

## BAB IV HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

Bab IV menjelaskan hasil eksperimen dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan. Data yang disajikan dari hasil penelitian meliputi pengaruh temperatur yang divariasikan antara 20°C sampai 60°C terhadap BER dan *eye pattern*. Sistematika penyajian Bab IV terdiri atas *set up* eksperimen, prosedur pengambilan data, dan hasil eksperimen dan pembahasan.

### 4.1 Set Up Eksperimen

Perangkat yang digunakan dalam pengambilan data yaitu *transmitter*, *receiver*, *plastic optical fiber* (POF), pemanas udara, BER *event counter*, *eye pattern generator* dan osiloskop. Perangkat bantuan lainnya yaitu alkohol, termometer, multimeter dan tabung percobaan. Blok diagram konfigurasi perangkat eksperimen telah ditunjukkan pada Gambar 3.3. Spesifikasi dan deskripsi dari masing-masing alat pengukuran adalah sebagai berikut:

#### 1) PRBS Generator

*Pseudorandom Bit Sequence* (PRBS) *generator* adalah perangkat untuk membangkitkan sinyal data acak pada kecepatan yang sama. Kata *pseudorandom* memiliki arti bahwa kombinasi 0 dan 1 yang dibangkitkan berulang tapi secara acak. *Pseudorandom Bit Sequence* terdiri dari 4 kombinasi 2-bit-long, 8 kombinasi 3-bit-long, 16 kombinasi 4-bit-long, dan sebagainya tergantung dari spesifikasi perangkat yang digunakan. PRBS dibangkitkan dengan menggunakan 4-bit *right shift register* yang umpan baliknya dilengkapi dengan gerbang EX-OR. PRBS *generator* ditunjukkan pada Gambar 4.1.

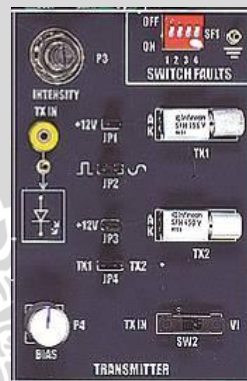


**Gambar 4.1.** PRBS Generator

(Sumber: e-Manual Falcon Advance Fiber Optic Communication Lab, 2011)

## 2) LED SFH756V

LED SFH756V beroperasi pada spektrum cahaya tampak dengan keluaran cahaya berpusat pada gelombang merah dengan panjang gelombang 660 nm. LED SFH756V ditunjukkan pada Gambar 4.2. Modul pemancar menerima sinyal masukan dalam bentuk listrik lalu mengubahnya menjadi energi cahaya yang membawa informasi yang sama. Serat optik adalah media yang membawa energi ini menuju penerima. Pemancar serat optik terdiri dari *buffer*, *driver*, dan sumber cahaya. Bagian *buffer* menyediakan sambungan elektrik dan isolasi di antara pemancar optik dan sumber informasi analog. Bagian *driver* menyediakan daya listrik ke sumber cahaya dengan menggendakan pola data yang dicatu ke pemancar. Kemudian sumber cahaya (LED) mengubah arus listrik ke energi cahaya dengan pola yang sama.



**Gambar 4.2.** Perangkat Transmitter

(Sumber: e-Manual Falcon Advance Fiber Optic Communication Lab, 2011)

## 3) Device Under Test

*Device under test* terdiri atas tabung percobaan, POF, *heater* dan termometer. POF yang akan diuji ditempatkan pada tabung percobaan yang bertujuan untuk menjaga suhu agar tidak terinterferensi suhu ruangan. Tabung percobaan ini memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi sampai 120°C. Pada percobaan ini tabung yang digunakan memiliki ukuran tinggi 17cm dan diameter 12cm seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3.** Tabung Percobaan



Tabung dilengkapi dengan lubang kecil di permukaan selimut sebagai lubang masuknya termometer dan *heater*. Sedangkan di bagian atas dan bawah tabung diberi lubang sebesar 2,2 mm sesuai diameter POF. Pemanas udara dihubungkan dengan tabung percobaan sehingga temperatur di dalam tabung percobaan berubah. *Heater* atau pemanas udara yang digunakan pada penelitian ini memiliki daya 800W, dan mampu menaikkan suhu hingga 80°C.



**Gambar 4.4.** Pemanas Udara

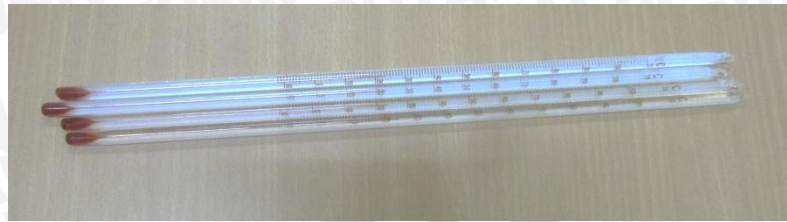
POF ditempatkan di dalam tabung percobaan yang telah terhubung oleh *heater*. POF yang akan diuji adalah jenis *step-index multimode* dengan indeks bias inti ( $n_1$ ) 1.492 dan indeks bias *cladding* ( $n_2$ ) 1.406. Material *core* didasarkan pada bahan *poli metil metakrilat* (PMMA) dan lapisan tipis *cladding* dengan bahan *terfluorinasi* PMMA. Dalam penelitian ini digunakan POF dengan panjang 1m dengan bagian POF yang diberi pengaruh temperatur sepanjang 70cm. Penggunaan POF ini sangat mudah karena tidak memerlukan perangkat khusus dalam instalasi. POF ditunjukkan pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5.** Plastic Optical Fiber

Termometer raksa yang digunakan memiliki rentang suhu -10°C sampai 110°C. Sedangkan pengukuran akan dilakukan pada suhu 20°C sampai 65°C dengan perubahan suhu setiap 5°C. Untuk memudahkan pengukuran, digunakan empat buah termometer

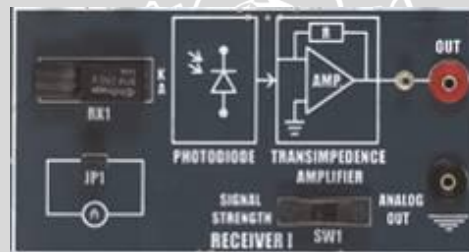
dan dalam setiap pengukuran digunakan dua termometer. Termometer raksa ditunjukkan pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6.** Termometer Raksa

#### 4) *Photo Diode SFH551/1V*

Detektor SFH551/1V yang digunakan merupakan keluaran tipe dioda. Secara umum perangkat ini berfungsi sebagai penerima untuk mengubah energi cahaya ke bentuk elektrik yang lalu diproduksi agar sesuai dengan bentuk asli sebelum dipancarkan. Parameter yang sering diperhatikan pada detektor adalah panjang gelombang puncak dan waktu respon. Perangkat *receiver* ditunjukkan pada Gambar 4.7.

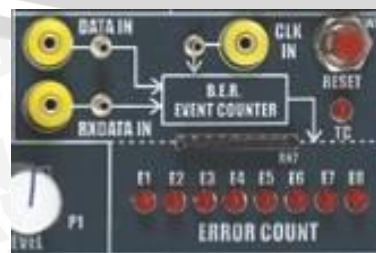


**Gambar 4.7.** Perangkat *Receiver*

(Sumber: e-Manual Falcon *Advance Fiber Optic Communication Lab*, 2011)

#### 5) *BER Event Counter dan Error Count LEDs*

Perangkat ini berfungsi untuk menghitung BER dengan menggunakan peralatan tes yang telah tersedia. Terdapat komparator dimana *transmitted bit* disambungkan dengan gerbang XOR dengan *received bits*. *Event counter* dapat diatur untuk berbagai periode waktu. Secara umum, semakin lama periode waktu pengamatan, maka semakin akurat hasil pengukurannya. Keluaran dari *counter* ditampilkan di LEDs untuk menunjukkan kesalahan pada bit yang diterima dalam bentuk bilangan biner. *BER event counter* dan *error count LED* ditunjukkan pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8.** Perangkat *BER Event Counter*

(Sumber: e-Manual Falcon *Advance Fiber Optic Communication Lab*, 2011)



Nilai BER didapatkan dari ratio atau perbandingan bit *error* ( $E_b$ ) terhadap total bit yang ditransmisikan ( $T_b$ ) dalam suatu periode waktu  $t$  detik.

#### 6) *Eye Pattern Generator*

*Eye pattern* merupakan tampilan osiloskop untuk mengetahui karakteristik performansi dari sinyal digital, dapat juga digunakan untuk saluran data serat optik. Pengukuran *eye pattern* dilakukan dalam domain waktu dan memperbolehkan efek distorsi gelombang untuk tampak dan diamati di osiloskop.

*Eye pattern* dapat diamati menggunakan perangkat dasar yang tersedia. Keluaran dari *pseudorandom data pattern generator* masuk ke masukan vertikal osiloskop dan data digunakan untuk memicu *horizontal sweep*. Perangkat *eye pattern* yang ada pada FCL-04 ditunjukkan pada Gambar 4. 9.



**Gambar 4.9.** Perangkat *EyePattern*

(Sumber: e-Manual Falcon *Advance Fiber Optic Communication Lab*, 2011)

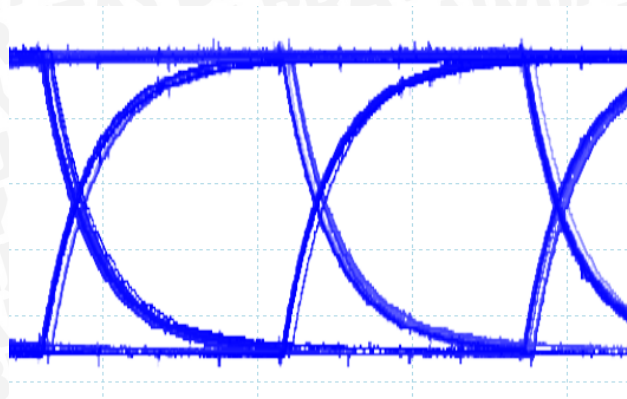
#### 7) *Oscilloscope*

Pada penelitian ini digunakan PC *Oscilloscope* 60MHz jenis PicoScope 3204 yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Osiloskop ini memiliki dua kanal masukan dan mendukung *external trigger*. Tampilan osiloskop terhubung dengan PC sehingga memudahkan proses penyimpanan dan pencetakan tampilan sinyal. Gambar 4.11 adalah contoh *eye pattern* yang ditampilkan dan dapat diketahui nilai tegangan dan *timing*.



**Gambar 4.10.** PicoScope 3204

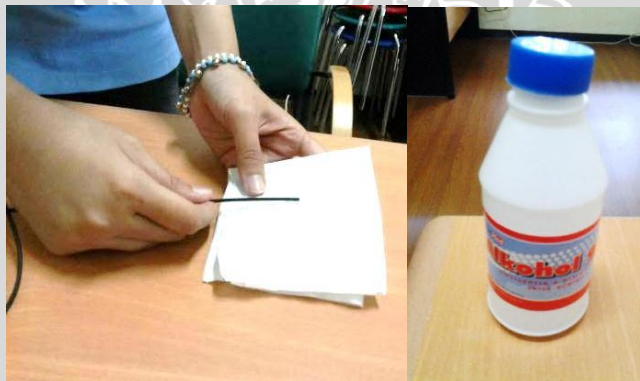
(Sumber: [www.picotech.com](http://www.picotech.com), 2013)



**Gambar 4.11.** Tampilan *Eye Pattern*

#### 4.2 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data pada skripsi ini diawali dengan tahap persiapan alat dan komponen pendukung pengukuran. POF yang akan diuji dibersihkan dengan alkohol 95% seperti pada Gambar 4.12. POF harus dalam keadaan bersih sebelum dimasukkan ke dalam *connector*, hal ini dilakukan agar mengurangi *impurities* yang mengganggu penjalaran cahaya pada *core* dan *cladding*.



**Gambar 4.12.** Membersihkan POF

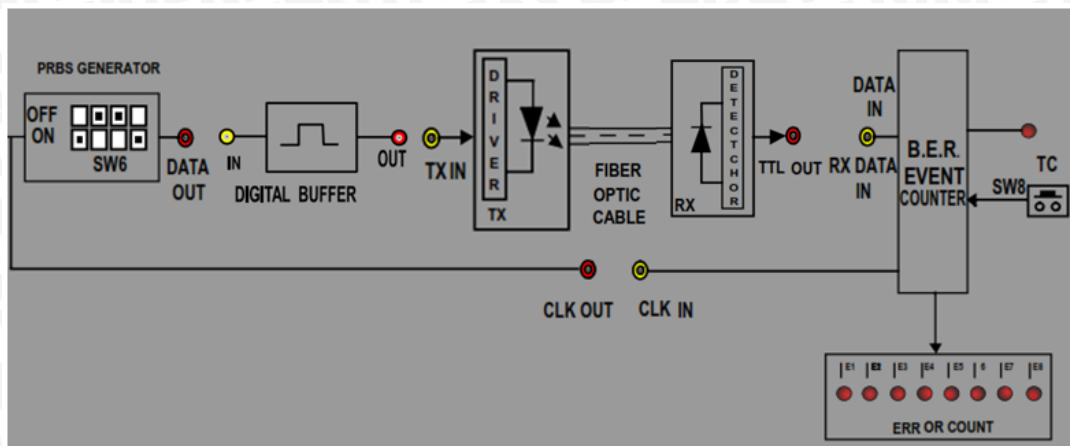
Kemudian pemanas udara dihubungkan dengan tabung percobaan seperti pada Gambar 4.13, dan memastikan temperatur di dalam tabung tidak terinterferensi suhu ruangan.



**Gambar 4.13.** Mempersiapkan Pemanas Udara dan Tabung Percobaan



Rangkaian perangkat sistem pengukuran BER ditunjukkan pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Konfigurasi Pengukuran BER

Langkah perancangan perangkat dijelaskan sebagai berikut:

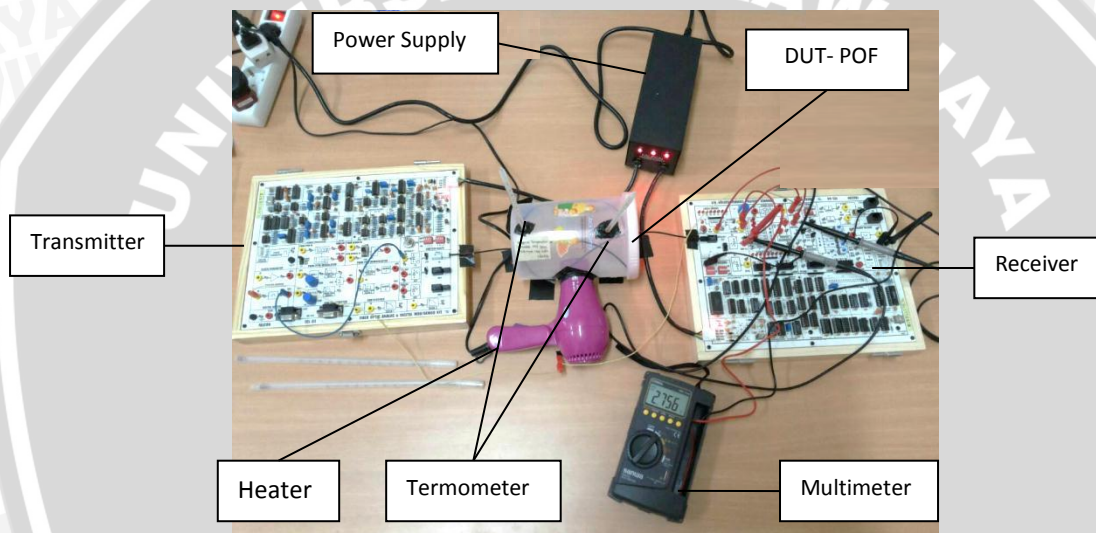
1. Hubungkan *Power Supply* dengan modul perangkat *transmitter* dan modul perangkat *receiver*, pastikan bahwa catu daya dalam posisi *off*.
2. Hubungkan keluaran PRBS Generator yaitu DATA OUT dengan IN pada *Digital Buffer*.
3. Hubungkan keluaran *Digital Buffer* dengan TX IN pada LED SFH 756 V.
4. Putar perlahan tutup *connector* LED SFH 756 V, masukkan *plastic optical fiber* yang telah dibersihkan ke dalam *connector* kemudian putar kembali tutup *connector*.
5. Hubungkan sinyal keluaran dari detektor optik TTL OUT dengan RX DATA IN, sedangkan DATA OUT PRBS Generator dihubungkan dengan DATA IN pada BER event counter.
6. Hubungkan CLOCK OUT pada PRBS Generator dengan CLOCK IN pada BER Event Counter.
7. Pasang tabung percobaan, termometer, dan pemanas udara pada *plastic optical fiber*.

Setelah semua perangkat telah terhubung secara benar, catu daya dinyalakan dan ukur tegangan pada *receiver* dengan menggunakan multimeter untuk memastikan proses transmisi data. Besar tegangan di penerima yang diukur dengan multimeter ditunjukkan pada Gambar 4. 15.



**Gambar 4.15.** Pengukuran Tegangan

Hasil konfigurasi perangkat dalam pengukuran BER ditunjukkan pada Gambar 4.16. Kemudian pemanas udara dinyalakan, dan amati setiap perubahan temperatur seperti pada Gambar 4.17.



**Gambar 4.16.** Konfigurasi Pengukuran *Bit Error Rate*



**Gambar 4.17.** Mengamati Perubahan Temperatur

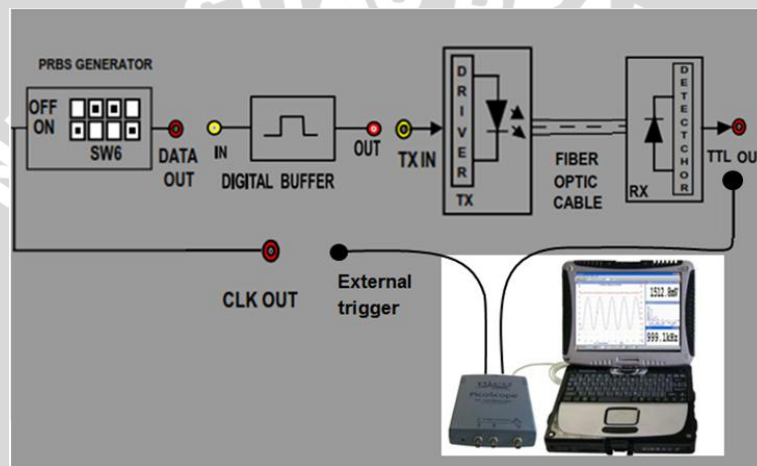
Pengambilan data dimulai pada suhu terendah yaitu  $20^{\circ}\text{C}$  sampai  $65^{\circ}\text{C}$  dengan kenaikan setiap  $5^{\circ}\text{C}$ . Pemanas udara dinyalakan dan diatur untuk menaikkan suhu sesuai yang ditentukan. Tekan tombol *reset* ketika suhu sudah sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian BER *event counter* akan menghitung jumlah *error* pada transmisi data. *Error* akan ditampilkan pada nyala LED seperti pada Gambar 4.18.





**Gambar 4.18.** Nyala LED Pada *Error Count*

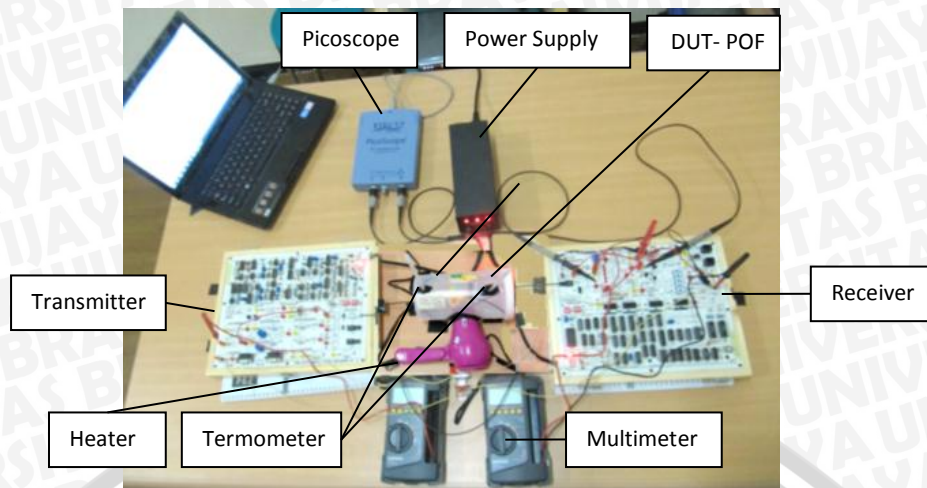
Setelah data BER didapat, konfigurasi perangkat diubah seperti pada Gambar 4.19 untuk pengambilan data *eye pattern*. Langkah perancangan konfigurasi dijelaskan sebagai berikut:



**Gambar 4.19.** Konfigurasi Pengambilan Data *Eye Pattern*

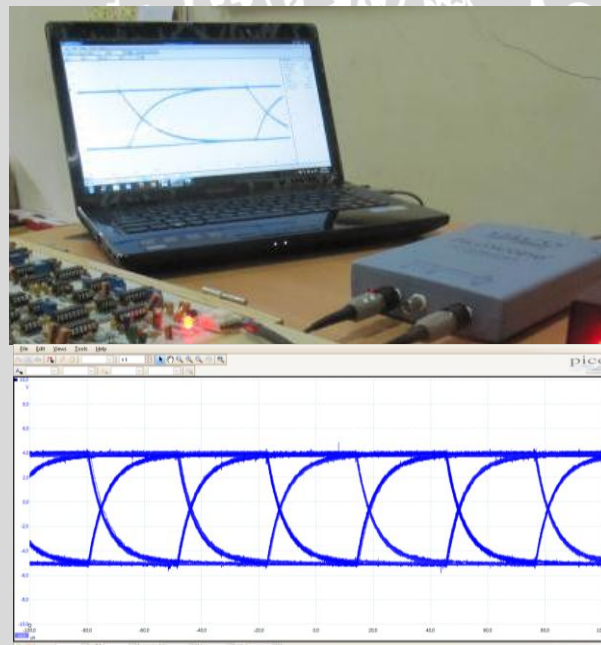
1. Hubungkan *Power Supply* dengan modul perangkat *transmitter* dan modul perangkat *receiver*, pastikan bahwa catu daya dalam posisi *off*.
2. Hubungkan keluaran PRBS *Generator* yaitu DATA OUT dengan IN pada *Digital Buffer*.
3. Hubungkan keluaran *Digital Buffer* dengan TX IN pada LED SFH 756 V.
4. Putar perlahan tutup *connector* LED SFH 756 V, masukkan *plastic optical fiber* yang telah dibersihkan ke dalam *connector* kemudian putar kembali tutup *connector*.
5. Hubungkan CLOCK OUT pada PRBS *Generator* ke *external trigger*, kemudian hubungkan TTL OUT pada detektor optik dengan channel A pada osiloskop.
6. Pasang tabung percobaan, termometer, dan pemanas udara pada *plastic optical fiber*.

Hasil konfigurasi perangkat dalam pengukuran *eye pattern* ditunjukkan pada Gambar 4.20. Setelah semua perangkat telah terhubung secara benar, catu daya dinyalakan.



**Gambar 4.20.** Konfigurasi Pengambilan Data *Eye Pattern*

Sama seperti pengukuran BER, pengambilan data dimulai pada suhu terendah yaitu 20°C sampai 65°C dengan kenaikan setiap 5°C. Pemanas udara dinyalakan, dan diamati perubahan temperatur pada termometer. Data *eye pattern* yang ditampilkan osiloskop kemudian disimpan seperti pada Gambar 4.21. Data *eye pattern* diolah untuk mengetahui nilai *noise margin*, *signal to noise ratio*, *timing jitter*, dan *bit rate*.



**Gambar 4.21.** Data *Eye Pattern*

### 4.3 Analisis Parameter Kinerja

Pada sub bab ini berisi hasil eksperimen pengaruh temperatur terhadap kinerja POF jenis *step index multimode* dan pembahasannya. Data-data yang didapatkan dari hasil pengukuran dihitung sesuai dengan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II. Analisis kinerja akan dilakukan meliputi BER dan *eye pattern*.



### 4.3.1 Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap *Bit Error Rate*

Kinerja POF dengan parameter BER akan dibahas pada sub bab ini. *Error bit* ( $E_b$ ) yang ditampilkan *error count* LED merupakan bilangan biner yang kemudian diubah ke bilangan desimal. Nilai *error bit* pada setiap perubahan temperatur ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** *Error Bit* pada Indikator LED

No.	Temperatur	Indikator LED	<i>Error Bit</i>
1.	20°C	0	0
2.	25°C	0	0
3.	30°C	10	2
4.	35°C	100	4
5.	40°C	101	5
6.	45°C	110	6
7.	50°C	111	7
8.	55°C	111	7
9.	60°C	111	7
10.	65°C	1000	8

Jumlah bit yang ditransmisikan ( $T_b$ ) oleh PRBS *Generator* selama 10 detik ( $T_b$ ) adalah 320Kbits. Perhitungan nilai BER dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.10. Pada temperatur 35°C diketahui banyak bit yang salah dalam bentuk biner adalah 100. Jika diubah ke dalam bentuk desimal, maka  $E_b$  adalah 4, sehingga perhitungan BER pada kondisi tersebut ialah:

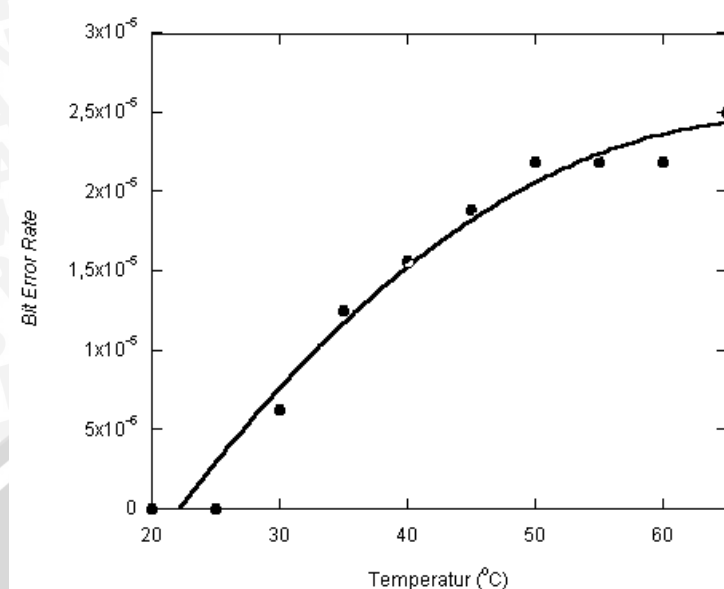
$$BER = \frac{E_b}{T_b} = \frac{4}{320 \times 10^3} = 1,25 \times 10^{-5}$$

Dengan cara perhitungan yang sama didapat nilai BER pada setiap perubahan temperatur, ditunjukkan dengan jelas pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Data Hasil Pengukuran BER

No.	Temperatur	BER
1	20°C	0
2	25°C	0
3	30°C	$6,25 \times 10^{-6}$
4	35°C	$1,25 \times 10^{-5}$
5	40°C	$1,56 \times 10^{-5}$
6	45°C	$1,88 \times 10^{-5}$
7	50°C	$2,19 \times 10^{-5}$
8	55°C	$2,19 \times 10^{-5}$
9	60°C	$2,19 \times 10^{-5}$
10	65°C	$2,5 \times 10^{-5}$

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.22.



**Gambar 4.22.** Kurva Karakteristik BER terhadap Temperatur

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.22 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur maka jumlah bit salah yang ditransmisikan akan semakin banyak, sehingga nilai BER akan naik. Pada grafik nilai BER naik secara eksponensial seiring dengan kenaikan temperatur. Pada temperatur 20°C dan 25°C indikator LED pada *error counter* tidak menyala, hal ini menyebabkan perhitungan nilai BER pada temperatur 20°C dan 25°C adalah nol. Temperatur antara 20°C dan 25°C adalah temperatur ideal pada pentransmisian data pada POF. Pada suhu 30°C nilai BER adalah  $6,25 \times 10^{-6}$ , yang artinya setiap  $10^9$  bit data yang ditransmisikan terdapat 6250 bit data yang salah. Nilai BER tertinggi yaitu pada temperatur 65°C sebesar  $2,5 \times 10^{-5}$ , yang artinya setiap  $10^9$  bit data yang ditransmisikan terdapat 25000 bit data yang salah.

Kenaikan temperatur yang signifikan menyebabkan perubahan material pada *core* dan *cladding*. Menurut persamaan (2-5), kenaikan temperatur mengindikasikan kenaikan indeks bias. Fenomena ini menyebabkan terjadinya dispersi yaitu pelebaran pulsa yang disebabkan oleh perubahan perbedaan indeks bias relatif pada proses transmisi. Pelebaran pulsa pada sinyal menyebabkan *noise*, *interferece intersymbol* (ISI) sehingga terjadinya *error*.

Sesuai dengan *error probability* yang telah dijelaskan pada persamaan (2-11). Besarnya *error probability* turun secara linier sesuai dengan kenaikan daya dan penurunan noise.



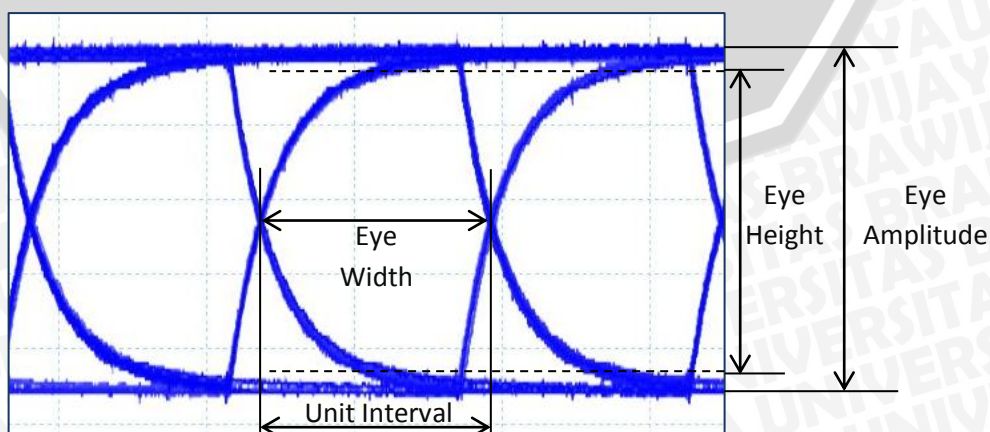
Konsekuensi yang diberikan dari nilai BER yang semakin tinggi adalah transmisi data tidak dapat dilakukan dengan sempurna. Data yang dikirim tidak sama dengan data yang diterima. Menurut standar yang telah ditetapkan ITU- T G.691, ITU- T G.692 dan ITU- T G.693, kinerja POF dengan temperatur diatas  $30^{\circ}\text{C}$  pada penelitian ini tidak memenuhi standar.

#### 4.3.2 Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap *Eye Pattern*

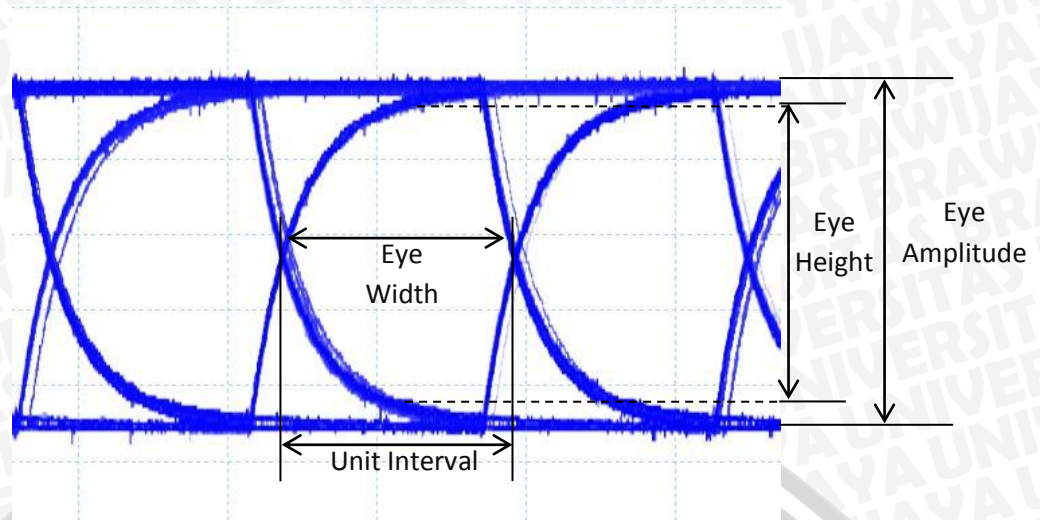
Kinerja POF dengan parameter yang diamati adalah bentuk *eye pattern* akan dibahas pada sub bab ini. *Eye pattern* merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja sistem transmisi digital. Tampilan osiloskop dari sinyal digital di-*sampling* beberapa kali untuk mendapatkan karakteristik sinyal tersebut. *Software* PicoScope 6.0 diperlukan untuk menampilkan keluaran sinyal dari PicoScope sehingga pengukuran variabel *eye pattern* dapat dilakukan.

Performansi kerja dapat didefinisikan oleh salah satu *eye mask* pada sinyal. *Eye mask* terdiri atas *eye height* dan *eye amplitude*. *Eye amplitude* menunjukkan daya sinyal informasi yang ditransmisikan dengan tidak memperhitungkan *noise*. *Eye height* yaitu *vertical eye opening* pada *eye diagram* sesuai pada Gambar 2.18. Perbedaan antara *eye amplitude* dan *eye height* yang semakin besar menunjukkan semakin besar *noise* pada transmisi data. Sistem transmisi pada keadaan ideal menunjukkan besar *eye height* sama dengan besar *eye amplitude*.

Pada *horizontal eye opening*, dapat dianalisis besar *eye width* yaitu bukaan terlebar pada *eye opening*. *Horizontal eye opening* menunjukkan ketepatan *timing* pada transmisi data. Sistem transmisi pada keadaan ideal menunjukkan besar *eye width* sama besar dengan satu *unit interval* atau menunjukkan *zero crossing point* yang tipis pada *eye pattern*.



**Gambar 4.23.** *Eye Pattern* Pada Temperatur  $20^{\circ}\text{C}$



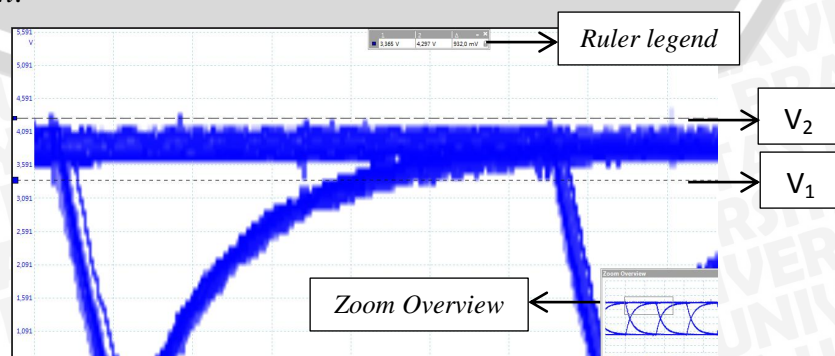
**Gambar 4.24.** *Eye Pattern* Pada Temperatur 65°C

Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 menunjukkan *eye pattern* pada suhu 20°C dan 65°C. Pada temperatur 20°C bentuk *eye pattern* memiliki *eye opening* terbuka dengan besar. Pada temperatur 65°C memiliki *eye opening* lebih kecil dan terdapat banyak *overshoot*, hal ini mengindikasikan adanya kesalahan seperti *noise*, *jitter*, dan *interference intersymbol (ISI)* pada *amplitude* dan *timing*.

Beberapa parameter kinerja yang dapat dihitung melalui bentuk *eye pattern* adalah *noise margin*, *signal to noise ratio*, *timing jitter*, dan *bit rate*. Perhitungan dan analisis untuk masing-masing parameter tersebut akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

1) *Noise Margin*

Nilai *noise margin* dihitung dengan menentukan nilai  $V_1$  dan  $V_2$ . nilai  $V_1$  ditentukan dari puncak sinyal *eye opening* dan  $V_2$  ditentukan dari bentuk *eye mask* pada sinyal maksimum. Nilai  $V_1$  dan  $V_2$  dapat diketahui dengan mengarahkan *signal rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai dari *signal rulers* ditampilkan dalam *ruler legend* di atas tampilan *eye pattern*.



**Gambar 4.25.** Menentukan nilai  $V_1$  dan  $V_2$  Pada Suhu 20°C



Sesuai Gambar 4.25 maka diketahui nilai  $V_1$  dan  $V_2$ .

$$V_1 = 3,365 \text{ V}$$

$$V_2 = 4,297 \text{ V}$$

Maka, perhitungan *noise margin* pada suhu 20°C, adalah:

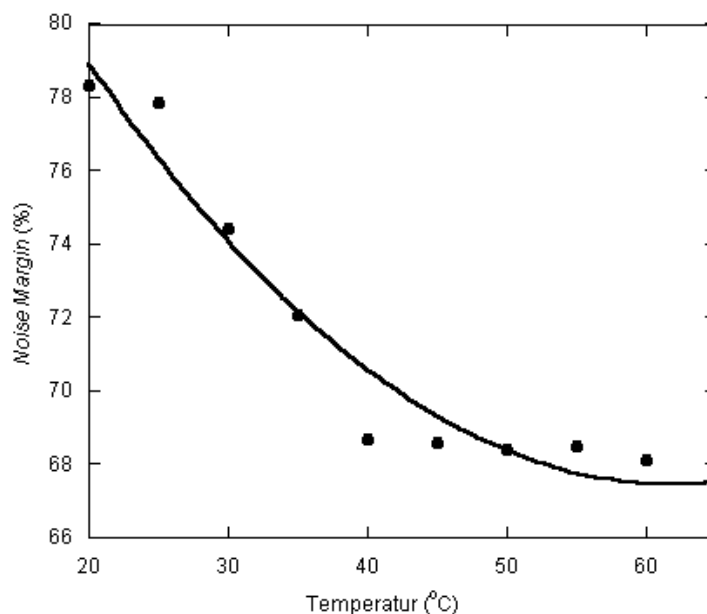
$$\text{Noise Margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% = \frac{3,365}{4,297} \times 100\% = 78,31\%$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat nilai *noise margin* pada setiap parameter temperatur yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Hasil Perhitungan *Noise Margin*

No.	Temperatur	$V_1$	$V_2$	Noise Margin
1.	20°C	3,365	4,297	78,31%
2.	25 °C	3,359	4,316	77,83%
3.	30 °C	3,247	4,365	74,39%
4.	35 °C	3,195	4,433	72,07%
5.	40 °C	3,084	4,489	68,70%
6.	45 °C	3,069	4,474	68,60%
7.	50 °C	3,089	4,517	68,39%
8.	55 °C	3,079	4,495	68,50%
9.	60 °C	2,986	4,384	68,11%
10.	65 °C	3,073	4,508	68,17%

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.26.



**Gambar 4.26.** Kurva Karakteristik *Noise Margin* terhadap Temperatur

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.26 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur maka kekebalan sistem terhadap *noise* akan turun. Kurva karakteristik *noise margin* terhadap temperatur turun secara eksponensial. *Noise margin* tertinggi yaitu pada suhu 25°C sebesar 78,31% dan terendah yaitu pada suhu 60°C sebesar 68,11%.

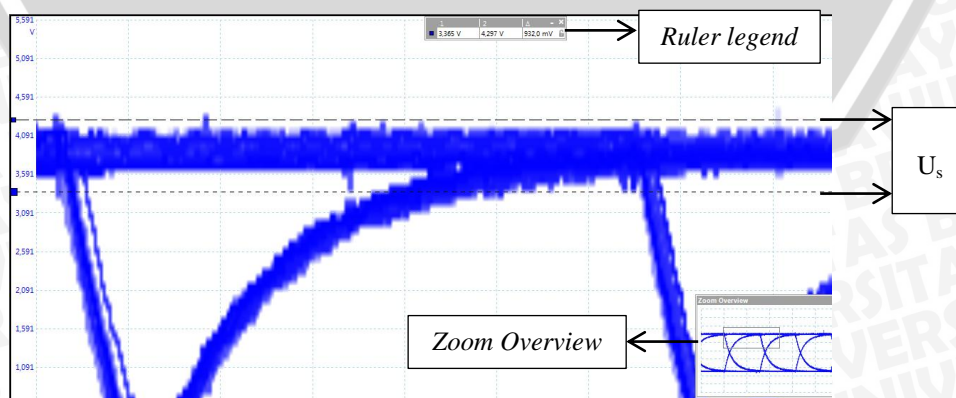
Kenaikan temperatur menyebabkan perubahan indeks bias pada serat optik. Persamaan (2-5) menunjukkan bahwa kenaikan temperatur antara 20°C sampai 65°C menyebabkan kenaikan indeks bias pada serat optik. Kenaikan indeks bias berpengaruh pada penjalaran cahaya pada proses transmisi, ditandai dengan perubahan perbedaan indeks bias relatif ( $\Delta$ ) dan nilai *Numerical Aperture* (NA).

Perubahan indeks bias relatif mengindikasikan adanya pelebaran pulsa atau dispersi. Dispersi yang mempengaruhi serat optik jenis multimode adalah dispersi intermodal dan dispersi material. Pelebaran pulsa menyebabkan level sinyal yang diterima menurun dan muncul *noise*. Gambar 2. 15 menjelaskan hubungan antara indeks bias dengan dispersi.

Nilai *noise margin* yang ideal adalah nilai *noise margin* yang tinggi sehingga menunjukkan kekebalan sinyal terhadap *noise* yang tinggi. Penurunan *noise margin* yang terjadi pada POF akibat pengaruh temperatur dikatakan baik dengan nilai *noise margin* berada di atas 65%.

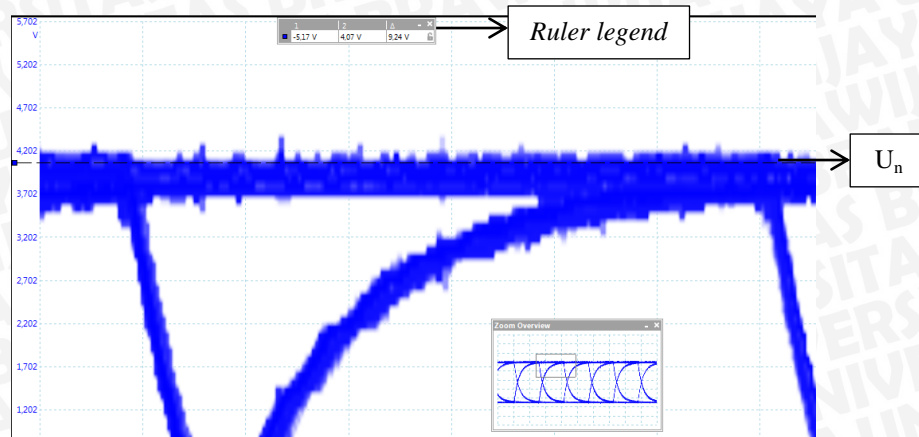
## 2) *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Nilai SNR dihitung dengan menentukan nilai  $U_s$  dan  $U_n$ . Nilai  $U_s$  ditentukan dari selesih  $V_1$  dan  $V_2$ , dan nilai  $U_n$  ditentukan dari besar *eye amplitude*. Nilai  $U_s$  dan  $U_n$  dapat diketahui dengan mengarahkan *signal rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai dari *signal rulers* ditampilkan dalam *ruler legend* di atas tampilan *eye pattern*.



(a)





(b)

**Gambar 4.27.** Menentukan nilai  $U_n$  (a) dan Menentukan nilai  $U_s$  (b)

Sesuai Gambar 4.27 maka diketahui nilai  $U_s$  dan  $U_n$ .

$$U_s = 9,241\text{V}$$

$$U_n = 0,932\text{ V}$$

Maka, perhitungan SNR:

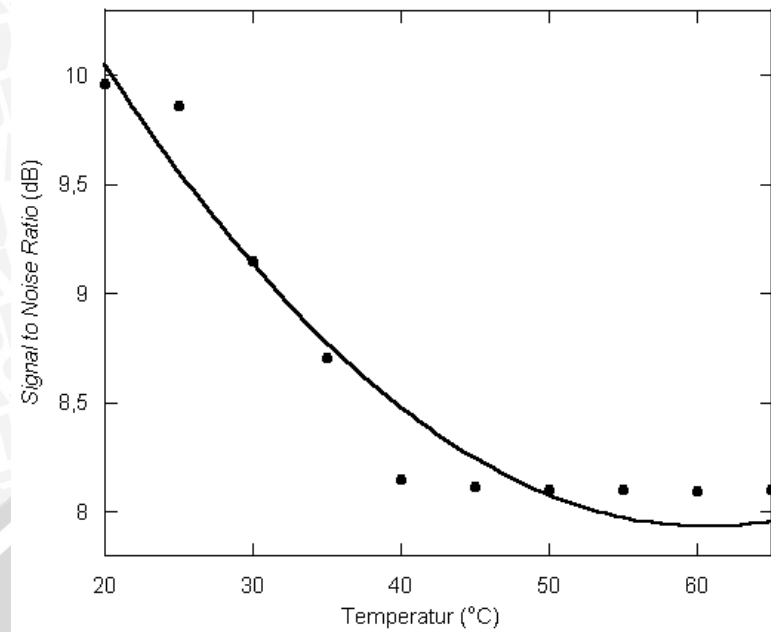
$$\text{SNR} = 10 \log \frac{U_s}{U_n} = 10 \log \frac{9,241}{0,932} = 9,96\text{dB}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat nilai *signal to noise ratio* pada setiap parameter temperatur seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Hasil Perhitungan SNR

No.	Temperatur	$U_n$	$U_s$	SNR (dB)
1.	20°C	0,932	9,241	9,963
2.	25°C	0,957	9,266	9,859
3.	30°C	1,118	9,187	9,147
4.	35°C	1,238	9,196	8,709
5.	40°C	1,405	9,178	8,151
6.	45°C	1,405	9,105	8,116
7.	50°C	1,428	9,219	8,099
8.	55°C	1,416	9,152	8,104
9.	60°C	1,398	9,02	8,096
10.	65°C	1,435	9,265	8,099

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.28.



**Gambar 4.28.** Kurva Karakteristik SNR terhadap Temperatur

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.28 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur maka perbandingan sinyal terhadap *noise* akan turun. Kurva karakteristik menunjukkan penurunan nilai SNR secara eksponensial terhadap kenaikan temperatur. SNR tertinggi yaitu pada suhu 20°C sebesar 9,96 dB dan terendah yaitu pada suhu 60°C sebesar 8,096 dB.

Penurunan nilai SNR memiliki penyebab yang sama dengan penurunan *noise margin*. Kenaikan temperatur menyebabkan kenaikan indeks bias, perbedaan indeks bias relatif ( $\Delta$ ) dan nilai *Numerical Aperture* (NA). Persamaan (2-9) menjelaskan bahwa kenaikan indeks bias relatif berbanding lurus dengan kenaikan dispersi. Pelebaran pulsa menyebabkan level sinyal yang diterima menurun dan muncul *noise*. Besarnya *noise* menyebabkan penurunan SNR.

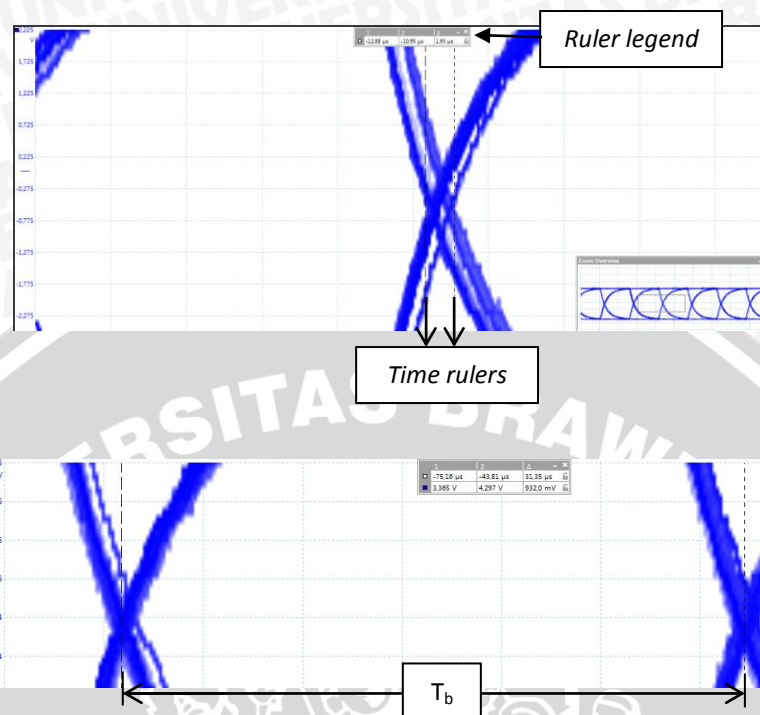
Konsekuensi yang terjadi pada penurunan SNR adalah naiknya nilai *error* sesuai dengan Persamaan (2-16). Nilai SNR yang semakin kecil mengakibatkan *error* pada sinyal transmisi. Nilai SNR yang diharapkan adalah nilai SNR yang tinggi sehingga menunjukkan *noise* yang kecil. Penurunan SNR yang terjadi pada POF akibat pengaruh temperatur dikatakan baik dengan nilai SNR berada di atas 8dB.

### 3) *Timing Jitter*

Nilai *timing jitter* dihitung dengan menentukan nilai jumlah distorsi ( $\Delta T$ ) dan *bit interval* ( $T_b$ ).  $\Delta T$  dan  $T_b$  ditentukan pada *eye mask* yaitu dengan menganalisis *zero*



*crossing variation*. Besar nilai  $\Delta T$  merupakan ketebalan *zero crossing variation* dan nilai  $T_b$  merupakan panjang horisontal pada sebuah *eye mask*.



**Gambar 4.29.** Menentukan  $\Delta T$  dan  $T_b$  Pada Suhu 20°C

Sesuai Gambar 4.29 maka diketahui:

$$\begin{aligned}\Delta T &= 12,88 - 10,95 \\ &= 1,93 \mu\text{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_b &= 75,16 - 43,81 \\ &= 31,35 \mu\text{s}\end{aligned}$$

Maka, perhitungan *timing jitter*:

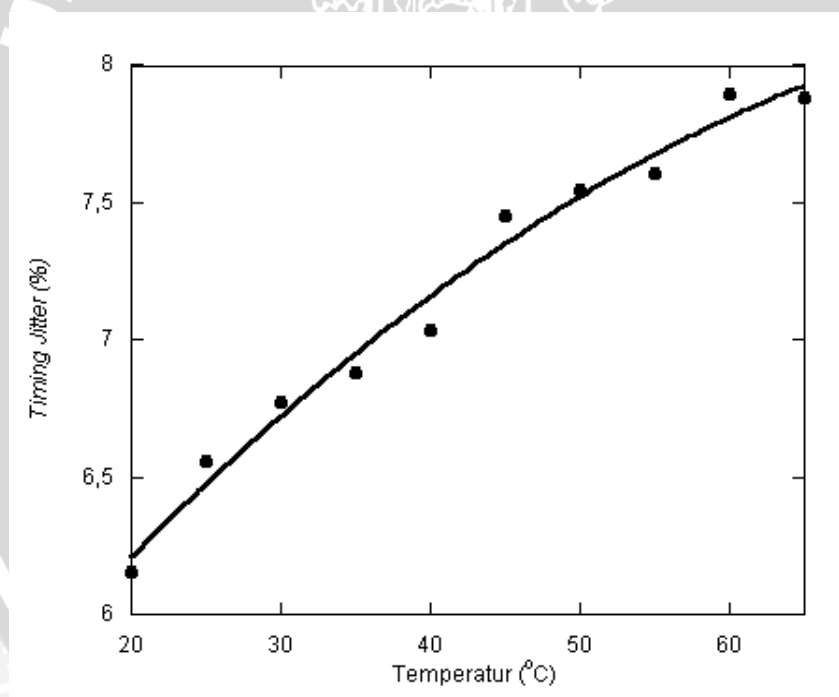
$$\text{Timing Jitter} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% = \frac{-1,93}{-31,35} \times 100\% = 6,156\%$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat nilai *timing jitter* pada setiap parameter temperatur pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5.** Hasil Perhitungan Timing Jitter

No.	Temperatur	$\Delta T$	$T_b$	Timing Jitter
1.	20°C	1,93	31,35	6,156%
2.	25°C	2,05	31,28	6,554%
3.	30°C	2,12	31,31	6,771%
4.	35°C	2,16	31,39	6,881%
5.	40°C	2,21	31,43	7,031%
6.	45°C	2,34	31,4	7,452%
7.	50°C	2,37	31,42	7,543%
8.	55°C	2,39	31,43	7,604%
9.	60°C	2,48	31,42	7,893%
10.	65°C	2,48	31,47	7,881%

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.30.

**Gambar 4.30.** Kurva Karakteristik Timing Jitter terhadap Temperatur

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.30 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin besar *timing jitter*. Berdasarkan kurva karakteristik, nilai *timing jitter* naik secara linier seiring dengan naiknya temperatur. *Timing jitter* terendah yaitu pada suhu 20°C sebesar 6,174% dan tertinggi yaitu pada suhu 65°C sebesar 7,868%.

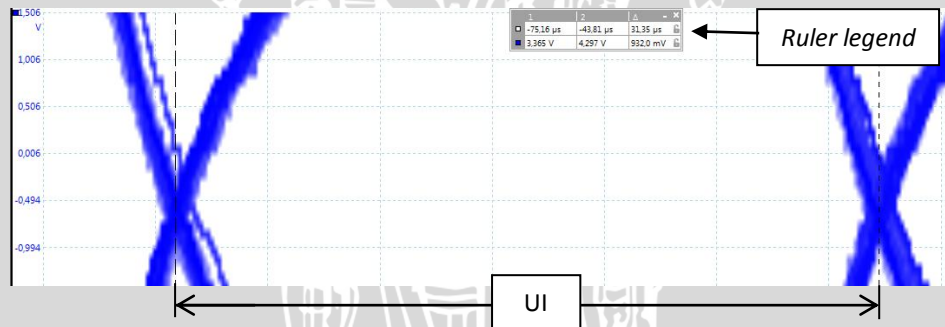


Perubahan nilai *timing jitter* yang terjadi disebabkan adanya perubahan indeks bias pada serat optik dengan temperatur tinggi. Kenaikan indeks bias berpengaruh pada penjalaran cahaya pada proses transmisi, ditandai dengan perubahan perbedaan indeks bias relatif ( $\Delta$ ) dan nilai *Numerical Aperture* (NA). Gambar 2.15. menjelaskan bahwa kenaikan indeks bias berbanding lurus dengan kenaikan dispersi. Pelebaran pulsa menyebabkan level amplitudo sinyal yang diterima menurun sehingga terjadi distorsi fasa.

Nilai *timing jitter* yang ideal yaitu nilai yang rendah atau hanya sedikit distorsi waktu yang terjadi dalam transmisi. Nilai *timing jitter* yang baik secara umum yaitu berada di bawah 30% dari bit interval. Pada penelitian ini menunjukkan *timing jitter* berada dalam keadaan baik yaitu di bawah 30%.

#### 4) *Bit Rate*

Untuk menentukan *bit rate* dengan analisis *eye pattern*, yang harus diperhatikan adalah *unit interval* (UI). *Unit interval* dapat dilihat dari panjang dua *zero crossing* sebuah *eye mask*. Menentukan *unit interval* pada *eye mask* ditunjukkan pada Gambar 4.31.



**Gambar 4.31.** Menentukan *Unit Interval* Pada Suhu 20°C

Sesuai Gambar 4.32 maka diketahui:

$$\begin{aligned} UI &= 75,16 - 43,81 \\ &= 31,35 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Maka, perhitungan *bit rate*:

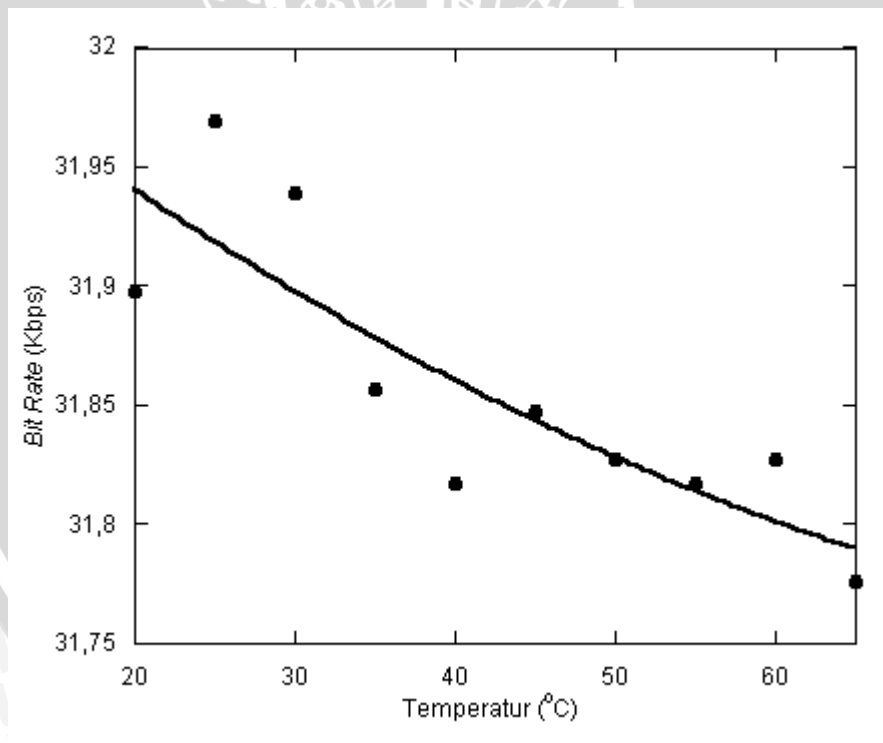
$$B_R = \frac{1}{UI} = \frac{1}{31,35} = 31,898$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat nilai *bit rate* pada setiap parameter temperatur pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6.** Hasil Perhitungan *Bitrate*

No.	Temperatur	UI	Bit Rate (Kbps)
1.	20°C	31,35	31,898
2.	25 °C	31,28	31,969
3.	30 °C	31,31	31,939
4.	35 °C	31,39	31,857
5.	40 °C	31,43	31,817
6.	45 °C	31,4	31,847
7.	50 °C	31,42	31,827
8.	55 °C	31,43	31,817
9.	60 °C	31,42	31,827
10.	65 °C	31,47	31,776

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.32.

**Gambar 4.32.** Kurva Karakteristik *Bit Rate* terhadap Temperatur

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.32 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin rendah nilai *bit rate*.



Sinyal yang dibangkitkan PRBS *generator* adalah 32Kbps, maka *bit rate* maksimum pada transmisi data adalah 32Kbps. Dari hasil pengukuran, transmisi data terbaik yaitu pada suhu 25°C sebesar 31,969 Kbps. Proses transmisi data masih dapat berlangsung sampai pada suhu 65°C dengan *bitrate* sebesar 31,776 Kbps. Pada penelitian ini tidak terdapat penurunan *bit rate* secara signifikan karena proses penjalaran sinyal cahaya masih dapat berlangsung.

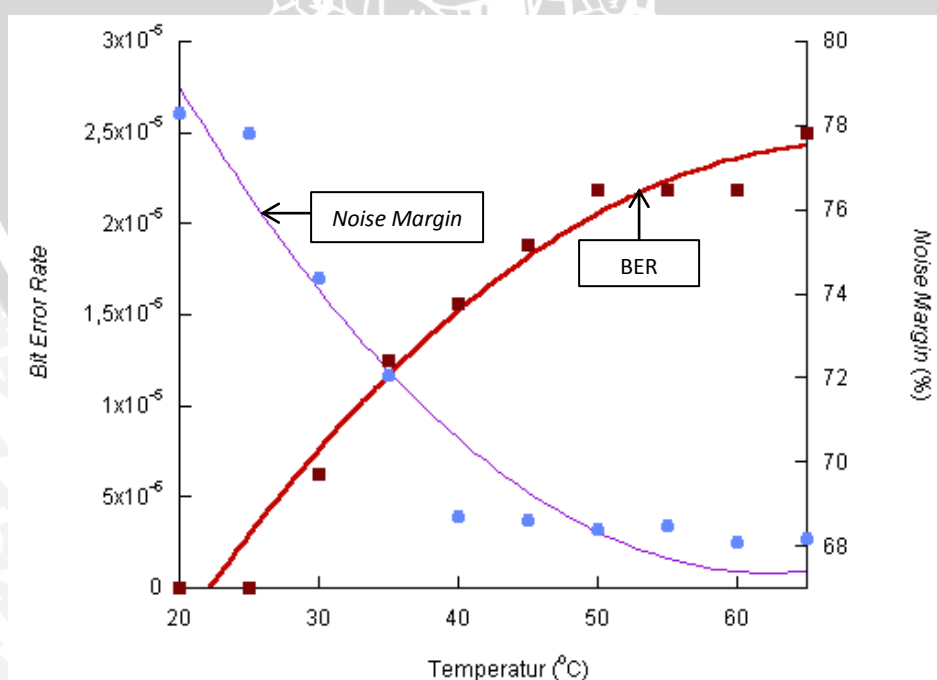
Standar IEC 60793-2-40 menjelaskan bahwa POF dapat mentransmisikan sinyal cahaya pada temperatur lebih kecil dari 85°C. Temperatur lebih tinggi dari 85°C akan membatasi transmisi data secara signifikan. Penurunan kinerja transmisi data tersebut disebabkan oleh kenaikan indeks bias sesuai dengan Persamaan (2-5) dengan kenaikan indeks bias sebesar  $1 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ . Transisi material akan dialami serat optik pada temperatur 115°C, hal ini menunjukkan POF tidak dapat mentransmisikan data.

#### 4.3.3 Hubungan Setiap Parameter Kinerja

Sub bab ini menjelaskan mengenai keterkaitan setiap parameter kinerja. Analisis hubungan parameter kinerja yang akan dilakukan meliputi *noise margin* dan BER, *noise margin* dan SNR, BER dan *timing jitter*, dan *timing jitter* dan SNR.

##### 1) *Noise Margin* dan BER

*Noise margin* dan BER adalah dua parameter kinerja pada sistem transmisi serat optik yang memiliki keterkaitan.



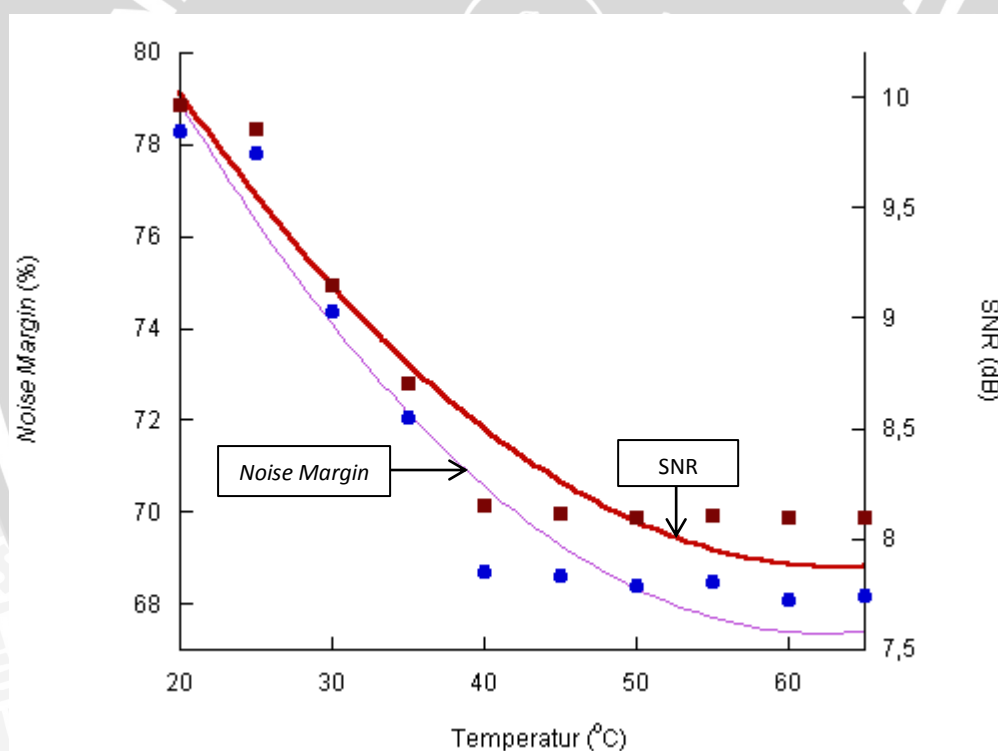
**Gambar 4. 33.** Kurva Karakteristik Hubungan *Noise Margin* dan BER Terhadap Pengaruh Temperatur

Gambar 4. 33 menunjukkan bahwa karakteristik BER terhadap kenaikan temperatur berbanding terbalik dengan kurva karakteristik *noise margin* terhadap kenaikan temperatur. Kenaikan temperatur antara 20°C sampai 65°C menyebabkan *noise* meningkat dilihat dari kurva karakteristik *noise margin* yang menurun. Sesuai dengan Persamaan (2-11) bahwa kenaikan besar *noise* menyebabkan penurunan *error probability* pada proses transmisi.

Performansi terbaik ditunjukkan pada temperatur 20°C dengan nilai BER adalah nol, dan nilai *noise margin* sebesar 78,31%. Performansi terendah ditunjukkan pada temperatur 65°C dengan nilai BER adalah  $2,5 \times 10^{-5}$ , dan *noise margin* sebesar 68,17%.

## 2) *Noise Margin* dan SNR

*Noise margin* dan SNR adalah dua parameter yang berhubungan dengan *noise*.



**Gambar 4.34.** Kurva Karakteristik Hubungan *Noise Margin* dan SNR Terhadap Pengaruh Temperatur

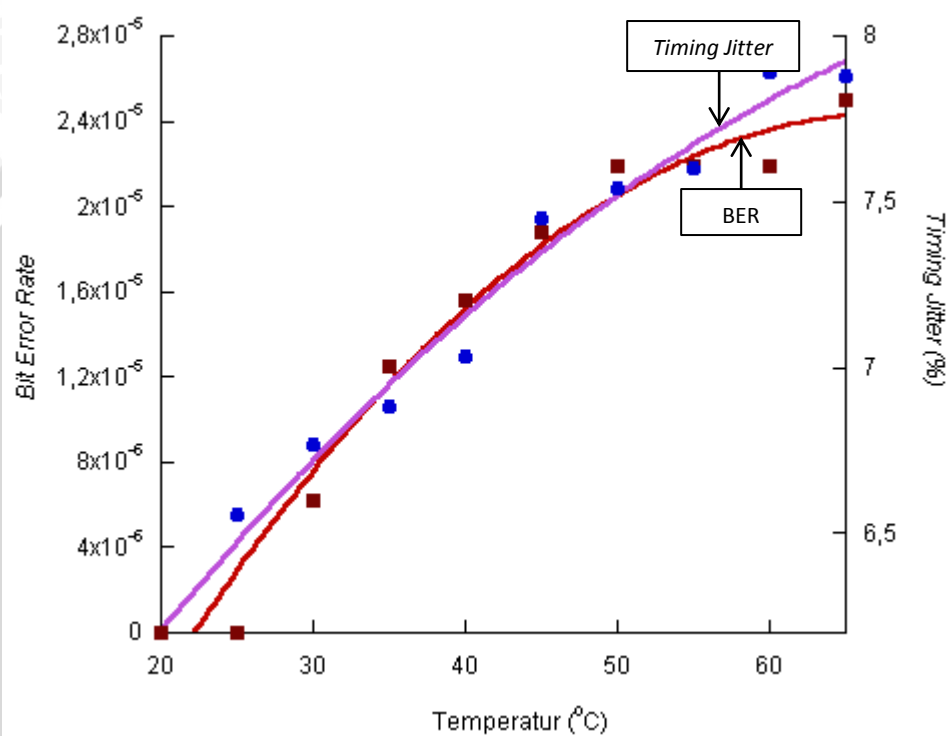
Gambar 4. 34 menunjukkan bahwa karakteristik *noise margin* terhadap kenaikan temperatur berbanding lurus dengan kurva karakteristik SNR terhadap kenaikan temperatur. Kenaikan temperatur antara 20°C sampai 65°C menunjukkan kenaikan besar *noise* pada transmisi data. Hal ini menyebabkan perbandingan sinyal transmisi terhadap sinyal *noise* menurun sehingga menurunnya kekebalan sinyal terhadap *noise*.



Pada penelitian ini kinerja maksimum *plastic optical fiber* yaitu pada suhu 20°C dengan *noise margin* 78,31% dan SNR 9,96 dB, sedangkan *noise* terbesar yaitu pada suhu 60°C dengan *noise margin* 68,11% dan SNR 8,09 dB.

### 3) BER dan *Timing Jitter*

BER dan *timing jitter* adalah dua parameter kinerja pada sistem transmisi serat optik yang memiliki keterkaitan.



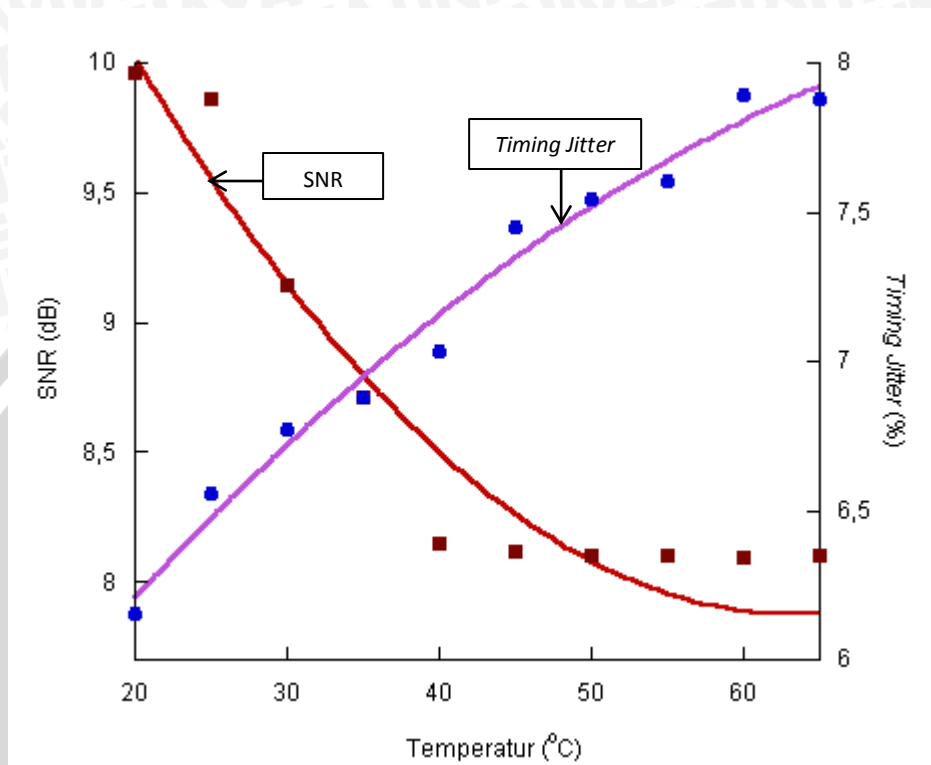
**Gambar 4.35.** Kurva Karakteristik Hubungan BER dan *Timing Jitter* Terhadap Temperatur

Gambar 4. 35 menunjukkan bahwa karakteristik BER terhadap kenaikan temperatur berbanding lurus dengan kurva karakteristik *timing jitter* terhadap kenaikan temperatur. Kenaikan temperatur antara 20°C sampai 65°C menyebabkan terjadinya distorsi waktu yang dihitung dalam *timing jitter*. *Jitter* pada transmisi sinyal digital menyebabkan *interference intersymbol* (ISI) pada level tegangan bit '0' dan bit '1' sehingga menyebabkan *error* bit pada sinyal yang diterima.

Performansi terbaik ditunjukkan pada temperatur 20°C dengan nilai BER adalah nol, dan nilai *timing jitter* sebesar 6,174%. Performansi terendah ditunjukkan pada temperatur 65°C dengan nilai BER adalah  $2,5 \times 10^{-5}$ , dan *noise margin* sebesar 7,868%.

#### 4) *Timing Jitter* dan SNR

*Timing jitter* dan SNR adalah dua parameter kinerja pada sistem transmisi serat optik yang memiliki keterkaitan.



**Gambar 4.36.** Kurva Karakteristik Hubungan SNR dan *Timing Jitter* Terhadap Temperatur

Gambar 4. 36 menunjukkan bahwa karakteristik SNR terhadap kenaikan temperatur berbanding terbalik dengan kurva karakteristik *timing jitter* terhadap kenaikan temperatur. Kenaikan temperatur antara 20°C sampai 65°C menunjukkan terjadinya distorsi fasa pada fungsi amplitudo dan waktu sesuai dengan persamaan (2-9). Pelebaran sinyal mengakibatkan penurunan level tegangan pada sinyal yang diterima sehingga munculnya *noise* dan *jitter*.

Performansi terbaik ditunjukkan pada temperatur 20°C dengan nilai SNR sebesar 9,963 dB, dan nilai *timing jitter* sebesar 6,156%. Performansi terendah ditunjukkan pada temperatur 65°C dengan nilai SNR sebesar 8,099 dB, dan *timing jitter* sebesar 7,881% .