

ANALISIS PERUBAHAN JUMLAH KANAL DAN VARIASI *NOISE* TERHADAP PERFORMANSI SISTEM *TIME DIVISION MULTIPLEXING* (TDM) DENGAN MEDIA TRANSMISI *PLASTIC OPTICAL FIBER* (POF)

Imam Junaedi¹, Dr.Ir.Sholeh Hadi Pramono, MS², Sapriesty Nainy Sari, ST., MT³

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

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: akulalian@gmail.com

Abstrak— *Time Division Multiplexing* (TDM) merupakan sebuah proses pentransmisi beberapa sinyal informasi yang hanya melalui satu kanal transmisi dengan masing-masing sinyal di transmisi pada periode waktu tertentu. Pada sistem TDM terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi performansi sistem, salah satunya adalah karakteristik kanal yang digunakan. Pada penelitian ini akan dikaji pengaruh banyaknya jumlah kanal yang digunakan dan variasi *noise* terhadap kinerja sistem TDM dengan media transmisi *Plastic Optical Fiber* (POF). Parameter kinerja yang diamati adalah *Bit Error Rate* (BER) dan *Eye Pattern*. Metode penilitian yang digunakan meliputi penentuan jenis dan cara pengambilan data, variabel dan cara analisis data, serta kerangka solusi masalah. Data yang diperlukan dalam penelitian ini ada dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil eksperimen, sedangkan data sekunder diperoleh dari referensi. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan *Advance Fiber Optic Communication Lab* dari Falcon Electro-Tek. Hasil penelitian ini adalah semakin banyaknya kanal yang digunakan dan semakin rendah nilai SNR, mengakibatkan semakin besar nilai BER yang terjadi. BER mulai muncul pada 1 kanal dengan SNR 5,937523dB dengan nilai $5,468 \times 10^{-6}$. Nilai BER tertinggi adalah $4,33594 \times 10^{-5}$ yang terjadi pada 6 kanal dengan SNR sebesar 4,069095 dB. Semakin banyak kanal yang digunakan dan semakin rendah nilai SNR, mengakibatkan semakin rendah nilai *noise margin*. Nilai *noise margin* terendah yang dapat terbaca adalah 49,09952607% yang terjadi pada 6 kanal dengan SNR sebesar 8,929856 dB, sedangkan nilai *noise margin* tertinggi yang dapat terbaca adalah 85,82240161% pada penggunaan 1 kanal dengan SNR 26,73931dB. Semakin banyak kanal yang digunakan dan semakin rendah nilai SNR, maka semakin besar nilai *timing jitter*. Nilai *timing jitter* terbesar yang dapat terbaca adalah 9,973396091% yang terjadi pada 6 kanal dengan SNR sebesar 10,16804 dB, sedangkan nilai *timing jitter* terendah yang dapat terbaca adalah 5,390361199% pada penggunaan 1 kanal dengan SNR 26,73931 dB. Nilai SNR *eye pattern* lebih besar jika dibandingkan dengan nilai SNR perhitungan. Hal ini dikarenakan pada sistem TDM sinyal informasi lebih tahan terhadap *noise*. SNR terkecil pada 6 kanal yang terbaca pada *eye pattern* adalah 7,182690089 dB sedangkan SNR hasil perhitungan adalah 4,4649 dB.

Kata Kunci — TDM, POF, *noise*, kanal

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan *bandwidth* sistem telekomunikasi semakin besar tiap tahunnya. Pada tahun 2013, *global mobile data traffic* mencapai 1,5 *exabytes* perbulan^[5]. Secara teknis *bandwidth* operasional pada bidang

telekomunikasi diatur spektrum *bandwidth*-nya secara internasional, untuk itu perlu adanya upaya penggunaan *bandwidth* secara efisien.

Ada teknik untuk efisiensi penggunaan *bandwidth*, yaitu dengan proses *multiplexing*. Salah satu diantaranya adalah *Time Division Multiplexing* (TDM). TDM merupakan sebuah proses pentransmisi beberapa sinyal informasi yang hanya melalui satu kanal transmisi dengan masing-masing sinyal di transmisi pada periode waktu tertentu. Keunggulan dari teknik *multiplexing* ini adalah *bandwidth* yang dibutuhkan kecil dan nilai dari *bit rate* yang dihasilkan dapat mencapai 1 Terabit/s. Pada teknik ini digunakan beberapa kanal transmisi yang digabungkan menjadi satu kanal transmisi.

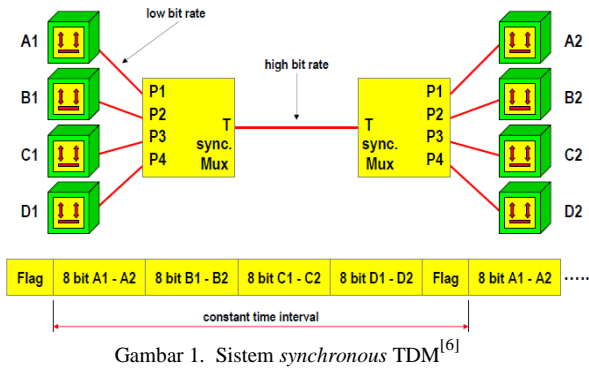
Beberapa penelitian tentang efisiensi penggunaan *bandwidth* pada TDM telah dilakukan. Pada tahun 1988, Rodney S Tucker, dalam *Optical Time-Division Multiplexing For Very High Bit-Rate Transmission* mengemukakan bahwa optimasi pada sistem TDM diperlukan pada perangkat *switch*^[2]. Optimasi tersebut dapat mengurangi *crosstalk* yang terjadi. D.K. Hunter dalam *Architectures for Optical Time Division Multiplexing Switching*, menjelaskan bahwa agar sistem TDM optik dapat bekerja secara optimal diperlukan algoritma khusus untuk *switch control*^[7]. Pada tahun 2007, H. Le Minh dalam *Bit Error Rate Performance of Multiple-Channel OTDM Demultiplexer Employing A Chained Symmetric Mach-Zehnder Switch* mengemukakan bahwa terjadinya *power penalty* tergantung pada *coupling ratio* dan nomor kanal yang digunakan^[1].

Penelitian ini akan mengkaji pengaruh banyaknya jumlah kanal yang digunakan dan variasi *noise* terhadap kinerja sistem TDM dengan media transmisi *Plastic Optical Fiber* (POF). Parameter kinerja yang 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. TINJAUAN PUSTAKA

TDM merupakan sebuah metode pentransmisi beberapa sinyal informasi sekaligus melalui satu saluran transmisi dengan masing-masing sinyal ditransmisikan pada periode waktu tertentu. TDM menggunakan prinsip antrian waktu pemakaian saluran transmisi dengan mengalokasikan satu *time slot* bagi setiap pemakai saluran (*user*).

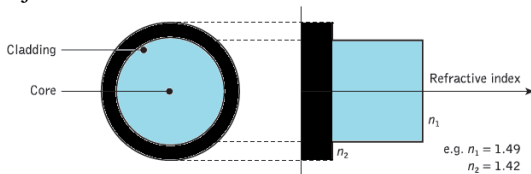
Pada penelitian ini digunakan *synchronous TDM*. *Synchronous TDM* mentransmisikan *time slot* dari semua sumber meskipun ada sumber yang tidak mempunyai data untuk dikirim. *Synchronous TDM* dimungkinkan apabila *data rate* yang dapat dicapai oleh media transmisi lebih besar dari *data rate* sinyal digital yang akan di kirim. Gambar 1 menunjukkan sistem *synchronous TDM*.



Gambar 1. Sistem *synchronous TDM*^[6]

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*.

Media transmisi yang digunakan pada penelitian ini adalah *plastic optical fiber* (POF). POF merupakan serat optik yang terbuat dari plastik polimer. Lapisan *core* terbuat dari *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) dan lapisan *cladding* dibuat dari *Perfluoropolimer*. POF memiliki diameter core sebesar 125–1880 μm dan diameter cladding sebesar 1250–2000 μm . Nilai NA pada POF berkisar antara 0,3–0,6. Secara teori POF mampu menyediakan *bit rate* sebesar 1 Gbps di atas 50 meter. *Bandwidth* POF dapat mencapai 10MHz/km. Pelemahan pada POF berkisar antara 50–1000 dB/km pada panjang gelombang 0,65 μm ^[3]. Struktur bagian POF ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Struktur bagian POF^[3]

Perubahan karakteristik transmisi data pada serat optik dapat dilihat melalui pengukuran BER dan *eye pattern*. BER merupakan perbandingan banyaknya bit error dengan banyaknya bit yang ditransmisikan. Menurut ketentuan ITU-T G.691, ITU-T G.692 dan ITU-T G.693, nilai BER maksimum adalah 10^{-12} . BER dapat dinyatakan dengan Persamaan (1)

$$BER = \frac{E_b}{T_b} \quad (1)$$

Keterangan:

E_b = jumlah *error bit*

T_b = jumlah bit yang ditransmisikan

Untuk mempermudah analisis pada penelitian ini maka level *noise* diubah ke dalam bentuk *noise margin* perhitungan. *Noise margin* perhitungan merupakan perbandingan level sinyal informasi terhadap sinyal *noise* dari hasil pembacaan tegangan pada multimeter, yang dapat dituliskan dalam Persamaan (2).

$$SNR \text{ Perhitungan} = 20 \log \frac{V_s}{V_n} \text{ (dB)} \quad (2)$$

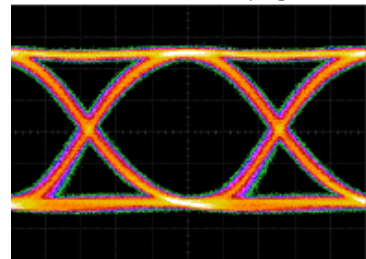
Keterangan:

V_s = tegangan sinyal informasi

V_n = tegangan sinyal *noise*

Eye pattern merupakan tampilan osiloskop dari sinyal digital yang mengalami proses *sampling* beberapa kali untuk mendapatkan tampilan dari karakteristik sinyal tersebut. Parameter yang dianalisis pada *eye pattern* adalah *eye opening*. Ada dua jenis *eye opening* yaitu *vertical eye opening* dan *horizontal eye opening*.

Vertical eye opening merupakan parameter yang menunjukkan besar perbedaan level sinyal bit satu dan bit nol. Dengan menganalisis *vertical eye opening*, dapat diketahui besarnya pengaruh *noise* terhadap sinyal. Sedangkan *horizontal eye opening* memiliki keterkaitan dengan nilai *jitter* yang terjadi pada sinyal. Parameter yang dapat diukur pada *eye pattern* adalah *noise margin*, *timing jitter* dan *signal to noise ratio*. Gambar 3 bentuk *eye pattern*.



Gambar 3. *Eye pattern*^[4]

1. *Noise margin*

Noise margin merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kekebalan sinyal informasi terhadap *noise*, yang dituliskan dalam Persamaan (3).

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

Keterangan:

V_1 = Tegangan maksimum (V)

V_2 = Tegangan maksimum *eye opening* (V)

2. *Timing jitter*

Timing jitter merupakan pergeseran waktu dari transmisi ideal pada data bit yang diterima oleh *receiver* yang dituliskan dalam Persamaan (4).

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

Keterangan:

ΔT = Jumlah distorsi (s)

T_b = Total bit (s)

3. *Signal to noise ratio eye pattern*

Signal to noise ratio (SNR) merupakan parameter yang diukur dengan membandingkan

daya sinyal terhadap daya *noise* pada *eye pattern* yang dituliskan ke dalam persamaan (5).

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

Keterangan:

U_s = Amplitudo sinyal (V)

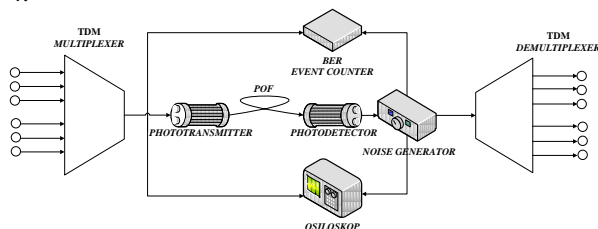
U_n = Amplitudo *noise* (V)

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat eksperimental yaitu menguji dan menelaah pengaruh jumlah kanal yang digunakan dan variasi *noise* terhadap kinerja sistem TDM dengan media transmisi POF. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penentuan jenis dan cara pengambilan data, variabel dan cara analisis yang digunakan, serta kerangka solusi masalah yang disajikan dalam bentuk diagram alir serta 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 skripsi ini antara lain konsep TDM, POF, dan parameter kinerja serat optik yaitu BER dan *eye pattern*.

Data primer didapatkan dari hasil eksperimen pengaruh perubahan jumlah kanal dan variasi *noise* terhadap kinerja TDM dengan media transmisi POF dilihat dari parameter BER dan *eye pattern*. Rancangan konfigurasi perangkat eksperimen ditunjukkan dalam bentuk blok diagram pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok diagram eksperimen

TDM *multiplexer* menggabungkan sinyal informasi acak yang dibangkitkan oleh kanal TDM. Jumlah kanal yang digunakan akan divariasikan mulai 1 sampai 6 kanal. Sinyal ini diubah oleh LED menjadi energi cahaya dengan panjang gelombang 660 nm. Cahaya ditransmisikan melalui POF sepanjang satu meter menuju *photodetector*. Setelah diterima oleh *photodetector* sinyal dilewatkan ke saluran *noise*. Tegangan *noise* pada saluran *noise* dapat diatur dengan memutar potensiometer yang ada. Tegangan *noise* dibagi menjadi 12 level dengan beda tegangan masing-masing sebesar 0,1V. *Noise* divariasikan untuk setiap jumlah kanal mulai dari level 1 sampai level 12. Sinyal keluaran dari kanal *noise* 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.

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data primer. Pendekatan matematis dengan analisis persamaan matematis dilakukan secara *analytical analysis*. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

1. BER
2. *Noise margin*
3. *Timing jitter*
4. *Signal to noise ratio eye pattern*

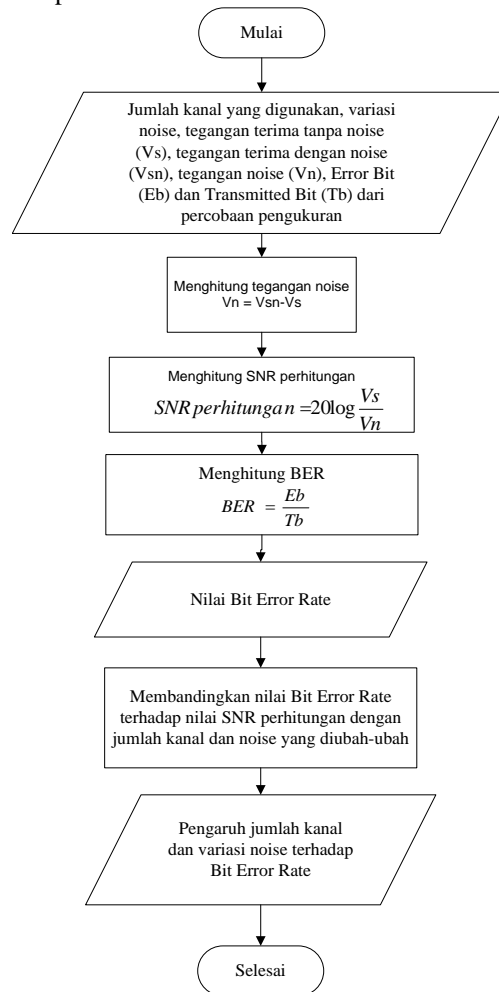
Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan pengaruh jumlah kanal yang digunakan dan variasi *noise* terhadap kinerja TDM dengan media transmisi POF.

1. Pengambilan data BER

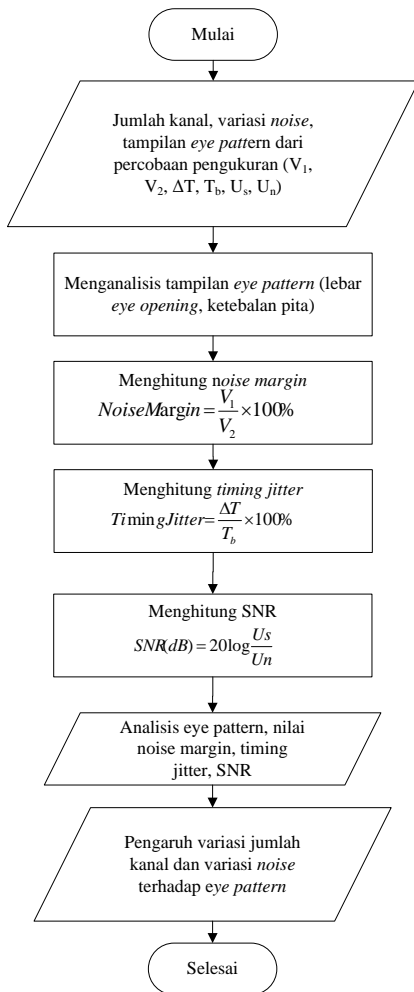
Proses pengambilan data BER ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 5.

2. Proses pengambilan data *eye pattern*

Pada data *eye pattern* terdapat tiga parameter yang diukur, yaitu *noise margin*, *timing jitter* dan SNR. Proses pengambilan data *eye pattern* ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 6.



Gambar 5. Diagram alir pengambilan data BER



Gambar 6. Proses pengambilan data eye pattern

Keterangan:

- V₁ = Tegangan maksimum (V)
- V₂ = Tegangan maksimum eye opening (V)
- U_s = Amplitudo sinyal (V)
- U_n = Noise maksimum (V)
- ΔT = Jumlah distorsi (s)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

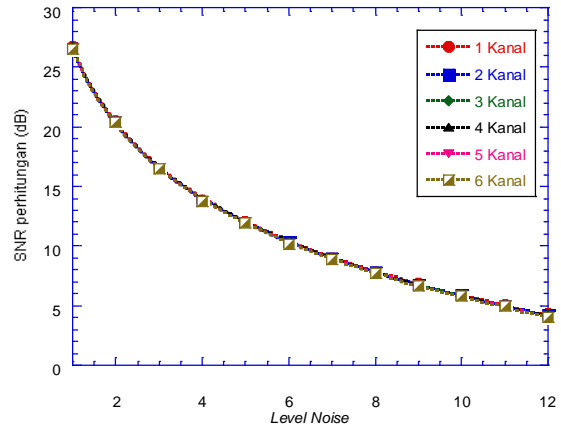
Eksperimen dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah kanal dan variasi noise terhadap kinerja TDM dengan media transmisi POF. Parameter performansi yang dianalisis adalah BER dan eye pattern. Pada Gambar 7 ditunjukkan hasil konfigurasi perangkat eksperimen.



Gambar 7. Hasil konfigurasi perangkat eksperimen

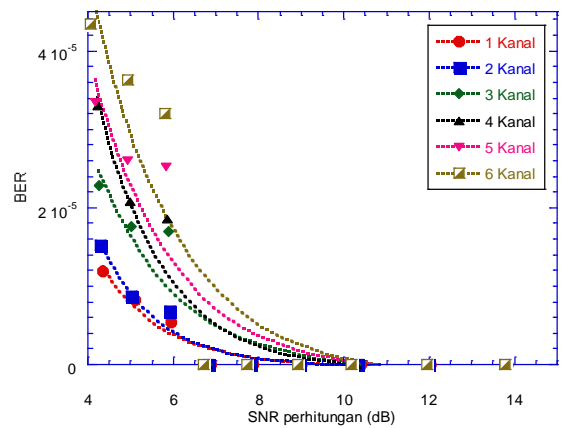
Untuk mempermudah perhitungan level noise pada eksperimen diubah terlebih dahulu ke dalam bentuk

SNR perhitungan Pada Gambar 8 ditunjukkan kurva karakteristik level noise dan jumlah kanal terhadap SNR perhitungan.



Gambar 8. Kurva karakteristik jumlah kanal dan level noise terhadap SNR perhitungan

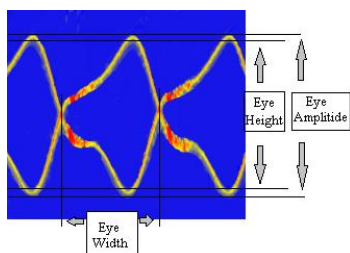
Nilai SNR perhitungan pada semua jumlah kanal memiliki nilai yang hampir sama pada level noise yang sama. Nilai SNR turun secara eksponensial terhadap kenaikan level noise. Nilai SNR perhitungan tertinggi sebesar 26,73931 dB pada kondisi jumlah kanal yang dipakai 1 dan level noise 1. Sedangkan nilai SNR terendah sebesar 4,069095 dB pada kondisi jumlah kanal yang dipakai 6 dan level noise 12.



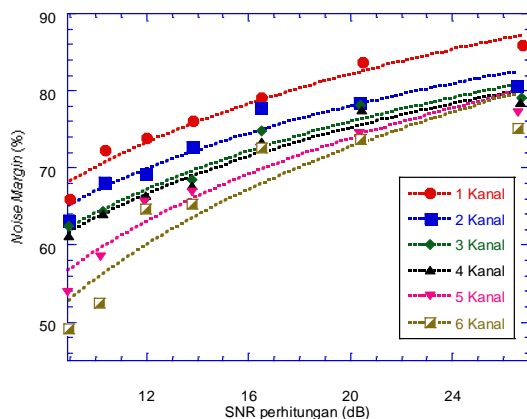
Gambar 9. Kurva karakteristik jumlah kanal dan SNR perhitungan terhadap BER

Gambar 9 menunjukkan karakteristik jumlah kanal dan SNR perhitungan terhadap BER. Semakin rendah SNR maka semakin tinggi jumlah error bit yang ditransmisikan, sehingga nilai BER akan naik. Semakin banyak kanal yang digunakan maka semakin signifikan pula kenaikan nilai BER pada level noise yang sama. BER terkecil bernilai 5,468x10⁻⁶ terjadi pada penggunaan 1 kanal dengan SNR 5,937523 dB, sedangkan BER terbesar bernilai 4,33594x10⁻⁵ terjadi pada penggunaan 6 kanal dengan SNR 4,069095 dB.

Parameter yang dianalisis dengan menggunakan eye pattern adalah noise margin, jitter dan signal to noise ratio (SNR).

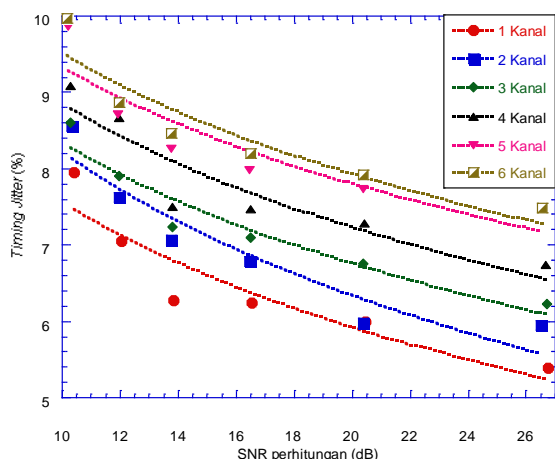


Gambar 9. Gambar *eye pattern* pada penggunaan 1 kanal dan level noise 1



Gambar 11. Kurva karakteristik jumlah kanal dan SNR perhitungan terhadap *noise margin*.

Gambar 11 menunjukkan karakteristik jumlah kanal dan SNR perhitungan terhadap *noise margin*. Semakin sedikit kanal yang digunakan, maka kekebalan sistem terhadap *noise* juga akan meningkat karena semakin sedikit data yang terpengaruh oleh *noise*. Kurva karakteristik *noise margin* naik secara linier terhadap naiknya nilai SNR. *Noise margin* tertinggi ada pada penggunaan 1 kanal dengan SNR 26,73931dB, yaitu sebesar 85,82240161%. Sedangkan *noise margin* terendah ada pada penggunaan 6 kanal dengan SNR 8,929856 dB, yaitu sebesar 49,09952607 %.

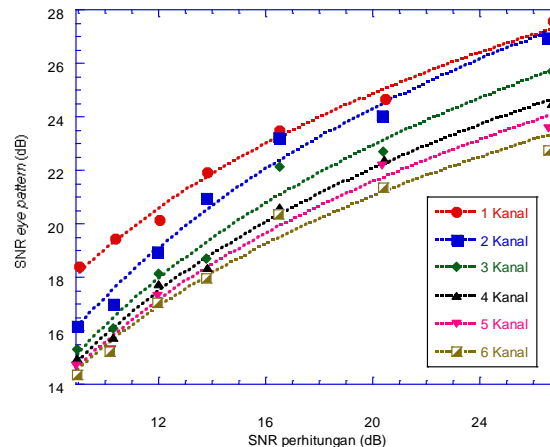


Gambar 12. Kurva karakteristik jumlah kanal dan SNR perhitungan terhadap *timing jitter*.

Gambar 12 menunjukkan kurva karakteristik jumlah kanal dan SNR perhitungan terhadap *timing jitter*. Level *noise* yang semakin besar yang ditandai dengan nilai SNR kecil, akan mengakibatkan nilai *timing jitter* semakin tinggi. Selain itu semakin banyak kanal yang digunakan maka nilai *timing jitter*

semakin tinggi karena semakin banyak data dengan waktu terima yang bergeser.

Nilai *timing jitter* terendah sebesar 5,390361199% pada penggunaan 1 kanal dengan nilai SNR perhitungan 26,73931 dB. Sedangkan nilai *timing jitter* tertinggi sebesar 9,973396091% pada penggunaan 6 kanal dengan nilai SNR perhitungan 10,16804 dB.



Gambar 12. Kurva karakteristik jumlah kanal dan SNR perhitungan terhadap SNR *eye pattern*.

Gambar 12 menunjukkan kurva karakteristik jumlah kanal dan SNR perhitungan terhadap SNR *eye pattern*. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai SNR *eye pattern* memiliki nilai lebih besar daripada SNR hasil perhitungan sebelumnya. Selain itu, kenaikan SNR *eye pattern* linier terhadap kenaikan SNR perhitungan. Semakin banyak kanal yang digunakan, makin kecil nilai SNR. Hal ini terjadi karena dengan semakin banyaknya kanal yang digunakan, maka semakin banyak data yang rusak disebabkan oleh *noise*, sehingga nilai SNR akan semakin kecil.

Nilai SNR pada *eye pattern* lebih kecil daripada SNR perhitungan dikarenakan dengan penggunaan sistem TDM, sinyal informasi akan lebih tahan terhadap *noise*. Hal ini menyebabkan hasil perhitungan SNR perhitungan memiliki nilai lebih kecil dari pada SNR yang terjadi pada sistem sebenarnya.

SNR terkecil yang terbaca pada *eye pattern* terdapat pada penggunaan 6 kanal yaitu bernilai 14,36538018 dB, sedangkan SNR hasil perhitungannya sebesar 8,929856 dB. SNR terbesar yang terbaca pada *eye pattern* terdapat pada penggunaan 1 kanal yaitu bernilai 27,57398343 dB, sedangkan SNR hasil perhitungannya sebesar 26,73931 dB.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Perubahan jumlah kanal dan besarnya level *noise* memberikan pengaruh terhadap performansi sistem TDM dengan media transmisi POF. Hasil eksperimen pengaruh jumlah kanal dan besarnya level *noise* terhadap performansi sistem TDM dengan media transmisi POF dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Pengaruh perubahan kanal pada performansi sistem TDM dengan media POF adalah dengan semakin banyak kanal yang digunakan dan semakin rendah nilai SNR, semakin besar nilai BER yang terjadi. BER mulai muncul pada 1 kanal dengan SNR 5,937523dB dengan nilai $5,468 \times 10^{-6}$. Nilai BER tertinggi adalah $4,33594 \times 10^{-5}$ yang terjadi pada 6 kanal dengan SNR sebesar 4,069095 dB.
- 2) Pengaruh perubahan kanal pada performansi sistem TDM dengan media POF adalah dengan semakin banyak kanal yang digunakan dan semakin rendah nilai SNR, semakin rendah nilai *noise margin*. Nilai *noise margin* terendah yang dapat terbaca adalah 49,09952607% yang terjadi pada 6 kanal dengan SNR sebesar 8,929856 dB, sedangkan nilai *noise margin* tertinggi yang dapat terbaca adalah 85,82240161% pada penggunaan 1 kanal dengan SNR 26,73931dB.
- 3) Pengaruh perubahan kanal pada performansi sistem TDM dengan media POF adalah dengan semakin banyak kanal yang digunakan dan semakin rendah nilai SNR, semakin besar nilai *timing jitter*. Nilai *timing jitter* terbesar yang dapat terbaca adalah 9,973396091% yang terjadi pada 6 kanal dengan SNR sebesar 10,16804 dB, sedangkan nilai *timing jitter* terendah yang dapat terbaca adalah 5,390361199% pada penggunaan 1 kanal dengan SNR 26,73931 dB.
- 4) Nilai SNR *eye pattern* lebih besar jika dibandingkan dengan nilai SNR perhitungan. Hal ini dikarenakan pada sistem TDM sinyal informasi lebih tahan terhadap noise. SNR terkecil pada 6 kanal yang terbaca pada *eye pattern* adalah 7,182690089 dB sedangkan SNR hasil perhitungan adalah 4,4649 dB.

2. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian ini adalah dilakukan penelitian sistem TDM dengan *line coding* yang berbeda, seperti RZ, NRZ, dan D-Manchester. Selain itu dapat juga dilakukan penelitian serupa untuk sistem *asynchronous TDM*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Le Minh, *Student Member, IEEE*, Z. Ghassemlooy, *Senior Member, IEEE*, Wai Pang Ng, *Member, IEEE* and M. F. Chiang. 2007. *Bit Error Rate Performance of Multiple-Channel OTDM Demultiplexer Employing A Chained Symmetric Mach-Zehnder Switch*. IEEE
- [2] Tucker, Rodney S. Eisenstein, Gadi. Korotky, Steven K. 1988. *Optical Time-Division Multiplexing For Very High Bit-Rate Transmission*. IEEE
- [3] Senior, John M. 2009. *Optical Fiber Communication Principles and Practice, Third Edition*. Prentice Hall.
- [4] *Eye Diagram Measurement in Advanced Design System*. Agilent Eesof EDA. 2014
- [5] *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018*. Cisco
- [6] Lindner, D I. Haas, D I. *TDM techniques*. 2012
- [7] Hunter D K. *Architectures for Optical TDM Switchin*. University of Strathclyde