

Gerbang logika X-OR pada pandu gelombang optik *single mode y-branching* dengan menaruh sebagian bahan tak-linier di dalam *cladding*

Mutmainnah^{1✉}, Yono Hadi Pramono²

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Jember

²Jurusan Fisika, FIA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima:
03 Januari 2020

Disetujui:
15 April 2020

Dipublikasikan:
22 Juli 2020

Keywords:
*waveguide, logic gate,
X-OR, cladding,
nonlinear, FDBPM*

ABSTRAK

Gerbang logika optik X-OR pada pandu gelombang *Y-Branching* dengan bahan tak linier pada sebagian *cladding* telah dianalisis dengan menggunakan metode Propagasi Berkas Differensi Sinar Hingga (FD-BPM). Dimensi pandu gelombang yang digunakan yaitu $50 \times 3900 \mu\text{m}$ dengan lebar film $w = 2,0 \mu\text{m}$, sudut $\theta = 0,2290$, indeks bias film $n_f = 1,552$, *cladding* indeks bias $n_c = 1,550$, $\lambda = 0,5145 \mu\text{m}$, koefisien tak linear (sebagian di *cladding*) $\alpha = 6.377 \times 10^{-12} \text{ m}^2 / \text{V}^2$ dan konstanta propagasi $\beta/k_0 = 1.55087373$ untuk setiap parameter tetap. Hasil menunjukkan bahwa intensitas luaran laser memiliki bahwa hasil gerbang optik yang sama dengan gerbang optik X-OR. Terjadi *break point* pada daya sebesar $4,5 \text{ W/m}$. Harga efisiensi yang dihasilkan dari model *y-branching* dengan menggunakan bahan tak linier berada di antara nilai $52,9\% - 62,5\%$.

ABSTRACT

An Optical Logic X-OR gate in y-branching single mode waveguide which nonlinear material superimposed partially in the cladding region was analyzed by means of FD-BPM (Finite Difference Beam Propagation Method). The whole proposed waveguide dimension is $50 \times 3900 \mu\text{m}$ and for each fixed parameters such as film width $w = 2.0 \mu\text{m}$, angle $\theta = 0.229^\circ$, film refractive index $n_f = 1.552$, cladding refractive index $n_c = 1.550$, $\lambda = 0.5145 \mu\text{m}$, nonlinear coefficient (partially superimposed in the cladding region) $\alpha = 6.377 \times 10^{-12} \text{ m}^2 / \text{V}^2$ and propagation constant $\beta/k_0 = 1.55087373$. The results show that the laser output intensity has the same optical gate results as the optical gate X-OR. Break point occurred at a power of $4.5 \text{ W} / \text{m}$. The price of efficiency resulting from the y-branching model using non-linear materials is between the values of $52.9\% - 62.5\%$.

PENDAHULUAN

Kabel serat optik yang berfungsi sebagai pemandu signal pada sistem komunikasi optik sangat membutuhkan divais *switching* yang ultra cepat yaitu dalam kecepatan TeraBit/s. Model struktur pandu gelombang sebagai *switching photonic* merupakan topik riset yang menarik perhatian peneliti dalam dekade ini seperti pengembangan substansi dasar material yang digunakan. Bahan tak-linier seperti *Liquid Crystall MBBA (p-methoxy-benzylidene p-n-butylaniline)*, *Nematik Liquid Crystall PCH-5 (Pentylcyclohexil benzonitrile)* dan *Organosol SnO₂* menjadi topik menarik dalam sepuluh dasawarsa terakhir (Vieweg dkk., 2013). Bahan tak linier mempunyai sifat yang unik pada perilaku perubahan sifat optisnya yaitu mempunyai indeks bias yang mudah berubah terhadap perubahan intensitas masukan laser (Volz dkk., 2012). Sifat bahan seperti ini menjadikan para peneliti mikroelektronik menciptakan model-model struktur pandu gelombang yang nantinya dapat diterapkan dalam komponen chip optoelektronika yang terintegrasi (Qasymeh dkk., 2008).

Fenomena perubahan indeks bias terhadap intensitas cahaya di dalam struktur dan model pandu gelombang menjadi topik penelitian yang menarik karena dapat diaplikasikan untuk berbagai tujuan *switching* di dalam dunia telekomunikasi serat optik seperti yang telah dilakukan oleh Pramono dkk (2000 & 2001) dan Khoiro dkk (2018). Penelitian yang telah dilakukan oleh Pramono dkk (2000 & 2001) merupakan perancangan beberapa struktur pandu gelombang dengan sisipan bahan tak-linier untuk gerbang logika XNOR, AND, NOR, NOT, dan OR. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Khoiro dkk (2018) adalah perancangan pandu gelombang Mach-Zehnder untuk gerbang logika OR, XNOR, and NAND. Untuk memenuhi kebutuhan akan digital *switching* optik, perlu dirancang suatu struktur baru seperti *y-branch* dengan *cladding* bahan tak linier untuk gerbang logika X-OR. Bahan tak linier pada sebagian *cladding* dapat membuat interferensi (gangguan) di dalam kanal pandu gelombang sehingga terjadi perubahan fase. Fenomena interferensi superposisi pada taper *y-branch* dekat *cladding* bahan tak linier berpengaruh pada proses terbentuknya gerbang logika pada perancangan struktur pandu gelombang. Penelitian ini dilakukan untuk merancang struktur pandu gelombang *y-branch* dengan *cladding* bahan tak-linier sehingga dihasilkan gerbang logika X-OR. Gerbang X-OR dapat mengakomodasi operasi logika dua masukan dan tiga masukan serta mempunyai fleksibilitas sangat baik untuk pemrosesan semua *cascaded* optik. Selain itu luaran X-OR berhubungan dengan ketidaklurusan antara kedua poros temporal di antara masukan data (Ning dkk., 2006). Gerbang logika X-OR sangat sesuai untuk perangkat sirkuit integrated digital fotonika (Goudarzi dkk., 2016).

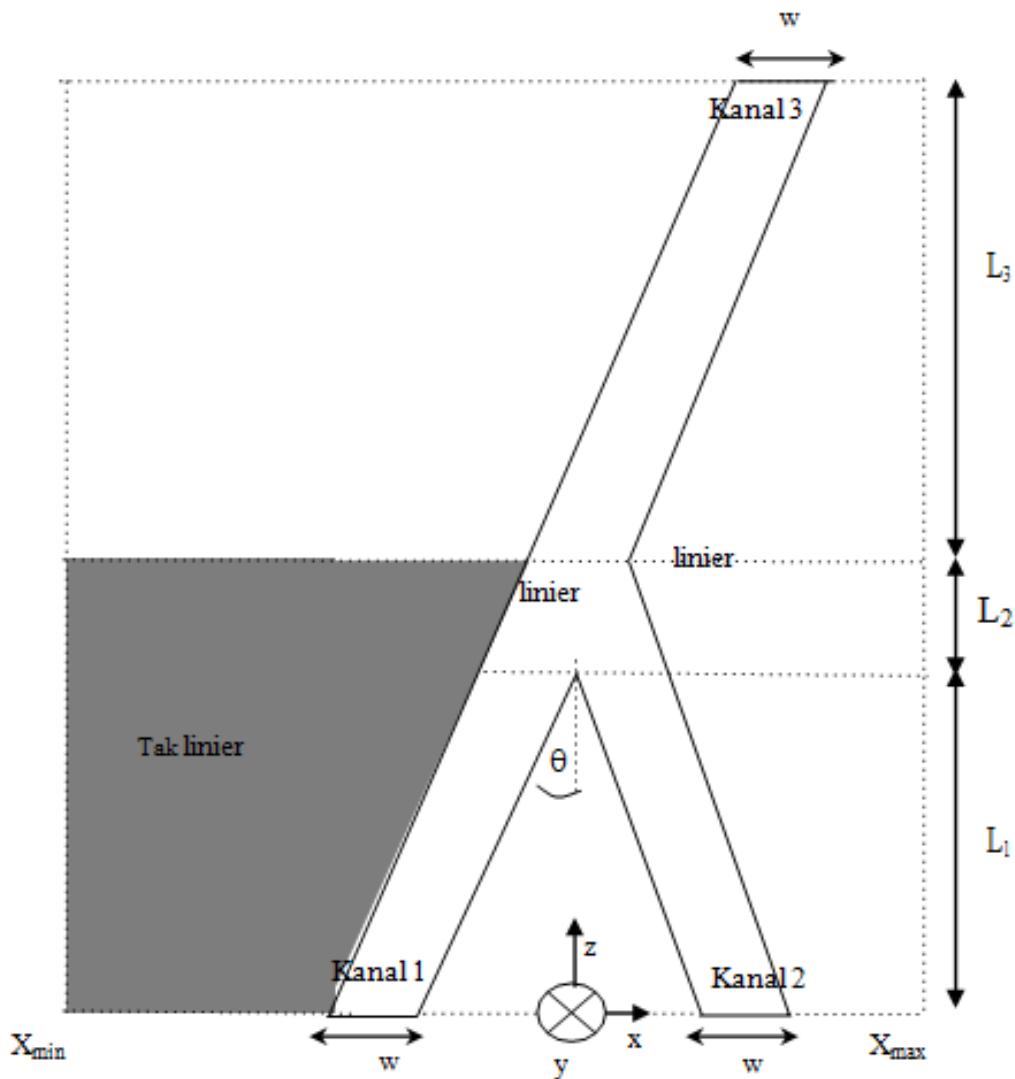
Analisis penjalaran gelombang cahaya laser di dalam pandu gelombang diperlukan metode FDBPM (*Finite Difference Beam Propagation Method*) karena dapat menganalisis perambatan pandu gelombang secara akurat meskipun dalam struktur yang sulit (Zang dkk., 2006). Disamping itu FDBPM lebih handal, lebih cepat *runtime*-nya dan lebih akurat bila dibandingkan dengan metode sebelumnya yaitu FFT (*Fast Fourier Transform*) dan *Finite Element* (Shakir dkk., 2011). Divais X-OR yang diteliti ini dapat diterapkan pada Optoelektronik Integrated Circuit (OEIC) dan Micro-optical Prosesor Unit yang berbasis gerbang logika. Penelitian ini bertujuan mendesain pandu gelombang *y-branching* dengan menaruh sebagian bahan tak linier pada *cladding* untuk gerbang logika X-OR dengan menggunakan metode FDBPM.

METODE

Struktur pandu gelombang untuk logika X-OR yang berisi *y-branch* miring dengan injeksi sebagian di dalam *cladding* dengan bahan tak-linier ditunjukkan pada Gambar 1. *Y-branch* yang digunakan yaitu memiliki dua kanal masukan dan satu kanal keluaran. Beberapa parameter yang digunakan pada struktur pandu gelombang tersebut adalah panjang w adalah $2,0 \mu\text{m}$, nilai θ adalah $0,229^\circ$, panjang gelombang laser Ar^+ yang digunakan adalah $0,5145 \mu\text{m}$, panjang l_1 , l_2 , dan l_3 secara

berturut-turut adalah $2000 \mu\text{m}$, $400 \mu\text{m}$, dan $1500 \mu\text{m}$. Nilai indeks bias film n_f adalah 1,552 dan indeks bias *cladding* n_c adalah 1,550. Bahan tak linier yang digunakan yaitu *liquid-crystal* MBBA dengan nilai koefisien tak linier α $6,377 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{V}^2$ dan koefisien linier α adalah 0. Konstanta propagasi (β/k_0) dari moda TE_0 pada masukan adalah 1,55087373 dengan k_0 adalah nilai bilangan gelombang dalam ruang hampa pada bahan linier atau $\alpha = 0$.

Skema ilustrasi perambatan berkas laser di dalam pandu gelombang ini akan dianalisis dari hasil iterasi numerik metode beda hingga FD-BPM. Daerah analisis terletak pada $|x| < x_{\text{mak}}$ dengan $x_{\text{mak}} = 25\mu\text{m}$, dan interval $\Delta x = 0,05 \mu\text{m}$ dalam arah transversal dan $\Delta z = 1,0 \mu\text{m}$ dalam arah longitudinal. Daya optik dihitung dari daya masukan dan daya keluaran hanya pada daerah $|x| < x_{\text{mak}}$ (Pramono dkk., 1996).

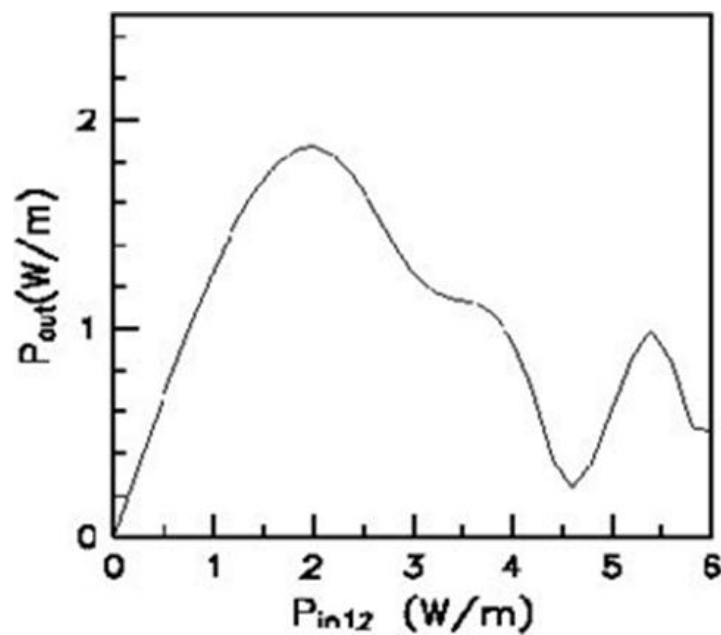


Gambar 1. Struktur pandu gelombang X-OR berisi *y-branch* miring dengan injeksi sebagian di dalam *cladding* menggunakan bahan tak-linier

Daya optik dinyatakan terdiri dari medan-medan listrik yang dipandu dari bagian keluaran untuk beberapa struktur pada pandu gelombang. Daya masukan dan daya luaran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan integral untuk tiap-tiap kanal (Pramono dkk., 2000).

HASIL DAN PEMBAHASAN

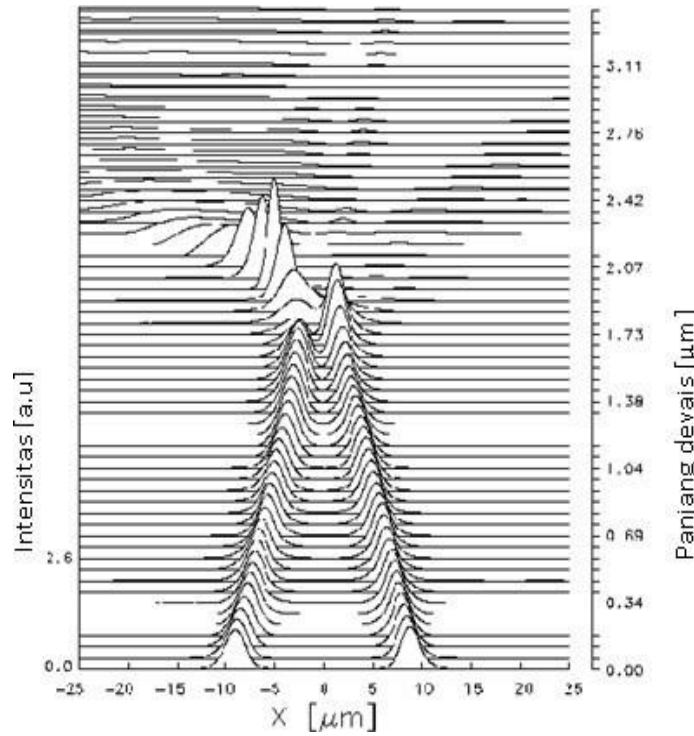
Gerbang logika X-OR mempunyai kondisi kanal *output low* atau 0 jika kedua kanal masukan kondisinya *high* atau 1, dan jika kedua kanal *input low* atau 0. Sedangkan jika kondisi salah satu dari kanal masukan bernilai *high* maka kanal luarnya bernilai 1. Pada tahap pertama untuk mendapatkan karakteristik kanal luaran kondisi 0 pada saat kondisi kedua masukan 1 adalah dengan mensimulasikan program dengan variasi daya masukan secara bersamaan pada kedua kanal sampai mendapatkan hasil *break point* pada kanal luarannya. Karakteristik daya luaran pada struktur pandu gelombang *y-branch* miring dengan *cladding* bahan tak-linier ditunjukkan pada Gambar 2. Titik *break point* terjadi pada saat total daya masukan sekitar 2,2 W/m. *Break point* ini terjadi karena sifat bahan tak linier dalam *cladding* memiliki indeks bias yang semakin naik sehingga mulai mengganggu superposisi di daerah percabangan sepanjang L2 dari dua gelombang masukan. Kondisi ini mencapai titik gangguan maksimal pada saat daya masukan 4,5W/m.



Gambar 2. Karakteristik daya luaran sebagai fungsi daya masukan pada struktur pandu gelombang *y-branch* miring dengan *cladding* bahan tak-linier

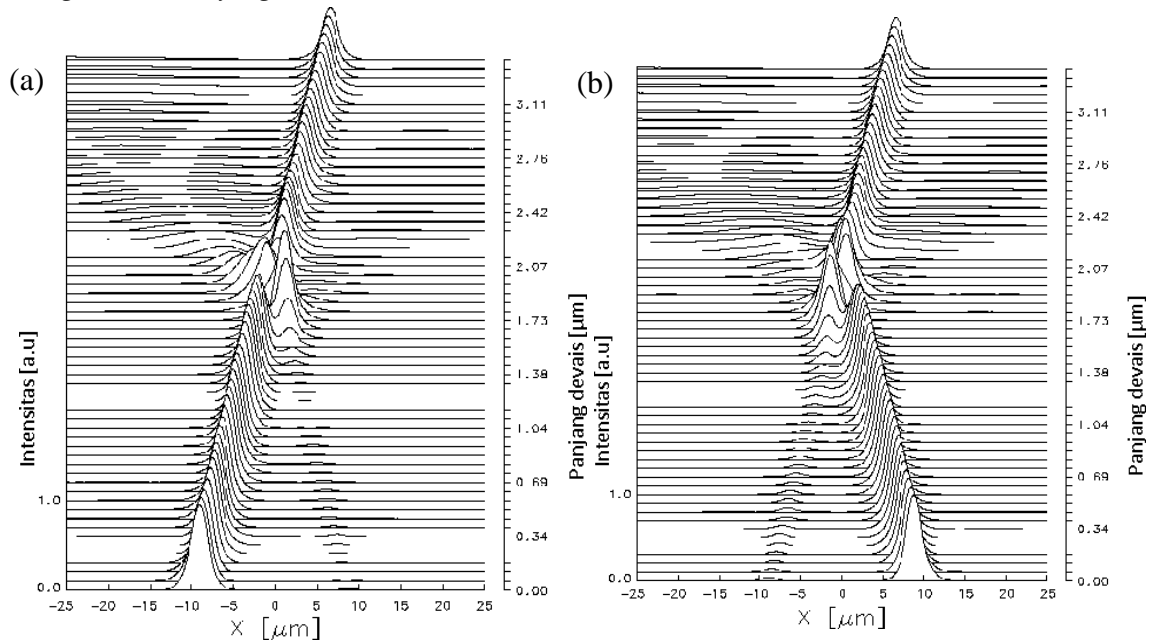
Fenomena interferensi saling melemahkan (*destructive*) terjadi ketika indeks bias tak-linier pada *cladding* menghasilkan profil medan listrik yang merambat di lengan masukan kanal 1 yang mempunyai beda fase 180° dengan profil medan listrik di lengan masukan kanal 2. Selain itu, dengan intensitas masukan menggunakan daya 4,5 W/m, *loss power* yang dihasilkan menjadi semakin besar. Hal ini terjadi karena banyak medan listrik merambat keluar pandu gelombang menuju daerah *cladding* yang terisi bahan tak-linier dengan profil indeks bias yang lebih besar dari nilai indeks bias pandu gelombang. Gambar 2 juga menunjukkan pada saat daya masukan lebih dari 4,5W/m masih terjadi puncak namun amplitudonya sudah berkurang akibat *loss* tersebut.

Penjalaran gelombang dalam bentuk intensitas pada masukan daya 4,5 W/m ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil menunjukkan bahwa banyak intensitas yang mengalami *loss* ke dalam *cladding* tak linier pada daerah perbatasan L2.



Gambar 3 . Penjalaran gelombang laser dengan daya masukan 4,5 W/m pada kanal 1 dan kanal 2

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada kondisi daya masukan 4,5W/m untuk masing-masing kanal masukan memberikan nilai daya luaran yang *high* atau 1. Gambar 4 juga memperlihatkan adanya sedikit *power loss* keluar dari pandu gelombang. Hal tersebut memberikan indikasi bahwa jika nilai daya masukan kurang dari 4,5 W/m maka kondisi daya masukan masih akan tetap terjaga 1 dengan *power loss* yang lebih sedikit.



Gambar 4. Penjalaran gelombang laser dengan daya masukan 4,5 W/m pada (a) kanal 1 dan (b) kanal 2

Keadaan gerbang logika atau tabel kebenaran X-OR dengan struktur pandu gelombang *cladding* bahan tak linier ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil *on-off* dari struktur pandu gelombang gerbang logika X-OR

Kanal masukan 1	Kanal masukan 2	Kanal luaran 3	Daya Luaran W/m
0	0	0	0
1	0	1	2,384
0	1	1	2,814
1	1	0	0,300

Tabel 1 menunjukkan bahwa kanal luaran yang menunjukkan karakteristik gerbang logika X-OR adalah kanal luaran 3. Harga efisiensi daya dari model ini antara 52,9 %- 62,5 %. Harga tersebut lebih tinggi daripada model desain pandu gelombang yang dilakukan Mutmainnah dan Pramono (2006 & 2009) yang mana mempunyai struktur kombinasi larik dan *y-branch* untuk gerbang logika X-OR yaitu mempunyai efisiensi daya sekitar 42,1% dan 50,2 %. Pada penelitian menggunakan gerbang logika OR yang telah dilakukan Khoiro dkk (2018), efisiensi yang dihasilkan adalah antara 11,1% hingga 37,7%. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Khoiro dkk (2018) tersebut memiliki efisiensi yang lebih kecil dengan desain yang dirancang lebih kompleks yaitu model Mach-Zehnder. Keunggulan pada penelitian desain model *Y-braching* yaitu lebih *simple* dan mempunyai efisiensi yang cukup besar.

SIMPULAN

Gerbang logika X-OR pada pandu gelombang optik *Single Mode Y-Branching* dengan sisipan sebagian bahan tak-linier di dalam *Cladding* telah dianalisis dengan metode FDBPM. Hasil skema simulasi menunjukkan bahwa desain pandu gelombang pada penelitian ini memenuhi tabel kebenaran gerbang logika X-OR. Dengan *break point* pada power sebesar 4,5W/m. Harga efisiensi dari model ini antara 52,9 %- 62,5% harga tersebut lebih tinggi dari pada model disain pandu gelombang dengan struktur kombinasi larik dan *y-branch* untuk gerbang logika yang sama dari penelitian sebelumnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dalam rangkaian optoelektronik terpadu OEIC (*Opto Electronics Integrated Circuit*) terutama *Optical Data Process*.

REFERENSI

- Goudarzi, K., Mir, A., Chaharmahali, I., dan Goudarzi, D. (2016). All- optical X-OR and OR logic gates based on line and point defects in 2-D photonic crystal. *Optics & Laser Technology part B*, 78, 139–142.
- Khoiro, M., Muntini, M.S., dan Pramono, Y.H. (2018). OR, XNOR, and NAND optical logic gates in Mach-Zehnder Waveguiding Structure Consisting Of Nonlinear Material. *International Journal of Microwave and Optical Technology*, 13(5), 462-469.
- Mutmainnah & Pramono, Y. H. (2006). Characteristic Of Waveguide Optical by Array and Y-branch Model which Consisting Of Nonlinear Material In The Cladding For Optical Logic X-OR Gate. *Jurnal Ilmu Dasar*, 7:13-18.
- Mutmainnah & Pramono, Y. H. (2009). High Power Efficiency in Optical Logic X-OR Gate, *Jurnal Ilmu Dasar*, 1, 2009.

- Ning, D., Chan, K., Chan, C.K., dan Chen, L.K. (2006). An All-Optical X-OR Logic Gate for High-Speed RZ-DPSK Signals by FWM in Semiconductor Optical Amplifier. *IEEE Journal of Selected Topics In Quantum Electronics*, 12 (6), 702- 707.
- Pramono YH & Endarko. (2001). Nonlinear Waveguides For Optical Logic And Computation. *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials* 2: 209-222.
- Pramono, Y. H., Geshiro, M., dan Kitamura, T. (2000). Optical Logic OR, NOT and NOR Gates in Waveguides Consisting of Non-linear Material. *IEICE Trans. Electron*, 1: 1755- 1762.
- Qasymeh, M., Cada, M., dan Ponomarenko, S. A. (2008). Quadratic Electro-Optic Kerr Effect: Applications to Photonic Devices. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 44 (8), 740-746.
- Shakir, S. A., Motes, R.A., dan Berdine, R.W. (2011). Efficient Scalar Beam Propagation Method. *IEEE Journal Of Quantum Electronics*, 47(4), 486-491.
- Vieweg, N. dan Deninger, A. (2013). Terahertz Waves and Liquid Crystals: Prospects and Challenges. *Proceedings, Emerging Liquid Crystal Technologies*, VIII, 8642.
- Volz, T., Reinhard A., Winger, M., Badolato A., Hennessy, K. J., Hu, E.L., dan Imamoglu, A. (2012). Ultrafast all-optical switching by single photons, *Nature Photonics*, 6, 605-609.
- Zang, W. P., Tian, J. G., Liu, Z. B., Zhou, W. Y., Song F., dan Zhang, C. P. (2006). High-Accuracy Finite-Difference Beam-Propagation Method for Cylindrical Geometry. *Applied Physics B*, 82, 99–104.