

TAMPILAN *BIREFRINGENCE* PADA GANGGUAN PEMBENGGOKAN SERAT OPTIK KOMERSIAL

Velia Veriyanti, Saktioto*

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: saktioto@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Optical fiber components are increasingly growing in the telecommunication technology with various forms to facilitate effective and stable communication. However, the output signal of optical fiber is still experiencing interference, bending power loss and dispersion, such as birefringence. To minimize the interference, this paper investigates birefringence profile on the aspect of disturbance and geometrical parameters for commercial single-mode optical fiber (SMF) through OptiFiber simulation. This simulation build the model of several SMFs, namely SMF-28, SMF-28e, SMF-28e +, SMF-28e + LL, and SMF-28 ULL which have different refractive index for core and cladding, but their radii are fixed for each wavelength source of 1310nm and 1550nm. The impact of interference on optical fiber can be understood from birefringence model of its bending radius to power loss and wavelength. The highest loss occurred at SMF-28 fiber of 0.012dB / km with a radius of 0.020m for wavelength of 1310nm and bending loss at wavelength of 1550nm was 31.96dB / km at radius of 0.02m. This finding shows that magnitude of normalized frequency strongly determines the effectiveness and stability of optical fibers.

Keywords: Fiber optic single mode, Birefringence, Power loss

ABSTRAK

Komponen serat optik semakin berkembang di dunia telekomunikasi dalam berbagai bentuk guna mempermudah komunikasi yang efektif dan stabil. Namun, sinyal keluaran serat optik tersebut masih mengalami gangguan, rugi daya pembengkokan dan disperse, seperti birefringence. Untuk meminimalkan gangguan yang terjadi, penelitian ini akan menginvestigasi lanjut birefringence pada aspek gangguan dan parameter geometri untuk serat optik moda tunggal (SMF) komersial melalui simulasi OptiFiber. Simulasi ini memodelkan beberapa SMF yaitu SMF-28, SMF-28e, SMF-28e+, SMF-28e+LL, dan SMF-28 ULL yang memiliki indeks bias core dan cladding yang berbeda namun jari-jarinya masing-masing tetap untuk sumber panjang gelombang 1310nm dan 1550nm. Dampak gangguan pada serat optik dapat diketahui dari pemodelan jari-jari kelengkungan terhadap rugi daya dan panjang gelombang terhadap birefringence. Rugi daya kelengkungan terbesar terjadi pada serat SMF-28 sebesar 0,012dB/km dengan jari-jari kelengkungan 0,020m untuk panjang gelombang 1310nm dan rugi daya kelengkungan pada panjang gelombang 1550nm adalah 31,96dB/km pada jari-jari 0,02m. Data ini menunjukkan nilai frekuensi ternormalisasi sangat menentukan keefektifan dan kestabilan serat optik.

Kata kunci: Serat optik moda tunggal, Birefringence, Rugi daya

Diterima 15-06-2020 | Disetujui 29-06-2020 | Dipublikasi 30-07-2020

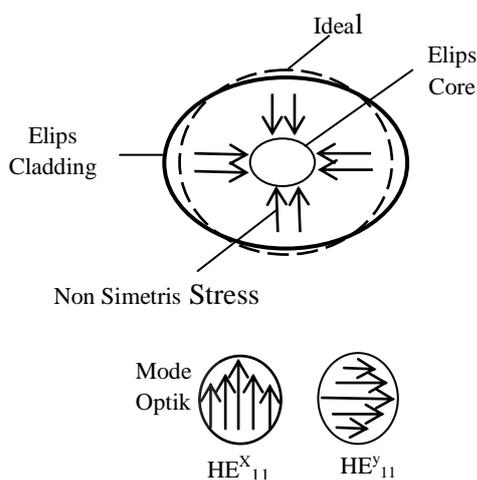
PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir telah banyak perkembangan serat optik yang digunakan untuk fungsi telekomunikasi baik untuk jarak dekat maupun jarak jauh. Informasi telekomunikasi diperlihatkan melalui sinyal optik yang menjalar dalam

fiber. Sinyal tersebut menghasilkan beberapa fungsi, manfaat dan juga dapat menimbulkan efek geometri dan struktur fiber, seperti *birefringence*. *Birefringence* linier memiliki keunggulan yang dapat memudarnya sinyal terdeteksi. *Birefringence* linier dalam SMF dapat menyebabkan geometri serat menjadi

elipsoid inti atau terinduksi oleh stres melalui efek elasto-optik [1].

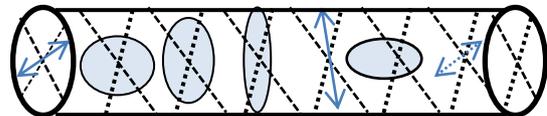
Sinyal optik diluncurkan oleh sumber laser merambat dan terbagi dipersimpangan serat. Penjalaran sinyal sangat dipengaruhi oleh geometri kopleng dengan penampang bervariasi seperti berbentuk lancip sehingga tidak simetri lagi. Perubahan geometri ini dapat diakibatkan oleh tegangan eksternal menyebabkan gelombang cahaya terpolarisasi ke arah sumbu horizontal dan vertikal terhadap arah rambatan sinyal. Di sisi lain, medan listrik yang merambat dalam serat terbagi menjadi dua komponen yang berbeda bergerak dengan kecepatan yang tidak sama yang juga dinyatakan sebagai sifat *birefringence* [2]. Namun demikian, *birefringence* juga memiliki kekurangan seperti pelebaran pulsa yang dapat mempengaruhi redaman daya dari serat optik, sehingga kualitas serat dalam mentransmisikan cahaya semakin berkurang.



Gambar 1. Anatomi Serat Optik.

Gambar 1 menjelaskan bentuk geometri SMF yang berubah oleh moda polarisasi yang berbeda. Gangguan tersebut dibagi dalam kelompok intrinsik dan ekstrinsik, dimana gangguan intrinsik ditimbulkan oleh proses pembuatan serat dan merupakan fitur permanen dari serat. Kondisi ini termasuk perubahan inti yang *noncircular* dan bidang tegangan tidak simetris pada serat di sekitar inti mengakibatkan arah gelombang medan

listrik dan medan magnet juga berubah. Inti *noncircular* menimbulkan *birefringence* geometris, sedangkan medan tegangan nonsimetrik menciptakan *birefringence* stress. Gangguan ekstrinsik dihasilkan dari akibat makro seperti kelengkungan, pembengkokkan dan *twist* pada serat.

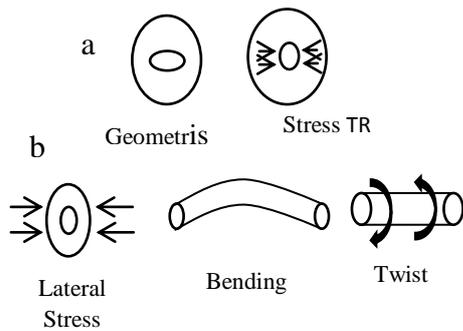


Gambar 2. Properti *Birefringence* dari serat optic.

Gambar 2 menjelaskan cahaya terpolarisasi linier melalui SMF dengan asumsi bahwa dua komponen polarisasi memiliki amplitudo yang sama dan tidak ada perbedaan fasa di ujung keluaran, tetapi ketika cahaya merambat sepanjang serat, satu moda keluar dari fase yang lain karena konstanta propagasi fase yang berbeda. Jadi pada setiap titik sepanjang serat (untuk perbedaan fasa acak) kedua komponen akan menghasilkan cahaya terpolarisasi elips. Pada perbedaan fasa $\pi/2$, cahaya terpolarisasi melingkar dapat dihasilkan. Dengan cara ini polarisasi berubah dari linier ke elips ke lingkaran ke elips dan kembali ke linier. Urutan polarisasi bolak-balik ini berlanjut sepanjang serat. Panjang L_p dari serat tempat polarisasi diputar melalui sudut 2π radian dinyatakan sebagai panjang tekanan serat [3] diberikan oleh persamaan sebagai berikut:

$$L_p = \frac{2\pi}{\delta\beta} \quad (1)$$

Dalam serat yang ideal, sirkular simetris, bidang tegangan ini adalah simetris karena tidak menyebabkan anisotropi seperti pada Gambar 3a. Namun, jika ada bentuk *noncircular* baik untuk inti atau *cladding* di preform, serat yang ditarik secara mekanik akan memiliki bidang tegangan internal yang tidak simetris. Peristiwa *birefringence* ini juga dapat terjadi dalam serat ketika ada gaya eksternal dalam pemasangan kabel yang menimbulkan rugi daya.



Gambar 3. Mekanisme *birefringence* instrinsik dan ekstrinsik.

Sumber ekstrinsik yang ditunjukkan pada Gambar 3.b, termasuk tekanan lateral atau pemampatan, pembengkokan (*bending*), dan serat yang dipelintir. Mekanisme ini biasanya terjadi sampai batas tertentu dalam rangkaian aplikasi serat telekomunikasi. *Birefringence* yang disebabkan oleh pembengkokan dapat dinyatakan sebagai berikut [4] :

$$\Delta\beta_{Bending} = -\frac{1}{8} \left(\frac{d}{R}\right)^2 E C k_0 \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{a}{d}\right)^2 H(V)\right] \quad (2)$$

dimana, R adalah radius *bending*, E adalah nilai modulus young, C adalah konstanta photoelastic, k_0 adalah konstanta gelombang, d adalah diameter luar dari fiber, a adalah jari-jari *core* dan $H(V)$ adalah *stress* internal *birefringence* [4], Dengan $H(V)$ sebagai berikut :

$$H(V) = 2 + \frac{4(U^2 - W^2)}{U^2 V^2 W^2} + \frac{4 J_0(U)}{U J_1(U)} \quad (3)$$

$$U = a \sqrt{n_1^2 k_0^2 - \beta^2} \quad (4)$$

$$W = a \sqrt{\beta^2 - n_2^2 k_0^2} \quad (5)$$

Dalam konteks serat optik, rugi daya bengkok diberi satuan dalam decibel (dB), dan daya atenuasi dalam serat optik dengan panjang serat (L) sebagai berikut :

$$L = 4.342 (-2\alpha L) \quad (6)$$

dimana P_i adalah daya masukan (Watt), P_o adalah daya keluaran (Watt), α adalah

koefisien rugi daya (m^{-1}), dan L adalah panjang serat optik (m) [5].

Oleh karena itu, untuk meminimalisir kerugian daya dan gangguan geometri yang disebabkan oleh *birefringence*, maka artikel ini mengusulkan investigasi pemodelan SMF pada produk komersial indeks bias yang tersedia dengan perlakuan sumber panjang gelombang 1310nm dan 1550nm dalam daerah frekuensi ternormalisasi, jari-jari yang bervariasi dengan gangguan pembengkokan serat. Dengan perlakuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi optimal terhadap efek pembengkokan dan perlakuan sumber panjang gelombang.

METODE PENELITIAN

Simulasi penelitian ini menggunakan software OptiFiber pada sampel SMF-28, SM-28e, SMF-28e+, SMF-28e+LL dan SMF 28-ULL dengan jari-jari *core* dan *cladding* yang sama yaitu $4.1 \mu m$ dan $62.5 \mu m$. Untuk mengetahui *birefringence*, profil SMF dengan profil indeks bias dan jari-jari ditentukan pada region 0 dan region 1. Selanjutnya parameter diketahui model dispersi dengan jenis material silika murni, dengan bahan *dopant* germanium dan florin. Moda serat dengan *LP Modes (Matrix Method)* pada panjang gelombang yang diberikan pada moda *filed* diameter yang menghasilkan modal indeks tanpa panjang gelombang *cut-off*. Berikutnya untuk mensimulasikan panjang gelombang *cut-off*, yang diperoleh dari moda *Matrix Method* yang kemudian akan dihitung ulang untuk menunjukkan parameter moda serat optik LP_{01} (dalam rentang SMF) dan LP_{11} (rentang *fiber multimode*). Tahapan ini menunjukkan pembatasan panjang gelombang *cut-off* agar tidak dimasukkan dalam rentang fiber multimode.

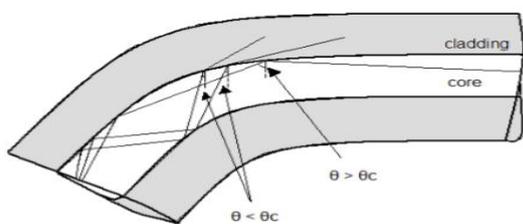
Selanjutnya adalah penentuan sifat moda fundamental yang menggunakan parameter material dan rugi daya, dengan memasukkan variasi jari-jari dari 20mm hingga 35mm untuk parameter pembengkokan untuk menghasilkan rugi daya. Pada bagian panjang

gelombang disesuaikan dengan pilihan nilai 1.2 sampai 1.6 dengan iterasi 100.

Untuk mensimulasikan *birefringence* yang disebabkan oleh gangguan pembengkokan, maka digunakan nilai parameter konstanta fotoelastik $3.44 \times 10^{11} \text{m}^2/\text{kg.W}$, nilai modulus Young $775 \times 10^7 \text{kg.W/m}^2$ dan rasio poisson 0.164 pada bahan material silika. Untuk nilai *birefringence* yang dipengaruhi oleh gaya luar, dapat digunakan variasi jari-jari pada parameter pembengkokan mulai dari 0.02m sampai 0.035m. Dengan parameter tension konstan 0,2943N dan pada bagian keluaran menggunakan rentang spektral $0.4\mu\text{m}$ dengan 51 iterasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketika serat optik dalam posisi bengkok maka sebagian daya dalam serat optik akan hilang atau berkurang. Berdasarkan Hukum Snellius, penjalaran cahaya dalam media optik, cahaya yang dipantulkan akan mengalami pembengkokan diantara *core* dan *cladding*. Rugi-rugi pada serat optik yang melengkung akan semakin meningkat jika jari-jari kelengkungannya semakin kecil. Rugi-rugi pembengkokkan ini terbagi dua yaitu: pembengkokan makro dan mikro. *Macrobending loss* merupakan pembengkokan pada serat optik dengan radius jari-jari kelengkungan yang lebih besar dibandingkan dengan radius serat optik.



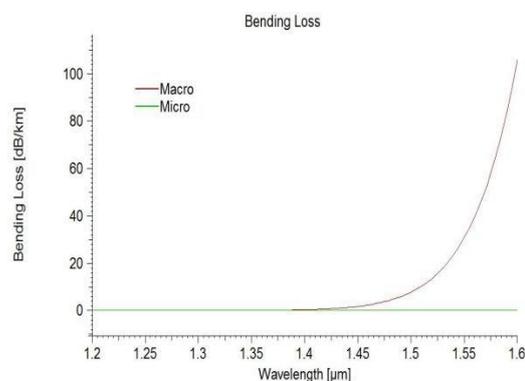
Gambar 4 Skema kelengkungan makro pada serat optik [6].

Lengkungan dapat disebabkan oleh hal-hal yang tidak disengaja, sehingga mengakibatkan arah propagasi cahaya di dalam serat optik berbelok dari arah transmisi semula, keluar dari inti ke arah *cladding*. Kelengkungan makro pada serat optik akan

menyebabkan bagian dalam serat optik termampatkan dan bagian luar menjadi tertarik lebih panjang sehingga kepadatan material berubah seperti terlihat pada Gambar 4. Kejadian ini menyebabkan perubahan indeks bias serat optik karena adanya tegangan optik [7].

Perubahan indeks bias mengakibatkan perubahan lintasan penjalaran berkas cahaya. Sedangkan *microbending loss* merupakan rugi-rugi yang disebabkan oleh efek mikroskopik karena cacat pada batas *core* dan *cladding*. Cacat tersebut diakibatkan oleh fabrikasi kabel yang kurang baik, kesalahan selama pengkabelan, suhu rendah dan ada bagian serat yang tertekan oleh suatu objek. *Microbending* sulit untuk dideteksi karena jari-jari kelengkungan serat mendekati jari-jari inti serat optik, sehingga mengakibatkan adanya kopling daya antar moda.

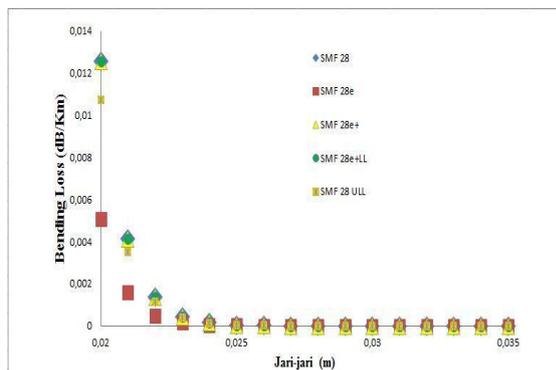
Rugi *microbending* dapat dikurangi dengan menggunakan jaket pelindung serat yang lebih fleksibel [8]. Hilangnya lentur dari serat optik termasuk *macrobending* kerugian dan kerugian *microbending*. *Macrobending loss* mendominasi ketika jari-jari kelengkungan serat optik banyak lebih besar dari diameter serat optik; sementara itu, kerugian *microbending* terjadi ketika jari-jari kelengkungan dan diameter serat optik memiliki urutan yang sama besarnya [5].



Gambar 5. Bending Loss SMF-28.

Hasil simulasi menampilkan grafik *bending loss* sebagai fungsi panjang gelombang yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Semakin bertambah panjang gelombang,

macrobending semakin meningkat yang juga dipengaruhi radius jari-jari serat optik. Untuk *microbending* perubahannya kecil sehingga dapat diabaikan karena merupakan pembawaan dari material saat difabrikasi. Rugi pembengkokan diperkenalkan oleh *Mode Field Diameter* (MFD). MFD mewakili area dimana cahaya melewati kemudian masuk kedalam *core* dan *cladding*. Moda yang memiliki diameter lebih kecil menunjukkan bahwa cahaya lebih rapat pada pusat serat, sehingga lebih sedikit rentan terhadap kebocoran ketika mengalami pembengkokan [9].

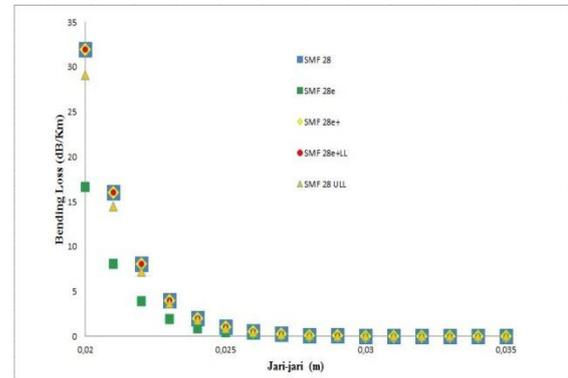


Gambar 6. Rugi daya kelengkungan untuk panjang gelombang 1310nm.

Dari Gambar 6 didapatkan hasil bahwa rugi daya bengkok pada panjang gelombang 1310nm memiliki nilai yang berbeda pada setiap SMF. Hal itu dikarenakan oleh setiap SMF memiliki indeks bias dan nilai frekuensi normalisasi yang berbeda sehingga kecepatan daya setiap SMF dalam mentransmisikan cahaya ikut bervariasi. Meskipun sinar cahaya dalam serat optik mengikuti prinsip refleksi total, intensitas sinar cahaya melemah jika sinar melintasi dari satu ujung serat optik ke ujung yang lain, yang menunjukkan bahwa ada kerugian untuk cahaya selama proses propagasi. Ketika serat optik terbelok pada radius tertentu, jalur rambat cahaya akan berubah dan sebagian sinar cahaya akan menyusup kedalam *cladding* [5].

Gambar 7 terlihat bahwa pemberian jari-jari kelengkungan yang sama dengan panjang gelombang yang berbeda, memperlihatkan

hasil nilai yang berbeda pada hasil panjang gelombang 1310nm dan 1550nm. Perubahan indeks bias dari *core* dan *cladding* dapat ditentukan dari kerugian propagasi. Untuk efek rugi pembengkokan, rugi propagasi bertambah sebagai perbedaan indeks bias *core* dan *cladding* meningkat [10].

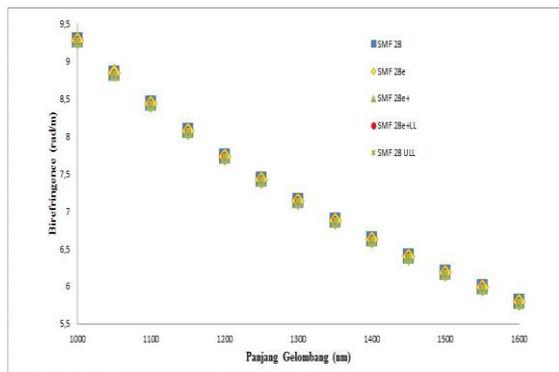


Gambar 7. Rugi daya kelengkungan untuk panjang gelombang 1550nm.

Hasil bending loss pada panjang gelombang 1550nm jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil nilai pada panjang gelombang 1310nm. Hal ini disebabkan jari-jari kelengkungan berbanding lurus dengan panjang gelombang yang digunakan yaitu panjang gelombang yang lebih kecil mengarah pada jari-jari kelengkungan yang lebih kecil [11]. Ketika radius bengkok lebih besar dari jari-jari kritis, kerugian bengkok sangat kecil. Peningkatan magnitudo berkurang sesuai dengan penurunan jari-jari bengkok. Sementara itu kerugian bengkok meningkat secara eksponensial dengan penurunan radius bengkok lebih kecil dari jari-jari kritis [5].

Pada Gambar 8, nilai *birefringence* terbesar berada pada panjang gelombang 1000, dimana semakin besar panjang gelombang maka *birefringence* semakin kecil, energi berbanding terbalik dengan panjang gelombang yang berarti semakin besar panjang gelombang maka energi akan semakin berkurang. Besarnya *birefringence* terus berubah secara acak seiring berjalannya waktu fluktuasi dalam kondisi sekitar. Ketidakstabilan seperti itu dalam keadaan

keluaran polarisasi memperkenalkan *bandwidth* membatasi dispersi moda polarisasi dan mempengaruhi kinerja serat optik [12]. Kemampuan membatasi cahaya akan berkurang pada serat yang memiliki radius bengkok yang akan menyebabkan peningkatan kerugian [13]. Beberapa perubahan yang disebabkan oleh bengkokan diamati pada transmisi panjang gelombang. Mempertahankan radius bengkok yang kecil dalam waktu yang lama akan membuat serat cenderung pecah.



Gambar 8. *Birefringence* terhadap beberapa SMF.

KESIMPULAN

Ketika serat optik diberi perlakuan pembengkokan, penjalaran cahaya di dalam inti serat mengalami *birefringence*. Rugi daya yang disebabkan kelengkungan serat dipengaruhi oleh jari-jari serat optik. Semakin kecil jari-jari kelengkungan maka nilai rugi daya dalam inti serat semakin besar. Rugi daya terbesar terjadi ketika serat diberi jari-jari bengkok 0,002m. Selain jari-jari kelengkungan, panjang gelombang yang diberikan pada serat optik juga mempengaruhi terjadinya *birefringence*. Semakin besar panjang gelombang yang diberikan maka relative semakin kecil nilai *birefringence* tersebut.

REFERENSI

1. Perciante, C. D., Aparicio, A., Illa, R., & Ferrari, A. J. (2015). Nonplanar fiber-optic sensing head for the compensation

of bending-induced birefringence in Faraday current sensors. *Applied Optics*, **54**(18), 5708-5714.

2. Irawan, D., Saktioto, Ali, J., & Fadhali, M. (2013). Birefringence analysis of directional fiber coupler induced by fusion and coupling parameters. *Optik-Internasional Journal for Light and Electron Optics*, **124**(17), 3063-3066.
3. Khare, R. P. (2004). *Fiber optics and optoelectronics*. New York: Oxford University Press.
4. Bhuiyan, M. S. A. (2016). *Birefringence and PMD analysis of fiber optic waveguide by subtly varying internal fiber parameter*. University of Engineering & Technology Khulna: Bangladesh.
5. Qiu, J., Zheng, D., Zhu, K., Fang, B., & Cheng, L. (2015). Optical fiber sensor experimental research based on the theory of bendig loss applied to monitoring differential settlement at the earth-rock junction. *Journal of Sensor*, **2015**,1-13.
6. Martins, A., Rocha A. M., Neto, B., Teixeira, A. L. J., Facao, M., Nogueira, R. N., Lima, M. J., & Andre, P. S. (2009). Modeling of bend losses in single-mode optical fibers. Proceedings of 7th Conference on Telecommunications - Conftele 2009, Portugal, 3-5 May 2009, 1-3.
7. Barani, I. R. R., Pramono, S. H., & Sari, S. N. (2014). Pengaruh rugi-rugi macrobending terhadap kinerja plastic optical fiber jenis step index multimode. *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya (TEUB)*, **2**(1), 1-6.
8. Mandasari, O., Sugesti, E. S., & Nugroho, B. S. (2016). Analisa daya hilang pada serat optik melengkung menggunakan metode geometris dan FDTD. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika (TEKTRIKA)*, **1**(1), 32-39.
9. Salleh, M. F. M. & Zakaria, Z. (2015). Optical fiber bending detection on long

- distance OPGW using OTDR. *TELKOMNIKA*, **13**, 889-893.
10. Jing, N., Zhou, J., Li, K., Wang, Z., Zheng, J., & Xue, P. (2019). Refractive index sensing based on a side-polished macrobend plastic optical fiber combining surface plasmon resonance and macrobending loss. *IEEE Sensors Journal*, **19**(14), 5665-5669.
 11. Murad, F. A. & Ebrahimi, S. A. K. (2016). Calculation of Bends Losses in Single-Mode Fibers and the Critical Radius of Curvature by Two Light Sources. *Journal of Kufa-Physics*, **8**(1), 100-103.
 12. Michalik, D., Stefaniuk, T., Pysz, D., Filipkowski, A., & Buczynski, R. (2019). Highly Birefringent Nanostructured Core Optical Fiber Compatible with SMF28 Standard. *2019 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe and European Quantum Electronics Conference*, Munich Germany, 23-27 Juni 2019, 1.
 13. Yu-Lai, S., De-Jian, Z., Xiao-Yong, C., & An-Si, X. (2019). Study on Ultralow Bending Loss of Bend- Insensitive Single Mode Optical Fiber. *Optical Fiber Technology*, **50**, 225-232.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)