

ANALISIS PENGARUH *MACROBENDING LOSSES* TERHADAP PERFORMANSI SISTEM *TIME DIVISION MULTIPLEXING* DENGAN MEDIA TRANSMISI *PLASTIC OPTICAL FIBER*

Mahendra Wishnu Buwana¹, Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S.², Sapriesty Nainy Sari, S.T, M.T³

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: mahendra.wb@gmail.com

Abstrak – *Time Division Multiplexing* (TDM) sering digunakan pada sistem komunikasi serat optik karena sinyal informasi disajikan secara digital, sehingga efisiensi bandwidth dan kualitas sinyal menjadi lebih baik. Dengan penggunaan serat optik jenis *Plastic Optical Fiber* (POF) maka sistem dapat diimplementasikan dengan biaya rendah karena seluruh pengolahan data dilakukan dalam rangkaian terpadu. Salah satu permasalahan yang tidak dapat dicegah pada jaringan serat optik adalah adanya *macrobending*. *Macro bending* menyebabkan perubahan penjalaran cahaya di dalam serat optik dan memberikan dampak terhadap performansi sistem komunikasi optik dengan TDM. Pada penelitian ini dilakukan kajian secara eksperimen tentang pengaruh *macro bending losses* terhadap *Bit Error Rate* (BER) dan *eye pattern* pada sistem TDM dengan media transmisi POF. Besar *macro bending losses* dipengaruhi oleh diameter dan jumlah bengkokan yang tersusun dalam bentuk lilitan. Pada penelitian ini digunakan 1 sampai 6 *channel* sumber sinyal informasi. Hasil penelitian menunjukkan pada 1 sampai 6 *channel macro bending* tidak berpengaruh secara signifikan. Pengaruh *macro bending* pada 6 *channel* dengan diameter bengkokan 12 mm adalah rendah, yaitu nilai *macro bending losses* adalah 1,0523 dB, nilai BER adalah $3,08 \times 10^{-5}$, *noise margin* sekitar 62%, *timing jitter* sekitar 11,5%, dan SNR sekitar 14,528 dB. Hal ini disebabkan pada sistem TDM terdapat modulasi, yang memungkinkan sinyal informasi akan lebih tahan terhadap *noise*, sehingga penjalaran cahaya tidak terpengaruh secara signifikan oleh *macro bending*.

Kata Kunci—TDM, POF, *Macro bending Losses*

I. PENDAHULUAN

Teknologi serat optik mempunyai peran yang penting dalam komunikasi data. Sejumlah besar *bandwidth* dapat ditransmisikan pada sebuah serat optik. Keunggulan dalam *bandwidth* ini menjadikan serat optik sebagai media transmisi pilihan untuk data kecepatan tinggi[1].

Salah satu cara optimalisasi serat optik adalah dengan teknik *multiplexing*, yaitu teknik menggabungkan beberapa sinyal informasi (analog atau digital) untuk ditransmisikan secara bersamaan melalui satu media atau saluran transmisi [2]. Metode *multiplexing* yang umum digunakan dalam serat optik adalah *Time Division Multiplexing* (TDM). TDM merupakan sebuah proses pentransmisiian beberapa sinyal informasi melalui satu media transmisi dengan masing-masing sinyal ditransmisikan pada periode waktu tertentu. TDM digunakan untuk transmisi sinyal digital.

Sistem TDM dengan media transmisi *Plastic Optical Fiber* (POF) memberikan keunggulan dalam hal efisiensi biaya penggunaan saluran komunikasi dan perangkat instalasi [3].

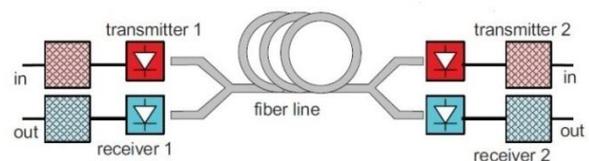
Sebuah permasalahan yang dapat muncul pada sistem TDM dengan media transmisi serat optik adalah adanya *bending* atau bengkokan pada serat optik. Bengkokan dengan jari-jari yang lebih besar dari jari-jari serat optik disebut dengan *macro bending* [4]. *Macro bending* dapat menyebabkan *losses* pada saluran transmisi bahkan memungkinkan terjadi kerusakan mekanis [5].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa nilai *macro bending losses* dipengaruhi oleh panjang gelombang, diameter bengkokan, dan jumlah bengkokan yang tersusun dalam bentuk lilitan yang digunakan [6]. Namun penelitian yang telah dilakukan hanya sebatas menghitung besar rugi-rugi *macro bending* dan mengetahui pengaruh *macro bending* terhadap kinerja serat optik. Pengaruh besar *macro bending losses* terhadap performansi sistem TDM dengan media transmisi serat optik belum diperhitungkan.

Pada penelitian ini akan dikaji pengaruh *macro bending losses* terhadap performansi sistem TDM dengan media transmisi POF. Kajian ditekankan pada besar *Bit Error Rate* (BER) dan *eye pattern* yang terjadi untuk variasi jumlah dan diameter bengkokan yang ditentukan. Parameter yang dikaji dari *eye pattern* adalah *noise margin*, *timing jitter*, dan *Signal to noise ratio* (SNR).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem komunikasi serat optik dengan TDM secara konseptual terdiri dari *transmitter* (sumber optik), serat optik, dan *receiver* (detektor optik). *Transmitter* berfungsi untuk mengirimkan sinyal informasi berupa pulsa cahaya dan selanjutnya ditransmisikan melalui serat optik, terakhir diterima *receiver*. Sinyal keluaran *receiver* berupa sinyal elektrik dalam bentuk pulsa digital [7]. Secara umum sistem komunikasi serat optik dengan TDM ditunjukkan pada Gambar 1.

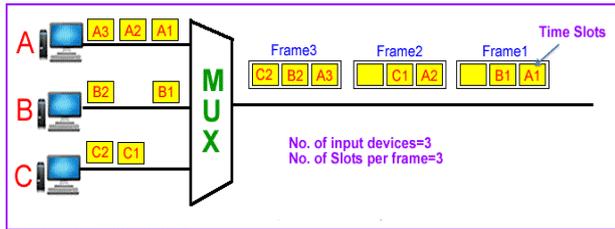


Gambar 1. Sistem Komunikasi Serat Optik Dengan TDM [3]

TDM adalah sebuah proses pentransmisiian beberapa sinyal informasi melalui satu media transmisi dengan masing-masing sinyal ditransmisikan pada periode waktu tertentu. TDM menggunakan prinsip penggiliran waktu pemakaian saluran transmisi dengan mengalokasikan satu *time slot* bagi setiap pemakai saluran (*user*) [2].

Penelitian ini menggunakan *synchronous* TDM. *Synchronous* TDM mentransmisikan *time slot* dari semua sumber meskipun ada sumber yang tidak memiliki data

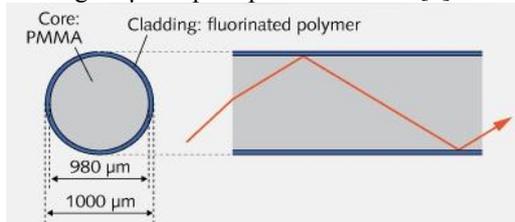
untuk dikirim. *Synchronous TDM* dimungkinkan apabila data rate yang dapat dicapai oleh media transmisi lebih besar dari *data rate* sinyal digital yang dikirimkan. Sistem *Synchronous TDM* ditunjukkan pada Gambar 2 [8].



Gambar 2. Sistem *Synchronous TDM* [8]

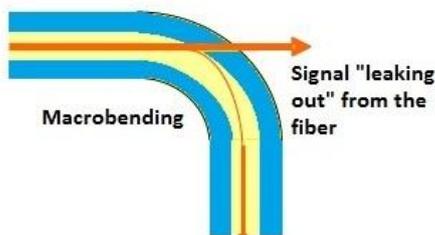
Synchronous TDM secara periodik membuat *frame* dengan jumlah dan panjang *time slot* yang tetap. Tiap *frame* diawali dengan *flag* sebagai *frame synchronization* yang digunakan untuk membedakan satu *frame* dengan *frame* lainnya. *Framing* digunakan untuk sinkronisasi, manajemen jaringan dan deteksi *error* antara *multiplexer* dan *demultiplexer* [8].

Media transmisi yang digunakan pada penelitian ini adalah serat optik plastik atau POF. POF merupakan media transmisi komunikasi optik yang terbuat dari plastik polimer. Pada umumnya POF terbuat dari bahan *Polymethyl Methacrylate* (PMMA). POF memiliki indeks bias inti 1,492 dan indeks bias 1,406. Diameter POF adalah sebesar 1mm yang terdiri dari core 980 μm dan cladding 20 μm seperti pada Gambar 3 [3].



Gambar 3. Struktur POF [9]

Salah satu redaman yang tidak dapat dicegah dalam sistem komunikasi serat optik adalah *bending* atau bengkakan. *Macrobending* terjadi ketika serat optik dibengkokkan dengan jari-jari lebih lebar dibandingkan jari-jari serat optik [4]. *Macrobending* pada serat optik mengakibatkan cahaya pada inti berpindah menuju batas permukaan inti-selubung dengan sudut kurang dari sudut kritis sehingga energi cahaya tidak akan dipantulkan internal, tapi hilang di material selubung [10]. Fenomena ini akan mengakibatkan perubahan pada penjalaran cahaya pada serat optik, sehingga cahaya tidak lagi mengalami *total internal reflection*, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema *Macrobending* [10]

Perubahan proses penjalaran cahaya pada serat optik karena *macrobending losses* akan mengakibatkan perubahan pada performansi sistem komunikasi serat

optik dengan TDM. Nilai *macrobending losses* dapat dihitung dengan Persamaan (1)[11].

$$L = 10 \log \frac{P_1}{P_0} = 10 \log \left(\frac{V_1^2}{V_0^2} \right) = 20 \log \frac{V_1}{V_0} \quad (1)$$

dengan:

P_0 = daya keluaran (Watt)

P_1 = daya masukan (Watt)

V_0 = tegangan keluaran (Volt)

V_1 = tegangan masukan (Volt)

Keandalan sistem komunikasi serat optik diindikasikan melalui beberapa parameter yang akan mengindikasikan perubahan performansi jika terdapat perubahan perlakuan *macrobending*. Parameter yang digunakan terdiri atas BER dan *eye pattern*. BER adalah perbandingan bit salah terhadap total bit yang ditransmisikan dalam suatu periode waktu t detik yang secara matematis dituliskan pada Persamaan (2) [2].

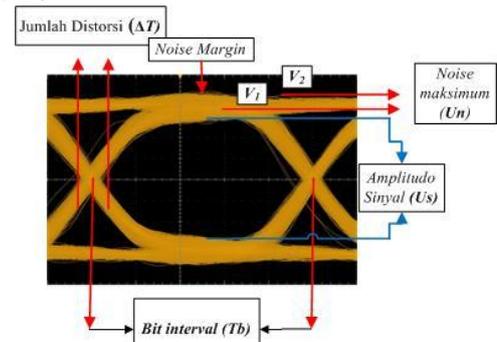
$$\text{BER} = \frac{E_b}{T_b} \quad (2)$$

dengan:

E_b = error bit (bit)

T_b = total bit yang ditransmisikan (bit)

Eye pattern adalah tampilan osiloskop dari sinyal digital yang mengalami proses *sampling* beberapa kali untuk mendapatkan tampilan dari karakteristik sinyal tersebut. *Eye pattern* terbentuk dengan melakukan *superimpose* dari beberapa baris bit. Bentuk *eye pattern* pada osiloskop beserta parameternya ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Eye Pattern* [12]

Parameter yang dapat dihitung berdasarkan Gambar 5 adalah:

a. **Noise Margin**

Noise margin merupakan parameter untuk mengukur ketebalan sistem terhadap *noise*, yang dinyatakan dalam Persamaan (3) [12].

$$\text{Noise margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (3)$$

dengan:

V_1 = puncak sinyal dilihat dari besar *eye opening* (Volt)

V_2 = tegangan maksimum sinyal (Volt)

b. **Timing Jitter**

Timing Jitter adalah rasio jumlah distorsi terhadap *bit interval*. *Timing jitter* dihitung menggunakan Persamaan (4) [12].

$$\text{Timing Jitter (\%)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \quad (4)$$

dengan:

ΔT = jumlah distorsi (s)

$T_b = \text{bit interval (s)}$

c. SNR

SNR merupakan perbandingan daya sinyal transmisi dengan noise, dapat dihitung menggunakan Persamaan (5) [3].

$$\text{SNR (dB)} = 20 \log \frac{U_s}{U_n} \quad (5)$$

dengan :

$U_s = \text{Amplitudo sinyal (mV)}$

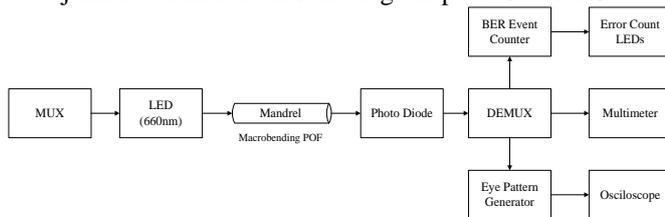
$U_n = \text{Noise maksimum (mV)}$

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat eksperimental yaitu menguji dan menganalisis pengaruh *macrobending losses* terhadap performansi sistem TDM dengan media transmisi POF. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian adalah penentuan jenis dan cara pengambilan data, variabel dan cara analisis yang digunakan, serta kerangka solusi masalah yang disajikan dalam bentuk diagram alir dan penjelasannya.

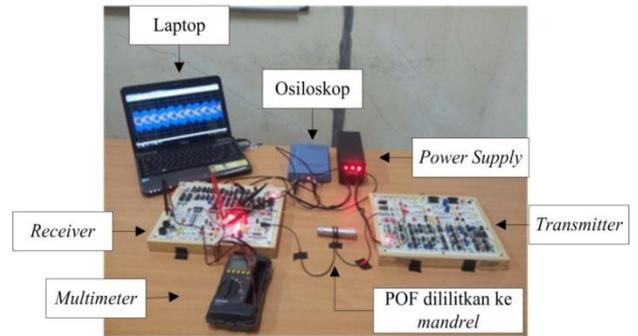
Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data sekunder bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi. Data yang diperlukan untuk menunjang penulisan penelitian ini antara lain konsep dasar TDM, *macrobending*, POF, dan parameter performansi sistem komunikasi serat optik yaitu BER dan *eye pattern*.

Data primer didapatkan dari hasil eksperimen pengaruh *macrobending losses* terhadap performansi sistem TDM dilihat dari parameter BER dan *eye pattern*. Rancangan konfigurasi perangkat eksperimen ditunjukkan dalam bentuk blok diagram pada Gambar 6.



Gambar 6. Blok Diagram Konfigurasi Pengukuran

TDM *multiplexer* menggabungkan sinyal informasi acak yang dibangkitkan oleh *channel* TDM. Jumlah *channel* yang digunakan akan divariasikan mulai 1 sampai 6 *channel*. Sinyal ini diubah oleh LED menjadi energi cahaya dengan panjang gelombang 660 nm. Cahaya ditransmisikan melalui POF sepanjang satu meter menuju *photodetector*. POF dililitkan ke mandrel untuk memberikan perlakuan *macrobending*. Variasi diameter mandrel yang digunakan sebesar 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, 18 mm, dan 20 mm. Jumlah bengkokan yang tersusun dalam bentuk lilitan yang digunakan adalah satu sampai dengan lima lilitan. Sinyal keluaran *photo diode* dihubungkan ke *multimeter* untuk diukur tegangannya, dihubungkan ke BER *event counter* untuk ditampilkan nilai BER melalui *error count LED*, dan dihubungkan ke *eye pattern generator* untuk dibangkitkan tampilan *eye pattern* ke osiloskop. *Software PicoScope 6.0* digunakan untuk menampilkan *eye pattern* dari osiloskop ke laptop. Susunan perangkat ditunjukkan pada Gambar 7.

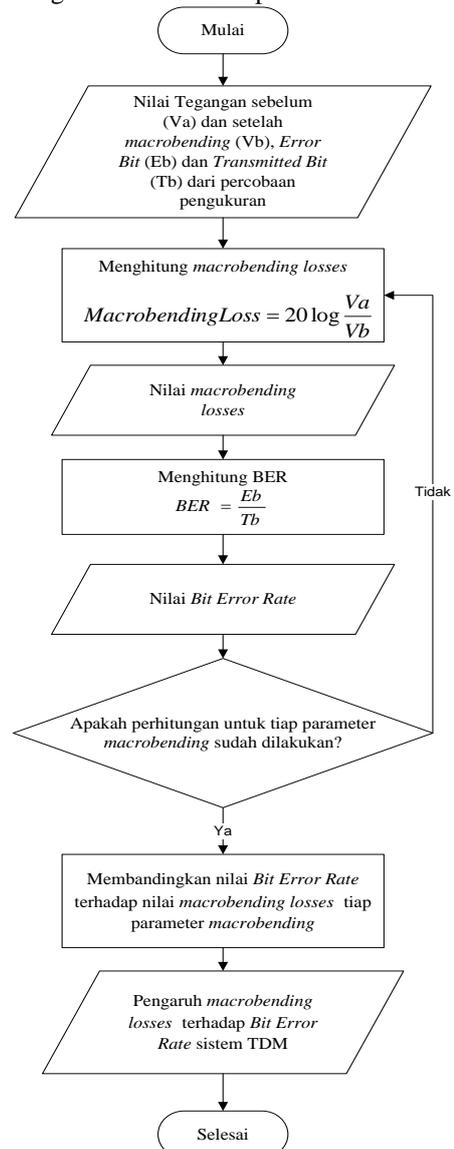


Gambar 7. Susunan Perangkat Eksperimen

Data hasil eksperimen digunakan sebagai bahan analisis. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai *macrobending losses*, BER, dan *eye pattern* untuk tiap diameter dan jumlah bengkokan yang tersusun dalam bentuk lilitan pada 1 sampai 6 *channel*.

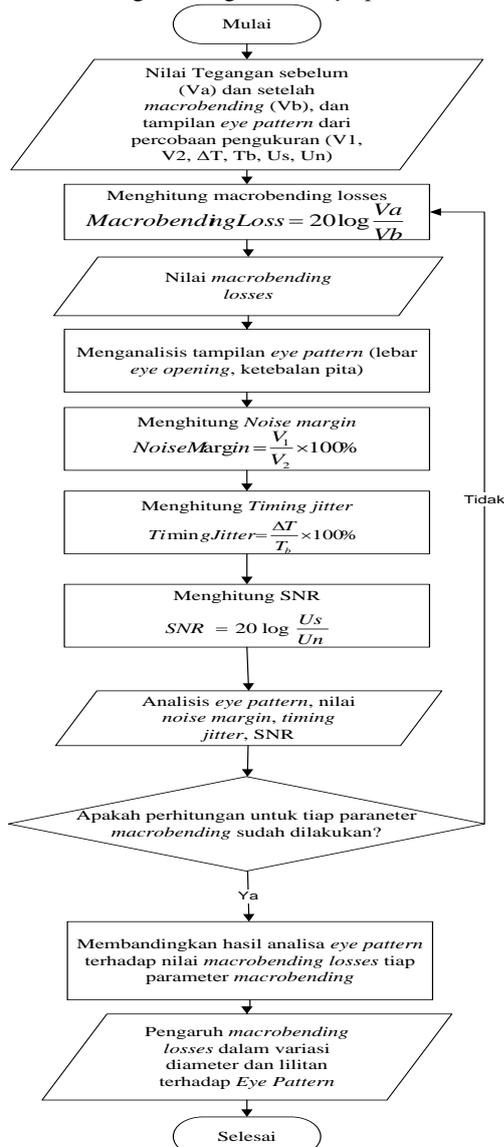
Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan pengaruh *macrobending losses* terhadap performansi sistem TDM dengan media transmisi POF :

1. Langkah analisis BER pada sistem TDM.



Gambar 8. Diagram Alir Analisis Pengaruh *Macrobending Losses* Terhadap BER

2. Langkah analisis *noise margin*, *timing jitter*, dan SNR dengan menganalisis *eye pattern*.



Gambar 9. Diagram Alir Analisis Pengaruh *Macrobending Losses* Terhadap *Eye Pattern*

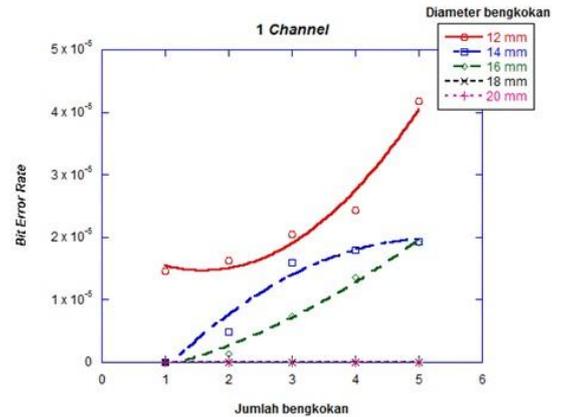
IV. HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

Pembahasan ditekankan pada analisis pengaruh *macrobending losses* terhadap performansi sistem TDM dengan media transmisi POF pada parameter BER dan *eye pattern*.

A. Analisis Pengaruh *Macrobending losses* Terhadap BER

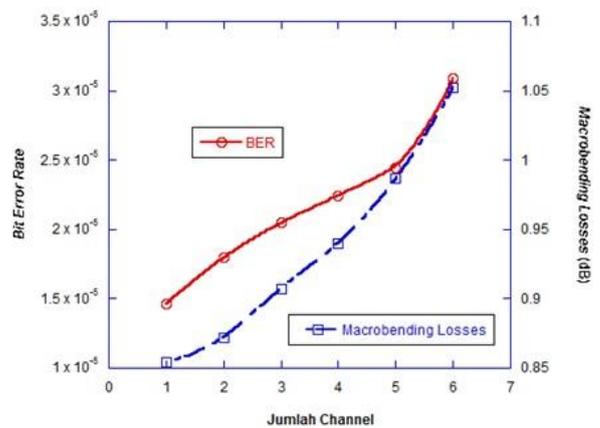
Hasil eksperimen dari pengaruh besar diameter dan jumlah bengkakan yang tersusun dalam bentuk lilitan terhadap BER pada 1 *channel* ditunjukkan pada Gambar 10. Dapat dilihat bahwa pada 1 *channel* dengan diameter bengkakan 20 mm dan 18 mm, untuk seluruh variasi jumlah bengkakan nilai BER tetap nol. Sedangkan pada diameter 16 mm, dan 14 mm untuk variasi jumlah bengkakan dua hingga lima bengkakan. nilai BER mulai ada. Pada diameter bengkakan 12 mm, *macrobending losses* berpengaruh untuk seluruh variasi bengkakan. Namun untuk variasi satu jumlah bengkakan, nilai BER

cenderung masih rendah, yaitu sebesar $1,47 \times 10^{-5}$. Nilai BER tertinggi terdapat pada diameter bengkakan 12 mm untuk variasi lima jumlah bengkakan yaitu sebesar $4,18 \times 10^{-5}$. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh *macrobending losses* pada sistem TDM akan menjadi tinggi ketika pada diameter bengkakan 12 mm dengan lima bengkakan.



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Jumlah Bengkakan dan Besar Diameter dengan BER pada 1 *Channel*

Hubungan antara *macrobending losses*, BER, dan jumlah *channel* untuk besar diameter 12 mm dengan variasi satu jumlah bengkakan ditunjukkan pada Gambar 11. Dapat dilihat bahwa karakteristik BER terhadap jumlah *channel* yang digunakan sebanding dengan kurva karakteristik *macrobending losses* terhadap jumlah *channel* yang digunakan. Hal ini dikarenakan besar energi yang dibawa berbeda-beda untuk tiap *channel*. Nilai BER untuk data dalam sistem TDM dengan pengaruh *macrobending* untuk diameter 12 mm dengan satu bengkakan pada 1 sampai 6 *channel* berkisar antara $1,46 \times 10^{-5}$ sampai $3,08 \times 10^{-5}$. Nilai *macrobending losses* untuk diameter 12 mm dengan satu bengkakan pada 1 sampai 6 *channel* berkisar antara 0,8540 dB sampai 1,0523 dB



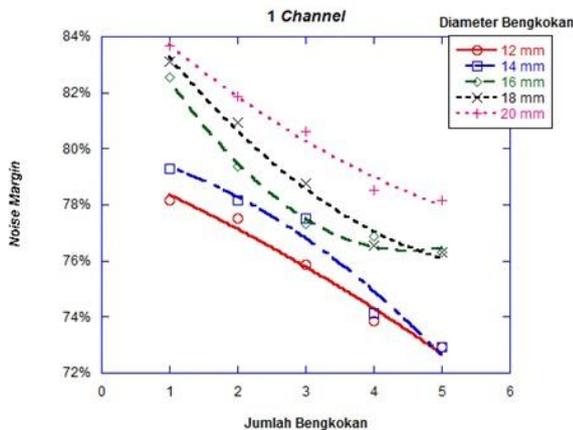
Gambar 11. Grafik Hubungan Antara *Macrobending Losses*, BER, dan Jumlah *Channel*

B. Analisis Pengaruh *Macrobending losses* Terhadap *Eye Pattern*

Analisis *eye pattern* ditekankan pada tiga parameter yaitu *noise margin*, *timing jitter*, dan SNR. Pembahasan *eye pattern* untuk masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

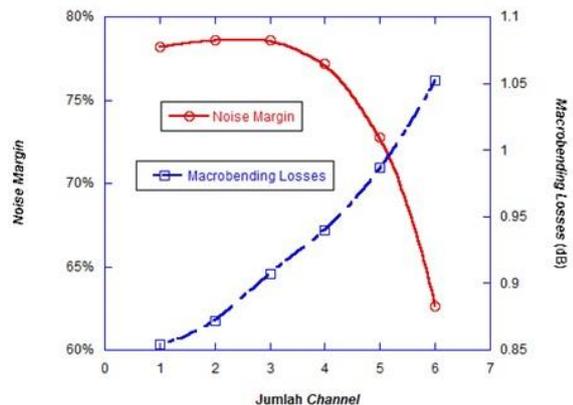
1. Analisis Noise Margin pada Eye Pattern

Hasil eksperimen dari pengaruh besar diameter dan jumlah bengkakan yang tersusun dalam bentuk lilitan terhadap *noise margin* pada 1 channel ditunjukkan Gambar 12. Dapat dilihat bahwa pada 1 *channel* untuk seluruh diameter bengkakan dari 20 mm hingga 12 mm untuk seluruh variasi jumlah bengkakan, nilai *noise margin* tetap cukup tinggi yaitu sekitar 84% hingga 73%. Nilai *noise margin* yang cenderung tetap tinggi menunjukkan kekebalan sistem terhadap *noise* atau dengan kata lain hanya sedikit *noise* yang terjadi dalam transmisi.



Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Besar Diameter dan Jumlah Bengkokan dengan *Noise Margin* pada 1 *Channel*

Hubungan antara *macrobending losses*, *noise margin*, dan jumlah *channel* untuk besar diameter 12 mm dengan variasi satu jumlah bengkakan dapat ditunjukkan pada Gambar 13. Dapat dilihat bahwa pada 6 *channel* nilai *macrobending losses* adalah 1,0523 dB sedangkan nilai *noise margin* adalah 62%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun semakin banyak *channel* yang digunakan nilai *macrobending losses* tetap tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *noise margin*.

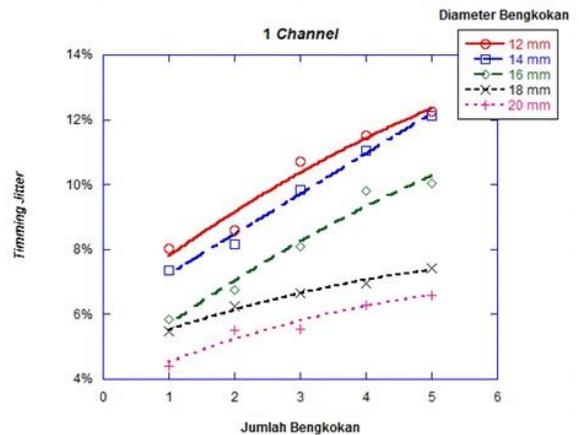


Gambar 13. Grafik Hubungan Antara Besar *Macrobending Losses*, *noise margin*, dan jumlah *Channel*

2. Analisis Timing Jitter pada Eye Pattern

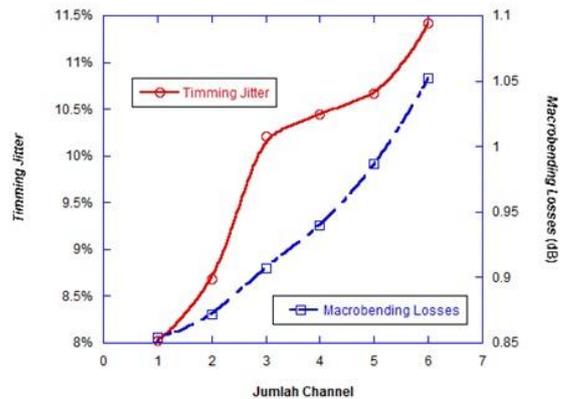
Hasil eksperimen dari pengaruh besar diameter dan jumlah bengkakan yang tersusun dalam bentuk lilitan terhadap *timing jitter* pada 1 channel ditunjukkan Gambar 14. Dapat dilihat bahwa pada 1 *channel* untuk seluruh diameter bengkakan dari 20 mm hingga 12 mm untuk seluruh variasi jumlah bengkakan nilai *timing jitter* cenderung tetap rendah yaitu sekitar 4% hingga 12%. Nilai *timing jitter* yang cenderung tetap rendah

menunjukkan data berada pada *timing* ideal atau hanya sedikit pergeseran waktu yang terjadi dalam transmisi.



Gambar 14. Grafik Hubungan Antara Besar Diameter dan Jumlah Bengkokan dengan *Timing Jitter* pada 1 *Channel*

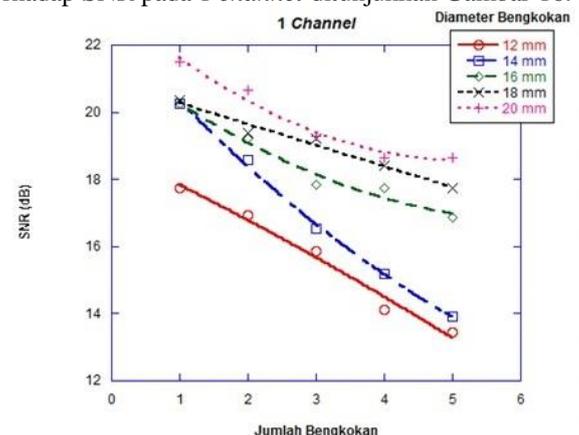
Hubungan antara *macrobending losses*, *timing jitter*, dan jumlah *channel* yang digunakan dengan diameter 12 mm dan 1 lilitan dapat ditunjukkan pada Gambar 15. Dapat dilihat bahwa ada 6 *channel* nilai *macrobending losses* adalah 1,0523 dB sedangkan nilai *timing jitter* adalah 11,5%. Semakin banyak *channel* yang digunakan nilai *macrobending losses* tetap tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *timing jitter*.



Gambar 15. Grafik Hubungan Antara Besar *Macrobending Losses*, *timing jitter*, dan jumlah *Channel*

3. Analisis SNR pada Eye Pattern

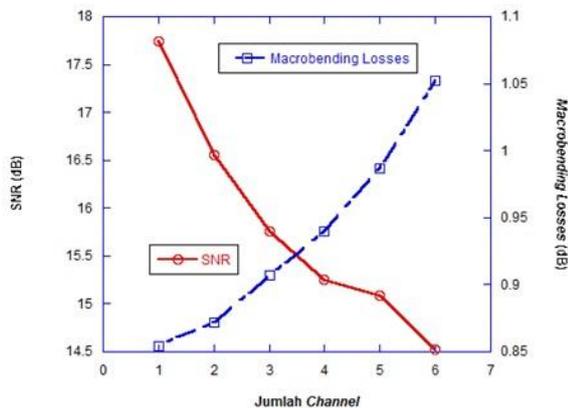
Hasil eksperimen dari pengaruh besar diameter dan jumlah bengkakan yang tersusun dalam bentuk lilitan terhadap SNR pada 1 *channel* ditunjukkan Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Hubungan Antara Jumlah Bengkokan dan Besar Diameter dengan SNR pada 1 *Channel*

Gambar 16 menunjukkan bahwa nilai SNR pada 1 *channel* untuk seluruh diameter bengkokan dari 20 mm hingga 12 mm untuk seluruh variasi jumlah bengkokan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan pada penjarangan cahaya sehingga nilai SNR tetap cukup tinggi yaitu sekitar 21,484 dB hingga 13,447 dB. Nilai SNR yang cenderung tetap tinggi menunjukkan daya sinyal transmisi yang diterima tetap baik meskipun terdapat daya *noise* akibat pengaruh dari *macrobending*.

Hubungan antara *macrobending losses*, SNR, dan jumlah *channel* yang digunakan pada diameter 12 mm dan 1 bengkokan dapat ditunjukkan pada Gambar 17. Dapat dilihat bahwa pada 6 *channel* nilai *macrobending losses* adalah 1,0523 dB sedangkan nilai SNR adalah 14,528 dB. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun semakin banyak *channel* yang digunakan nilai *macrobending losses* tetap tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai SNR. Pada sistem TDM terdapat modulasi, yang memungkinkan sinyal informasi akan lebih tahan terhadap *noise*



Gambar 17. Grafik Hubungan Antara Besar *Macrobending Losses*, SNR, dan jumlah *Channel*

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada semua *channel* yang digunakan nilai BER sebanding terhadap bertambahnya *macrobending losses*. *Macrobending losses* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap performansi sistem TDM. Hal ini ditunjukkan dengan nilai BER tertinggi adalah $3,08 \times 10^{-5}$ yang terjadi pada 6 *channel* dengan diameter bengkokan 12 mm ketika nilai *macrobending losses* sebesar 1,0523 dB.
2. Pada semua *channel* yang digunakan nilai *noise margin* berbanding terbalik terhadap bertambahnya *macrobending losses*. *Macrobending losses* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap performansi sistem TDM. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *noise margin* yang tetap tinggi yaitu 62% yang terjadi pada 6 *channel* dengan diameter bengkokan 12 mm ketika nilai *macrobending losses* sebesar 1,0523 dB.
3. Pada semua *channel* nilai *timing jitter* sebanding terhadap bertambahnya *macrobending losses*. *Macrobending losses* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap performansi sistem TDM. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *timing jitter* yang tetap

rendah yaitu 11,5% yang terjadi pada 6 *channel* dengan diameter bengkokan 12 mm ketika nilai *macrobending losses* sebesar 1,0523 dB.

4. Pada semua *channel* yang digunakan nilai SNR berbanding terbalik dengan *macrobending losses*. *Macrobending losses* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap performansi sistem TDM. Hal ini ditunjukkan dengan nilai SNR yang tetap tinggi yaitu 14,528 dB yang terjadi pada 6 *channel* dengan diameter bengkokan 12 mm ketika nilai *macrobending losses* sebesar 1,0523 dB.

B. Saran

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

1. Pengembangan penelitian dapat dilakukan dengan menganalisis pengaruh *macrobending losses* pada sistem transmisi serat optik yang menggunakan sistem *multiplexing* lain seperti FDM, WDM, dan OFDM.
2. Pengembangan penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan jenis serat optik lain selain POF, serta menggunakan variasi diameter dan jumlah bengkokan lain, dan menganalisis parameter performansi lain.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Seo, Seung-Woo *et al.* 1996. *Transparent Optical Networks with Time-Division Multiplexing*. IEEE Journal On Selected Areas In Communications.
- [2] Massa, Nick. 2000. *Fiber Optic Telecommunication*. Massachusetts: University of Connecticut.
- [3] Ziemann, Olaf *et al.* 2008. *POF Handbook - Optical Short Range Transmission Systems*. Germany: Springer.
- [4] Pramono, Nopi Yudi *et al.* 2012. *Pengaruh Lekukan Bertekanan Pada Serat Optik Plastik Terhadap Pelemahan Intensitas Cahaya*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- [5] Maharani, Aninda *et al.* 2009. *Pengukuran Pengaruh Kelengkungan Serat Optik terhadap Rugi Daya Menggunakan Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Novermber.
- [6] Harris, A.J *et al.* 1986. *Bend Loss Measurements On High Numerical Aperture Single-Mode Fibers As Function Of Wave length And bend Radius*. *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 4.
- [7] Dutton, Harry J. R. 1998. *Understanding optical communications, first edition*. IBM.
- [8] Ince, Erhan A. 2003. *Time Division Multiplexing (TDM)*. Eastern Mediterranean University.
- [9] Electronicbricks. 2010. *Internetworking using Ethernet over Plastic Optical Fiber (Online)*. <http://electronicbricks.com/2010/03/etsi-ts-105-175-1-plastic-optical-fiber.html>, diakses pada 10 Juli 2014 14.27
- [10] Lemlem, Mekuanint. 2012. *Investigation Of The Effects Of Macro Bending Loss On Step Index Single Mode Fiber*. Ethiopia: Addis Ababa University.
- [11] Derickson, Dennis. 1997. *Fiber Optic Test and Measurement*. Prentice Hall.
- [12] Keiser, Gerd E. 2004. *Optical Communication Essentials*. USA: The Mc-Graw Hill Companies.
- [13] Jay, John A. 2010. *An Overview of Macrobending and Microbending of Optical Fibers*. Corning.