

Fabrikasi Kanal Mikro pada Substrat Akrilik menggunakan Laser Cutting CO₂

Sudarsono,* Gatut Yudoyono, Faridawati, Hasto Sunarno, Nurrisma Puspitasari, dan Yono Hadi Pramono
Departemen Fisika-FIA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Intisari

Mesin pemotong CO₂ laser adalah alat yang digunakan dalam mengerjakan *cutting* (pemotongan) dan *engraving* (grafir) beberapa bahan seperti polimer, kaca, kertas, kain dan beberapa bahan non-logam. Mesin pemotong laser CO₂ banyak digunakan untuk membuat hiasan di dalam ruangan maupun di luar ruangan seperti papan nama pada beberapa toko, kantor, hotel, perusahaan, ruang pameran, dan beberapa aksesoris seperti tropi, gantungan kunci dan beberapa aksesoris lainnya. Dalam penelitian ini akan dipelajari tentang pengaruh kecepatan pemotongan laser CO₂ terhadap bentuk, lebar, dan kedalaman dalam pembuatan kanal mikro (*microchannel*) pandu gelombang optik pada substrat akrilik. Hasil fabrikasi diamati menggunakan mikroskop optik serta perhitungan lebar dan kedalaman menggunakan mikrometer bergeser. Dari hasil observasi dan analisis fabrikasi, hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan laser CO₂ semakin dangkal kedalaman yang dihasilkan. Dalam penelitian ini daya yang digunakan adalah 2,4 W dan menghasilkan kanal mikro dengan kedalaman terkecil 190,91 μm dengan kecepatan laser 100 mm/s dan terbesar 604,17 μm dengan kecepatan laser 50 mm/s. Dari hasil penelitian ini direkomendasikan kecepatan yang baik untuk membuat kanal mikro sebagai aplikasi pandu gelombang optik adalah 95 mm/s dan 100 mm/s dengan daya sebesar 2,4 W.

ABSTRACT

CO₂ laser cutting machine is a tool used in working on cutting and engraving some materials such as polymers, glass, paper, fabric and some non-metallic materials. CO₂ laser cutting machines are widely used to make indoor and outdoor decoration such as nameplates in several shops, offices, hotels, companies, exhibition halls, and some accessories such as trophies, key chains and some other accessories. In this research will be studied about the influence of CO₂ laser cutting speed on the shape, width, and depth in making a kanal mikro optical waveguide on acrylic substrate. The fabrication results were observed using an optical microscope as well as width and depth calculations using micrometer shifts. From the results of observation and analysis of fabrication, the results showed that the higher the CO₂ laser speed the shallower the depth of the resulting. In this study the power used 2.4W and produced kanal mikro with the smallest depth of 190.91 μm with laser speed 100 mm/s and biggest 604.17 μm with laser speed 50 mm/s. From the results of this study recommended a good speed to make kanal mikro as an optical waveguide application is 95 mm/s and 100 mm/s with a power of 2.4 W.

KATA KUNCI: laser cutting, acrylic, CO₂ laser, microchannel.
<http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v14i3.3867>

I. PENDAHULUAN

Pandu gelombang optik dapat digolongkan berdasarkan bahannya seperti kaca, polymer dan semikonduktor, dengan struktur moda tunggal dan moda jamak, sedangkan berdasarkan strukturnya adalah *planar*, *strip* atau fiber optik [1]. Pembuatan pandu gelombang optik secara konvensional dapat dilakukan dengan metode *spin coating*, pertukaran ion, UV lithography, *doctor blading* and *UV-curing* [2–4]. Salah satu penelitian yang telah dilakukan dalam fabrikasi pandu gelombang optik adalah fabrikasi pandu gelombang optik lima lapis struktur planar menggunakan metode *spin coating* [5]. Munculnya mesin *cutting laser* yang dapat digunakan pada proses pemotongan dan grafir pada beberapa material seperti polymer, kaca, kertas, kain dan beberapa material non

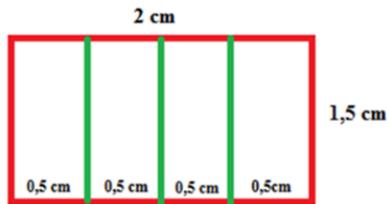
logam [6], dapat memberikan kemudahan pada pembuatan hiasan di dalam ruangan maupun di luar ruangan seperti papan nama pada beberapa toko, kantor, hotel, perusahaan, ruang pameran, dan beberapa aksesoris seperti tropi, gantungan kunci dan beberapa aksesoris lainnya. Selain beberapa aplikasi tersebut ada beberapa penelitian yang telah dilakukan yaitu penelitian tentang *laser cutting* akrilik untuk beberapa aplikasi seperti pembuatan *microfluidic channels* dan *multi-mode power splitter* [7, 8]. Dengan menggunakan *laser cutting* dapat membuat pola kanal dengan mudah karena desain dan proses pembuatan dikontrol dengan menggunakan komputer baik kecepatan maupun daya laser yang digunakan [9]. Pemanfaatan dalam kemudahan aplikasi pada mesin *laser cutting* CO₂, telah dilakukan eksperimen dan kajian teori tentang *direct-write* pada PMMA dengan laser CO₂ [10] dan investigasi eksperimen dan analisis modeling *multi pass* dengan laser CO₂ pada PMMA [11].

Poly methyl methacrylate (PMMA) biasa disebut sebagai akrilik mempunyai sifat optik transparan yang sangat baik

*E-MAIL: sudars29@gmail.com



(a)



(b)

Gambar 1: (a) Proses desain pandu gelombang dengan software corel draw, (b) hasil desain pandu gelombang optik.

[12, 13], sehingga banyak dimanfaatkan dalam bidang optik sebagai piranti optik seperti *multimode splitter*, *multi-layer optical waveguide* dan piranti optik [4]. Selain itu juga telah dilakukan penelitian tentang penggunaan laser CO₂ untuk menghasilkan *cavity* dan struktur mikro pada permukaan PMMA dengan pergerakan sumber laser [14]. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen dan analisis pengaruh kecepatan laser CO₂ terhadap lebar dan kedalaman kanal mikro pada PMMA. Kanal mikro yang dihasilkan akan diaplikasikan sebagai pandu gelombang optik tipe strip tetapi dengan metode *UV imprinting* [3] dan analisis teori tentang efek penjarangan pada pandu gelombang optik non linier tipe strip [15]. Pada penelitian sebelumnya tentang investigasi eksperimen dan analisis modeling multi pass pada PMMA dengan laser CO₂ dilakukan dengan kecepatan tetap yaitu 50 mm/s dan daya variasi daya 1 W, 1.5 W, 2 W dan 3 W [11], sedangkan pada penelitian dilakukan fabrikasi dan analisis kecepatan grafir laser cutting CO₂ tipe BS-1490 pada daya tetap 4% atau sekitar 2,4 W.

II. METODOLOGI

Desain dan fabrikasi

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang eksperimen dan analisis modeling *multi pass* CO₂ laser pada PMMA dengan menggunakan laser CO₂ komersial (VLS 3.60, USA) dengan kecepatan 50 mm/s dan daya 1W, 1.5W, 2W dan 3W [11]. Pada penelitian ini untuk mengetahui



(a)



(b)

Gambar 2: (a) Proses pembuatan dengan mesin Laser CO₂, (b) Hasil Fabrikasi kanal mikro pada PMMA.

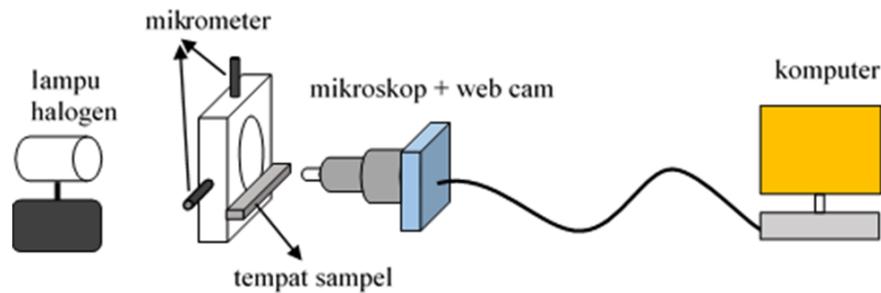
pengaruh kecepatan gerak laser CO₂ terhadap lebar dan kedalaman kanal mikro dilakukan pembuatan kanal mikro pandu gelombang optik pada PMMA dengan kecepatan 100 mm/s-50 mm/s dengan rentang kecepatan setiap 5 mm/s menggunakan daya 4% atau sekitar 2,4 W. Tipe laser CO₂ yang digunakan pada penelitian ini adalah *laser engraving cutting machine* BS-1490, dengan spesifikasi luas daerah ukuran 1400 × 900 mm, kecepatan ukir 0-64000 mm/menit, daya laser 60W/80W/120W, perbandingan resolusi 0,025 mm, pengaturan ulang akurasi posisi ± 0,01 mm, panjang gelombang 10,6 μm dan suhu operasi 0- 45°C.

Pada proses fabrikasi, langkah awal yang dilakukan adalah membuat desain kanal mikro pandu gelombang optik menggunakan software *corel* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Substrat akrilik yang digunakan pada penelitian ini mempunyai ukuran 2 cm × 1,5 cm dengan jarak antar kanal 0,5 cm dengan ketebalan 2 mm. File desain yang telah siap dijalankan pada software yang digunakan untuk menjalankan laser *engraving cutting machine* BS-1490. Daya laser yang digunakan adalah 2,4 W dengan kecepatan 100 mm/s s.d. 50 mm/s dengan rentang setiap 5 mm/s seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengukuran lebar dan kedalaman

Pengamatan hasil fabrikasi kanal mikro menggunakan mikroskop optik *Olympus* yang dilengkapi dengan *Logitech HD Webcam C270* yang terhubung dengan komputer dengan perbesaran mikroskop 60 x. Pengukuran lebar dan kedalaman kanal mikro pandu gelombang optik digunakan konversi jarak pixel dalam satuan micrometer [5, 16]. Konversi pixel kedalam satuan mikrometer dilakukan dengan meletakkan



Gambar 3: Setup peralatan untuk pengamatan kanal mikro.

sampel pada dudukan yang telah dilengkapi dengan *micrometer screw* yang disusun seperti pada Gambar 3.

Proses untuk mendapatkan konversi satu pixel kedalam satuan micrometer adalah dengan melakukan pergeseran sampel sejauh $50\mu\text{m}$ maka pada gambar akan bergeser dalam satuan pixel, sehingga dapat dihitung besar konversi satu pixel dalam satuan mikrometer. Setelah mendapatkan konversi satu pixel dalam satuan mikrometer maka lebar dan kedalaman dari satuan pixel dirubah kedalam mikrometer.

III. HASIL DAN DISKUSI

Gambar 4 menunjukkan foto kanal mikro dengan variasi kecepatan gerak berkas laser menggunakan mikroskop optik. Semua kanal mikro yang didapatkan dibuat dengan daya laser yang sama yaitu 2,4 W.

Dari hasil pengamatan yang ditunjukkan pada Gambar 4 terlihat bahwa semakin rendah kecepatan maka kedalaman semakin besar dan bentuk kanal mikro semakin runcing, tetapi untuk lebar tidak mengalami perubahan yang signifikan. Profil bentuk kanal mikro pada penelitian ini mempunyai kesamaan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya [11, 17–20]. Pada penelitian ini yang dimaksud kedalaman adalah jarak dari permukaan ke dasar kanal mikro, sedangkan yang dimaksud lebar adalah jarak antar tepi pada permukaan PMMA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

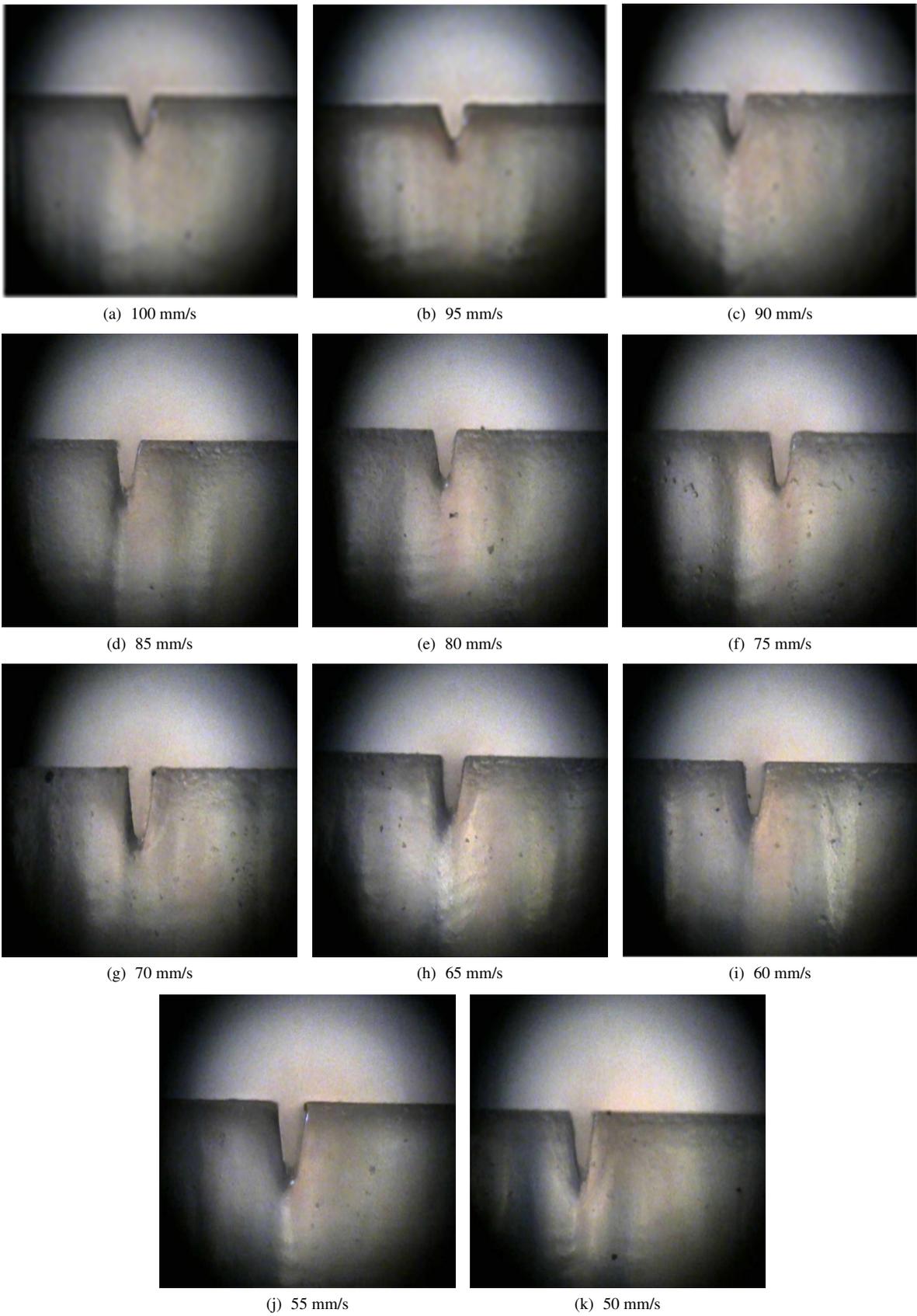
Hasil pengukuran lebar dan kedalaman kanal mikro ditunjukkan pada grafik kedalaman dan lebar terhadap kecepatan gerak laser CO_2 seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa lebar kanal tidak mengalami perubahan yang signifikan, hal ini disebabkan pada tahap desain lebar garis kanal mikro yang dibuat dengan software *corel* adalah sama. Sedangkan pada proses fabrikasi daya yang digunakan juga sama hanya kecepatan yang berbeda. Lebar kanal yang dihasilkan pada penelitian ini paling kecil $120\mu\text{m}$ dan paling besar $250\mu\text{m}$ dengan rata-rata sekitar $179,41\mu\text{m}$, sedangkan dari penelitian yang dilakukan oleh Shashi Prakash dan Subrata Kumar pada daya 2 W kedalaman $500\mu\text{m}$ menghasilkan lebar sekitar $214\text{--}262\mu\text{m}$ [11]. Berbeda lagi dengan penelitian yang dilakukan oleh

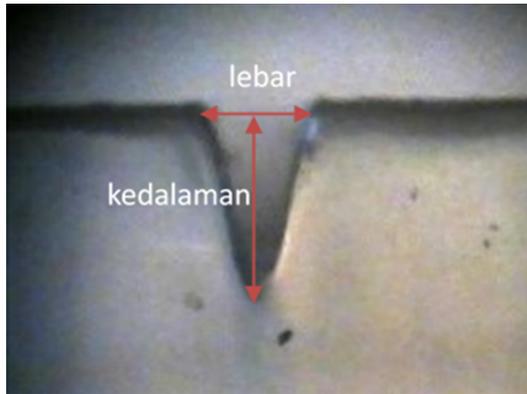
L. Romoli dengan daya 50 W tetapi dengan kecepatan yang besar yaitu 500 mm/s menghasilkan lebar sekitar $200\mu\text{m}$ [20]. Kedalaman yang dihasilkan pada penelitian ini paling kecil adalah $190,91\mu\text{m}$ pada kecepatan 100 mm/s , sedangkan kedalaman paling besar adalah $604,17\mu\text{m}$ pada kecepatan 50 mm/s , bila diplot grafik kedalaman terhadap kecepatan ditunjukkan seperti pada Gambar 6.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan laser maka kedalaman yang dihasilkan semakin kecil, hal ini disebabkan semakin kecil kecepatan gerak laser maka energi yang diterima permukaan akrilik semakin besar sehingga material akrilik yang terbakar semakin banyak dan menyebabkan kedalaman semakin besar. Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang menunjukkan bahwa semakin kecil kecepatan proses fabrikasi, maka pulsa energi yang diberikan semakin besar [21]. Akrilik mempunyai titik lebur 160°C dan menyerap energi laser CO_2 sebanyak 95% [11, 17], sedangkan penguraian komposisi menjadi monomer, karbon dioksida, karbon monoksida dan air berlangsung pada suhu 230°C sampai 393°C . Zat-zat hasil penguraian tersebut mempunyai sifat mudah terbakar, sehingga pada proses fabrikasi menghasilkan asap putih [11]. Daya laser CO_2 yang dihasilkan berupa pulsa, maka intensitas yang dihasilkan menjadi fluktuatif, hal ini yang menyebabkan lebar dan kedalaman yang dihasilkan akan bervariasi meskipun dengan parameter sama maka akan menghasilkan lebar dan kedalaman yang berbeda.

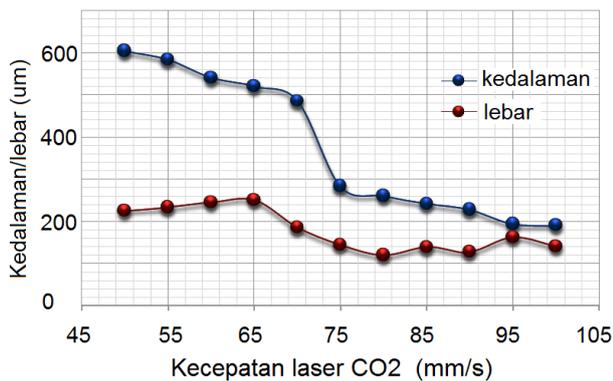
Hasil kanal mikro pada penelitian ini akan dapat dimanfaatkan sebagai pandu gelombang optik dengan mengisi kanal mikro tersebut dengan material yang transparan dengan indeks bias lebih besar dari akrilik, sehingga dapat terjadi pemantulan dalam total yang mejadi syarat agar dapat menjadi pandu gelombang optik. Dari hasil fabrikasi, kanal mikro yang cocok untuk digunakan sebagai pandu gelombang optik adalah kanal mikro yang dibuat dengan kecepatan 95 mm/s dan 100 mm/s dengan daya laser 2,4 W, karena menghasilkan bentuk kanal yang tidak curam.



Gambar 4: Foto kanal mikro, daya laser 2,4 W dengan variasi kecepatan.



Gambar 5: Lebar dan kedalaman dari kanal mikro.

Gambar 6: Grafik hubungan kedalaman dan lebar terhadap kecepatan gerak laser CO₂.

IV. SIMPULAN

Pada penelitian ini telah mampu menghasilkan kanal mikro dengan kedalaman paling kecil 190,91 μm dengan kecepatan laser 100 mm/s dan paling besar 604,17 μm dengan kecepatan laser 50 mm/s dengan menggunakan daya laser yang sama yaitu 2,4 W. Dengan menggunakan variasi kecepatan dapat menghasilkan kedalaman kanal mikro yang berbeda, sehingga untuk menghasilkan kedalaman yang besar tidak perlu menggunakan daya laser yang besar tetapi cukup dengan menggunakan kecepatan yang rendah sehingga dapat mengurangi konsumsi daya laser. Metode pembuatan kanal mikro dengan laser cutting CO₂ mudah dilakukan dan dengan biaya yang murah karena banyak digunakan dalam bidang komersil. Dari penelitian ini dapat direkomendasikan kecepatan yang baik untuk membuat kanal mikro untuk aplikasi pandu gelombang optik adalah 95 mm/s dan 100 mm/s dengan daya 2,4 W.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Fisika dan LPPM ITS yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada *Oscar Advertising* yang telah bersedia menyediakan tempat untuk melakukan fabrikasi kanal mikro. Penelitian ini dibiayai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) ITS. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi sesuai dengan kontrak penelitian nomor: 1500/PKS/ITS/2018.

- [1] A. Madani and H. R. Azarinia, "Design and fabrication of all-polymeric photonic waveguides in optical integrated circuits", *Opt.-Int. J. Light Electron Opt.*, vol. 138, pp. 33-39, Jun. 2017.
- [2] H.-H. Kim et al., "Fabrication of tapered waveguide by ashed photoresist", *Microelectron. Eng.*, vol. 88, no. 8, pp. 2721-2724, Aug. 2011.
- [3] M. Wang et al., "Fabrication of optical inverted-rib waveguides using UV-imprinting", *Microelectron. Eng.*, vol. 88, no. 2, pp. 175-178, Feb. 2011.
- [4] M. Rezem, A. Günther, M. Rahlves, B. Roth, and E. Reithmeier, "Fabrication and Sensing Applications of Multilayer Polymer Optical Waveguides", *Procedia Technol.*, vol. 26, pp. 517-523, Jan. 2016.
- [5] F. Faridawati, "Fabrikasi Pandu Gelombang Lima Lapis Berbasis Polimer Polystyrene (PS) dan Polymethyl Methacrylate (PMMA)", *J. Fis. Dan Apl.*, vol. 11, no. 2, pp. 91-94, Jun. 2015.
- [6] L. D. Scintilla, L. Tricarico, A. Wetzig, and E. Beyer, "Investigation on disk and CO₂ laser beam fusion cutting differences based on power balance equation", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 69, pp. 30-37, Jun. 2013.
- [7] D. Patko, Z. Mártonfalvi, B. Kovacs, F. Vonderviszt, M. Keller-mayer, and R. Horvath, "Microfluidic channels laser-cut in thin double-sided tapes: Cost-effective biocompatible fluidics in minutes from design to final integration with optical biochips", *Sens. Actuators B Chem.*, vol. 196, pp. 352-356, Jun. 2014.
- [8] N. Syafiqah Mohamed-Kassim and M. Kamil Abd-Rahman, "High resolution tunable POF multimode power splitter", *Opt. Commun.*, vol. 400, pp. 136-143, Oct. 2017.
- [9] I. A. Choudhury and S. Shirley, "Laser cutting of polymeric materials: An experimental investigation", *Opt. Laser Technol.*, vol. 42, no. 3, pp. 503-508, Apr. 2010.
- [10] D. Yuan and S. Das, "Experimental and theoretical analysis of direct-write laser micromachining of polymethyl methacrylate by CO₂ laser ablation", *J. Appl. Phys.*, vol. 101, no. 2, p. 24901, Jan. 2007.
- [11] S. Prakash and S. Kumar, "Experimental investigations and analytical modeling of multi-pass CO₂ laser processing on PMMA", *Precis. Eng.*, vol. 49, pp. 220-234, Jul. 2017.
- [12] V. Kumar, M. Pallapa, P. Rezaei, and P. R. Selvaganapathy, "Polymers", in *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier, 2016.
- [13] T.-F. Hong, W.-J. Ju, M.-C. Wu, C.-H. Tai, C.-H. Tsai, and L.-M. Fu, "Rapid prototyping of PMMA microfluidic chips utilizing a CO₂ laser", *Microfluid. Nanofluidics*, vol. 9, no. 6, pp. 1125-1133, Dec. 2010.
- [14] M. F. Jensen, M. Noerholm, L. H. Christensen, and O. Geschke, "Microstructure fabrication with a CO₂ laser system: characterization and fabrication of cavities produced by raster scanning of the laser beam", *Lab. Chip*, vol. 3, no. 4, pp. 302-307, Nov. 2003.
- [15] D. Mihalache, D.-M. Baboiu, and D. Mazilu, "Propagation ef-

- fects in nonlinear strip optical waveguides”, *Opt. Commun.*, vol. 110, no. 1, pp. 67-74, Aug. 1994.
- [16] Sudarsono, G. Yudoyono, B. Indarto, Y. H. Pramono, and Fari-dawati, ”Fabrikasi Lapisan Antirefleksi dengan Bahan Methyl Methacrylate (MMA) Menggunakan Metode Spin Coating”, (Halaman 30 s.d. 33), *J. Fis. Indones.*, vol. 19, no. 56, Nov. 2015.
- [17] S. Prakash and S. Kumar, ”Profile and depth prediction in single-pass and two-pass CO₂ laser microchanneling processes”, *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 25, no. 3, p. 35010, 2015.
- [18] K. Salonitis, A. Stournaras, G. Tsoukantas, P. Stavropoulos, and G. Chryssolouris, ”A theoretical and experimental investigation on limitations of pulsed laser drilling”, *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 183, no. 1, pp. 96-103, Mar. 2007.
- [19] J. M. Li, C. Liu, and L. Y. Zhu, ”The formation and elimination of polymer bulges in CO₂ laser microfabrication”, *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 209, no. 10, pp. 4814-4821, Jun. 2009.
- [20] L. Romoli, G. Tantussi, and G. Dini, ”Experimental approach to the laser machining of PMMA substrates for the fabrication of microfluidic devices”, *Opt. Lasers Eng.*, vol. 49, no. 3, pp. 419-427, Mar. 2011.
- [21] A. Ascari, A. Fortunato, A. H. A. Lutey, G. Guerrini, and N. Pagano, ”Long Pulse Laser Wire Deposition of Hard Steels”, *Phys. Procedia*, vol. 83, pp. 723-732, Jan. 2016.