

## BAB IV HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

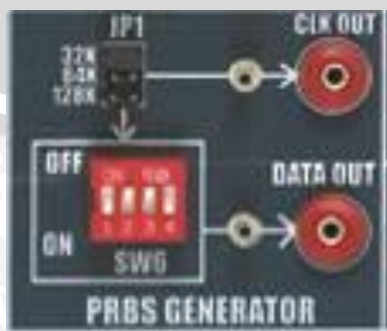
Bab IV menjelaskan hasil eksperimen dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan. Data yang disajikan dari hasil penelitian meliputi pengaruh temperatur yang divariasikan antara  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai  $25^{\circ}\text{C}$  terhadap BER dan *eye pattern*. Sistematika penyajian Bab IV terdiri atas konfigurasi perangkat eksperimen, prosedur pengambilan data, dan hasil eksperimen dan pembahasan.

### 4.1 Konfigurasi Perangkat Eksperimen

Perangkat yang digunakan dalam pengambilan data yaitu *transmitter*, *receiver*, *plastic optical fiber* (POF), *refregerator*, *eye pattern generator* dan osiloskop. Perangkat bantuan lainnya yaitu alkohol, termometer, multimeter, penutup akrilik dan lakban besar. 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.

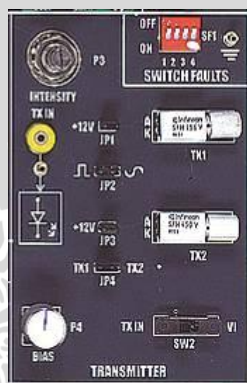


Gambar 4.1 PRBS Generator

(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.

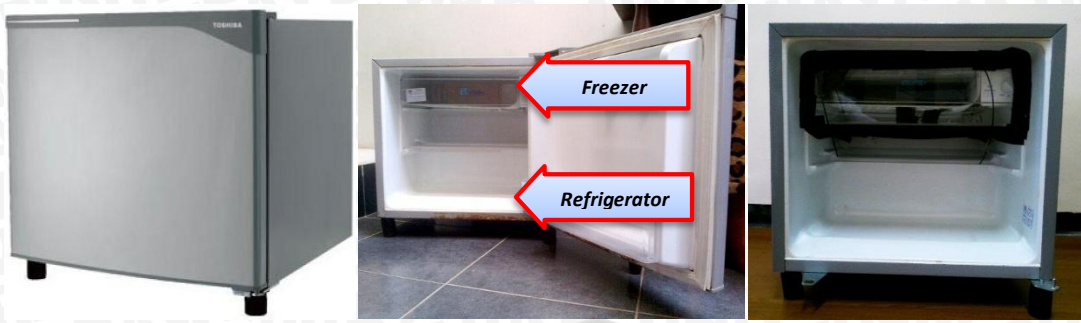


Gambar 4.2 Perangkat *Transmitter*

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

## 3) *Device Under Test*

*Device under test* terdiri atas *refegetator*, tutup akrilik, POF, dan termometer. *Refrigerator* adalah suatu alat atau mesin yang berfungsi untuk menyimpan makanan dalam suhu rendah sehingga makanan menjadi lebih awet dan segar. Pada *refrigerator* biasanya terdapat dua ruangan berbeda yaitu ruangan *refrigerator* dan ruangan *freezer*. Ruangan *refrigerator* digunakan untuk menyimpan makanan dalam waktu beberapa hari saja dengan *range* temperatur dari 2°C sampai 10°C, sedangkan ruangan *freezer* digunakan untuk membekukan makanan dengan *range* temperatur dari 0°C sampai -25°C. Untuk mendapatkan suhu rendah yang diinginkan dalam percobaan ini maka pemberian suhu pada POF akan difokuskan dalam ruangan *freezer* menggunakan akrilik sebagai penutupnya yang diberi lubang 2,2 mm sesuai diameter POF untuk menjaga ruangan *freezer* agar tidak terinfeksi suhu ruangan. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kulkas Mini Toshiba Glacio N9P

(Sumber: [www.toshiba.com](http://www.toshiba.com), 2015)

Dalam ruang *freezer* dilengkapi dengan termometer untuk mengukur suhu ruangan. Termometer yang digunakan adalah termometer raksa yang memiliki rentang suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai  $110^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan pengukuran akan dilakukan pada suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai  $25^{\circ}\text{C}$  dengan perubahan suhu setiap  $5^{\circ}\text{C}$ . Untuk memudahkan pengukuran, digunakan empat buah termometer dan dalam setiap pengukuran digunakan dua termometer. Termometer raksa ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Termometer Raksa

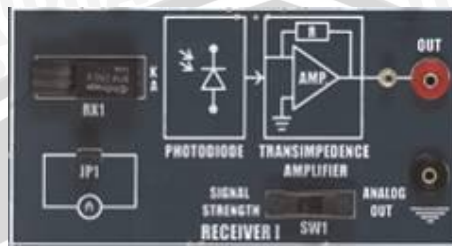
POF ditempatkan di dalam ruang *freezer*. POF yang akan diuji adalah jenis *step-index multimode* dengan indeks bias inti ( $n_1$ ) 1.492 dan indeks bias *cladding* ( $n_2$ ) 1.406. Material *core* didasarkan pada bahan *polimetilmetakrilat* (PMMA) dan lapisan tipis *cladding* dengan bahan *terfluorinasi* PMMA. Dalam penelitian ini digunakan POF dengan panjang 150 cm dengan bagian POF yang diberi pengaruh temperatur sepanjang 100 cm. Penggunaan POF ini sangat mudah karena tidak memerlukan perangkat khusus dalam instalasi. POF ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Plastic Optical Fiber

#### 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 4.6.



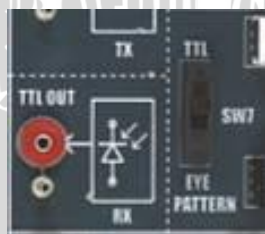
Gambar 4.6 Perangkat *Receiver*

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

#### 5) *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 4.7.



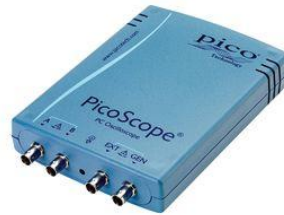
Gambar 4.7 Perangkat *Eye Pattern*

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

#### 6) *Oscilloscope*

Pada percobaan ini digunakan PC *Oscilloscope* 60MHz jenis PicoScope 2207. Osiloskop ini memiliki dua kanal masukan dan mendukung *external trigger*. Tampilan osiloskop terhubung dengan PC sehingga memudahkan proses penyimpanan dan pencetakan tampilan sinyal. Untuk penggunaan pada modul *Fiber Optic*

*Communication Lab*, kanal masukan pada osiloskop harus *ac coupled*, kecuali jika disebutkan. Gambar 4.8 menunjukkan perangkat PicoScope 2207.



Gambar 4.8 PicoScope 2207  
(Sumber: [www.picotech.com](http://www.picotech.com), 2015)

#### 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 4.9. POF harus dalam keadaan bersih sebelum dimasukkan ke dalam *connector*, hal ini dilakukan agar mengurangi *impurities* yang mengganggu penjalaran cahaya pada *core* dan *cladding*.



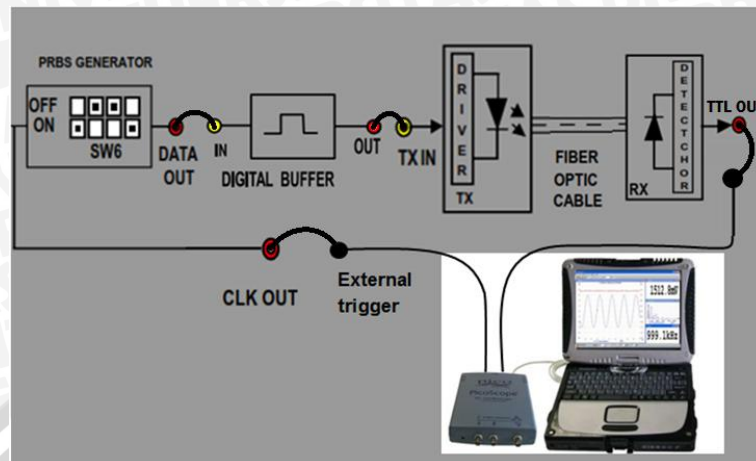
Gambar 4.9 Membersihkan POF

Kemudian *refrigerator* disusun sedemikian rupa sehingga menjadi tampak seperti pada Gambar 4.10 dengan menempatkan dua termometer di dalamnya dan melewatkan POF melalui lubang yang telah disiapkan, dan memastikan temperatur di dalam ruang *freezer* tidak terinterferensi suhu ruangan.



Gambar 4.10 Mempersiapkan Perangkat *Refrigerator*

Rangkaian perangkat sistem pengukuran *eye pattern* ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Konfigurasi Pengambilan Data *Eye Pattern*

Langkah perancangan perangkat dijelaskan sebagai berikut:

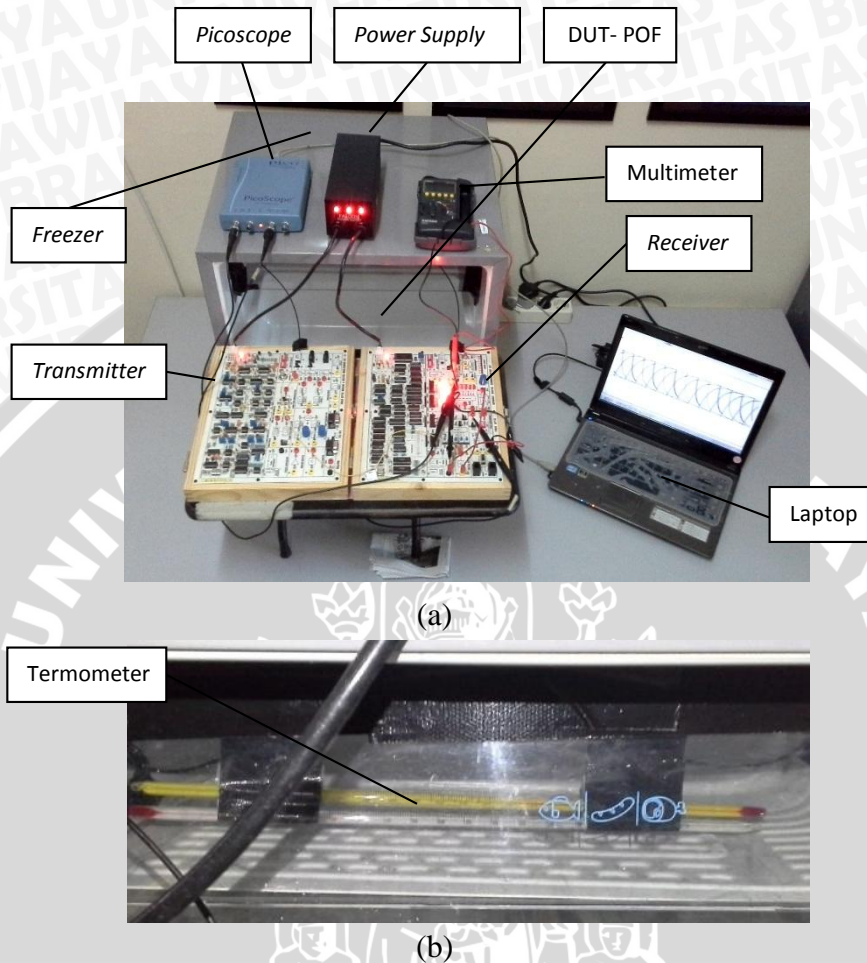
1. Hubungkan *Power Supply* dengan modul perangkat *transmitter* dan modul perangkat *receiver*, pastikan bahwa catu daya dalam posisi *off*.
2. Hubungkan keluaran *PRBS Generator* yaitu *DATA OUT* dengan *IN* pada *Digital Buffer*.
3. Hubungkan keluaran *Digital Buffer* dengan *TX IN* pada *LED SFH 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 *CLOCK OUT* pada *PRBS Generator* ke *external trigger*, kemudian hubungkan *TTL OUT* pada detektor optik dengan *channel A* pada osiloskop.
6. Pasang *refeferator*, penutup akrilik, dan termometer *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 4.12.



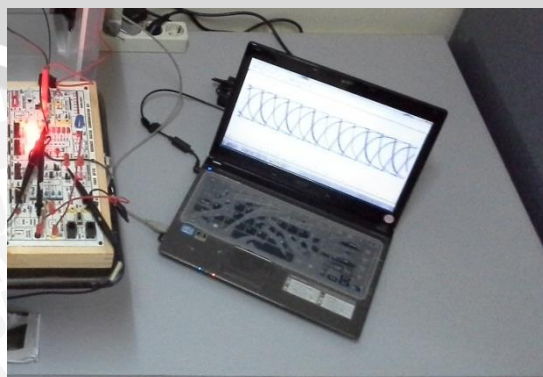
Gambar 4.12 Pengukuran Tegangan

Hasil konfigurasi perangkat dalam pengukuran *eye pattern* ditunjukkan pada Gambar 4.13. Setelah semua perangkat telah terhubung secara benar, catu daya dinyalakan.



Gambar 4.13 Konfigurasi Pengambilan Data *Eye Pattern* (a) DUT POF (b)

Pengambilan data dimulai pada suhu tinggi yaitu 25°C sampai -10°C dengan penurunan setiap 5°C. Catu daya *refrigerator* dihubungkan, dan diamati perubahan temperatur pada termometer. Data *eye pattern* yang ditampilkan osiloskop kemudian disimpan seperti pada Gambar 4.14. Data *eye pattern* diolah untuk mengetahui nilai *noise margin*, *signal to noise ratio*, *timing jitter*, dan *bit rate*.



Gambar 4.14 Data *Eye Pattern*

Setelah data *eye pattern* didapatkan dan dianalisis untuk mendapatkan nilai parameter-parameter kinerjanya, dilanjutkan dengan mencari nilai *bit error rate* dengan analisis pendekatan secara matematis terhadap nilai *bit rate* yang didapatkan dari analisis *eye pattern*.

### 4.3 Analisis Parameter Kinerja

Pada sub bab ini berisi hasil eksperimen kinerja POF jenis *step index multimode* dalam suhu rendah 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*.

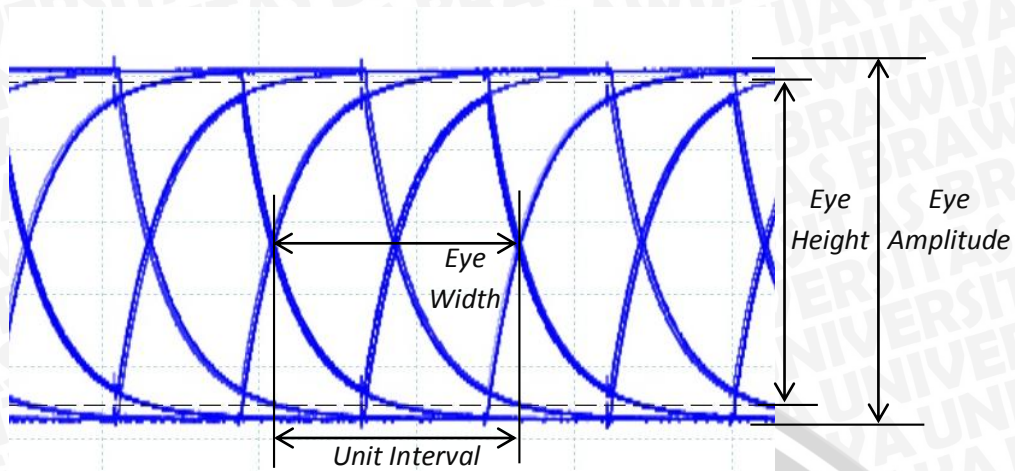
#### 4.3.1 Analisis Pengaruh Suhu Rendah Terhadap *Eye Pattern*

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. Pengambilan data *eye pattern* dilakukan setiap 10 detik untuk mendapatkan nilai getting time ( $\Delta t$ ) yang sama untuk mempermudah analisis.

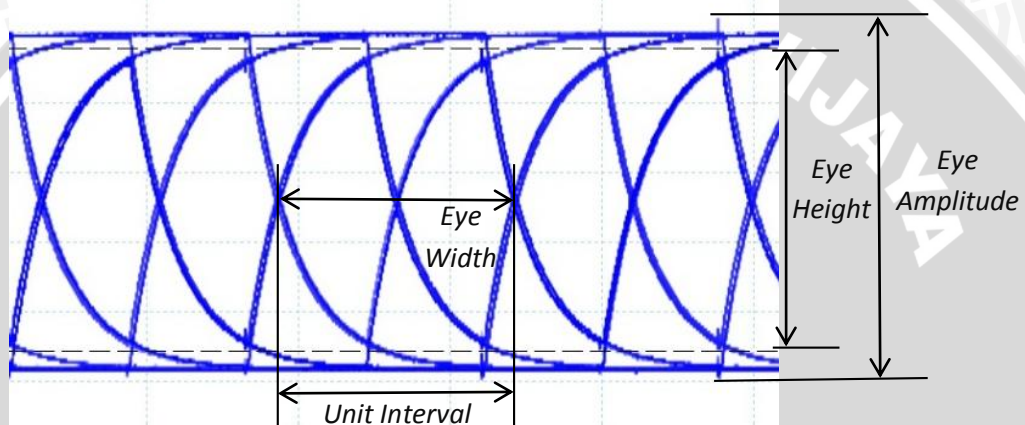
Performansi kerja dapat didefinisikan oleh salah satu *eye mask* pada sinyal. *Eye mask* terdiri atas *eye height* dan *eye amplitude*. *Eye amplitude* menunjukkan daya sinyal informasi yang ditransmisikan dengan memperhitungkan *noise*. *Eye height* yaitu *vertical eye opening* pada *eye diagram* sesuai pada Gambar 2.21. 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 4.15 Eye Pattern Pada Suhu 25°C



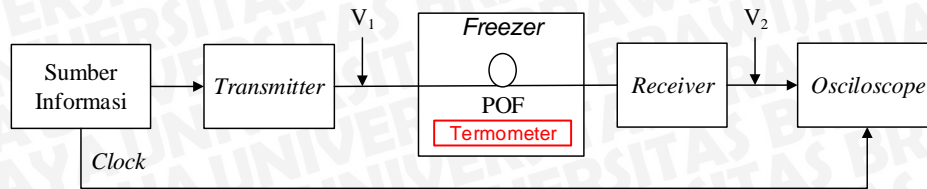
Gambar 4.16 Eye Pattern Pada Suhu -10°C

Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 menunjukkan *eye pattern* pada suhu 25°C dan -10°C. Pada temperatur 25°C bentuk *eye pattern* memiliki *eye opening* terbuka dengan besar dengan *overshoot* yang pendek. Pada temperatur -10°C memiliki *eye opening* lebih kecil dan terdapat *overshoot* yang lebih panjang, 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.

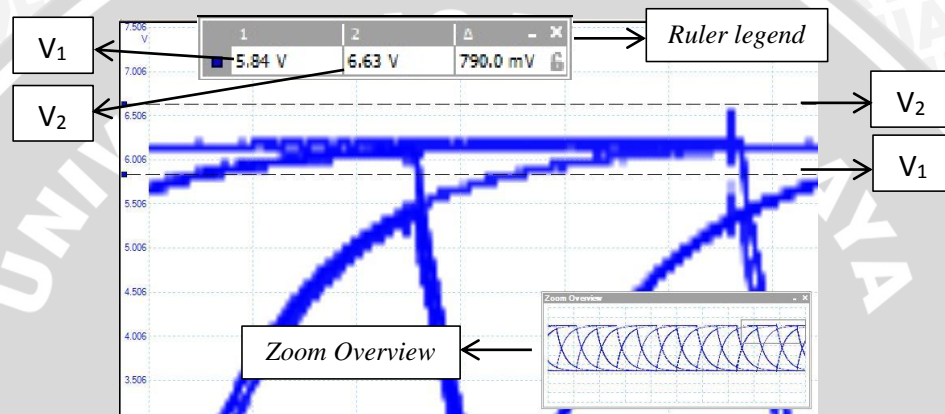
#### 4.3.1.1 Analisis Noise Margin pada Eye Pattern

Nilai *noise margin* dihitung dengan menentukan nilai  $V_1$  dan  $V_2$  pada *eye pattern*. Nilai  $V_1$  dan  $V_2$  didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai  $V_1$  dan  $V_2$

Pada tampilan *eye pattern* 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 4.18 Menentukan nilai  $V_1$  dan  $V_2$  Pada Suhu  $25^{\circ}\text{C}$

Sesuai Gambar 4.18 maka diketahui nilai  $V_1$  dan  $V_2$ .

$$V_1 = 5,84 \text{ V}$$

$$V_2 = 6,63 \text{ V}$$

Maka, perhitungan *noise margin* pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ , adalah:

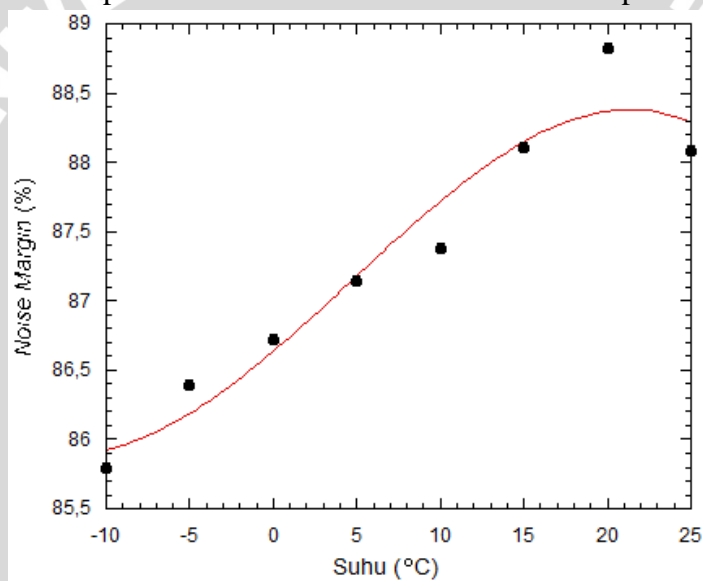
$$\text{Noise Margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% = \frac{5,84}{6,63} \times 100\% = 88,08\%$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat nilai *noise margin* pada setiap parameter suhu yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan *Noise Margin*

No.	Suhu (°C)	V <sub>1</sub> (Volt)	V <sub>2</sub> (Volt)	Noise Margin (%)
1.	25	5,84	6,63	88,08
2.	20	5,64	6,35	88,82
3.	15	5,63	6,39	88,11
4.	10	5,61	6,42	87,38
5.	5	5,63	6,46	87,15
6.	0	5,55	6,4	86,72
7.	-5	5,65	6,54	86,39
8.	-10	5,56	6,48	85,80

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.19.

Gambar 4.19 Kurva Karakteristik *Noise Margin* Terhadap Suhu

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.19 terlihat bahwa *noise margin* tertinggi pada suhu 20°C sebesar 88,82%, semakin rendah dan semakin tinggi suhu dari 20°C maka ketahanan sistem terhadap *noise* akan turun. *Noise margin* terendah terjadi pada suhu -10°C sebesar 85,80%.

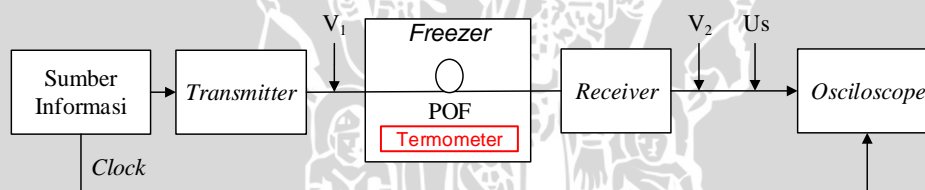
Perubahan suhu yang signifikan menyebabkan perubahan material pada *core* dan *cladding*. Perubahan suhu menyebabkan perubahan indeks bias pada serat optik. Persamaan (2-4) menunjukkan bahwa penurunan suhu antara 25°C sampai -10°C menyebabkan perubahan indeks bias serat optik. Indeks bias paling ideal pada suhu 20°C karena susunan material bahan paling baik. Perubahan 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 akibat banyaknya moda yang menjalar dalam serat *multimode* dan dispersi material akibat adanya variasi indeks bias terhadap panjang gelombang, hal ini menimbulkan variasi kecepatan moda. Pelebaran pulsa menyebabkan level sinyal yang diterima menurun dan ketahanan sinyal terhadap *noise* menurun. Gambar 2.14 menjelaskan hubungan antara indeks bias dengan dispersi.

Nilai *noise margin* yang ideal adalah nilai *noise margin* yang tinggi sehingga menunjukkan ketahanan 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%.

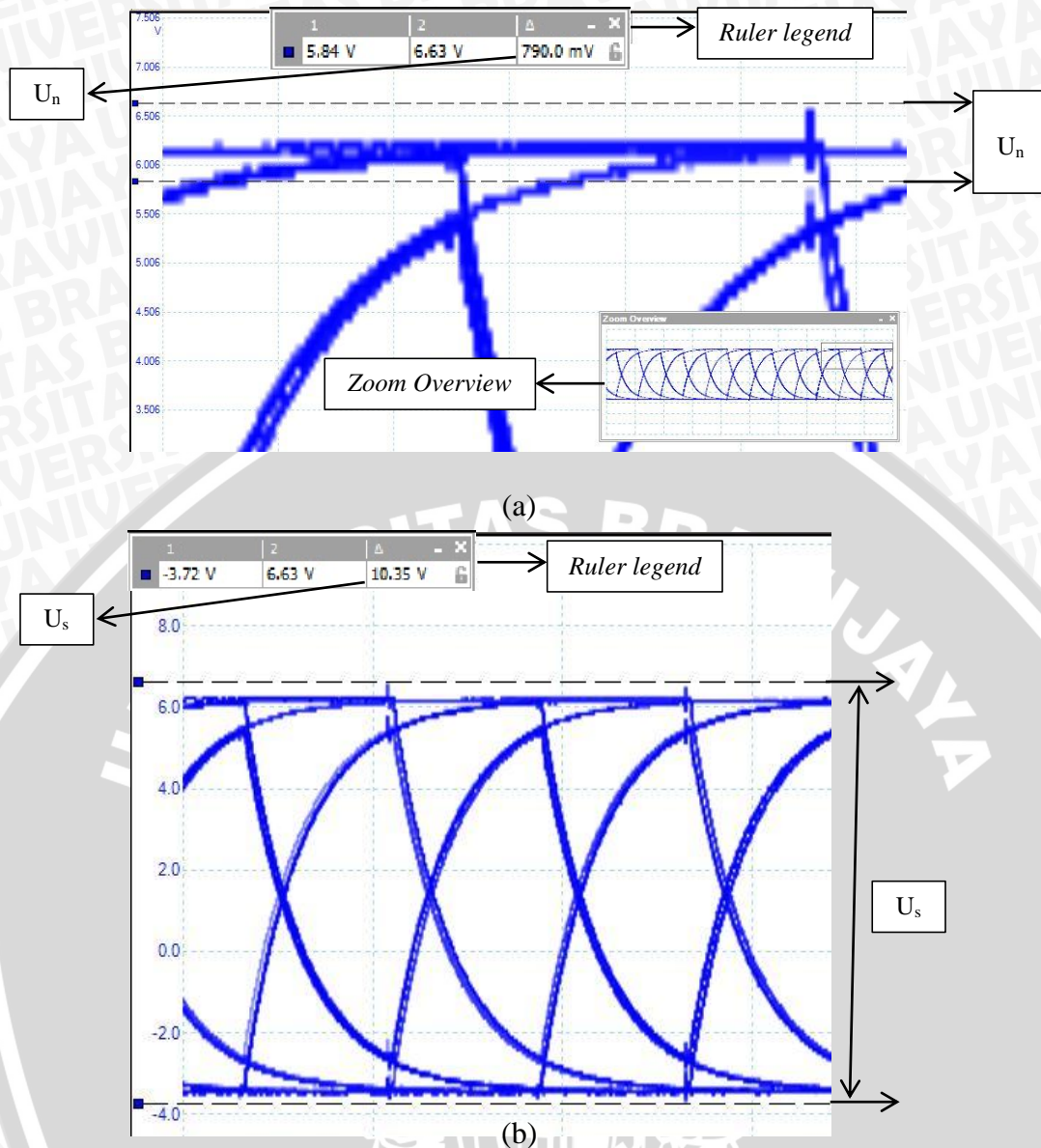
#### 4.3.1.2 Analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada *Eye Pattern*

Nilai SNR dihitung dengan menentukan nilai  $U_n$  dan  $U_s$  pada *eye pattern*. Nilai  $U_n$  merupakan tegangan *noise* yang merupakan selisih  $V_1$  dan  $V_2$ , sedangkan nilai  $U_s$  merupakan besarnya *eye amplitude*. Nilai  $V_1$ ,  $V_2$ , dan  $U_s$  didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai  $V_1$ ,  $V_2$ , dan  $U_s$

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*.



Gambar 4.21 Menentukan nilai  $U_n$  (a) dan Menentukan nilai  $U_s$  (b)

Sesuai Gambar 4.21 maka diketahui nilai  $U_s$  dan  $U_n$ .

$$U_s = 6,63 - (-3,72)$$

$$= 10,35 \text{ V}$$

$$U_n = 6,63 - 5,84$$

$$= 0,79 \text{ V}$$

Maka, perhitungan SNR:

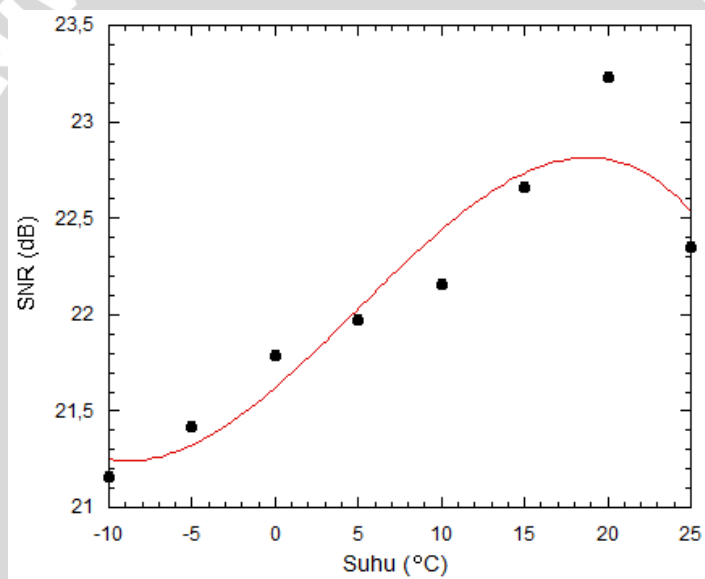
$$\text{SNR} = 20 \log \frac{U_s}{U_n} = 20 \log \frac{10,35}{0,79} = 22,35 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat nilai *signal to noise ratio* pada setiap parameter temperatur seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan SNR

No.	Suhu (°C)	$U_n$ (Volt)	$U_s$ (Volt)	SNR (dB)
1.	25	0,79	10,35	22,35
2.	20	0,71	10,3	23,23
3.	15	0,76	10,32	22,66
4.	10	0,81	10,39	22,16
5.	5	0,83	10,41	21,97
6.	0	0,85	10,45	21,79
7.	-5	0,89	10,48	21,42
8.	-10	0,92	10,51	21,16

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Kurva Karakteristik SNR Terhadap Suhu

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.22 terlihat bahwa SNR tertinggi yaitu pada suhu 20°C sebesar 23,23 dB, semakin rendah dan semakin tinggi suhu dari 20°C maka perbandingan sinyal terhadap *noise* akan turun. Kurva karakteristik menunjukkan penurunan nilai SNR secara eksponensial terhadap perubahan suhu dan SNR terendah terjadi pada suhu -10°C sebesar 21,16 dB.

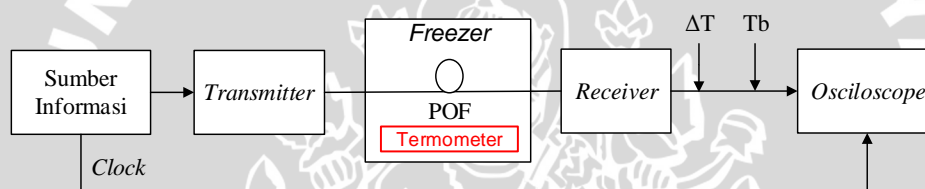
Penurunan nilai SNR memiliki penyebab yang sama dengan penurunan *noise margin*. Perubahan suhu menyebabkan perubahan indeks bias, perbedaan indeks bias relatif ( $\Delta$ ) dan nilai *Numerical Aperture* (NA). Persamaan (2-8) menjelaskan bahwa kenaikan indeks bias relatif berbanding lurus dengan kenaikan dispersi. Pelebaran pulsa

menyebabkan level sinyal yang diterima menurun dan ketahanan sinyal terhadap *noise* menurun, sedangkan level *noise* naik. Besarnya level *noise* menyebabkan penurunan SNR.

Konsekuensi yang terjadi pada penurunan SNR adalah naiknya nilai *error* sesuai dengan Persamaan (2-15). 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 perubahan suhu dikatakan baik dengan nilai SNR berada di atas 8 dB.

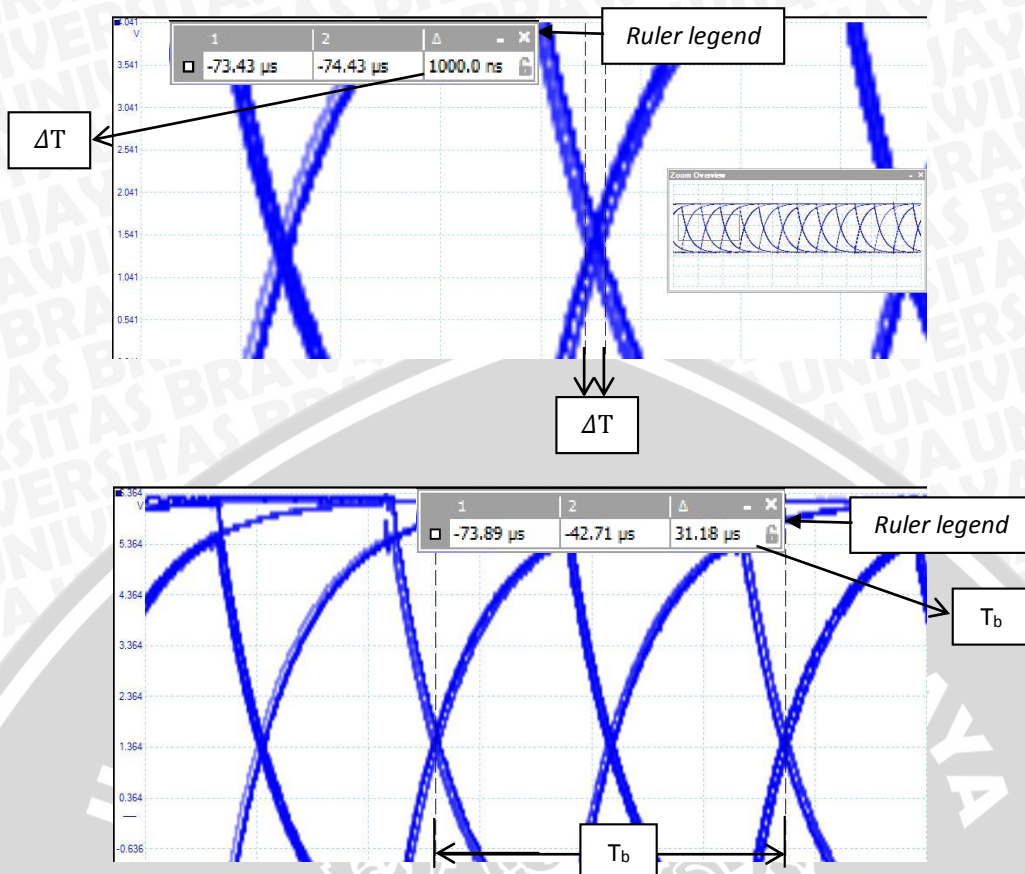
#### 4.3.1.3 Analisis *Timing Jitter* pada *Eye Pattern*

Nilai *timing jitter* dihitung dengan menentukan nilai jumlah distorsi ( $\Delta T$ ) dan *bit interval* ( $T_b$ ) pada *eye pattern*. Nilai  $\Delta T$  dan  $T_b$  didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai  $\Delta T$  dan  $T_b$

Nilai  $\Delta T$  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 4.24 Menentukan  $\Delta T$  dan  $T_b$  Pada Suhu 25°C

Sesuai Gambar 4.24 maka diketahui:

$$\Delta T = -73,4 - (-74,4)$$

$$= 1 \mu s$$

$$T_b = -42,6 - (-73,98)$$

$$= 31,38 \mu s$$

Maka, perhitungan *timing jitter*:

$$\text{Timing Jitter} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% = \frac{1}{31,18} \times 100\% = 3,21\%$$

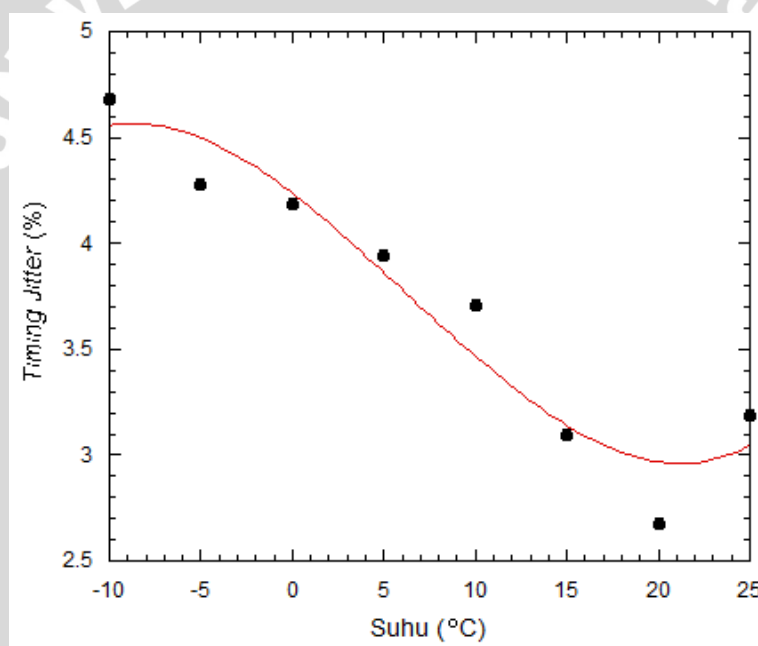
Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat nilai *timing jitter* pada setiap parameter temperatur pada Tabel 4.3.



Tabel 4.3 Hasil Perhitungan *Timing Jitter*

No.	Temperatur (°C)	$\Delta T$ ( $\mu s$ )	$T_b$ ( $\mu s$ )	Timing Jitter (%)
1.	25	1	31,38	3,19
2.	20	0,84	31,29	2,68
3.	15	0,97	31,34	3,10
4.	10	1,17	31,43	3,72
5.	5	1,24	31,49	3,94
6.	0	1,32	31,54	4,19
7.	-5	1,35	31,57	4,28
8.	-10	1,48	31,63	4,68

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.25.

Gambar 4.25 Kurva Karakteristik *Timing Jitter* Terhadap Suhu

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.25 terlihat bahwa bahwa *timing jitter* terendah yaitu pada suhu 20°C sebesar 2,68%, semakin rendah dan semakin tinggi suhu dari 20°C maka nilai *timing jitter* akan naik. Kurva karakteristik menunjukkan kenaikan nilai *timing jitter* secara eksponensial terhadap perubahan suhu dan *timing jitter* tertinggi terjadi pada suhu -10°C sebesar 4,68 %.

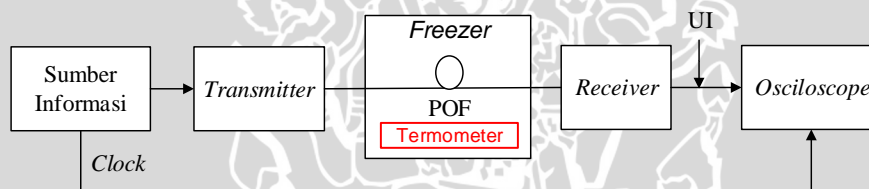
Perubahan nilai *timing jitter* yang terjadi disebabkan adanya perubahan indeks bias pada serat optik akibat perubahan suhu. Indeks bias paling ideal pada suhu 20°C

karena susunan material bahan paling baik Perubahan indeks bias berpengaruh pada penjalaran cahaya pada proses transmisi, ditandai dengan perubahan perbedaan indeks bias relatif ( $\Delta$ ) dan nilai *Numerical Aperture* (NA). Gambar 2.14 menjelaskan bahwa perubahan indeks bias berbanding lurus dengan perubahan 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%.

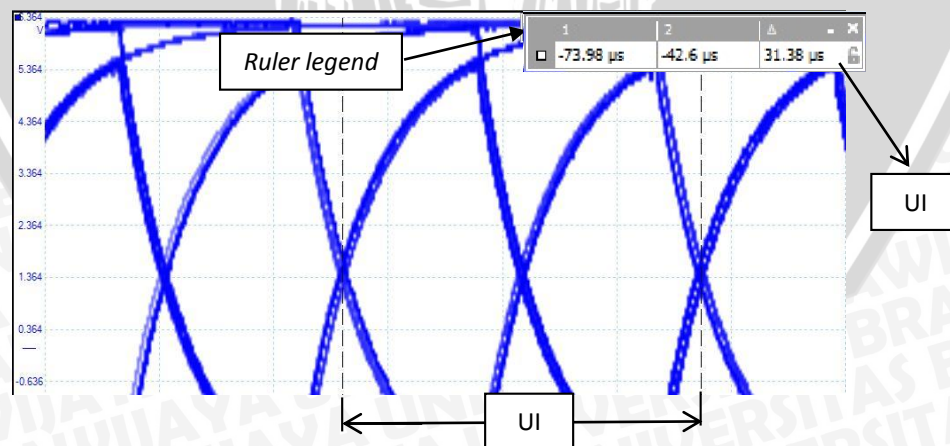
#### 4.3.1.4 Analisis *Bit Rate* pada *Eye Pattern*

Untuk menentukan *bit rate* dengan analisis *eye pattern*, yang harus diperhatikan adalah *unit interval* (UI) pada *eye pattern*. Nilai UI didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai UI

. *Unit interval* dapat dilihat dari panjang dua *zero crossing* sebuah *eye mask*. Menentukan *unit interval* pada *eye mask* ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Menentukan *Unit Interval* Pada Suhu 25°C

Sesuai Gambar 4.27 maka diketahui:

$$\begin{aligned} UI &= -42,6 - (-73,98) \\ &= 31,38 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Maka, perhitungan *bit rate*:

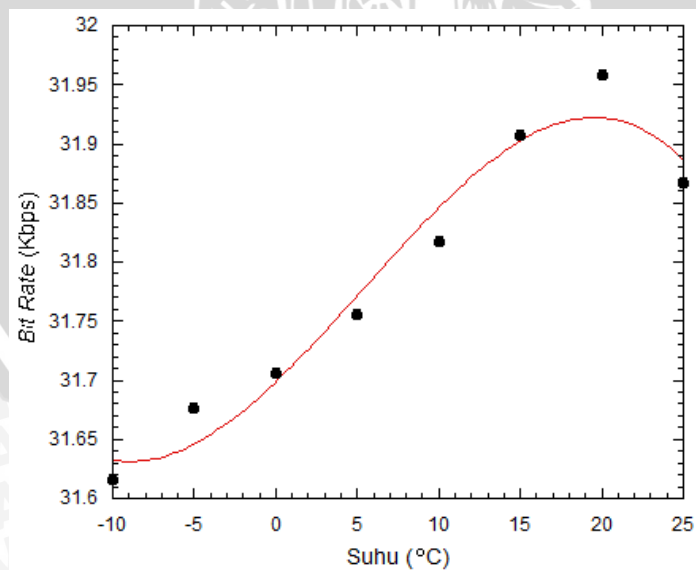
$$B_R = \frac{1}{UI} = \frac{1}{31,38} = 31,867 \text{ Kbps}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat nilai *bit rate* pada setiap parameter temperatur pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan *Bit Rate*

No.	Temperatur (°C)	UI (μs)	<i>Bit Rate</i> (Kbps)
1.	25	31,38	31,867
2.	20	31,29	31,959
3.	15	31,34	31,908
4.	10	31,43	31,817
5.	5	31,49	31,756
6.	0	31,54	31,706
7.	-5	31,57	31,676
8.	-10	31,63	31,616

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Kurva Karakteristik *Bit Rate* Terhadap Suhu

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.28 terlihat bahwa nilai *bit rate* tertinggi yaitu pada suhu 20°C sebesar 31,959

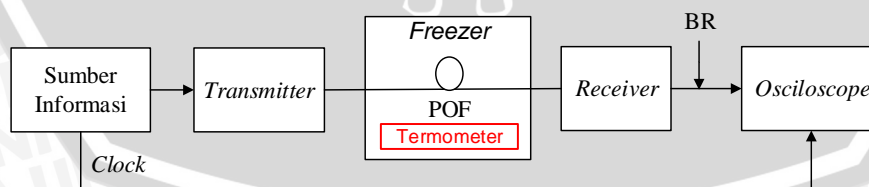
Kbps, semakin rendah dan semakin tinggi suhu dari 20°C maka nilai *bit rate* akan turun. Kurva karakteristik menunjukkan perubahan *bit rate* secara eksponensial terhadap perubahan suhu dan *bit rate* terendah terjadi pada suhu -10°C sebesar 31,616 Kbps.

Sinyal yang dibangkitkan PRBS *generator* adalah 32 Kbps, maka *bit rate* maksimum pada transmisi data adalah 32 Kbps. Penelitian ini bersifat eksperimen untuk mengetahui kinerja POF dalam *bit rate* rendah. Dari hasil pengukuran, transmisi data terbaik yaitu pada suhu 20°C sebesar 31,959 Kbps. Proses transmisi data masih dapat berlangsung sampai pada suhu -10°C dengan *bit rate* sebesar 31,616 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 perubahan indeks bias sesuai dengan Persamaan (2-4). Transisi material akan dialami serat optik pada temperatur 115°C, hal ini menunjukkan POF tidak dapat mentransmisikan data.

#### 4.3.2 Analisis Pengaruh Suhu Rendah Terhadap *Bit Error Rate*

Kinerja POF dengan parameter BER akan dibahas pada sub bab ini. Untuk mendapatkan nilai BER akan dilakukan dengan cara perhitungan melalui pendekatan matematis terhadap nilai *bit rate* sesuai persamaan (2-10). Dalam pengambilan data *eye pattern*, karakteristik *eye pattern* di-sampling setiap 10 detik ( $\Delta t$ ) sedangkan nilai *bit rate* didapatkan dari analisis *eye pattern* yang telah dilakukan. Nilai BR didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai BR

Pada temperatur 25°C diketahui nilai *bit rate* adalah 31,867 Kbps, sehingga perhitungan BER pada kondisi tersebut ialah:

$$31,867 \text{ Kbps} = 31867 \text{ bps}$$

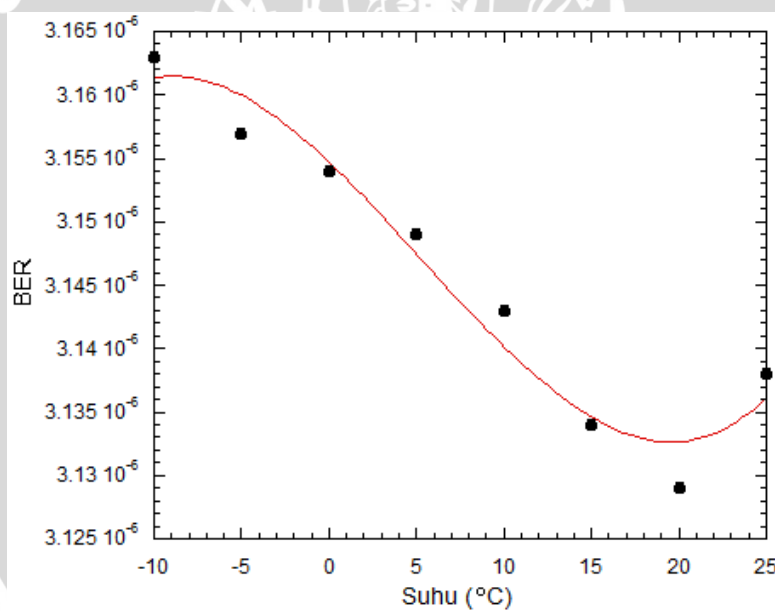
$$BER = \frac{1}{\Delta t \times BR} = \frac{1}{10 \times 31867} = 3,1380 \times 10^{-6}$$

Dengan cara perhitungan yang sama didapat nilai BER pada setiap perubahan temperatur, ditunjukkan dengan jelas pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran BER

No.	Temperatur (°C)	BER
1.	25	$3,1380 \times 10^{-6}$
2.	20	$3,1290 \times 10^{-6}$
3.	15	$3,1340 \times 10^{-6}$
4.	10	$3,1430 \times 10^{-6}$
5.	5	$3,1490 \times 10^{-6}$
6.	0	$3,1540 \times 10^{-6}$
7.	-5	$3,1570 \times 10^{-6}$
8.	-10	$3,1630 \times 10^{-6}$

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.29.



Gambar 4.30 Kurva Karakteristik BER Terhadap Suhu

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.30 terlihat bahwa nilai BER terendah yaitu pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  sebesar  $3,1290 \times 10^{-6}$  yang artinya setiap  $10^9$  bit data yang ditransmisikan terdapat 3129 bit data yang salah, semakin rendah dan semakin tinggi suhu dari  $20^{\circ}\text{C}$  maka nilai BER akan naik. Kurva karakteristik menunjukkan perubahan BER secara eksponensial terhadap perubahan suhu dan BER tertinggi terjadi pada suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  sebesar  $3,1630 \times 10^{-6}$  yang artinya setiap  $10^9$  bit data yang ditransmisikan terdapat 3163 bit data yang salah.

Menurut persamaan (2-4), perubahan suhu mengindikasikan perubahan indeks bias. Indeks bias paling ideal pada suhu 20°C karena susunan material bahan paling baik. Fenomena ini menyebabkan terjadinya dispersi yaitu pelebaran pulsa yang disebabkan oleh perubahan perbedaan indeks bias relatif pada proses transmisi. Pelebaran pulsa pada sinyal menyebabkan *interferensi intersymbol* (ISI) sehingga terjadinya *error bit* akibat kesalahan pembacaan bit informasi yang ditransmisikan.

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.

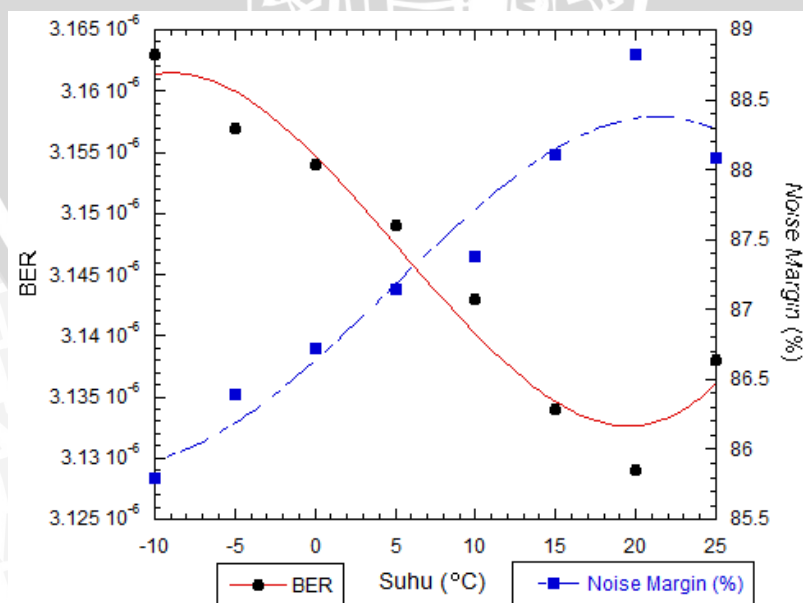
Dapat disimpulkan bahwa kinerja POF pada suhu 25°C sampai -10°C masih belum ideal pada transmisi data karena nilai BER belum memenuhi standar yang telah ditetapkan ITU- T G.691, ITU- T G.692 dan ITU- T G.693, yaitu kurang dari  $10^{-12}$  karena nilai redaman pada POF masih lebih besar dibanding serat optik bahan silika.

#### 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.



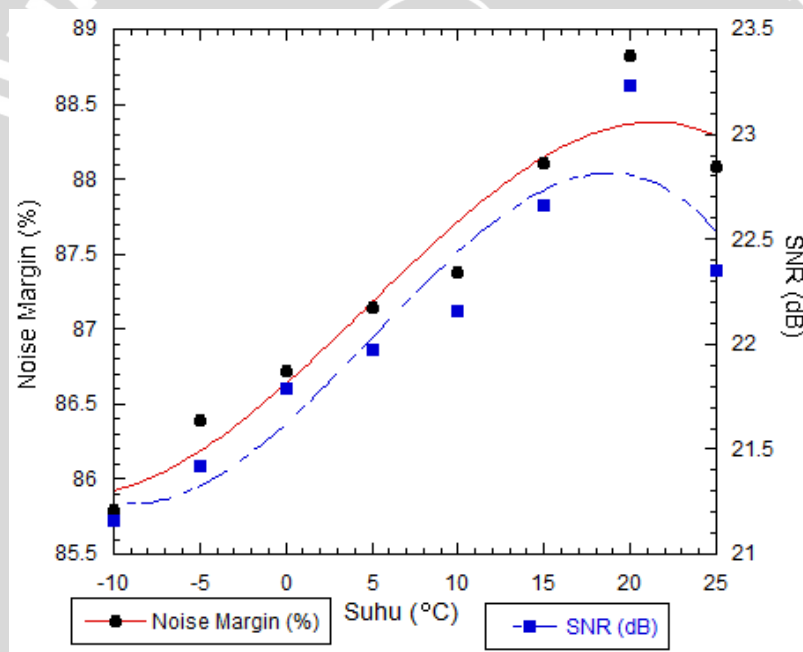
Gambar 4. 31 Kurva Karakteristik Hubungan *Noise Margin* dan BER Terhadap Pengaruh Suhu

Gambar 4.31 menunjukkan bahwa karakteristik BER terhadap perubahan suhu berbanding terbalik dengan kurva karakteristik *noise margin* terhadap perubahan suhu. Penurunan suhu menyebabkan *noise* meningkat dilihat dari kurva karakteristik *noise margin* yang menurun. Sesuai dengan Persamaan (2-11) bahwa kenaikan besar *noise* menyebabkan kenaikan *error probability* pada proses transmisi.

Performansi terbaik ditunjukkan pada temperatur 20°C karena indeks bias material paling ideal pada suhu 20°C akibat susunan material bahan paling baik dengan nilai BER adalah  $3,1290 \times 10^{-6}$ , dan nilai *noise margin* sebesar 88,82%. Performansi terendah ditunjukkan pada temperatur -10°C dengan nilai BER adalah  $3,1630 \times 10^{-6}$ , dan *noise margin* sebesar 85,80%.

## 2) *Noise Margin* dan SNR

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



Gambar 4.32 Kurva Karakteristik Hubungan *Noise Margin* dan SNR Terhadap Pengaruh Suhu

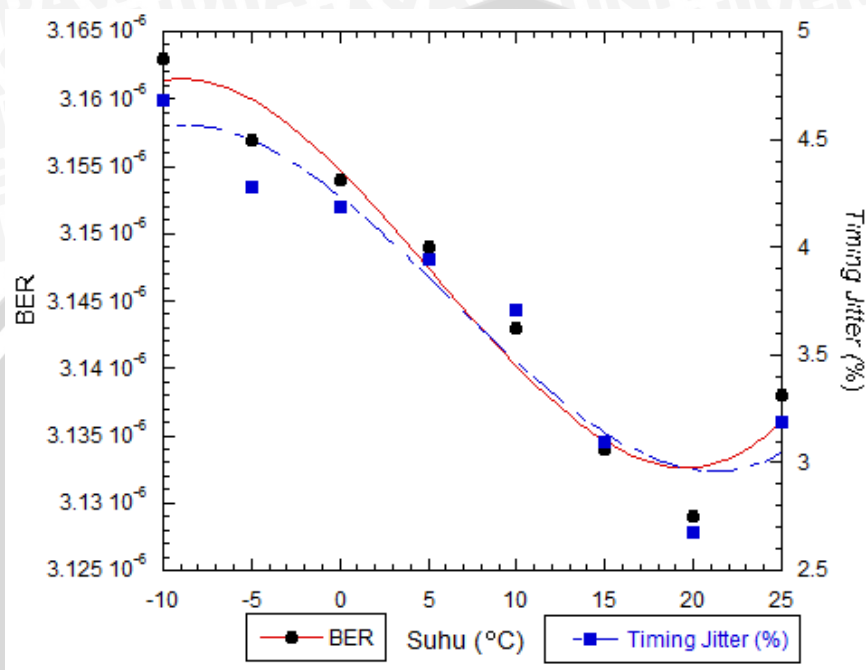
Gambar 4.32 menunjukkan bahwa karakteristik *noise margin* terhadap perubahan suhu berbanding lurus dengan kurva karakteristik *SNR* terhadap perubahan suhu. Penurunan suhu antara 25°C sampai -10°C menunjukkan perubahan nilai *noise* pada transmisi data. Hal ini menyebabkan perbandingan sinyal transmisi terhadap sinyal *noise* menurun sehingga menurunnya ketahanan sinyal terhadap *noise*.

Pada penelitian ini kinerja maksimum *plastic optical fiber* yaitu pada suhu 20°C karena indeks bias material paling ideal pada suhu 20°C akibat susunan material bahan

paling baik dengan *noise margin* 88,82% dan SNR 23,23 dB, sedangkan *noise* terbesar yaitu pada suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  dengan *noise margin* 85,80% dan SNR 21,16 dB.

### 3) BER dan *Timing Jitter*

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



Gambar 4.33 Kurva Karakteristik Hubungan BER dan *Timing Jitter* Terhadap Suhu

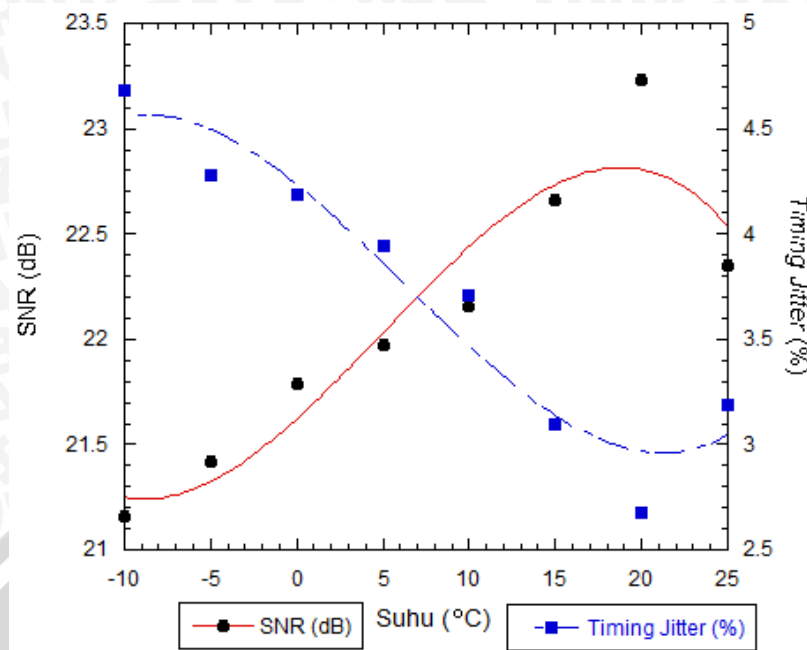
Gambar 4.33 menunjukkan bahwa karakteristik BER terhadap perubahan suhu berbanding lurus dengan kurva karakteristik *timing jitter* terhadap perubahan suhu. Penurunan suhu antara  $25^{\circ}\text{C}$  sampai  $-10^{\circ}\text{C}$  menyebabkan terjadinya distorsi waktu yang dihitung dalam *timing jitter*. *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  $20^{\circ}\text{C}$  karena indeks bias material paling ideal pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  akibat susunan material bahan paling baik dengan nilai BER adalah  $3,1290 \times 10^{-6}$ , dan nilai *timing jitter* sebesar 2,68%. Performansi terendah ditunjukkan pada temperatur  $-10^{\circ}\text{C}$  dengan nilai BER adalah  $3,1630 \times 10^{-6}$ , dan *timing jitter* sebesar 4,68%.

### 4) *Timing Jitter* dan SNR

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





Gambar 4.34 Kurva Karakteristik Hubungan SNR dan *Timing Jitter* Terhadap Suhu

Gambar 4.34 menunjukkan bahwa karakteristik SNR terhadap perubahan suhu berbanding terbalik dengan kurva karakteristik *timing jitter* terhadap perubahan suhu. Penurunan temperatur antara 25°C sampai -10°C menunjukkan terjadinya distorsi fasa pada fungsi amplitudo dan waktu sesuai dengan persamaan (2-8). Pelebaran sinyal mengakibatkan penurunan level tegangan pada sinyal yang diterima sehingga munculnya *noise* dan *jitter* akibat ketahanan sinyal terhadap *noise* yang menurun.

Performansi terbaik ditunjukkan pada temperatur 20°C karena indeks bias material paling ideal pada suhu 20°C akibat susunan material bahan paling baik dengan nilai SNR sebesar 23,23 dB, dan nilai *timing jitter* sebesar 2,68%. Performansi terendah ditunjukkan pada temperatur -10°C dengan nilai SNR sebesar 21,16 dB, dan *timing jitter* sebesar 4,68% .