved gradually through experience and practice.

Keywords: Optical splitter; polymer optical fiber; polymethyl methacrylate

PENDAHULUAN

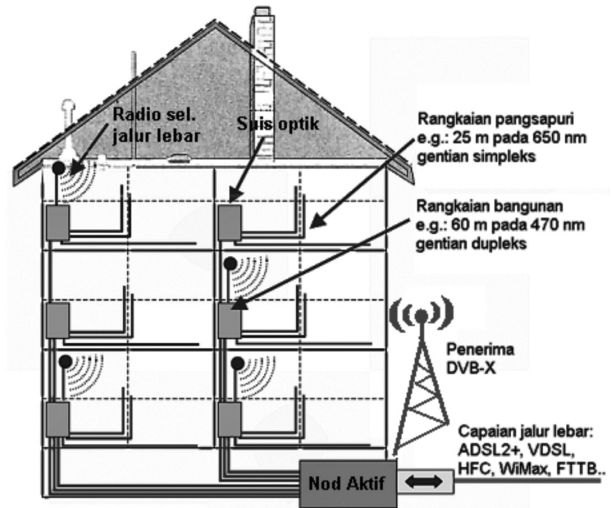
Gentian optik polimer (POF) merupakan gentian optik yang berasaskan bahan polimer dengan lapisan terasnya diperbuat daripada polimetil metakrilat (PMMA) manakala lapisan salutan diperbuat daripada perfluoroplastik. POF komersial pertama (berasaskan PMMA) memperoleh kehilangan optik melebihi 1000 dB/km (Hadi Guna et al. 2008; Jenny 2000; Kuzyk 2007; Mohd Syuhaimi Ab-Rahman et al. 2008a). Kehilangan optik yang besar menjadi cabaran bagi pengkaji bahan optik dan jurutera optik untuk mereka cipta POF baru supaya memperoleh kehilangan optik yang lebih rendah (Mohd Syuhaimi Ab-Rahman et al. 2008b, 2008c).

Memandangkan POF mempunyai banyak kelebihan, ia banyak digunakan dalam penghantaran data optik (Horak 2007; Jenny 2000). Pada masa kini, POF digunakan bagi menggantikan penggunaan wayar kuprum dan gentian kaca

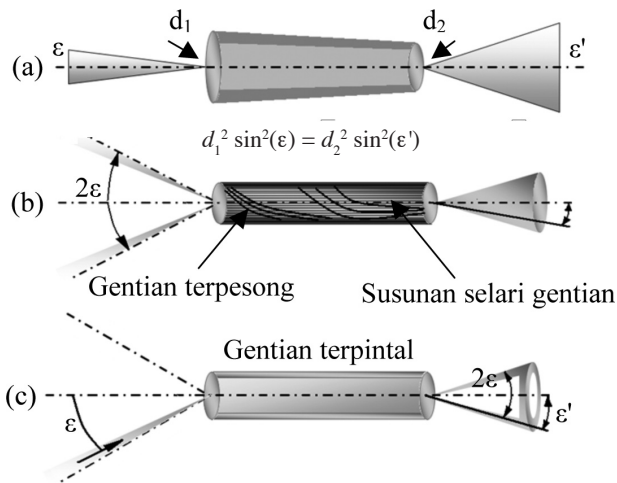
untuk penghantaran data jarak dekat. Antara kelebihan POF ialah ia mempunyai ketahanan terhadap gegaran dan berkos rendah. Penggunaan POF mengatasi masalah kos kerana strukturnya berasaskan bahan polimer dan pemasangannya adalah ringkas dan mudah (Im et al. 2002). Di samping itu, POF lali terhadap hingar kerana lapisan salutannya berasaskan perfluoroplastik (Grzempa 2008; Kuzyk 2007; Ziemann et al. 2007).

Kebanyakan gentian optik yang dihimpunkan menjadi gentian terberkas mengekalkan ciri-ciri utama bagi satu gentian. Bagi berkas gentian berbentuk menirus yang mempunyai ruang teras semakin kecil (Rajah 1), struktur ini mempengaruhi dan mengubah bukaan berangka pada keluaran yang mana bukaan berangka pada keluaran lebih besar daripada bukaan berangka pada masukan ($NA_{\text{masukan}} < NA_{\text{keluaran}}$). Pemintalan gentian optik pada bahagian luar berkas akan memperoleh taburan masukan yang

tidak homogen dan menghasilkan taburan keluaran yang sama rata. Pemesongan susunan gentian optik dari paksi berkas boleh mempengaruhi ciri-ciri pemancaran cahaya. Arah pemesongan berkas gentian yang hampir kepada arah cahaya terganding (pada bahagian masukan berkas) menyebabkan sinar terganding merambat pada orientasi sama seperti paksi berkas (setelah melalui pembiasan dalam berkas dan melepasi bahagian keluaran berkas). Cahaya yang terpesong dalam berkas mempunyai keamatan cahaya maksimum pada sudut 0° (Jenny 2000). Susunan gentian yang rapat dalam berkas mempunyai kehilangan kuasa optik tambahan dalam dua bentuk iaitu kehilangan salutan dan langkau ruang. Kehilangan salutan disebabkan sinar cahaya yang dipancarkan ke berkas gentian melalui bahagian salutan, sebahagian sinar terpantul keluar. Langkau ruang pula disebabkan oleh sebahagian sinar cahaya merambat melalui celahan antara gentian dalam berkas (Ziemann et al. 2007).



RAJAH 2. Rangkaian optik pangsapuri dan bangunan berasaskan POF



RAJAH 1. (a) Berkas gentian berbentuk tirus, (b) berkas gentian terpesong dari paksi dan (c) berkas gentian terpintal

Komponen pasif yang digunakan pada sistem penghantaran POF, penceraai optik memainkan peranan yang amat penting bagi sesetengah produk berasaskan POF di pasaran. Pembinaan reka bentuk penceraai itu sendiri telahpun dikaji sejak beberapa tahun lepas (Im et al. 2002; Kuzyk 2007). Reka bentuk yang disebutkan seperti penceraai berasaskan acuan pandu gelombang, penceraai dengan tiub silinder, tiub silinder melengkung, tiub kon dan penceraai tergilap (Ziemann et al. 2007). Beberapa syarikat besar pengeluar barangan berasaskan POF seperti HarzOptics GmbH dan DieMount GmbH, cukup terkenal dengan produk penceraai tergilap 1×N. Kecekapan penceraai berkisar antara 80-90% daripada kuasa keluarannya.

Gentian optik polimer cukup dikenali pada beberapa aplikasi seperti automotif, rangkaian rumah, LAN, aplikasi tanpa wayar, rangkaian jalur lebar, teknologi pencahayaan, teknologi penderia dan sebagainya. Rajah 2 adalah salah satu contoh aplikasi POF pada rangkaian rumah (Koonen et al. 2003; Ziemann et al. 2007).

Dalam kajian ini, penceraai optik buatan tangan berasaskan POF telah difabrikasi menggunakan teknik pelakuran-terpilin-menirus. Teknik ini diinspirasi oleh dua teknik fabrikasi iaitu gentian terberkas dan tergilap yang telah diubah suai. Aras kecekapan penceraai sendiri telah diukur. Proses pencirian dilanjutkan dengan menggunakan suntikan LED berwarna merah dengan panjang gelombang 650 nm.

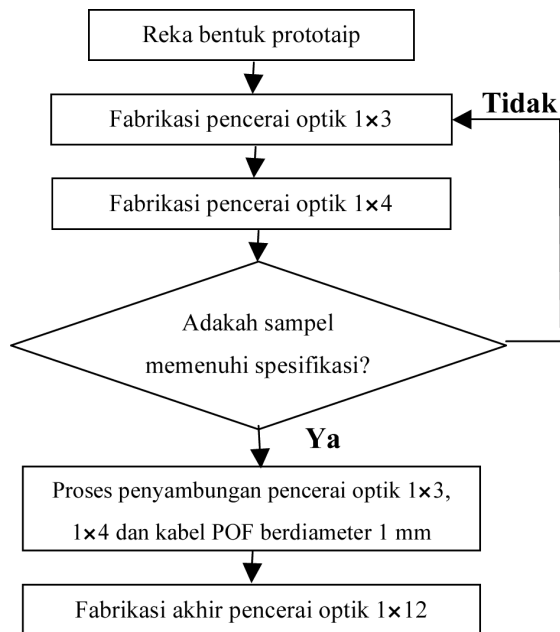
BAHAN DAN KAEDAH

Penceraai optik 1×12 buatan tangan berasaskan POF merupakan penceraai yang mempunyai satu terminal pada satu sisi dan 12 terminal pada sisi lainnya. Walau bagaimanapun, penceraai ini mampu berkerja dwihala pada kedua-dua terminal. Penceraai ini difabrikasi menggunakan gentian optik polimer dengan mod berbilang bagi jenis indeks langkah yang diperbuat daripada bahan polimetil metakrilat dengan saiz diameter teras 1 mm.

Secara keseluruhannya, pembangunan komponen optik ini tertumpu kepada proses fabrikasi dengan harapan, kajian ini mampu menghasilkan satu produk komersial yang memenuhi spesifikasi dan objektif kajian itu sendiri. Kaedah pembangunan prototaip dapat dijelaskan dengan merujuk kepada Rajah 3.

Penceraai optik 1×12 dibangunkan dengan menyambungkan penceraai optik 1×3 dan 1×4. Spesifikasi lain bagi penceraai ialah jarak penghantaran data mencapai 25 cm. Oleh sebab itu, diperlukan satu kabel penghubung (dengan panjang 11-13 cm setiap kabelnya) lain berasaskan POF untuk menyambung kedua penceraai yang berukuran diameter sama dengan sampel iaitu 1 mm. Reka bentuk penceraai buatan tangan ini dibentuk oleh 4 unit penceraai 1×3 yang disusun secara selari dengan 1 unit penceraai 1×4 yang dicantumkan dengan penceraai 1×3 secara siri.

Proses pembangunan penceraai optik 1×12 ini telah melalui beberapa peringkat. Bermula dengan kaedah



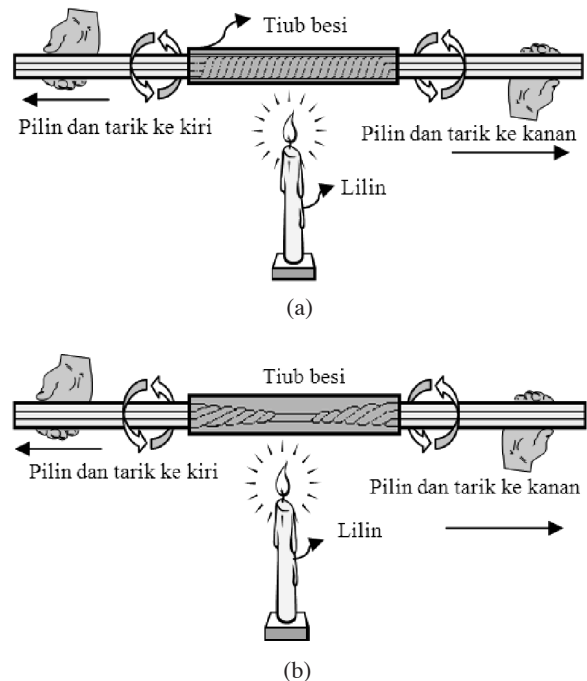
RAJAH 3. Carta alir bagi proses pembangunan penceraai optik buatan tangan 1x12 terminal

pelakuran POF, proses pemintalan, penyambungan kabel dan akhir sekali adalah proses pencirian ke atas peranti tersebut. Kaedah pelakuran ke atas penceraai 1x3 dan 1x4 menggunakan proses yang sama ke atas keduanya. POF dipilin dan ditarik secara perlahan dan pastikan tidak berlaku kecacatan ke atas cantuman gentian terberkas POF. Proses pemanasan ke atas POF tidak dikenakan secara terus yang dapat mengakibatkan kerosakan struktur POF itu sendiri jika didedahkan kepada api secara terus. Gentian terberkas dilindungi oleh tiub besi bagi mengelakkan kerosakan ke atas POF (Rajah 4).

Proses pelakuran pada beberapa sampel telah dijalankan pada waktu pagi, tengah hari atau malam. Purata panjang gentian terberkas yang difabrikasi adalah antara 13 hingga 15 cm. Sebelum proses pelakuran dijalankan, gentian terberkas ini dimasukkan ke dalam tiub besi dengan panjang 3 cm bagi memastikan gentian terberkas ini tidak mudah cair di atas api lilin yang mempunyai suhu 1300 °C. Bagi memastikan gentian terberkas dapat terlakur secara sempurna, takat suhu yang diperlukan tidak melebihi sepersepuluh dari suhu yang dihasilkan oleh lilin tersebut, iaitu antara 70 hingga 90 °C sahaja (PMMA mempunyai suhu peleburan 180 hingga 220 °C).

Selepas proses pelakuran dijalankan dan saiz gentian terberkas telah dibentuk, daya terikan ke atas gentian secara berlawanan arah dikenakan bagi memastikan gentian terberkas mencair dan saling terikat satu sama lain.

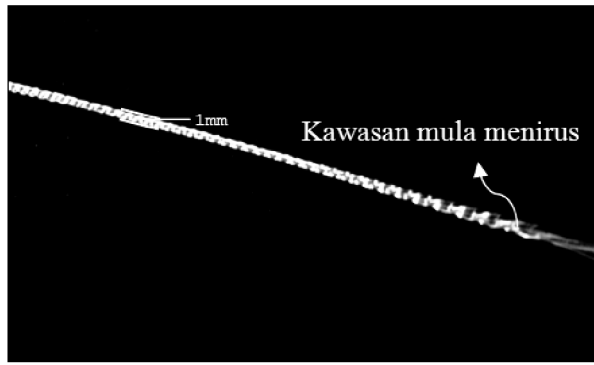
Walau bagaimanapun, masih terdapat kecacatan ke atas sampel, iaitu saiz gentian tidak sesuai dengan apa yang dikehendaki ataupun saiz gentian tidak sekata. Sesuatu sampel itu dikatakan ideal apabila ketiga-tiga atau keempat-empat gentian terberkas mencair secara sempurna, terikat sekata dan bersaiz 1 mm.



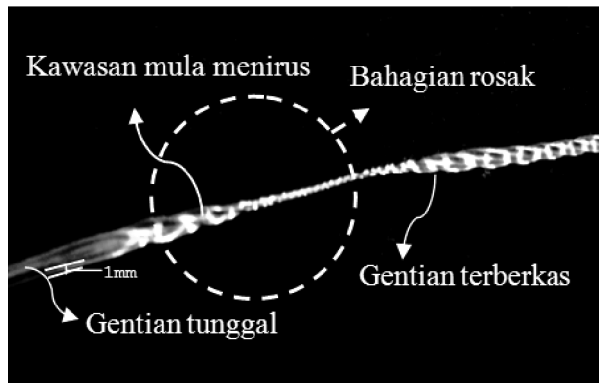
RAJAH 4. Kaedah pelakuran penceraai optik buatan tangan menggunakan teknik fabrikasi, bahan dan alatan yang mudah dimulakan dengan (a) pemanasan ke atas berkas POF sehinggalah diperolehi (b) bentuk berkas POF yang terlakur dan terpinil dengan sempurna

Bagi tujuan pengukuran kecekapan penceraai optik ini, LED berwarna merah dengan panjang gelombang 650 nm telah disuntikkan menerusi penceraai optik ini dan kuasa optik keluaran bagi LED mencapai 12 μ W. Setelah gelombang cahaya merah ini merentasi penceraai dengan panjang 13 ~ 15 cm ini, pada bahagian hujung penceraai diletakkan meter kuasa optik untuk mengukur dan membandingkan kuasa keluaran yang dihasilkan melalui perambatan gelombang merentasi penceraai berkos rendah ini. Untuk sampel yang tidak ideal, kuasa keluaran yang diperolehi tidak mencapai nilai yang dikehendaki (Rajah 5). Perbezaan antara kedua gentian didapati, bagi gentian yang terlakur secara sempurna, saiz gentian terberkas yang menirus adalah sekata dan menghampiri saiz teras gentian POF tunggal (~1mm), dan didapati pada Rajah 5(a) saiz kawasan gentian terberkas yang mula menirus tidaklah terlalu ketara perbezaannya, manakala pada Rajah 5(b), kawasan yang ditunjukkan sebagai bahagian rosak, ialah kawasan terberkas yang mula menirus, didapati perbezaan saiz yang amat ketara pada kawasan tersebut.

Bagi menyambungkan penceraai optik 1x3 dan 1x4, kajian mencadangkan penggunaan kabel POF berdiameter 1 mm yang dihubungkan dengan penyambung. Untuk penceraai 1x3, salah satu slot penyambung dihubungkan dengan penceraai, manakala slot yang lainnya digunakan untuk kabel POF (Rajah 6).

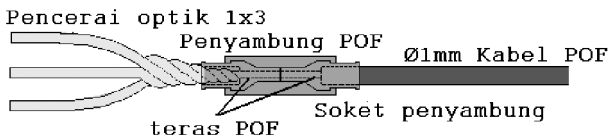


(a)



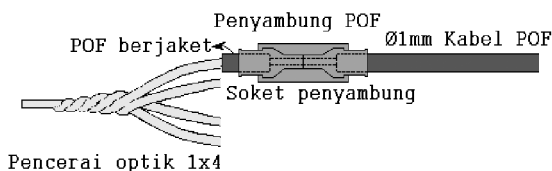
(b)

RAJAH 5. Struktur gentian terberkas yang (a) ideal dan (b) cacat



RAJAH 6. Sambungan pencerai optik 1x3 dengan kabel POF berdiameter 1 mm

Begitu juga dengan pencerai optik 1x4, salah satu slot penyambung dimasukkan dengan pencerai 1x4 dan yang lainnya disambung dengan kabel POF berdiameter 1 mm (Rajah 7).

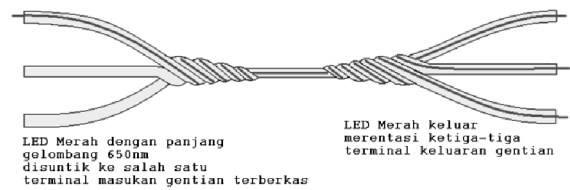


RAJAH 7. Sambungan pencerai optik 1x4 dengan kabel POF berdiameter 1 mm

Dalam kajian ini, kaedah pencirian perlu dijalankan bagi memastikan sampel yang telah difabrikasi mempunyai kecekapan yang cukup tinggi bagi penghantaran isyarat. Bagi setiap sampel yang telah dibuat, ianya harus

dapat menggandakan isyarat dengan kehilangan yang amat sedikit. Meter kuasa optik telah digunakan bagi memastikan keluaran optik adalah menghampiri kuasa masukan yang telah dijanakan ke atas sampel. Ujian pencirian dibahagikan kepada tiga peringkat iaitu ujian ke atas pencerai kedua-dua hujung pencerai 1x3, seterusnya ujian dikenakan ke atas sampel 1x4 dan terakhir sekali ujian ke atas sampel 1x12 dijalankan.

Sampel pencerai optik ini dapat dikatakan berkecekapan tinggi sekiranya pencerai mampu membahagikan satu isyarat optik kepada beberapa keluaran pencerai dengan nilai kuasa terbahagi tiga sama rata. Rajah 8 menggambarkan proses penceriaan yang efektif ke atas isyarat optik cahaya merah dari LED.

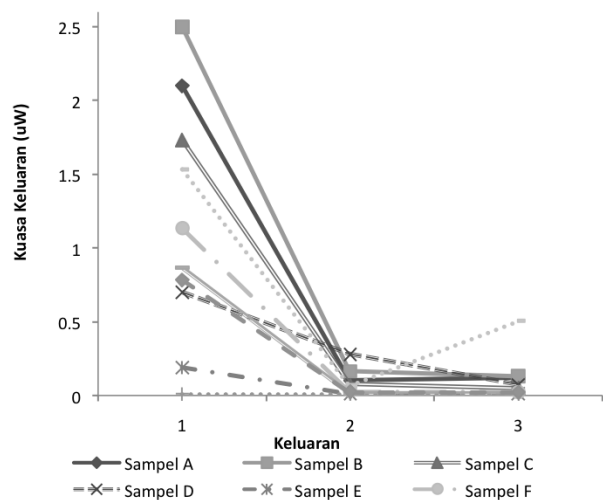


RAJAH 8. Kaedah penceriaan isyarat optik menggunakan pencerai optik pasif 3x3

HASIL DAN PERBINCANGAN

Sepuluh sampel yang telah dipilih, mempunyai keupayaan yang tinggi dalam menceraikan isyarat optik dalam ujian pencirian yang telah dijalankan. Cahaya LED merah dengan panjang gelombang 650 nm telah disuntikan ke atas sepuluh sampel, dan sekiranya isyarat LED merah ini masuk menerusi pencerai optik, kemerosotan nilai kuasa pasti akan berlaku ke atasnya, dan ianya disebabkan oleh beberapa faktor.

Nilai keluaran semua pencerai optik 1x3 buatan tangan, dalam ujian pertama ditunjukkan dalam Rajah 9.



RAJAH 9. Kuasa keluaran bagi ketiga-tiga keluaran sepuluh sampel pencerai 1x3 yang telah dipilih dalam ujian pencirian

Ujian pertama yang telah dijalankan ke atas penceraai buatan tangan 1×3, menunjukkan nilai ketiga-tiga keluaran penceraai adalah tidak sekata. Hanya satu daripada tiga keluaran mempunyai nilai kuasa optik yang maksima, iaitu sampel B yang menghampiri 60% kuasa yang disuntikkan ke atas terminal masukan penceraai.

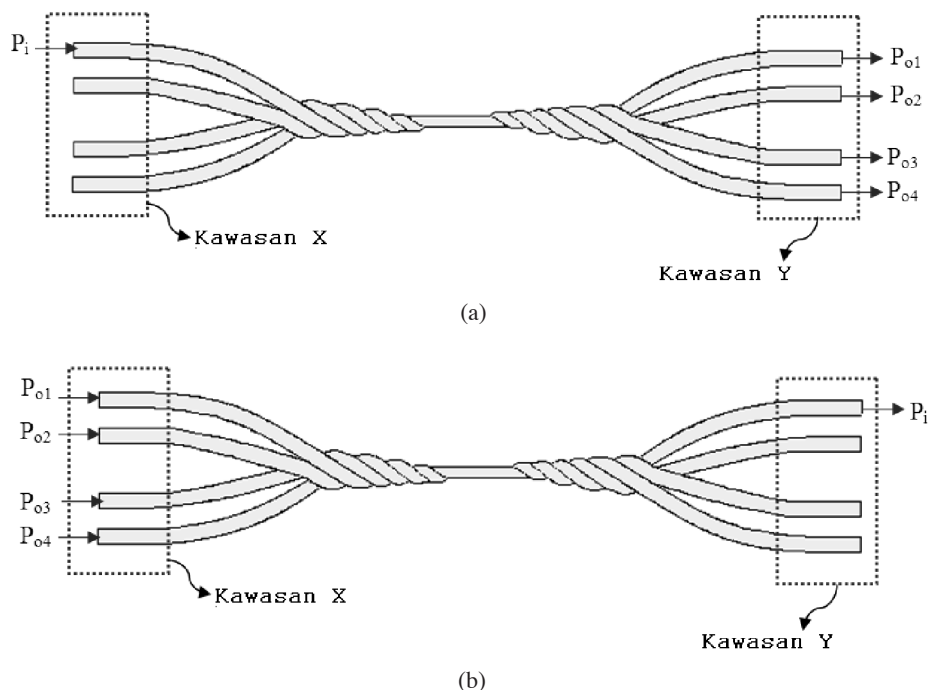
Ujian seterusnya dijalankan ke atas empat penceraai 1×4, Ujian ini agak berbeza daripada ujian pertama, disebabkan ujian ini dijalankan sebelum penceraai 1×4 dipotong kepada dua bahagian, yang mana sebelum ianya di potong, penceraai 4×4 merupakan bentukan asas kepada penceraai 1×4 (Rajah 10). Bagi tiap-tiap sampel penceraai 4×4 ujian dijalankan sebanyak dua kali ke atas kedua-dua terminal masukan/keluaran penceraai. Kedua kawasan terminal masukan dan keluaran diberi nama kawasan X dan kawasan Y. Kuasa keluaran dan kehilangan sisipan bagi ujian pencirian dua hala ini telah dicerap seperti ditunjukkan dalam Rajah 11.

Tujuan pencirian penceraai 4×4 ini adalah untuk memastikan bahawa penceraai buatan tangan ini tidak sepenuhnya difabrikasi secara simetri yang menyebabkan kuasa penghantaran sama ada dari X menuju ke Y atau sebaliknya. Setelah ujian ini dijalankan, perbandingan ke atas salah satu kawasan terminal sama ada X mahupun Y yang mempunyai kecekapan lebih baik, penyingkiran kawasan berkecekapan rendah dapat dijalankan. Penyingkiran dijalankan dengan proses pemotongan kawasan berkecekapan rendah. Sehingga apabila penceraai

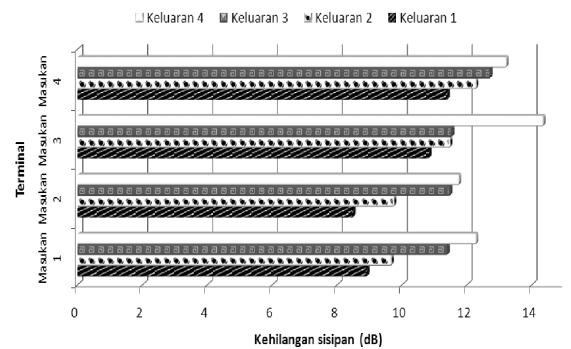
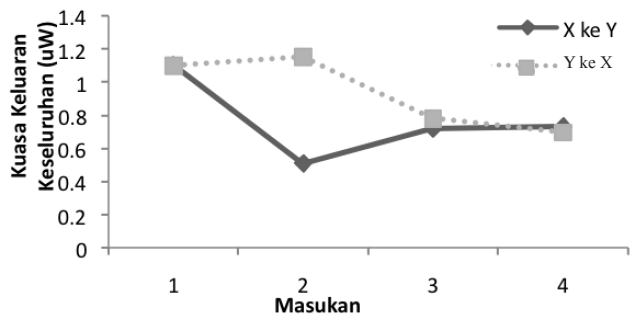
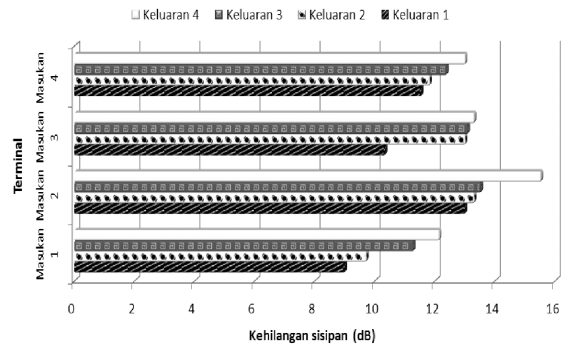
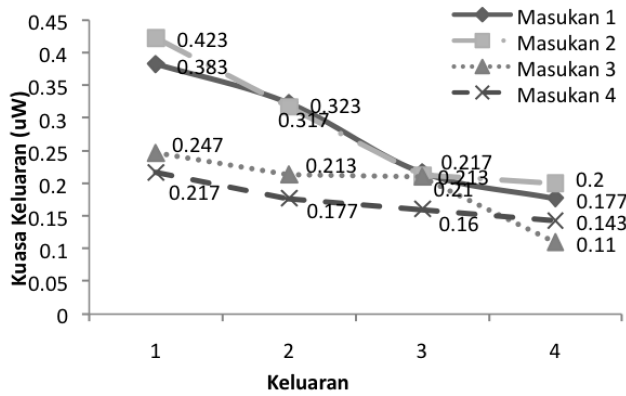
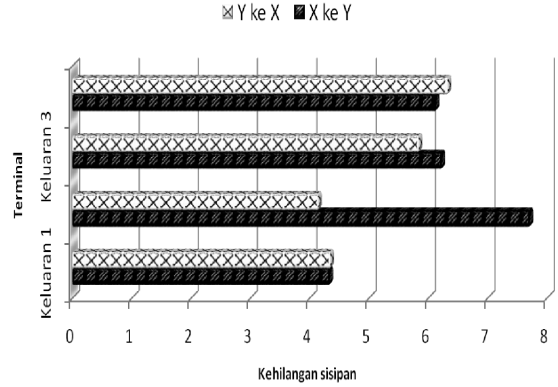
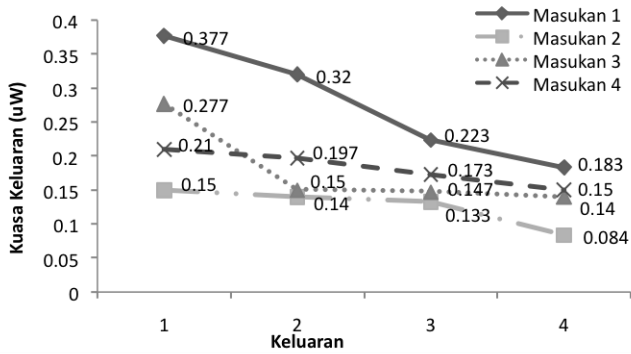
4×4 dipotong pada bahagian tengahnya, maka penceraai 1×4 yang mempunyai kecekapan tinggi dapat diperolehi. Setelah pemotongan dijalankan, proses penggilapan ke atas hujung berkas POF yang tidak sekata dapat dijalankan, bagi mengurangi kehilangan kuasa yang disebabkan struktur POF yang tidak sekata.

Selepas proses pemilihan penceraai 1×4, proses seterusnya ialah pencantuman 4 unit penceraai 1×3 dan 1 unit penceraai 1×4 sehingga diperolehi penceraai satu set lengkap penceraai optik buatan tangan 1×12 yang mempunyai kecekapan tinggi seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 12. Nilai kecekapan bagi satu set lengkap penceraai optik 1×12 telahpun dicerap, kuasa keluaran bagi tiap-tiap terminal keluaran ditunjukkan oleh Rajah 13. Kuasa masukan sebanyak $12\mu\text{W}$, melalui penyuntikan kuasa LED berwarna merah menerusi duabelas terminal keluaran penceraai tersebut. Merujuk kepada Rajah 13, dapat dibuktikan bahawa penyambung POF dan kabel POF juga memberikan kesan ke atas kuasa penghantaran bagi penceraai buatan tangan berasaskan POF ini.

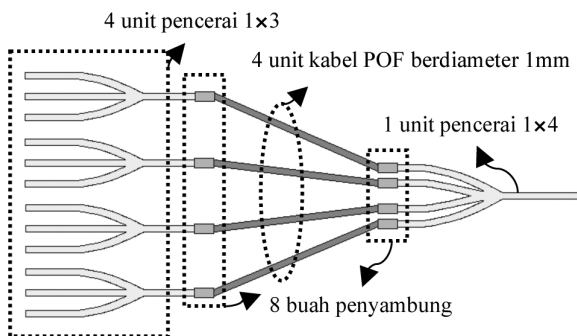
Kelebihan utama bagi POF berada pada aspek ekonomi bagi teknologi penyambung POF-nya. Walaupun ukur lilit teras, lebar bukaan berangka, toleransi terizin dan penyambung-penyambung ringkas mampu membawa kepada kehilangan yang tinggi bagi penyambungan *plug*. Penjelasan tentang kehilangan penyambung ini, masih terlalu rumit untuk diterangkan, sama ada daripada aspek teknologi pengukuran mahupun aspek teori (Ziemann et al. 2007).



RAJAH 10. Ujian pencirian dua hala (a) dengan satu terminal masukan pada kawasan X menuju ke empat terminal keluaran kawasan Y dan sebaliknya, (b) dengan empat terminal masukan pada kawasan X menuju ke satu terminal keluaran kawasan Y. Kuasa masukan bagi tiap terminal adalah sama iaitu melalui penyuntikan cahaya LED berwarna merah bagi tiap terminal masukan dengan kuasa masukan $12\mu\text{W}$



RAJAH 11. Cerapan kuasa keluaran bagi penceraai 4x4 menggunakan kuasa LED berwarna merah (a) aliran penghantaran kuasa menghala X-Y, (b) aliran penghantaran kuasa menghala Y-X. Dan juga cerapan satu dari empat sampel penceraai 1x4 ke atas (c) kuasa keluarannya dan (d) kehilangan sisipan dengan julat kehilangan antara 4dB hingga 8dB. Turut dicerap juga, (e) kehilangan sisipan bagi penceraai 4x4 dengan penghantaran kuasa menghala X-Y dalam julat 8dB hingga 14dB dan sebaliknya (f) cerapan kehilangan kuasa menghala Y-X berada dalam julat 9dB hingga 16dB

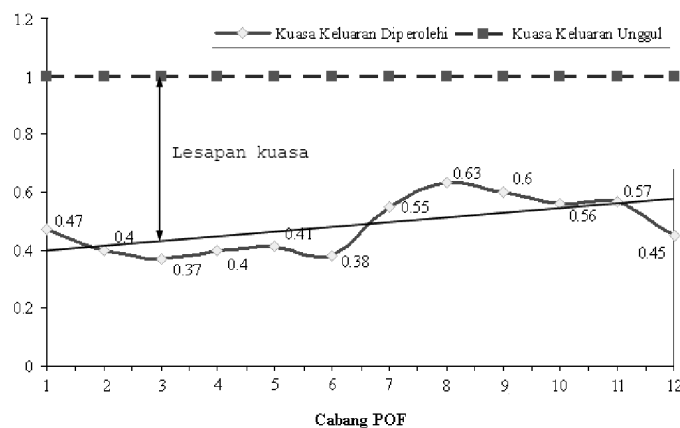


RAJAH 12. Satu set lengkap penceraai optik 1x12

Kehilangan lain, yang dipengaruhi oleh faktor luaran seperti pembengkokan struktur gentian, suhu sekitaran, cahaya luaran dan kelembapan memainkan peranan yang cukup penting bagi mempengaruhi kuantiti kehilangan gentian optik polimer dalam menghantar isyarat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperolehi daripada proses fabrikasi dan pencirian ini, kaedah pelakuran praktikal telah dipertingkatkan dari semasa ke semasa untuk



RAJAH 13. Graf keluaran bagi penceraai buatan tangan berkors rendah 1×12 jika dibandingkan dengan penceraai ideal, lesapan kuasa antara keduanya adalah tidak terlalu jauh berbeza

menghasilkan penceraai optik yang baik. Walau bagaimanapun, keberkesanan kaedah pelakuran masih dapat ditingkatkan dengan pengalaman kerja yang telah dilakukan bagi menghasilkan penceraai optik yang lebih baik secara konsisten. Dalam kajian ini, kehilangan kuasa optik dikategorikan sebagai kehilangan ekstrinsik kerana kehilangan kuasa optik berpunca daripada pengecilan dan pemanjangan POF serta penyambungan antara kabel POF dengan penceraai optik. Dapat disimpulkan bahawa hasil uji kaji pencirian adalah sah kerana ia mencerminkan struktur pengganding atau penceraai optik yang telah diuji. Setelah analisis data dibuat, penceraai optik 1×3 memperoleh prestasi yang tidak terlalu memuaskan sementara penceraai optik 1×4 pula memperoleh prestasi yang baik. Prestasi penceraai optik 1×12 perlu ditingkatkan bagi menghampiri kriteria penceraai optik yang ideal. Kaedah pelakuran praktik telah dipraktikkan untuk membangunkan penceraai optik tanpa menggunakan mesin fabrikasi khas. Secara tidak langsung, kajian ini telah memperkenalkan kaedah pelakuran buatan tangan yang mana kaedah ini boleh dipraktikkan dalam rumah tanpa menggunakan sebarang mesin fabrikasi khas yang mahal. Kajian ini mengusulkan kaedah pelakuran praktik sebagai satu kaedah yang komersial. Sebelum ini, kaedah pelakuran hanya dipraktikkan menggunakan mesin khas untuk memfabrikasinya di kilang atau makmal. Kajian yang lebih mendalam mengenai penggunaan penceraai dalam beberapa aplikasi berkenaan dengan rangkaian dalam rumah, penerima automotif mahupun sistem komunikasi jarak dekat perlu dijalankan, bagi meningkatkan kecekapan peranti optik ini sebagai penghantar media komunikasi yang cukup berkesan dan berkors rendah.

PENGHARGAAN

Aktiviti kajian ini telah dikendalikan di dalam makmal teknologi fotonik, Institute Micro Engineering and Nanoelectronics (IMEN), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM). Penulis berterima kasih kepada Prof. Dr Sahbudin

Shaari di atas bantuan dan sokongan dalam pembangunan model dan simulasi. Kajian ini telah dibiayai oleh Kementerian Pendidikan Tinggi di bawah Geran Universiti Penyelidikan (GUP) UKM-GUP-TMK-07-02-108. Penghargaan setinggi-tingginya diucapkan kepada semua pihak yang terlibat dalam kajian ini.

RUJUKAN

- Grzempa, A. 2008. *MOST: The Automotive Multimedia Network*. German: Franzis
- Hadi Guna, Mohd Syuhaimi Ab-Rahman, Mohd Hazwan Harun & Kasmiran Jumari. 2008. Fabrication and Characterization of Optical 1×12 Fused-Taper-Twisted Polymer Optical Fiber Couplers. *Proceeding of Student Conference on Research and Development, SCORED 70-1 – 70-3*.
- Horak, R. 2007. *Telecommunications and Data Communications Handbook*. Canada: Wiley.
- Im, S.H., Suh, D.J., Park, O.O., Cho, H., Choi, J.S., Park, J.K. & Hwang, J.T. 2002. Fabrication of a graded-index polymer optical fiber preform by using a centrifugal force. *Korean Journal of Chemical Engineering* 19(3): 505-509.
- Jenny, R. 2000. *Fundamentals of Fiber Optics: An Introduction for Beginners*. <http://www.volpiusa.com/whitepapers/FundamentalsOfFiberOptics.pdf> [12 Ogos 2007].
- Koonen, T., Ng'oma, A., Smulders, P., Boom, H.V.D., Monroy, I.T. & Khoe, G.D. 2003. In-house networks using multimode polymer optical fibre for broadband wireless services. *Photonics Network Communication* 5(2): 177-187.
- Kuzyk, M.G. 2007. *Polymer Fiber Optics: Material, Physics and Application*. Boca Raton, USA: Taylor & Francis.
- Mohd Syuhaimi Ab-Rahman, Hadi Guna, Mohd Hazwan Harun, Mohd Saiful Dzulkefly Zan & Kasmiran Jumari. 2008a. Blind Spot Area Tracking Solution using 1×12 POF-Based Optical Splitter. *Proceedings of World Academic Science Engineering Technology* 36: 210-214.
- Mohd Syuhaimi Ab-Rahman, Hadi Guna, Mohd Hazwan Harun, Mohd Saiful Dzulkefly Zan & Kasmiran Jumari. 2008b. Fabrication and Characterization of Customer-Made 1×3 POF-Based Optical Coupler for Home Networking. *International Journal Computer Science and Network Security* 8(12): 43-48.

Mohd Syuhaimi Ab-Rahman, Hadi Guna, Mohd Hazwan Harun, Mohd Saiful Dzulkefly Zan & Kasmiran Jumari 2008c. Home-Made Optical 1×12 Fused-Taper-Twisted Polymer Optical Fiber Splitters for Small World Communication. *Journal of Applied Science and Research* 4(12): 1450-1459.

Ziemann, O., Krauser, J., Zamzow, P.E. & Daum, W. 2007. *POF Handbook: Optical Short Range Transmission Systems*. Berlin: Springer.

Spectrum Technology Research Group
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: hadi_guna87@yahoo.com

Diserahkan: 4 Mac 2009
Diterima: 2 Mei 2009