

KINERJA *PLASTIC OPTICAL FIBER (POF)* TERHADAP PENGARUH TEMPERATUR DAN *FREE SPACE LOSSES*

M. Ikhwan Azhari¹, Sholeh Hadi Pramono², Sapriesty Nainy Sari³

¹Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email: azhari.mia@gmail.com

Abstrak – *Free Space Optical Communication (FSOC)* adalah komunikasi optik menggunakan media transmisi udara. FSOC dapat mengalami penurunan kinerja dikarenakan adanya jarak dan perubahan temperatur lingkungan. Pengaruh jarak dan temperatur lingkungan ini akan mengakibatkan adanya perubahan nilai indeks bias. Perubahan indeks bias ini akan mempengaruhi nilai sudut datang, sudut pantul dan sudut kritis cahaya sehingga akan meningkatkan nilai redaman pada pentransmisian. Pada penelitian ini dilakukan kajian secara eksperimen tentang pengaruh temperatur dan jarak *free space* terhadap *Bit Error Rate (BER)* dan *eye pattern* dengan media *Plastic Optical Fiber (POF)*. Besar variasi temperatur dari 25°C hingga 55°C dan jarak *free space* dari 0 mm hingga 5 mm. Nilai indeks bias tertinggi yaitu pada temperatur 25°C sebesar 1.000263443 dan terendah yaitu pada temperatur 55°C sebesar 1.000239286 dan nilai losses terendah pada jarak 0 mm sebesar 0.0062 dB dan tertinggi pada jarak 4 mm dan 5 mm sebesar 27.51 dB. Hal ini akan mempengaruhi kinerja dari transmisi data. Pada kondisi jarak 0 mm hingga 3 mm masih dapat mentransmisikan data, hal ini ditunjukkan dengan nilai BER berupa nol, yang artinya tidak ada transmisi data yang *error*. Namun pada kondisi 4 mm dan 5 mm sudah tidak dapat mentransmisikan data, hal ini ditunjukkan dengan nilai BER sebesar 7.97×10^{-4} . Untuk hasil pengukuran lainnya, didapatkan nilai *losses* berkisar antara 0.0062 dB hingga 27.51 dB, *noise margin* dari 88% hingga 0%, *timing jitter* dari 2.28% hingga 100%, dan *bit rate* dari 65.35 Kbps sampai dengan 0 Kbps.

Kata kunci – POF, Indeks Bias, Temperatur, *Free Space*

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari *US Census Bureau, Internet World Stats, CNNIC, Tencent, Facebook, ITU, CIA* per Januari 2014 diketahui pengguna internet sebanyak 35% dari total populasi 7.095.476.818 di dunia. Dengan meningkatnya pengguna internet, *bandwidth* yang dibutuhkan juga akan terus meningkat. Data yang didapat dari *TeleGeography's Global Bandwidth Research Service* pada tahun 2009-2013 menunjukkan adanya peningkatan *bandwidth* sebesar 53% per tahunnya.

Peningkatan *bandwidth* tersebut harus didukung dengan media komunikasi yang baik yaitu komunikasi optik.

Pada komunikasi optik dapat menggunakan media serat optik dan udara. *Plastic Optical Fiber (POF)* merupakan jenis dari serat optik yang berbahan dasar plastic. POF memiliki beberapa kelebihan antara lain *bandwidth* yang sangat lebar, ukuran yang kecil, bebas dari *Electro Magnet Interference (EMI)*, berat yang ringan, tidak mengalirkan arus sehingga tidak akan terjadi percikan api, dan sinyal dalam serat optik ini terjamin keamanannya[1].

Free Space Optical Communication (FSOC) adalah komunikasi optik menggunakan media transmisi udara. FSOC dapat mengalami penurunan kinerja dikarenakan adanya jarak dan perubahan temperatur lingkungan. Pengaruh jarak dan temperatur lingkungan ini akan mengakibatkan adanya perubahan nilai indeks bias [2][3]. Perubahan nilai indeks bias tersebut akan mempengaruhi nilai sudut datang dan sudut kritis cahaya[2]. Kedua hal tersebut akan mengakibatkan penurunan kinerja pada POF.

Penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa pengaruh asap dan kabut akan mempengaruhi kinerja *free space optical communication*. Namun penelitian yang telah dilakukan hanya sebatas pengaruh pada media udara saja. Penelitian tersebut belum memperhitungkan perubahan temperatur dan jarak *free space* yang tercipta terhadap kinerja BER dan *eye pattern*[4].

Penelitian tersebut menjadi dasar untuk melakukan pengamatan dan pengukuran mengenai kinerja POF terhadap pengaruh temperatur dan *free space losses* antar serat optik. Parameter kinerja yang akan diamati adalah *Bit Error Rate (BER)* dan *Eye Pattern*.

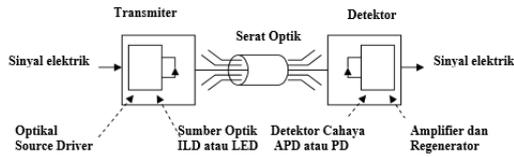
Penelitian dilakukan dengan menggunakan *Advance Fiber Optic Communication Lab* produksi Falcon Electro-Tek yang telah mencakup keseluruhan sistem komunikasi serat optik mulai dari pemancar hingga penerima.

II. DASAR TEORI

Prinsip dari sistem komunikasi serat optik adalah pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya. Secara konseptual sistem komunikasi serat optik terdiri dari *transmitter*, serat optik, dan *receiver*.

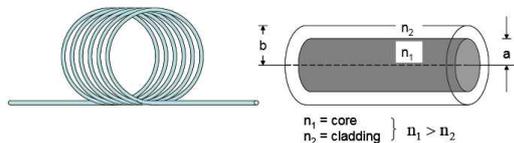
Transmitter berfungsi untuk mengkonversi informasi yang akan ditumpangkan diubah ke sinyal

elektrik kemudian diubah lagi ke sinyal cahaya dan selanjutnya ditransmisikan melalui media serat optik hingga ke *receiver*. Secara umum sistem komunikasi serat optik ditunjukkan pada Gambar 1[5].



Gambar 1. Komponen Dasar Komunikasi Serat Optik[5]

Media transmisi yang digunakan pada penelitian ini adalah serat optik plastik atau POF. Bahan dasar dari POF adalah plastik polimer, dimana lapisan inti (*core*) dibuat dari *PolyMethylMethacrylate* (PMMA). POF memiliki indeks bias *core* 1.492 dan indeks bias *cladding* 1.406. Diameter POF sebesar 1 mm yang terdiri dari *core* 980 μm dan *cladding* 20 μm [7]. Pada Gambar 2 memperlihatkan bentuk fisik dari POF.

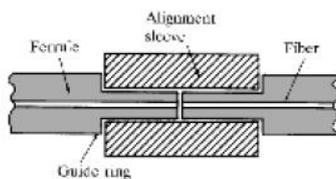


Gambar 2. Struktur POF [8]

Untuk *receiver* yang digunakan adalah *photo diode* SFH551V dengan rentang panjang gelombang 600 nm-780 nm[9].

POF sebagai media transmisi akan meningkat nilai redamannya jika mendapat perilaku temperatur dan jarak *free space* yang bervariasi.

Semakin jauh jarak *free space* pada konektor, maka daya yang hilang pun akan semakin banyak [2]. Daya yang hilang tersebut akibat rugi-rugi *absorption* dan *scattering* pada atmosfer yang tercipta di celah antar serat optik[10]. Pada Gambar 3 memperlihatkan jarak *free space* antar serat optik.



Gambar 3. Jarak *Free Space* Antar Serat Optik [10]

Selain jarak, faktor lain yang meningkatkan redaman adalah temperatur. Pengaruh dari temperatur tersebut dapat mengakibatkan perubahan nilai indeks bias pada udara yang berpengaruh terhadap nilai sudut datang, dan sudut kritis cahaya[12]. Persamaan (1) menunjukkan perhitungan nilai indeks bias standar pada temperatur 15°C dan tekanan 1 atm[13].

$$(n - 1) \times 10^8 = 8342.13 + \frac{2406030}{130 - \sigma^2} + \frac{15997}{38.9 - \sigma^2} \quad (1)$$

Keterangan:

n = Indeks bias

σ = $1/\lambda_{\text{vac}}$

λ_{vac} = Panjang gelombang *Vacuum* (589 nm)

Pada Persamaan (2) menunjukkan perhitungan nilai indeks bias baru terhadap pengaruh variasi temperatur pada tekanan 1 atm[13].

$$(n - 1)_{TP} = (n - 1)_s \times \frac{P}{720.775} \left[\frac{1 + P(0.817 - 0.0133T) \times 10^{-6}}{1 + 0.0036610T} \right] \quad (2)$$

Keterangan:

P = Tekanan (torr)

T = Temperatur (°C)

Nilai rugi-rugi daya yang terjadi akibat variasi temperatur dan jarak *free space* ditunjukkan pada Persamaan (3)[14]

$$L = 10 \log \frac{P_i}{P_o} = 10 \log \frac{V_i^2}{V_o^2} = 20 \log \frac{V_i}{V_o} \quad (3)$$

Keterangan:

L = rugi-rugi (dB)

P_i = daya masukan (Watt)

P_o = daya keluaran (Watt)

V_i = tegangan masukan (Volt)

V_o = tegangan keluaran (Volt)

Untuk mengukur keandalan dari kinerja sistem komunikasi digital, termasuk komunikasi serat optik, terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan, antara lain *Bit Error Rate* (BER) dan *eye pattern*.

BER merupakan perbandingan banyaknya bit yang *error* terhadap total bit yang ditransmisikan dalam selang waktu satu detik dengan rentang 0 hingga 1 yang secara matematis dapat dituliskan pada Persamaan (4)[1].

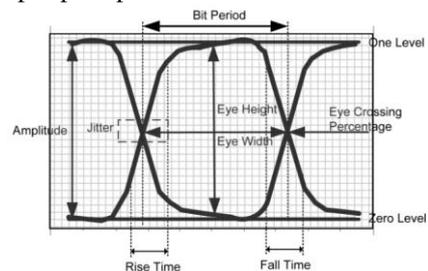
$$\text{BER} = \frac{E_b}{T_b} \quad (4)$$

Keterangan:

E_b = *Error bit*

T_b = Total bit yang ditransmisikan

Eye pattern adalah metode sederhana dan akurat yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik sinyal digital berkecepatan tinggi lewat tampilan osiloskop seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. *Eye Pattern* pada Osiloskop[9]

Pada *eye pattern* terdapat beberapa parameter penting yang mendukung dalam pengukuran kualitas sinyal, yaitu *vertical eye opening* dan *horizontal eye opening*. *Vertical eye opening* terbagi menjadi *eye amplitude* dan *eye height*. Perbedaan antara *eye amplitude* dan *eye height* menunjukkan besarnya *noise* pada suatu sinyal.

Pada *horizontal eye opening* terdapat *eye width* yang menunjukkan ketepatan waktu transmisi data[11].

Parameter yang dapat dihitung dan dianalisis dari *eye pattern* adalah:

a. Noise Margin

Noise margin merupakan parameter kekebalan terhadap suatu noise yang ditunjukkan dengan besarnya eye opening terhadap tegangan maksimum pada proses sampling[11]. Persamaan (5) menunjukkan perhitungan untuk noise margin

$$\text{Noise margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

V_1 = Tegangan maksimum eye opening (Volt)

V_2 = Tegangan maksimum (Volt)

b. Timing Jitter

Timing jitter merupakan pergeseran waktu dari transmisi ideal pada data bit yang diterima oleh receiver. Secara matematis persamaan untuk menghitung nilai timing jitter ditunjukkan pada Persamaan (6)[11].

$$\text{Timing jitter (\%)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

ΔT = Jumlah distorsi (s)

T_b = Total bit (s)

c. Bit Rate

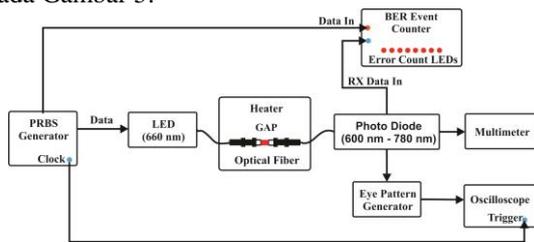
Bit rate merupakan salah satu parameter yang berhubungan dengan kecepatan transmisi data. Bit rate dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (7)[15].

$$\text{Bit Rate} = \frac{1}{T_b} \quad (7)$$

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian yang bersifat eksperimen, yaitu menguji dan menganalisis kinerja POF terhadap pengaruh temperatur dan jarak free space pada serat optik sebagai media transmisi komunikasi serat optik.

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer yang didapatkan merupakan hasil dari pengukuran parameter Bit Error Rate (BER) dan eye pattern. Sedangkan data sekunder bersumber dari buku referensi, jurnal-jurnal, internet dan forum-forum resmi. Data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini diperlukan sebagai dasar dari konsep-konsep yang berhubungan dengan kinerja Plastic Optical Fiber (POF) terhadap pengaruh temperatur dan free space yang terjadi akibat gap pada serat optik. Rancangan konfigurasi perangkat eksperimen ditunjukkan dalam bentuk blok diagram pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram Konfigurasi Eksperimen

PRBS Generator membangkitkan informasi acak yang berupa sinyal digital dalam bentuk elektrik,

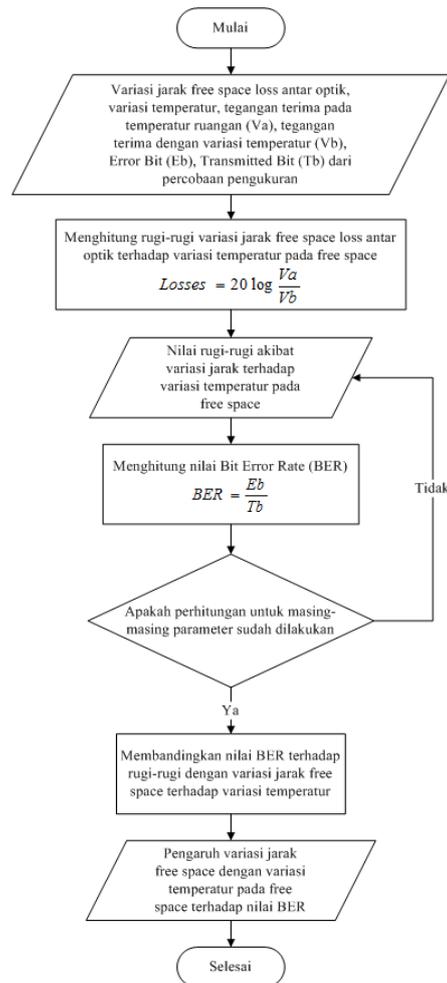
kemudian diterima oleh LED SFH 756V dan diubah ke dalam bentuk cahaya. POF sebagai media transmisi yang telah diberikan pengaruh variasi temperatur dan jarak free space akan menghantarkan cahaya dari LED SFH 756V ke receiver (Photo Diode SFH 551V). Setelah data diterima pada photo diode SFH 551 V, cahaya diubah kembali menjadi bentuk elektrik. Sinyal digital yang sudah menjadi bentuk elektrik dihubungkan ke multimeter untuk diukur tegangannya, dihubungkan ke BER event counter yang akan menghitung besarnya bit yang error dengan membandingkan bit yang diterima dengan bit yang dibangkitkan oleh PRBS Generator, dan dihubungkan ke eye pattern generator untuk menampilkan bentuk eye pattern dengan bantuan Software PicoScope 6.0 pada laptop.

Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

1. BER
2. Noise Margin
3. Timing Jitter
4. Bit Rate

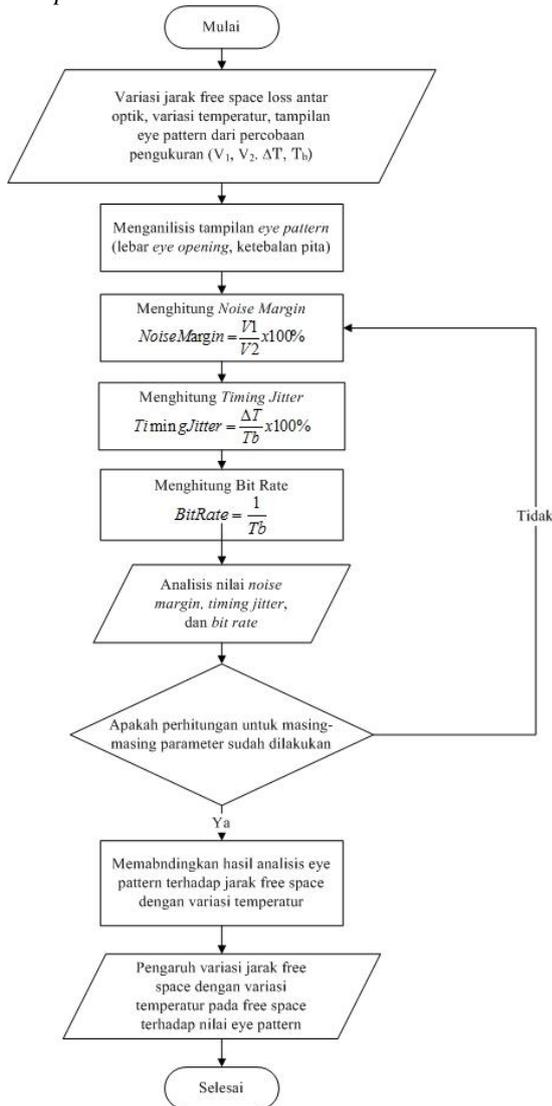
Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan pengaruh variasi temperatur dan jarak free space terhadap kinerja POF:

1. Langkah perhitungan dan analisis nilai BER



Gambar 6. Diagram Alir Perhitungan Nilai BER

2. Langkah perhitungan nilai *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate* dengan menganalisis *eye pattern*.



Gambar 7. Diagram Alir Perhitungan Nilai *Eye Pattern*

Keterangan:

V_1 = Tegangan maksimum *eye opening* (Volt)

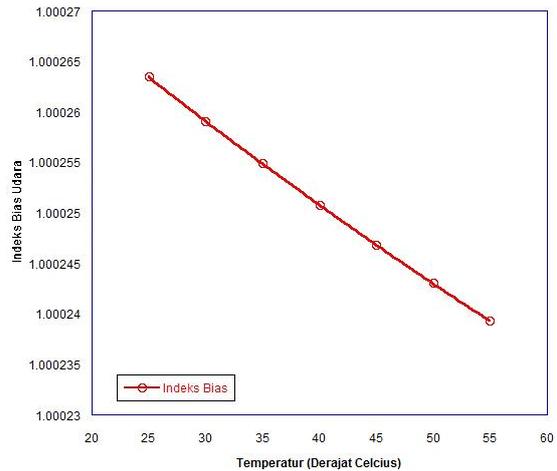
V_2 = Tegangan maksimum (Volt)

ΔT = Jumlah distorsi (s)

T_b = Total bit (s)

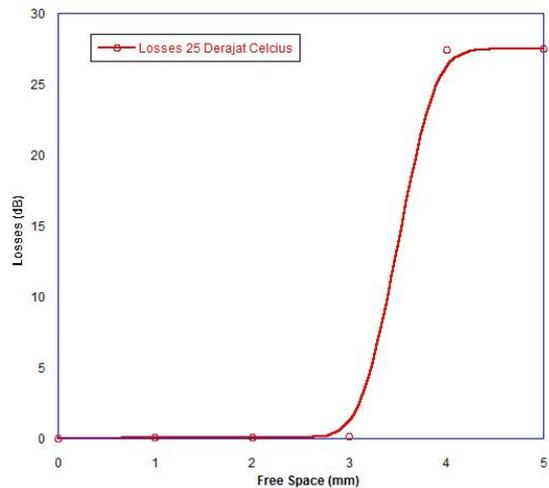
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan nilai indeks bias akibat variasi temperatur ditunjukkan pada Gambar 8. Dapat dilihat bahwa nilai indeks bias semakin menurun sesuai dengan kenaikan nilai temperatur. Nilai indeks bias tertinggi yaitu pada temperatur 25°C sebesar 1.000263443 dan terendah yaitu pada temperatur 55°C sebesar 1.000239286. Perubahan nilai indeks bias ini akan mempengaruhi nilai redaman pada POF.



Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Temperatur dan Indeks Bias Udara

Sedangkan untuk rugi-rugi daya yang terjadi akibat variasi jarak ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Jarak *Free Space* dan *Losses*

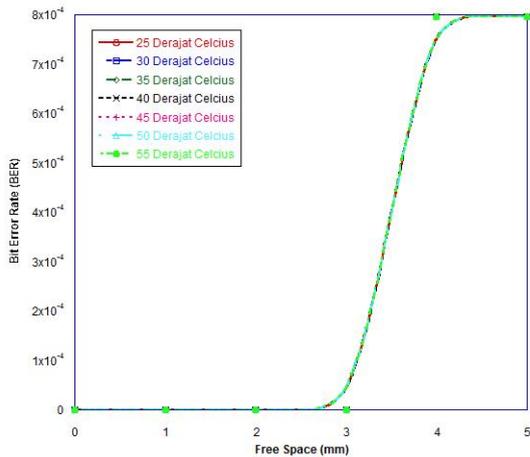
Dapat dilihat bahwa *losses* semakin meningkat sesuai dengan penambahan jarak *free space*. Nilai *losses* terendah pada jarak 0 mm sebesar 0.0062 dB dan tertinggi pada jarak 4 mm dan 5 mm sebesar 27.51 dB. Variasi jarak *free space* ini akan mempengaruhi nilai redaman pada POF.

Pembahasan berikutnya ditekankan pada analisis pengaruh variasi temperatur dan jarak *free space* terhadap kinerja *Plastic Optical Fiber* (POF) pada parameter BER dan *eye pattern*.

A. Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Jarak *Free Space* Terhadap Nilai BER

Hasil eksperimen dari pengaruh variasi temperatur dan jarak *free space* pada media POF terhadap BER ditunjukkan pada Gambar 7. Dapat dilihat bahwa pada jarak 0 mm hingga 3 mm dengan perubahan temperatur dari 25°C hingga 55°C nilai BER tetap 0. Namun ketika jarak *free space* sudah mencapai 4 mm dan 5 mm dengan perubahan

temperatur dari 25°C hingga 55°C nilai BER meningkat secara drastis, yaitu sebesar 7.97×10^{-4} .



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Temperatur dan Jarak Free Space Terhadap Nilai BER

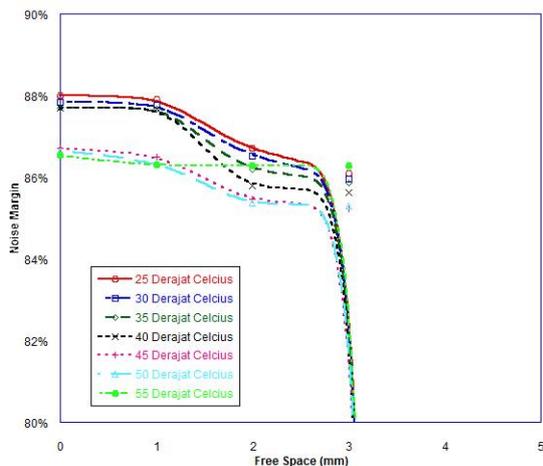
Pada Gambar 10. menunjukkan bahwa dengan penambahan temperatur pada jarak 0 mm hingga 3 mm pada POF tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai BER. Maka dapat disimpulkan bahwa jarak *free space* sangat berpengaruh pada sistem transmisi data. Jarak maksimal *free space* yang diperbolehkan adalah pada jarak 3 mm, sedangkan pada jarak 4 mm dan 5 mm sudah tidak dapat lagi untuk mentransmisikan data

B. Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Jarak Free Space Terhadap Eye Pattern

Pada analisis *eye pattern* ini ditekankan pada tiga parameter, yaitu *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate*. Pembahasan parameter-parameter *eye pattern* adalah sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Jarak Free Space Terhadap Noise Margin

Hubungan pengaruh variasi temperatur dan jarak *free space* pada media POF terhadap *noise margin* ditunjukkan pada Gambar 11. Dapat dilihat variasi temperatur dan jarak *free space* menyebabkan penurunan nilai *noise margin*.



Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Temperatur dan Jarak Free Space Terhadap Nilai Noise Margin

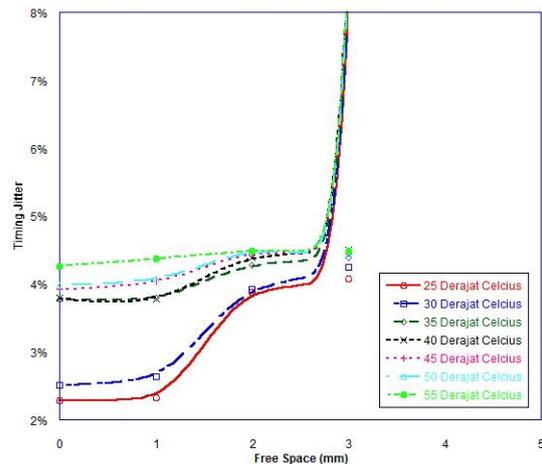
Nilai *noise Margin* tertinggi yaitu saat jarak 0 mm pada temperatur 25°C sebesar 88% dan terendah saat jarak 3 mm pada temperatur 55°C sebesar 85.28%. Nilai *noise margin* yang tinggi mengindikasikan bahwa sistem mempunyai kekebalan yang tinggi terhadap noise.

Namun ketika jarak *free space* sudah mencapai 4 mm dan 5 mm dengan perubahan temperatur dari 25°C hingga 55°C nilai *noise margin* menurun secara drastis hingga sebesar 0%. Hal ini menunjukkan pada keadaan tersebut tidak dapat lagi mentransmisikan data.

2. Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Jarak Free Space Terhadap Timing Jitter

Hubungan pengaruh variasi temperatur dan jarak *free space* pada media POF terhadap *timing jitter* ditunjukkan pada Gambar 12. Dapat dilihat variasi temperatur dan jarak *free space* menyebabkan peningkatan nilai *timing jitter*.

Nilai *timing jitter* terendah yaitu saat jarak 0 mm pada temperatur 25°C sebesar 2.28% dan tertinggi saat jarak 2 mm pada temperatur 55°C sebesar 4.49%. Nilai *timing jitter* yang rendah mengindikasikan hanya sedikit terjadi pergeseran waktu pada sistem transmisi.



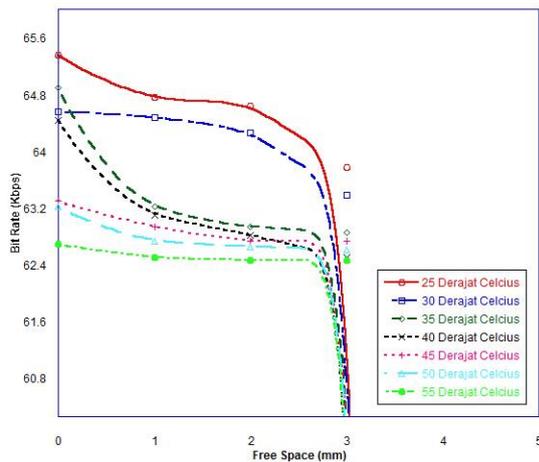
Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Temperatur dan Jarak Free Space Terhadap Nilai Timing Jitter

Namun ketika jarak *free space* sudah mencapai 4 mm dan 5 mm dengan perubahan temperatur dari 25°C hingga 55°C nilai *timing jitter* meningkat secara drastis hingga sebesar 100%. Hal ini menunjukkan pada keadaan tersebut tidak dapat lagi mentransmisikan data.

3. Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Jarak Free Space Terhadap Bit Rate

Hubungan pengaruh variasi temperatur dan jarak *free space* pada media POF terhadap *bit rate* ditunjukkan pada Gambar 13. Dapat dilihat variasi temperatur dan jarak *free space* menyebabkan penurunan *bit rate*. Nilai *bit rate* tertinggi yaitu saat jarak 0 mm pada temperatur 25°C sebesar 65.35 Kbps dan terendah saat jarak 3 mm pada temperatur 55°C sebesar 61.72 Kbps. Nilai *bit rate* yang rendah

mengindikasikan terjadi penurunan kecepatan transmisi data pada POF.



Gambar 13. Grafik Hubungan Antara Temperatur dan Jarak Free Space Terhadap Nilai Timing Jitter

Namun ketika jarak *free space* sudah mencapai 4 mm dan 5 mm dengan perubahan temperatur dari 25°C hingga 55°C nilai *bit rate* turun secara drastis hingga sebesar 0 Kbps. Hal ini menunjukkan pada keadaan tersebut tidak dapat lagi mentransmisikan data.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai BER untuk kondisi jarak 0 mm hingga 3 mm dengan temperatur 25°C hingga 55°C nilai BER sebesar 0. Namun pada kondisi 4 mm dan 5 mm dengan temperatur 25°C hingga 55°C nilai BER naik secara drastis sebesar 7.97×10^{-4} . Pada kondisi 4 mm dan 5 mm sudah tidak dapat mentransmisikan data.
2. Pada kondisi jarak 0 mm hingga 3 mm dengan temperatur 25°C hingga 55°C untuk nilai *noise margin* tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *noise margin* yang masih tetap tinggi dari 88% hingga 85.28%. Namun pada kondisi 4 mm dan 5 mm dengan temperatur 25°C hingga 55°C nilai *noise margin* turun secara drastis menjadi 0%. Pada kondisi 4 mm dan 5 mm sudah tidak dapat mentransmisikan data.
3. Pada kondisi jarak 0 mm hingga 3 mm dengan temperatur 25°C hingga 55°C untuk nilai *timing jitter* tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *timing jitter* yang masih tetap tinggi dari 2.28% hingga 4.49%. Namun pada kondisi 4 mm dan 5 mm dengan temperatur 25°C hingga 55°C nilai *timing jitter* turun secara drastis menjadi 100%. Pada kondisi 4 mm dan 5 mm sudah tidak dapat mentransmisikan data.
4. Pada kondisi jarak 0 mm hingga 3 mm dengan temperatur 25°C hingga 55°C untuk nilai *bit rate*

tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *bit rate* yang masih tetap tinggi dari 65.35 Kbps hingga 61.72 Kbps. Namun pada kondisi 4 mm dan 5 mm dengan temperatur 25°C hingga 55°C nilai *noise margin* turun secara drastis menjadi 0. Pada kondisi 4 mm dan 5 mm sudah tidak dapat mentransmisikan data.

B. Saran

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan pada skripsi ini, maka saran yang dapat diberikan adalah:

1. Pengembangan penelitian ini dapat dilakukan dengan menganalisis pengaruh dari jarak *free space* saat kondisi lingkungan berdebu, berembun, hujan, dan berkabut pada temperatur rendah atau tinggi.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis serat optik lainnya, serta menggunakan sistem multiplexing.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Massa, Nick. 2000. *Fiber Optic Telecommunication*. Massachuset: University of Connecticut
- [2] Willebrand, Heinz. 2002. *Free-Space Optics: Enabling Optical Connectivity in Today's Networks*. USA: Sams
- [3] Rachmani, Ronen et al. 2012. *Computer Backplane With Free Space Optical Links: Air Turbulence Effects*. IEEE Journal Of Lightwave Technology.
- [4] Ijaz, M et al. 2012. *Analysis of Fog and Smoke Attenuation in a Free Space Optical Communication Link under Controlled Laboratory Condition*. IEEE Journal Of Lightwave Technology
- [5] Nugroho, Dian Y. 2005. *Studi Pengukuran Rugi-Rugi Serat Optik pada Empat Rute STO di Jawa Tengah Dengan Menggunakan OTDR Tektronix Type Tekranger TFS3031*. Surakarta: Univesitas Sebelas Maret
- [6] Avago. 2007. *SFH756/SFH756V Plastic Fiber Optic Transmitter Diode*. United States: Avago Technologies.
- [7] Ziemann, Olaf et al. 2008. *POF Handbook – Optical Short Range Transmission Systems Second Edition*. Germany: Springer
- [8] Bahtiar, Ayi. 2008. *Rekayasa Optik*. Bandung: Universitas Padjadjaran Bandung
- [9] Avago. 2007. *SFH551/I-1/SFH551/I-1V Integrated Photo Detector Receiver for Plastic Fiber*. United States: Avago Technologies.
- [10] Majumdar, Arun K. 2008. *Free Space Laser Communication*. USA: Springer
- [11] Keiser, Gerd E. 2004. *Optical Communication Essentials*. USA: The Mc-Graw Hill Companies

- [12] Hamza, A.A et al, 2006. *Interferometri Studies On The Influence of Temperature on The Optical On Dispersion Paramters of GRIN Optical Fibre*. Egypt: Elsevier
- [13] Anonymous. 2002. *Refractometry: Chapter 7 (Online)*. <http://jartweb.net/thesis/Chapter7.pdf>, diakses pada 5 Januari 2015 20.34.
- [14] Electronicbricks. 2010. *Internetworking using Ethernet over Plastic Optical Fiber (Online)*. <http://eletronicbricks.com/2010/03/etsi-ts-105-175-1-plastic-optical-fibre.html>, diakses pada 10 November 2014 19.48
- [15] ITU-T. 2009. *Handbook of Optical Fibres, Cables, and Systems. International Telecommunication Standardization Sector*