

## **Rekabentuk Peranti Pemisah-Gabung Optik 2x3 Berasaskan Pandu Gelombang Planar**

Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Norazilawati Md-Zain, Siti Rahayu Hassan dan Kasmiran Jumari

Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem  
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor,  
Malaysia  
E-mail: syuhaimi@vlsi.eng.ukm.my

Received Date: 17<sup>th</sup> February 2009    Accepted Date: 3<sup>rd</sup> July 2009

---

### **ABSTRAK**

Kertas ini mencadangkan rekabentuk pemisah-gabung optik 2x3 berasaskan pandu gelombang planar dengan bahan polimer SU-8. Teknologi ini menjamin penjimatan pada kos fabrikasi dan prestasi lebih baik berbanding dengan kaedah konvensional yang menggunakan gentian terlakur untuk fabrikasi pemisah-gabung optik. Pemisah-gabung optik ini dicadangkan untuk digunakan dalam rangkaian pasif capaian pengguna FTTH-PON untuk mevariasikan aplikasi yang dihantar ke pelanggan-pelanggan. Peranti pemisah-gabung ini merupakan yang pertama dilaporkan. Permasalahan yang timbul seperti kehilangan kuasa pada pemisah-gabung optik menjadi perkara utama yang akan dibincangkan. Hasil simulasi menunjukkan kehilangan kuasa pada pemisah-gabung optik adalah disebabkan beberapa faktor seperti perubahan lebar pandu gelombang, indeks biasan dan sudut capahan. Untuk memperolehi kuasa maksimum, nilai optimum parameter-parameter ini perlulah digunakan. Pemisah-gabung optik yang direkabentuk ini sesuai digunakan pada panjang gelombang 1500 nm – 1600 nm. Dalam kajian ini hubungan bagi setiap parameter ini terhadap kuasa keluaran ditekankan.

Kata kunci: Pemisah-gabung optik, pandu gelombang planar, Polimer SU-8, parameter.

### **ABSTRACT**

*In this paper, we present the design of 2x3 optical splitter-combine based on waveguide with SU-8 polymer material. The technology ensures low cost fabrication and excellent performance as compared to conventional technique that uses fused coupler for optical splitter fabrication. The optical splitter-combine is suggested to be used in passive customer access network FTTH-PON to variety the signals send to the premises. It is the first time reported. The problems arose such as the loss of output power is also discussed. The simulation result shows that various factors; namely the width of waveguide, refractive index and wide-angle branching will increase the output power loss. To obtain maximum power, the optimization of those parameters' value must be used. This designed optical splitter is operated at wavelength 1500 nm – 1600 nm. In this study, we*

characterized the trend of total output power with the effect of the parameters studied.

Keywords: Optical splitter-combine, waveguide, SU-8 Polymer, parameters.

## PENGENALAN

Rangkaian *Fiber-to-the-home* (FTTH), merupakan teknologi rangkaian yang menggunakan gentian optik sebagai media penghantaran untuk menghantar perkhidmatan *Triple-play* (data, suara dan video). Dengan gentian optik yang mempunyai lebar jalur yang sangat tinggi, rangkaian FTTH mampu menghantar data dengan keupayaan yang lebih besar berbanding dengan teknologi yang berdasarkan kabel kuprum (Keiser 2000). Rangkaian FTTH memainkan peranan yang penting dalam mengurangkan dan menyelesaikan masalah *Bottleneck* capaian terakhir dalam rangkaian capaian lebar jalur khususnya rangkaian capaian optik generasi depan (Yeh 2005). Kini, rangkaian FTTH telah diiktiraf sebagai penyelesaian terbaru bagi pelbagai jenis perkhidmatan komunikasi dan multimedia termasuk telefon, capaian Internet berkelajuan tinggi, televisyen kabel digital (CATV) dan video (Lee 2006). Mengikut Hutcheson (2008), bilangan pengguna FTTH di seluruh dunia telah menghampiri 40 ribu pada tahun 2008 dan dijangka nilainya akan makin bertambah sehingga 108 ribu pada tahun 2012 (Hutcheson 2008). Rangkaian FTTH yang berasaskan rangkaian optik pasi (*passive optical network*, PON) terdiri daripada 3 komponen yang utama iaitu *optical line terminal* (OLT), pemisah optik dan *optical network unit* (ONU). Pemisah optik menentukan saiz rangkaian bilangan pengguna yang diliputi. Walaupun FTTH-PON merupakan rangkaian yang unggul, banyak lagi peranti baru yang berpotensi untuk dibangunkan. Kertas ini akan membincangkan salah satu peranti baru yang membolehkan dua perkhidmatan dari dua rangkaian berbeza digabungkan dan dinikmati oleh para pengguna.

Di dalam aplikasi FTTH pembahagi optik atau pemisah-gabung optik 2x3 direka bagi mengatasi masalah apabila perlu penghantaran data yang berbeza pada satu rumah maka memerlukan gabungan kuasa penghantaran dari panjang gelombang yang berbeza. Selain itu pembahagi optik ini juga di bangunkan bagi mengatasi masalah apabila satu rumah tersebut menggunakan kuasa penghantaran yang lebih

tinggi daripada rumah yang lain, di mana kuasa di ambil daripada kuasa penghantaran yang lain digabungkan bagi mendapatkan kuasa yang mencukupi.

Satu pendekatan analisis kaedah perambatan alur (BPM) digunakan dalam menyelesaikan persamaan-persamaan gelombang skalar bagi polarisasi elektrik melintang (TE) dan magnetik melintang (TM). Kaedah perambatan alur boleh digunakan untuk mengira amplitud medan elektrik di dalam dan di luar satu struktur belauan yang dirangsangkan oleh satu medan input sembarangan. Kaedah perambatan alur, merupakan satu kaedah langkah-demi-langkah untuk mensimulasikan laluan alur cahaya melalui sesuatu medium pandu gelombang (Feit et al. 1978 & Song et al. 2003).

Pandu gelombang merupakan salah satu komponen penting bagi membangunkan peranti optik bersepadu. Rekabentuk cabang Y mempunyai struktur yang ringkas dan penghasilan yang tinggi dan boleh difabrikasi peranti yang padat dengan nisbah capahan yang stabil dengan menggunakan litar gelombang cahaya planar (PLC) (Lin et al. 1999).

Dengan mempertimbangkan kehilangan bagi kemampuan bahan optik iaitu kehilangan resapan, kehilangan sebaran (*Scattering*) dan kehilangan sinaran, polimer yang sesuai dihasilkan bagi mendapatkan ciri kehilangan yang rendah (Daum 2002). Kebaikan menggunakan polimer bagi menghasilkan litar bersepadu optik termasuk kos fabrikasi yang berpatutan berdasarkan teknologi yang digunakan dalam industri mikroelektronik. Tambahan pula, polimer mempunyai gabungan ciri elektro-optik tak linear, fotosensitif dan termo-optik (Norazan et al. 2004).

Bahan polimer SU-8 digunakan sebagai bahan pandu gelombang bagi menghasilkan peranti suis optik. SU-8 berasaskan struktur Epoxy, menguatkan sistem rintangan secara kimia dengan ciri sensitif dan nisbah aspek tinggi (*High Aspect Ratio*). SU-8 pertama kali digunakan dalam struktur mikro-elektro-mekanikal-sistem (MEMS) dan mikrosistem yang lain yang memerlukan ciri-ciri bukan konduktif (<http://www.gersteltec.ch>).

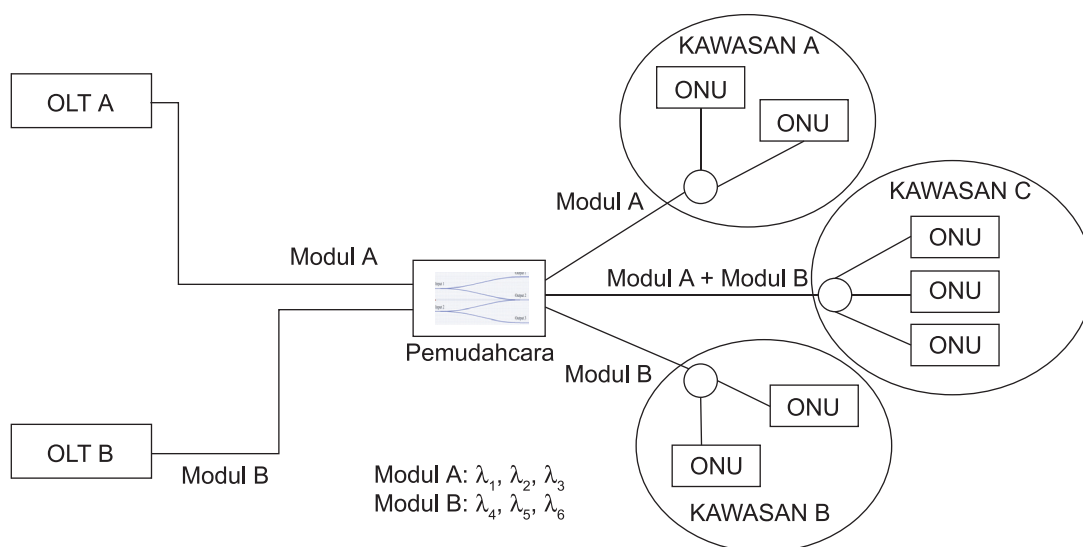
Pada kajian ini, pemisah-gabung optik cabang Y direka terlebih dahulu bagi mendapatkan hasil yang diinginkan dengan menggunakan kaedah perambatan alur. Kajian dilakukan ke atas pemisah-gabung optik cabang Y simetri bagi mendapatkan kuasa keluaran yang simetri bagi pemisah-gabung optik 2x3. Setelah mendapat hasil yang diinginkan kajian diteruskan dengan membuat analisis terhadap peranti dengan mengambil nilai parameter yang ditetapkan. Pemisah-gabung optik ini direka dengan menggunakan bahan SU-8 terkomersial. Parameter seperti indeks biasan, panjang dan ketebalan pandu gelombang serta sudut capahan pada cabang Y perlu dianalisis dengan menggunakan simulasi BPM-CAD bagi tujuan mendapatkan rekabentuk yang optimum.

**CADANGAN APLIKASI**

Dalam rangkaian FTTH-PON isyarat ke pengguna biasanya berkongsi panjang gelombang yang sama iaitu 1480 nm (isyarat suara & data), 1550 nm (isyarat video). Sekiranya aplikasi diperlebarkan melalui peningkatan lebar jalur dan juga penambahan panjang gelombang baru menyebabkan sistem tersebut menjadi semakin kompleks. Oleh itu cara yang paling mudah adalah dengan mengagihkan setiap Terminal Talian Optik (OLT) untuk mengendalikan panjang gelombang yang berbeza. Aplikasi pengguna diwakili dengan fungsi panjang gelombang tertentu dan untuk tujuan pengkomersilan tidak kesemua premis akan melanggan untuk

semua perkhidmatan yang ditawarkan. Oleh itu, pemisah pengabung optik ini menguruskan panjang gelombang sebagai pemudahcara isyarat dimana OLT yang mempunyai aplikasi-aplikasi yang berbeza (model) boleh dinikmati oleh pengguna yang melanggannya walaupun bukan dalam kawasan liputannya.

Rajah 1 menerangkan fungsi pemisah-gabung optik dalam rangkaian FTTH-PON. OLT A membekalkan perkhidmatan yang berbeza dengan OLT B dan kedudukan dua OLT ini juga adalah berjauhan. Premis kawasan A akan menerima kesemua perkhidmatan yang ditawarkan oleh OLT A dan begitu juga dengan premis kawasan B akan menerima perkhidmatan yang ditawarkan oleh OLT B sahaja. Sekiranya terdapat satu kawasan yang dipanggil kawasan C yang mengkehendaki kedua-dua perkhidmatan tersebut maka ianya dapat dipenuhi dengan adanya satu pemudahcara yang dipasangkan sebelum pemisah optik. Dengan adanya pemudahcara ini kedua-dua perkhidmatan dapat ditawarkan untuk sesuatu kawasan yang memerlukannya. Konsep pembinaan pemisah-gabung ini mudah tetapi aplikasi dalam rangkaian optik amatlah meluas. Ianya merupakan komponen dalam sesuatu rangkaian optik yang membolehkan dua isyarat dalam rangkaian berbeza digabungkan disamping mengekalkan isyarat lain dalam laluan asalnya (Kedua-dua OLT beroperasi pada panjang gelombang yang berbeza).



Rajah 1. Peranti pemisah-gabung optik digunakan sebagai pemudahcara perkhidmatan yang ditawarkan oleh dua OLT yang berbeza

## REKABENTUK

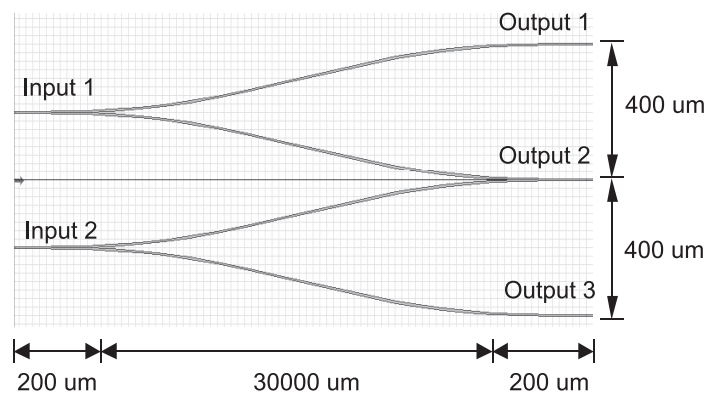
Rekabentuk pemisah-gabung optik 2x3 mempunyai dua isyarat masukan dan membahagi kepada tiga keluaran dimana pada keluaran kedua, kedua-dua isyarat masukan digabungkan sebanyak 50% untuk setiap isyarat. Pemisah-gabung ini digunakan bagi penggunaan dua isyarat masukan yang berbeza dari segi panjang gelombang. Penggunaan pemisah-gabung optik 2x3 mengatasi masalah bagi membahagikan kuasa masukan yang tidak sama di mana rangkaian tidak perlu menggunakan pemisah-gabung yang berbeza bagi membahagikan kuasa yang berlainan. Ini boleh menjimatkan kos dengan mengurangkan penggunaan pemisah-gabung yang berbeza dengan menggantikan satu pemisah-gabung yang berfungsi dengan penggabungan kuasa isyarat. Selain itu pemisah-gabung ini yang mempunyai penggabungan kuasa pada keluaran kedua boleh digunakan untuk membahagikan kuasa yang lebih banyak pada satu kawasan berbanding dengan kawasan yang lain.

Rekabentuk pandu gelombang optik bergantung kepada ciri perambatan isyarat cahaya, mod pandu gelombang, mod gandingan, kehilangan dan gandaan. Oleh kerana pemodelan pandu gelombang melibatkan banyak parameter rekabentuk, kemudahan menggunakan kaedah simulasi memudahkan dan mempercepatkan proses rekabentuk dan pencirian. Pengguna hanya perlu memastikan parameter-parameter rekabentuk dan seterusnya perisian komputer tersebut akan mengambilnya untuk melakukan kiraan dan simulasi. Terdapat dua bahagian kemasukan parameter iaitu pada bahagian satu menentukan geometri pandu gelombang, parameter fabrikasi dan pemalar bahan. Bahagian yang kedua iaitu parameter untuk melakukan kiraan dan simulasi (Anon 2002).

Pemisah-gabung optik 2x3 berasaskan pemisah Y simetri yang membahagikan kuasa keluaran yang sama rata iaitu 50% pada setiap lengan. Dua masukan bagi peranti ini dirujuk sebagai  $\lambda_1$  dan Medium<sub>2</sub>. Pemisah-gabung optik 2x3 membahagikan kuasa 50%  $\lambda_1$  pada lengan satu, 50%  $\lambda_2$  pada lengan tiga dan menggabungkan kuasa masukan 50%  $\lambda_1$  dan 50%  $\lambda_2$  pada lengan dua. Rajah 2 menunjukkan bentangan rekabentuk pemisah-gabung optik 2x3.

Lebar pandu gelombang  $6\mu\text{m}$  digunakan dalam rekabentuk pemisah-gabung optik ini dimana lebar ini merupakan lebar pandu gelombang yang optimum untuk bahan SU-8 terkomersial. Panjang pandu gelombang juga dititikberatkan agar ia boleh diaplikasikan secara praktikal dan mendapat nilai paling optimum dari segi kuasa keluaran. Medan *Input Plane* yang digunakan adalah berbentuk Gaussian dan rekabentuk disimulasikan ke atas kuasa keluaran dalam mod TE dan TM. Indeks biasan bahan SU-8 yang digunakan adalah 1.599 iaitu dengan ketebalan  $6\mu\text{m}$  dengan menggunakan teknik salutan putaran yang berkelajuan 4000 rpm (Azrulnizam 2005).

Pemisah-gabung optik 2x3 disimulasikan dalam empat tettingkap paparan iaitu tettingkap medan optik, indeks biasan berkesan, *Cut View* dan juga kuasa keluaran. Kedua-dua peranti ini dikaji kesan parameter-parameter rekabentuk seperti lebar pandu gelombang, perubahan indeks biasan, sudut capahan dan pada panjang gelombang yang utama iaitu 1310 nm (*Upstream*), 1480 nm (*Downstream*), 1550 nm (*Video*) dan 1625 nm (*Test*). Hasil simulasi dilihat dari sudut nilai kuasa keluaran pada pengutuban TE dan TM pada setiap pangkalan keluaran peranti.

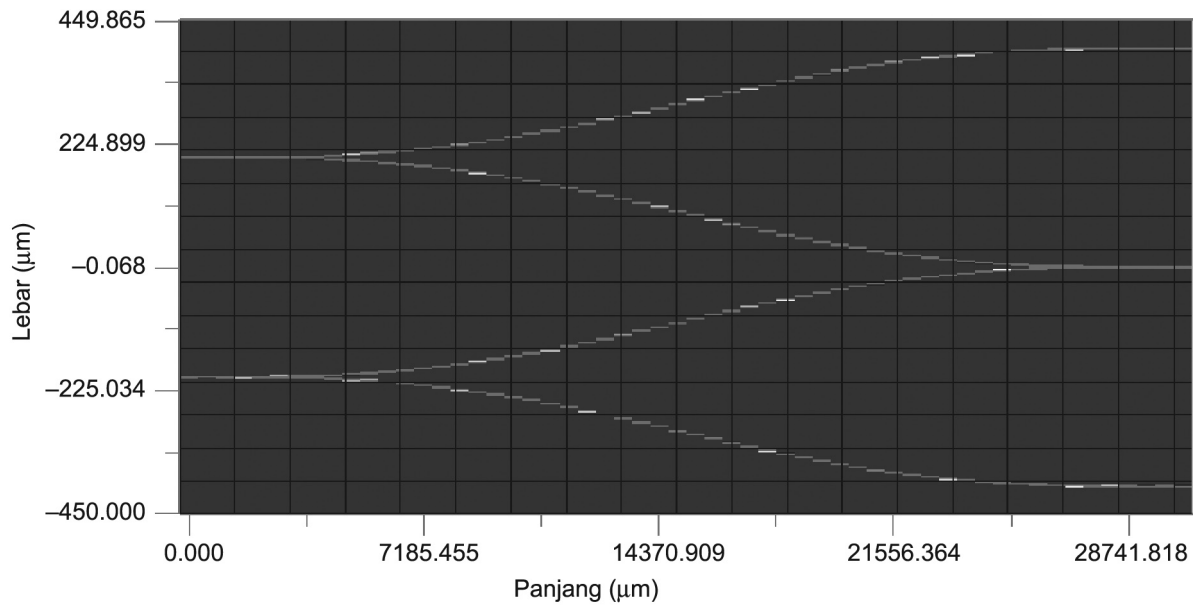


Rajah 2. Bentangan rekabentuk pemisah-gabung optik 2x3

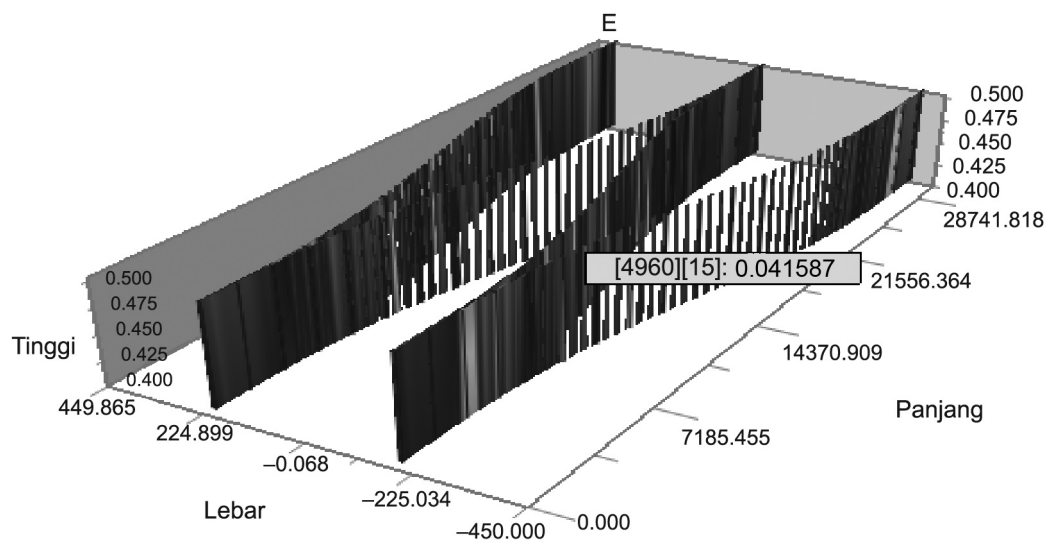
**HASIL DAN PERBINCANGAN**

Analisa kajian ini tertumpu kepada kesan parameter-parameter yang dikaji terhadap kuasa keluaran. Rajah 3 menunjukkan kuasa perambatan di sepanjang pandu gelombang Pemisah-gabung 2x3 pada dua sudut pandangan berbeza. Medan optik bagi pembahagi 2x3 pada hujung perambatan pandu gelombang ditunjukkan dalam Rajah 4.

Kuasa keluaran yang diukur di setiap lengan di sepanjang perambatan pandu gelombang pembahagi 2x3 ditunjukkan dalam Rajah 5. Berikutnya pula dibentangkan hasil simulasi dilihat dari sudut nilai kuasa keluaran pada pengutuban medan elektrik (TE) dan medan magnet (TM) pada setiap pangkalan keluaran peranti.

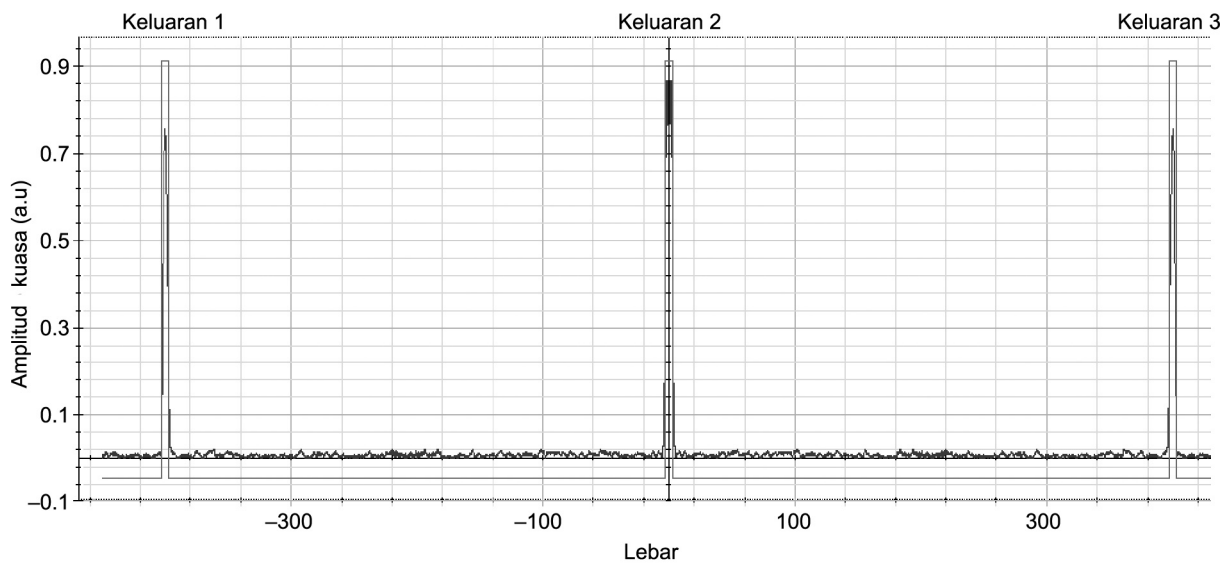


(a)

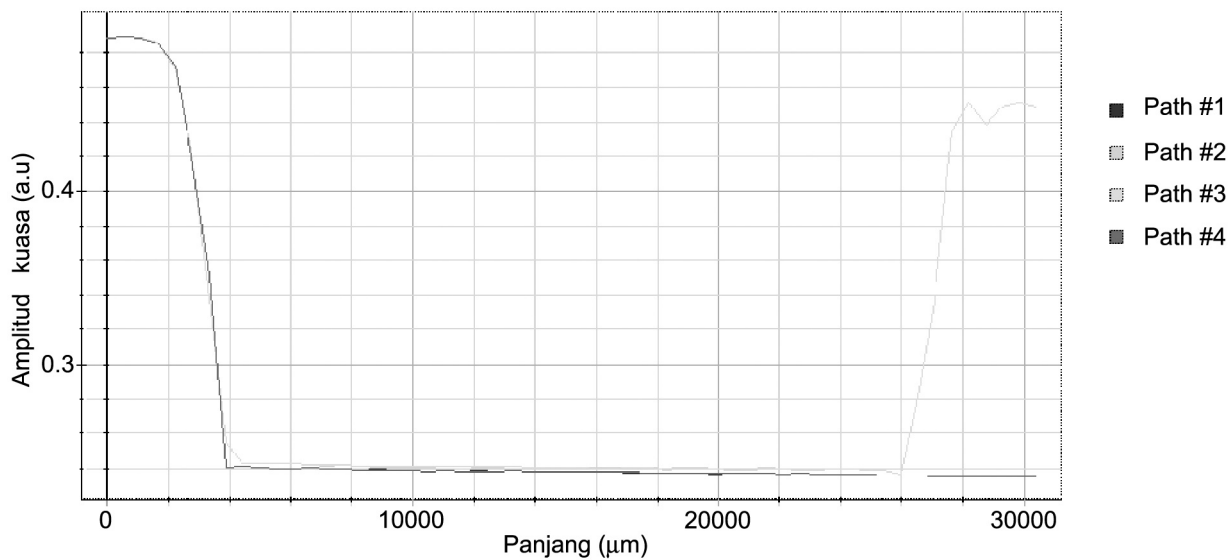


(b)

Rajah 3. Kuasa perambatan di sepanjang pandu gelombang pembahagi 2x3 dalam tiga dimensi (3-D)  
 (a) Pandangan Atas (b) Pandangan Sisi



Rajah 4. Medan optik bagi pembahagi 2x3 pada hujung perambatan pandu gelombang



Rajah 5. Kuasa keluaran bagi setiap lengan di sepanjang perambatan pandu gelombang pembahagi 2x3

Daripada hasil simulasi yang dijalankan dengan menggunakan BPM\_CAD didapati kuasa keluaran pada setiap lengan seperti berikut:

Pangkalan keluaran 1:  
 $0.234985097563 \approx 23\%$  ( $50\% \lambda_1$ )  
 Pangkalan keluaran 2:  
 $0.448802346314 \approx 45\%$  ( $50\% \lambda_1, 50\% \lambda_2$ )  
 Pangkalan keluaran 3:  
 $0.234985097563 \approx 23\%$  ( $50\% \lambda_2$ )  
 Jumlah kuasa keluaran =  $0.918772541 \approx 91\%$   
 Kehilangan laluan, L =  $10 \log P_o/P_{in}$   
 =  $-0.36$  dB

Kehilangan sisipan bagi peranti pembahagi optik 2x3:

Pangkalan keluaran 1 =  $10 \log P_{o1}/P_{in}$   
 =  $-6.29$  dB  
 Pangkalan keluaran 2 =  $10 \log P_{o2}/P_{in}$   
 =  $-3.47$  dB  
 Pangkalan keluaran 3 =  $10 \log P_{o3}/P_{in}$   
 =  $-6.29$  dB

Kehilangan kuasa banyak berlaku pada bengkokan pandu gelombang, maka sudut capahan pandu gelombang perlu direka sekecil yang mungkin bagi mengelakkan kehilangan



kuasa. Sudut capahan pandu gelombang bergantung pada nilai L dimana L adalah panjang bengkokan manakala M pula lebar bengkokan. Semakin tinggi nilai L bermakna jejari bengkokan semakin berkurang maka kehilangan kuasa turut berkurang. Apabila nilai M ditingkatkan bermakna sudut capahan semakin besar dan menyebabkan kehilangan kuasa ketika mod perambatan melaluinya. Rekabentuk ini juga tidak boleh terlalu panjang, kerana kehilangan kuasa juga berlaku semasa perambatan dalam pandu gelombang linear.

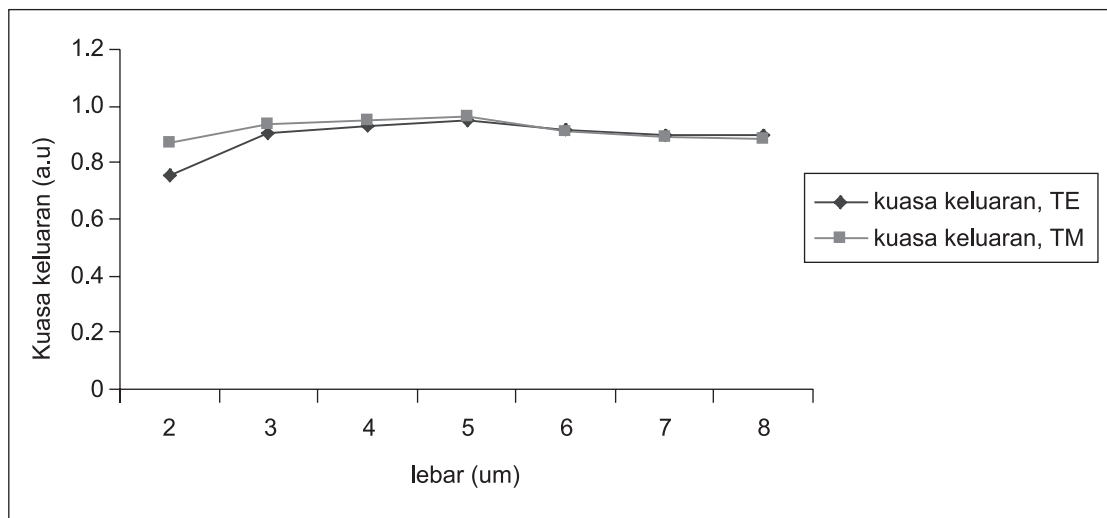
Kuasa keluaran pandu gelombang dikaji dengan perubahan pada lebar pandu gelombang, lebar yang dikaji dari 2 μm sehingga 8 μm. Daripada Rajah 6 didapati kuasa keluaran yang paling maksimum pada lebar 5 μm manakala kuasa keluaran paling minimum pada lebar 2 μm. Kehilangan kuasa keluaran meningkat dengan peningkatan lebar pandu gelombang tetapi ianya bukan perubahan yang besar kerana julat perbezaan hanya 0.06 a.u (bersamaan 6%).

Kuasa keluaran juga menurun jika lebar pandu gelombang kecil, ini kerana sinar Gaussian yang merambat dalam pandu gelombang tersebut mempunyai mod *Evanescent* iaitu ekor mod Gaussian yang terkeluar dari pandu gelombang. Ini menyumbang kepada kehilangan kuasa keluaran di sepanjang perambatan dalam pandu gelombang.

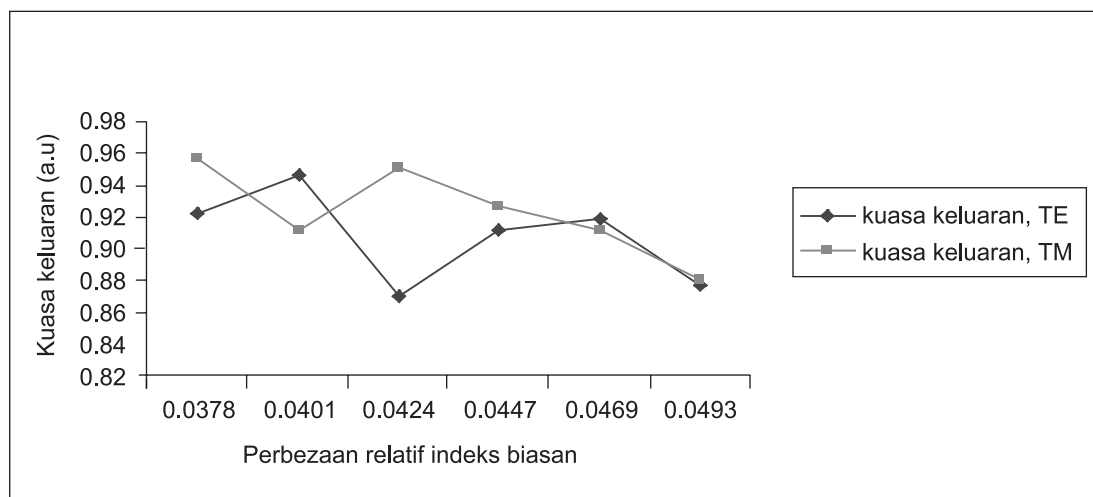
Kehilangan kuasa semakin bertambah dengan pertambahan perbezaan relatif indeks biasan. Perbezaan relatif indeks biasan dikira dengan formula berikut :

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 \tag{1}$$

di mana  $n_1$  merupakan indeks biasan teras dan  $n_2$  pula merupakan indeks biasan pelindung. Nilai indeks biasan pelindung iaitu indeks biasan substrat ditetapkan 1.522 manakala nilai indeks biasan teras diselaraskan dengan selang perubahan 0.004.



Rajah 6. Kuasa keluaran terhadap perubahan lebar pandu gelombang bagi pemisah-gabung optik 2x3



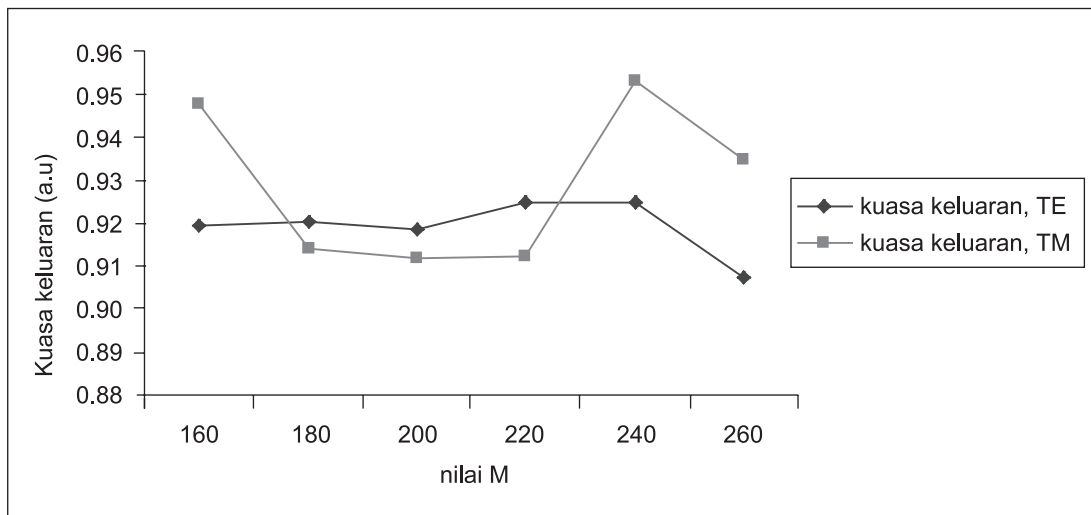
Rajah 7. Kuasa keluaran terhadap perubahan indeks biasan bagi pemisah-gabung optik 2x3

Daripada Rajah 7 di atas, dapat di lihat kuasa keluaran semakin menurun dan kehilangan kuasa semakin bertambah apabila perbezaan relatif indeks biasan semakin bertambah. Ini bertepatan dengan teori yang dinyatakan. Terdapat perbezaan yang besar antara kuasa keluaran TE dan TM pada perbezaan indeks biasan adalah 0.0424.

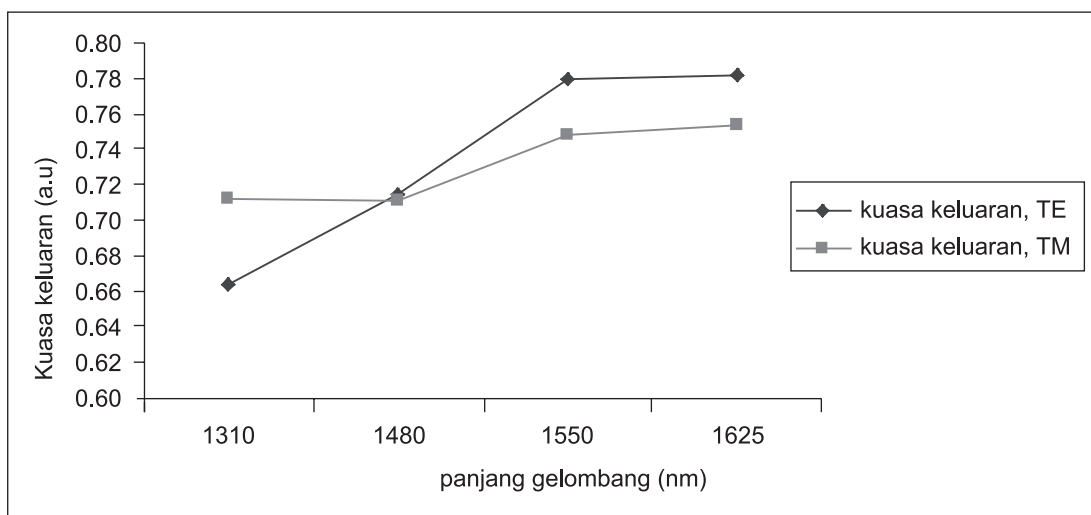
Kesan perubahan sudut capahan pandu gelombang lengkok terhadap kuasa keluaran di hujung pandu gelombang dikaji dengan mengubah-ubah nilai M diantara 160  $\mu\text{m}$  hingga 260  $\mu\text{m}$  dengan selang perubahan 20  $\mu\text{m}$ . Nilai M adalah lebar bukaan cabang. Daripada Rajah 8, didapati kuasa keluaran dalam bentuk sinusoid dimana kuasa berubah pada mulanya menurun dan kembali naik pada nilai M adalah 240  $\mu\text{m}$  dan selepas itu

kuasa menurun semula, kuasa keluaran yang paling maksimum pada sudut capahan pada nilai M adalah 240  $\mu\text{m}$  dan paling minimum pada sudut capahan pada nilai M adalah 260  $\mu\text{m}$ . Apabila sudut capahan bertambah maka kehilangan kuasa semasa perambatan juga bertambah, kuasa keluaran yang keluar tidak banyak berubah dengan sudut capahan.

Daripada Rajah 9 didapati kuasa keluaran paling maksimum pada panjang gelombang 1625 nm. Kehilangan kuasa semakin meningkat apabila panjang gelombang dikurangkan. Maka pada panjang gelombang yang semakin besar daripada 1550 nm dapat dilihat kuasa keluaran semakin meningkat (analisis sehingga panjang gelombang 1625 nm sahaja disebabkan terdapat serapan IR pada panjang gelombang yang lebih besar).



Rajah 8. Kuasa keluaran pada perubahan sudut capahan bagi pemisah-gabung optik 2x3



Rajah 9. Kuasa keluaran pada perubahan panjang gelombang bagi pemisah-gabung peranti optik 2x3



Jadual 1. Terbitan persamaan daripada kesan perubahan parameter ke atas kuasa keluaran pembahagi optik 2x3

Parameter	Kuasa keluaran (TE)	Kuasa keluaran (TM)
Lebar pandu gelombang ( $\mu\text{m}$ )	$y = -0.0128x^2 + 0.1175x + 0.6792$	$y = -0.0081x^2 + 0.0613x + 0.8312$
Panjang gelombang (nm)	$y = 0.8765e^{0.0177x}$	$y = 0.8702e^{0.0203x}$
Indeks biasan	$y = -0.0019x^3 + 0.0197x^2 - 0.0674x + 0.9819$	$y = -0.0027x^3 + 0.0259x^2 - 0.079x + 1.0072$
Sudut capahan (nilai M)	$y = -0.0015x^2 + 0.0094x + 0.9094$	$y = -0.0031x^3 + 0.0374x^2 - 0.1292x + 1.0444$

Jadual 1 menunjukkan terbitan persamaan daripada kesan parameter yang dikaji terhadap kuasa keluaran untuk satah TE dan TM. Melalui persamaan, hubungkait parameter-parameter yang terlibat dapat diungkapkan. Parameter x merujuk kepada saiz panjang gelombang yang diuji.

**KESIMPULAN**

Kajian ini bertujuan untuk memperkenalkan peranti baru yang direkabentuk iaitu pemisah-gabung optik. Peranti ini dicirikan terhadap parameter dan kuasa keluaran dalam satah TE dan juga TM. Aplikasi peranti pemisah-gabung telah diterangkan dalam rangkaian capaian pengguna FTTH sebagai pemudahcara dalam mevariasikan perkhidmatan kepada premis pengguna. Dengan adanya peranti ini, rangkain FTTH menjadi lebih fleksibel dan kualiti perkhidmatan dapat ditingkatkan.

Semasa pencirian dijalankan, walaupun terdapat kehilangan kuasa keluaran pada pemisah-gabung optik tetapi ia masih boleh diterima. Kehilangan kuasa dalam rekabentuk disebabkan bengkokan pandu gelombang, selain itu kehilangan juga berlaku dalam pandu gelombang linear disebabkan mod *Evanescent*.

Faktor-faktor yang harus dititikberatkan dalam proses rekabentuk yang dapat disimpulkan

dalam kajian ini lantas menjurus kepada cadangan rekabentuk pemisah-gabung optik 2x3 yang optimum. Hasil daripada analisis ke atas kuasa keluaran pemisah-gabung optik 2x3, didapati apabila indeks biasan bertambah, sudut capahan bertambah dan lebar pandu gelombang bertambah maka kuasa keluaran semakin berkurang. Walaubagaimanapun, kadar lebar pandu gelombang yang boleh ditentukan adalah terhad bagi memastikan mod perambatan yang merambat dalam pandu gelombang tetap dalam mod tunggal, tetapi lebar pandu gelombang juga tidak boleh terlalu kecil kerana mod perambatan tidak boleh merambat dalam pandu gelombang yang terlalu nipis. Berdasarkan bahan yang digunakan untuk membangunkan peranti ini iaitu polimer SU-8 yang beroperasi pada panjang gelombang 1550 nm dan ke atas, dan di dapati kuasa paling maksimum pada panjang gelombang 1625 nm. Kuasa keluaran semakin meningkat dengan pertambahan panjang gelombang (analisis sehingga panjang gelombang 1625 nm sahaja).

**PENGHARGAAN**

Perhargaan khas ditujukan ke Makmal Teknologi Fotonik, Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoelektronik (IMEN) di atas kebenaran menggunakan perisian BPM\_Cad keluaran Optiwave Corporation.

**RUJUKAN**

Azrulnizam Yusof. 2005. Teknik Gandingan Prisma Untuk Pencirian Pandu Gelombang Planar. Tesis Dr. Falsafah, Fakulti Kejuruteraan, Universiti Kebangsaan Malaysia.

Lee, K.L., Kang, S.B., Lim, D.S., Lee H.K. & Sorin W.V. 2006. Fiber link loss monitoring scheme in bidirectional WDM transmission using ASE-injected FP-LD. *IEEE Photonics Technology Letters*. 18(3):523-525.

Lin H.B., Su J.Y., Wang W.S., Cheng R. S. 1999. Novel Optical Single-Mode Asymmetric Y-Branched for Variable Power Splitting. *Journal of Quantum Electronics*, 35(7):1092-1096.

- Daum, W. 2002. *Polymer Optical Fibers for Data Communication*, Berlin:Springer.
- Feit, M.D. Fleck, J.A. 1978. Light Propagation in Graded-Index Optical Fiber. *Appl. Opt.*, 17(24): 3990-3998.
- <http://www.gersteltec.ch> [3 Jan 2009]
- Hutcheson, L. 2008. FTTx: current status and the future. *IEEE Communications Magazine*. 46(7):90-95.
- Keiser, G. 2000. *Optical fiber communication*. Ed. ke-3. New York: McGraw Hill.
- Norazan Mohd Kassim., Abu Bakar Mohammad., Abu Shah Mohd Supa'at., Mohd Haniff Ibrahim, and Shee Yu Gang. 2004. Polymer Material for Optical Devices Application. *RF and Microwave Conference*, 277-280.
- Song W.J., Song G.H., Ahn B.H., Kang M. 2003. Scalar BPM Analyses of TE and TM Polarized Fields in Bent Waveguide. *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*. 51(6): 1185-1198.
- Yeh, C.H. & Chi, S. 2005. Optical fiber-fault surveillance for passive optical networks in S-band operation window. *Optics Express*. 13(14):5494-5498.