

BAB IV

HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

Bab IV pada penelitian ini menjelaskan hasil eksperimen yang dilakukan dan pembahasan. Data yang disajikan dari hasil penelitian yaitu pengaruh perubahan temperatur antara 25°C sampai 65°C pada variasi *line coding* terhadap *eye pattern* dan *Bit Error Rate* (BER). Sistematika penulisan Bab IV terdiri atas konfigurasi perangkat eksperimen, prosedur pengambilan data, dan analisis data dari hasil eksperimen yang dilakukan.

4.1 Konfigurasi Perangkat Eksperimen

Blok diagram rancangan konfigurasi perangkat eksperimen telah ditunjukkan pada Gambar 3.3. Perangkat eksperimen yang digunakan dalam konfigurasi penelitian terdiri atas *master signal*, *sequence generator*, *line code encoder*, *fiber optik TX*, *plastic optical fiber* (POF), tabung percobaan, *heater*, termometer, *fiber optik RX*, *line code decoder*, *integrate & dump*, *error counting utilities*, *baseband channel filter*, *multimeter*, dan *oscilloscope*. Spesifikasi dan penjelasan dari masing-masing perangkat eksperimen adalah sebagai berikut:

1) *Master Signal*

Master signal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 terdiri dari lima sinyal yaitu *analog* dan *digital*. Sinyal-sinyal tersebut disinkronisasikan dengan masing-masing keluaran frekuensi yaitu 100kHz (*carrier*), 8.3kHz (*sample clock*), dan 2kHz (*message*).



Gambar 4.1. *Master Signals*
(Sumber: TIMS User Manual)

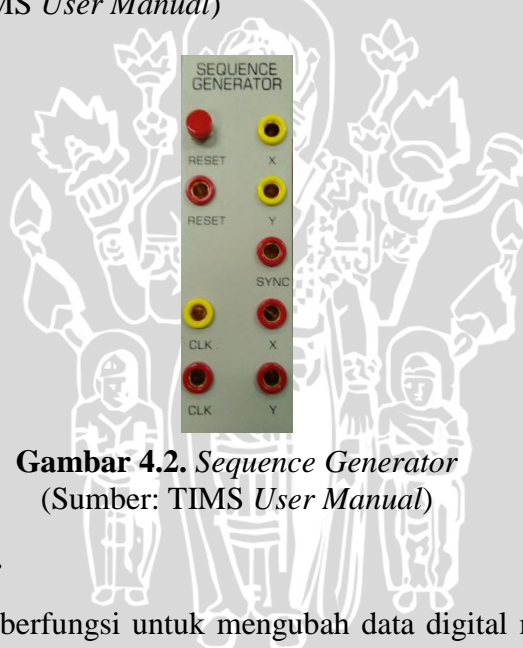
2) Sequence Generator

Sequence generator adalah perangkat untuk membangkitkan sinyal data acak. *Sequence generator* menggunakan sinyal *eksternal clock* agar modul dapat beroperasi. Keluaran *sequence generator* terdiri dari dua independen urutan acak X dan Y yang dapat berupa sinusoida atau TTL. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.2. Panjang urutan pada *sequence generator* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 terdiri dari 2^5 sampai 2^{11} , urutan tersebut dapat dipilih melalui dip switch yang terdapat pada rangkaian.

Tabel 4.1. Panjang Urutan Pada *Sequence Generator*

DIP SWITCH CODE		n	SEQUENCE LENGTH 2^n
0	0	5	32
1	1	8	256
1	0	8	256
1	1	11	2048

(Sumber: TIMS User Manual)



Gambar 4.2. *Sequence Generator*
(Sumber: TIMS User Manual)

3) Line Code Encoder

Line code encoder berfungsi untuk mengubah data digital menjadi sinyal digital sesuai dengan jenis *line coding* yang digunakan. Aliran data TTL level secara bersamaan dikodekan kedalam delapan *line-codes*. Pada penelitian ini menggunakan lima jenis *line coding* diantaranya adalah NRZ-L, NRZ-I, UNI-RZ, BIP-RZ, dan Manchester. Aliran data yang masuk adalah *clock* oleh keluaran *bit clock encoder*. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Clock TTL level selalu dihubungkan ke masukan M.CLK (*Master Clock*). Frekuensi keluaran sinyal B.CLK adalah seperempat dari sinyal M.CLK. Sumber M.CLK yang sesuai adalah TTL 8.3 kHz tersedia pada modul *master signals*.



Gambar 4.3. Line-Code Encoder
(Sumber: TIMS User Manual)

4) Fiber Optic Transmitter

Fiber optic transmitter yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 merupakan modul yang berfungsi untuk mengkonversikan sinyal elektrik menjadi sinyal cahaya. Sinyal yang ditransmisikan menggunakan terminal *input*. Saklar *input signal* yang terdapat pada modul *fiber optic transmitter* berfungsi untuk mengidentifikasi format sinyal TTL-level atau analog.



Gambar 4.4. Fiber Optic Transmitter
(Sumber: TIMS User Manual)

5) Plastic Optical Fiber (POF)

Pada penelitian ini serat optik yang digunakan yaitu *Plastic Optical Fiber* (POF) jenis *step-index multimode* dengan indeks bias *core* (n_1) 1.492 dan indeks bias *cladding* (n_2) 1.406. Besar diameter serat optik sebesar 1000 mikron dan besar diameter luar adalah 2.2 mm. Panjang kabel yang digunakan pada penelitian ini adalah satu meter. POF ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. *Plastic Optical Fiber*

6) Tabung Percobaan

Pada penelitian ini menggunakan tabung percobaan untuk menempatkan *plastic optical fiber* dengan pengaruh temperatur tinggi agar suhu tidak terinterferensi suhu ruangan. Tabung percobaan yang digunakan dengan tinggi 17cm dan diameter 12cm mempunyai ketahanan suhu sampai 120°C. Pada penelitian ini tabung percobaan dilengkapi lubang dengan ukuran 2,2 mm pada bagian atas dan bawah sesuai dengan diameter POF yang digunakan. Sedangkan pada permukaan selimut tabung dilengkapi lubang kecil untuk masuknya termometer dan *heater*. Tabung percobaan ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Tabung Percobaan

7) Pemanas Udara (*Heater*)

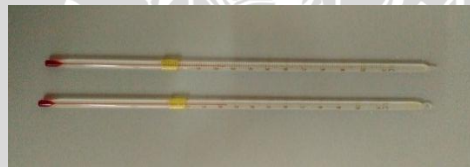
Pemanas udara (*heater*) digunakan untuk memberikan pengaruh suhu tinggi yang dimasukkan ke dalam tabung percobaan sehingga temperatur berubah. *Heater* yang digunakan bisa menaikkan suhu sampai 80°C dan memiliki daya 800W. *Heater* ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Pemanas Udara

8) Termometer

Termometer pada penelitian ini digunakan untuk mengukur perubahan temperatur yang diamati yaitu 25°C sampai 65°C dengan rentang perubahan suhu setiap 5°C. Termometer yang digunakan adalah termometer raksa dengan rentang suhu -10°C sampai 110°C. Dalam pengukuran digunakan dua buah termometer agar perubahan suhu sesuai dengan yang diinginkan. Termometer raksa ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Termometer Raksa

9) *Fiber Optic Receiver*

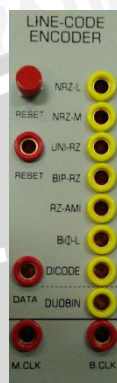
Fiber optic receiver yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 berfungsi untuk mengkonversikan sinyal cahaya menjadi sinyal elektrik. Keluaran sinyal *fiber optic receiver* dapat berupa *analog* atau *digital*. Pada modul ini terdapat saklar *output signal* yang berfungsi untuk mengidentifikasi format sinyal yaitu sinyal *TTL-level* dan *analog*.



Gambar 4.9. *Fiber Optic Receiver*
(Sumber: TIMS User Manual)

10) *Line Code Decoder*

Line code decoder berfungsi untuk mengubah sinyal digital menjadi data digital. Setiap sinyal yang dihasilkan oleh modul *line code encoder* dapat diterjemahkan oleh *line code decoder* dan menghasilkan aliran data TTL level. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. *Line-Code Decoder*
(Sumber: TIMS User Manual)

11) *Baseband Channel Filters*

Pada modul *baseband channel filters* terdapat empat *switch* dapat dipilih. Baseband channel yang tersedia terdiri dari tiga filter yang berbeda dan satu *straight-through connection*. Setiap filter memiliki frekuensi *band-stop* 4 kHz. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. *Baseband Channel Filters*
(Sumber: TIMS User Manual)

12) *Multimeter*

Multimeter merupakan alat untuk mengukur besaran utama pada listrik yaitu tegangan, arus, dan hambatan dan besaran lain seperti frekuensi dan induksi. Pada percobaan ini *multimeter* digunakan untuk mengukur tegangan keluaran detektor penerima. Jenis *multimeter* yang digunakan adalah *Digital Multimeter* SANWA CD800A. *Multimeter* ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Digital Multimeter SANWA CD800A
(Sumber: <http://overseas.sanwa-meter.co.jp>, 2013)

13) Oscilloscope

Pada penelitian ini digunakan PC *Oscilloscope* 60MHz jenis PicoScope 3204. PicoScope terhubung dengan PC sehingga memudahkan proses penyimpanan dan pencetakan tampilan sinyal. Osiloskop ini memiliki dua kanal masukan dan mendukung *external trigger*. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. PicoScope 3204
(Sumber: www.picotech.com, 2013)

4.2 Prosedur Pengambilan Data

Dalam prosedur pengambilan data pada penelitian ini, tahap pertama yang dilakukan yaitu persiapan perangkat percobaan, antara lain modul yang digunakan pada penelitian dan komponen pendukung pengukuran. POF yang akan digunakan dibersihkan dengan alkohol 95% untuk menghindari gangguan oleh kotoran pada saat proses penjalaran cahaya terjadi di serat optik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14.



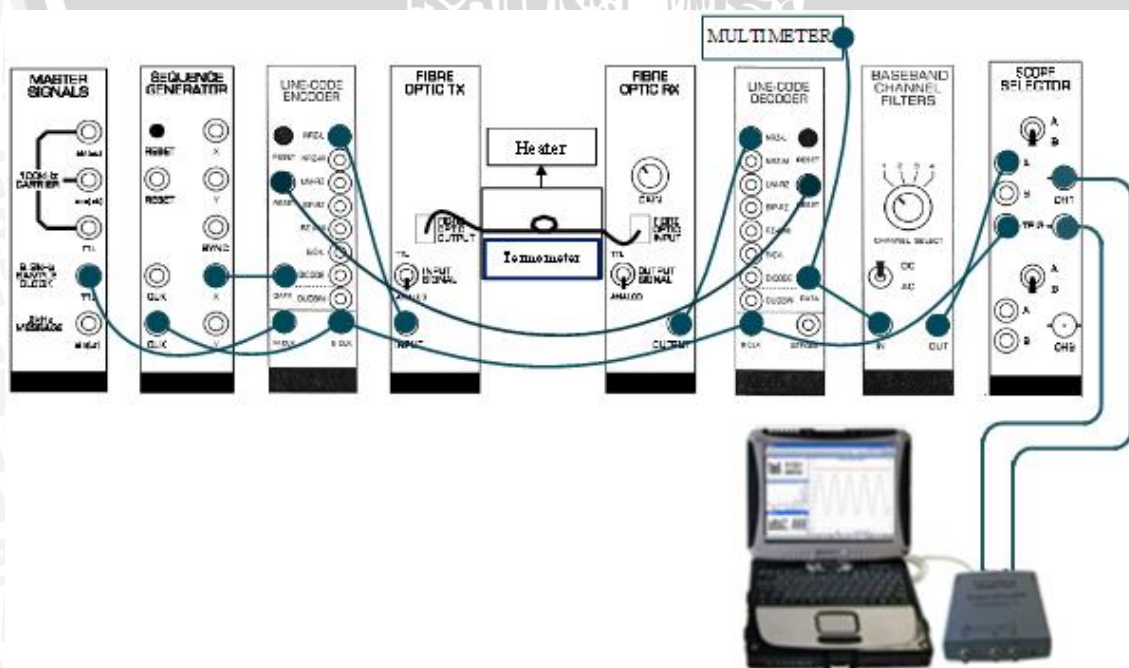
Gambar 4.14. Pembersihan POF dengan Alkohol 95%

Tahap selanjutnya adalah mempersiapkan tabung percobaan dan pemanas udara (*heater*). *Heater* dihubungkan dengan tabung percobaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 untuk memastikan suhu di dalam tabung tidak terinterferensi suhu ruangan. Pengukuran suhu menggunakan termometer raksa, perubahan suhu yang diamati yaitu 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C. Termometer raksa yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.15. Persiapan Pemanas Udara dan Tabung Percobaan

Setelah itu dilanjutkan dengan melakukan konfigurasi perangkat penelitian. Penyusunan konfigurasi perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.16. Pada osiloskop dilakukan pengukuran parameter kinerja serat optik dengan menganalisis bentuk *eye pattern* yang dibangkitkan oleh *baseband channel filter*. Pada *eye pattern* didapatkan nilai (V_1 , V_2 , Δt , T_b , UI , U_s , dan U_n) untuk menghitung *noise margin*, *timing jitter*, *signal to noise ratio*, *bit rate*, dan BER.



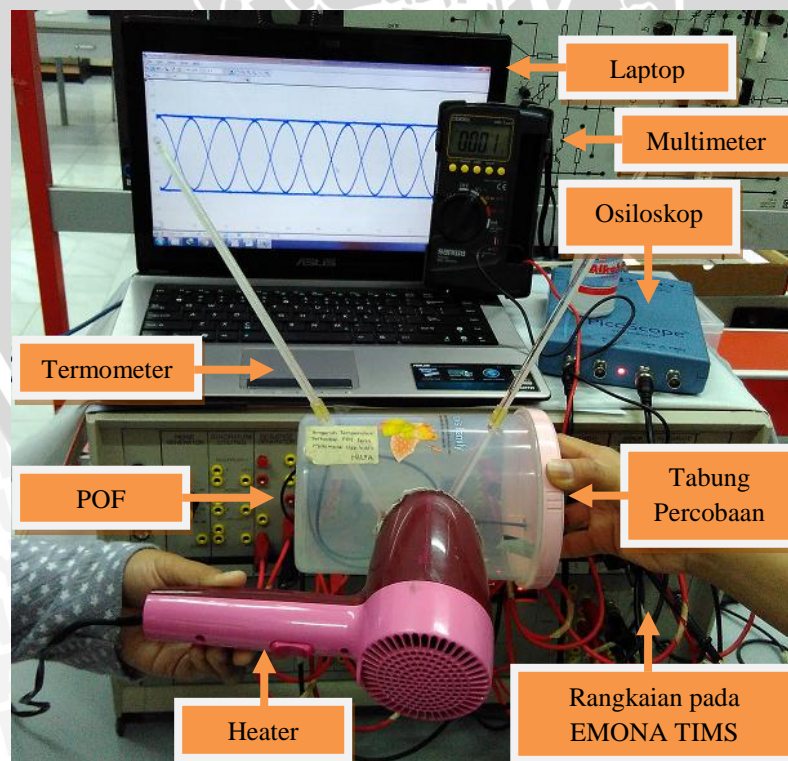
Gambar 4.16. Konfigurasi Perangkat Penelitian

Setelah konfigurasi perangkat tersusun secara lengkap dan benar, *power supply* dinyalakan dan penelitian dapat dilakukan. Ukur tegangan pada keluaran *line code decoder (receiver)* dengan multimeter untuk memastikan proses transmisi data. Gambar 4.17 menunjukkan besar tegangan di *receiver* yang diukur dengan menggunakan multimeter.



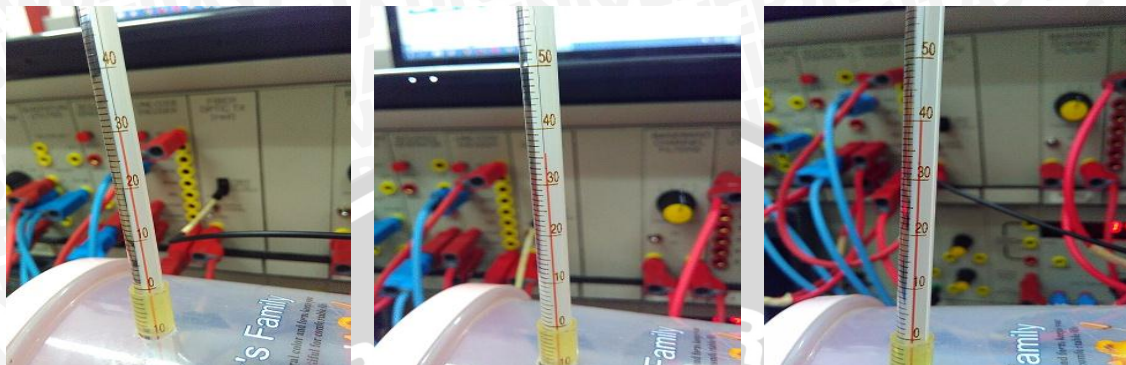
Gambar 4.17. Pengukuran Tegangan

Pengambilan data pertama adalah pengukuran *eye pattern* untuk menghitung *noise margin*, *timing jitter*, *signal to noise ratio*, dan *bit rate*. *Eye pattern* dibangkitkan oleh modul *baseband channel filters*. Susunan konfigurasi pengukuran pengaruh temperatur terhadap kinerja POF pada variasi *line coding* ditunjukkan pada Gambar 4.18.



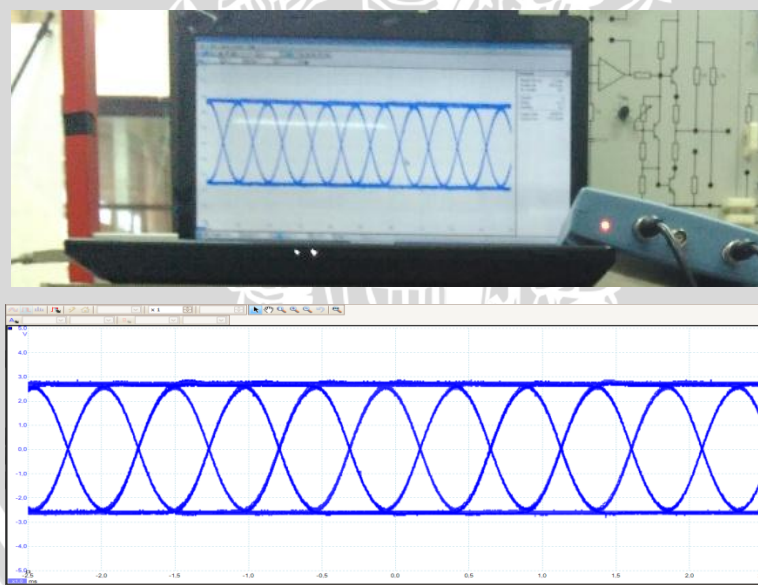
Gambar 4.18. Konfigurasi Pengukuran *Eye Pattern*

Pengambilan data dilakukan dengan menyalakan pemanas udara (*heater*) dan mengamati perubahan temperatur sesuai dengan yang ditentukan. Pengambilan data dimulai pada temperatur 25°C sampai 65°C dengan perubahan temperatur setiap 5°C. Gambar 4.19 menunjukkan perubahan temperatur pada pengukuran *eye pattern*.



Gambar 4.19. Perubahan Temperatur pada Pengukuran

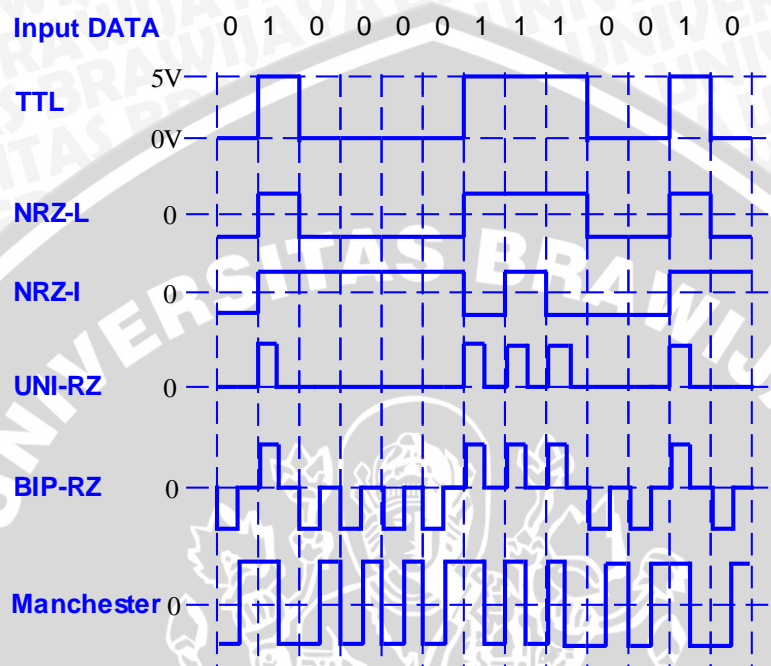
Amati bentuk *eye pattern* pada laptop yang terhubung dengan Picoscope ketika temperatur sudah sesuai dengan yang diinginkan. Data *eye pattern* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 disimpan dan diolah untuk menghitung parameter kinerja seperti *noise margin*, *timing jitter*, *signal to noise ratio*, dan *bit rate*.



Gambar 4.20. Data *Eye Pattern*

Pengambilan data kedua adalah pengukuran *Bit Error Rate* (BER). Nilai BER dihitung dengan menentukan *bit rate* yang diperoleh dari analisis bentuk *eye pattern* dan interval waktu perhitungan selama 10 detik. Perhitungan *bit error rate* dimulai pada temperatur 25°C sampai 65°C dengan perubahan suhu setiap 5°C dengan menggunakan persamaan (2.7).

Proses pengambilan data *eye pattern* dan perhitungan BER dilakukan pada semua jenis *line coding* yang digunakan yaitu, NRZ-L, NRZ-I, UNI-RZ, BIP-RZ, dan *Manchester*. Gambar 4.21 menunjukkan skema jenis *line coding*. Pengukuran dan perhitungan dilakukan pada temperatur 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, dan 65°C yang kemudian dianalisis.



Gambar 4.21. Skema *Line Coding*
(Sumber: TIMS User Manual)

4.3 Analisis Data

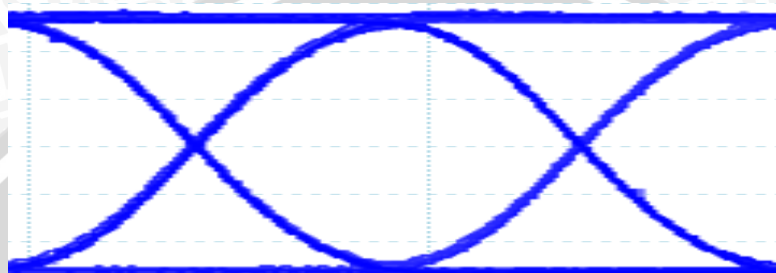
Analisis data pada penelitian ini berisi hasil eksperimen pengaruh temperatur terhadap kinerja *Plastic Optical Fiber* (POF) jenis *step index multimode* pada variasi *line coding* dan pembahasannya. Data-data yang didapatkan dari hasil pengukuran dihitung sesuai dengan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II. Analisis parameter kinerja yang akan dilakukan meliputi *eye pattern* (*noise margin*, *timing jitter*, *signal to noise ratio*, dan *bit rate*) dan *Bit Error Rate* (BER).

4.3.1 Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap *Eye Pattern*

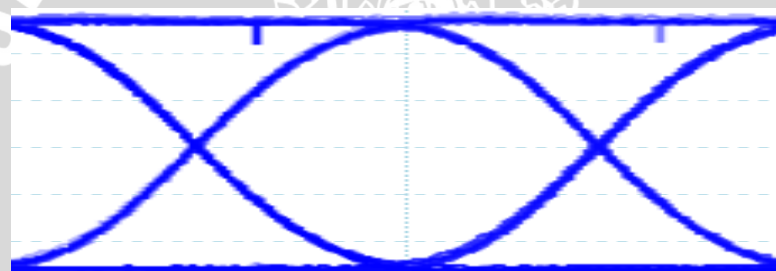
Parameter kinerja *Plastic Optical Fiber* (POF) yang diamati adalah bentuk *eye pattern* yang akan dibahas pada sub bab ini. *Eye pattern* (*eye diagram*) merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui performansi suatu sistem jaringan atau transmisi digital dari bentuk sinyal yang diterima. *Software* PicoScope 6.0 diperlukan

untuk menampilkan keluaran sinyal dari PicoScope sehingga pengukuran variabel *eye pattern* dapat dilakukan.

Tampilan sinyal digital yang diterima pada osiloskop mengalami beberapa kali proses *sampling* untuk mengetahui karakteristik dari sinyal tersebut. *Eye pattern* akan berbentuk seperti persegi pada kondisi ideal, namun karena terdapat redaman pada sistem transmisi data, transisi tidak berupa garis vertikal yang lurus melainkan berbentuk pola seperti mata.



Gambar 4.22. *Eye Pattern* pada Temperatur 25°C



Gambar 4.23. *Eye Pattern* pada Temperatur 65°C

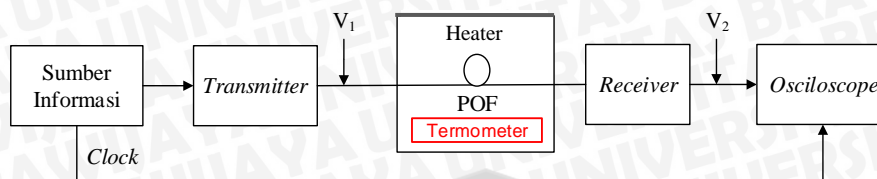
Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 menunjukkan *eye pattern* pada temperatur 25°C dan 65°C pada salah satu *line coding*. Pada temperatur 65°C bentuk *eye pattern* memiliki *eye opening* yang lebih kecil daripada temperatur 25°C, hal ini mengindikasikan adanya kesalahan seperti *noise*, *jitter*, dan *interference intersymbol* (ISI) pada *amplitude* dan *timing*.

Analisis *eye pattern* dilakukan dengan menghitung nilai *noise margin*, *timing jitter*, *signal to noise ratio*, 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*

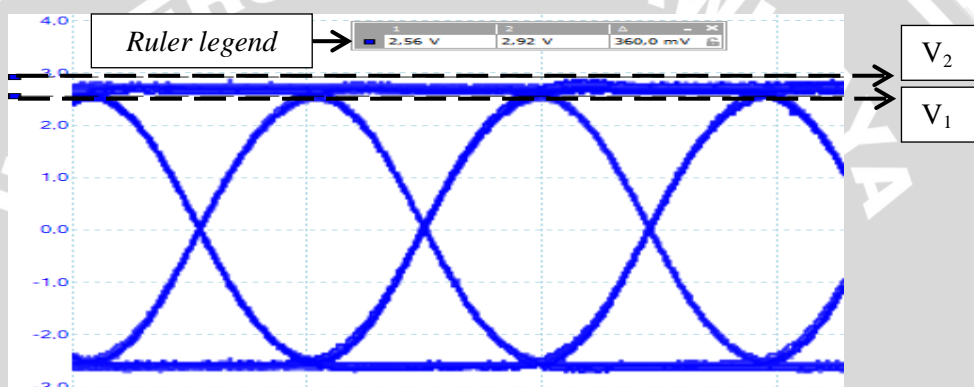
Noise margin adalah ketahanan sistem terhadap *noise* yang merupakan ratio presentase dari puncak sinyal V_x yang dilihat dari lebar *eye opening* terhadap tegangan maksimum sinyal V_y . Nilai *noise margin* dihitung menggunakan persamaan (2.8)

dengan menentukan nilai V_1 dan V_2 pada *eye pattern*. Nilai V_1 dan V_2 didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.24.



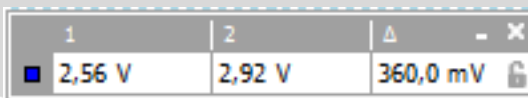
Gambar 4.24. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai V_1 dan V_2

Nilai V_1 merupakan puncak sinyal dari besar *eye opening*, sedangkan V_2 merupakan nilai tegangan maksimum sinyal yang dihitung dari nilai *threshold*. Pengukuran nilai variabel-variabel tersebut dilakukan pada *software* PicoScope 6.0 yang ditunjukkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25. Pengukuran *Noise Margin* pada *Eye Pattern*

Gambar 4.25 menunjukkan pengukuran *noise margin* pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C. Nilai V_1 dan V_2 dapat diketahui dengan mengarahkan *signal rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai dari *signal rulers* ditampilkan dalam *ruler legend*, secara jelas nilai V_1 dan V_2 pada *ruler legend* ditunjukkan pada Gambar 4.26. Nilai V_1 ditunjukkan pada kolom *ruler* satu yaitu sebesar 2,56 V dan nilai V_2 ditunjukkan pada kolom *ruler* dua yaitu sebesar 2,92 V.



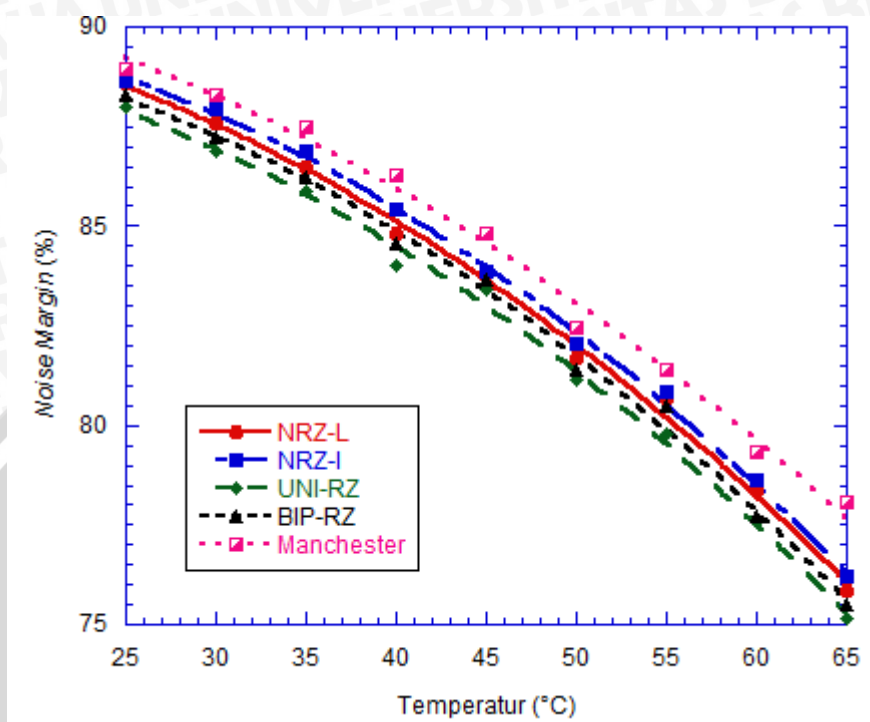
Gambar 4.26. Nilai V_1 dan V_2 pada *Ruler Legend*

Perhitungan *noise margin* pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C adalah :

$$\text{Noise Margin}(\%) = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% = \frac{2,56}{2,92} \times 100\% = 87,97\%$$

Nilai *noise margin* terhadap pengaruh temperatur pada masing-masing *line coding* dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan yang sama. Hasil perhitungan *noise*

margin pada masing-masing *line coding* ditunjukkan pada Lampiran 1. Gambar 4.27 menunjukkan grafik hubungan *noise margin* terhadap temperatur pada variasi *line coding*.



Gambar 4.27. Grafik Hubungan *Noise Margin* Terhadap Temperatur pada Variasi *Line Coding*

Gambar 4.27 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka *noise margin* atau ketahanan sistem terhadap *noise* semakin rendah. Perubahan temperatur yang semakin tinggi menyebabkan indeks bias semakin tinggi. Hal itu dibuktikan berdasarkan persamaan Sellmeier (2.5). Perubahan indeks bias serat optik ditandai dengan perubahan indeks bias relatif (Δ) dan *Numerical Aperture* (NA) yang mempengaruhi perilaku pancaran cahaya pada proses transmisi data. Dengan adanya perubahan indeks bias relatif, mengindikasikan terjadinya pelebaran pulsa (*dispersi*) yang menyebabkan level sinyal turun sehingga ketahanan sinyal terhadap *noise* rendah.

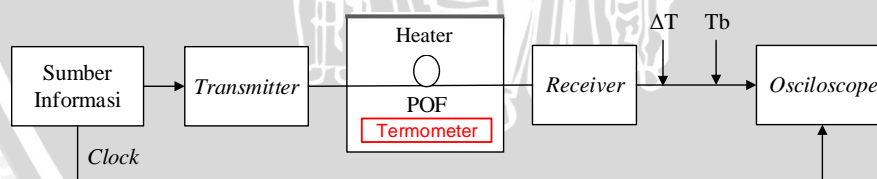
Grafik hubungan *noise margin* terhadap temperatur turun secara eksponensial pada masing-masing *line coding*. Penurunan *noise margin* disebabkan karena adanya *noise* yang terjadi dalam proses transmisi data. Pada perubahan temperatur yang semakin tinggi dari 25°C sampai 65°C nilai *noise margin* tertinggi yaitu *Manchester* sekitar 88,97% sampai 78,08%, hal itu disebabkan karena *Manchester* mempunyai sinkronisasi yang lebih baik daripada jenis *line coding* lainnya yaitu terdapat transisi ditengah setiap periode bit untuk sinkronisasi. *Manchester* juga memiliki level sinyal yang tinggi sehingga ketahanan sistem terhadap *noise* tinggi.

Pada *line coding* NRZ tidak memiliki sinkronisasi yang baik seperti *Manchester*, hal itu disebabkan karena adanya *baseline wandering* yang mengakibatkan komponen DC. Pada NRZ-I *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 0 karena menunjukkan tidak adanya perubahan level sinyal dan pada NRZ-L *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 1 dan bit 0. Selain itu NRZ-I dan NRZ-L mempunyai level sinyal yang lebih rendah daripada *Manchester* sehingga ketahanan sistem terhadap *noise* lebih rendah.

Pada *line coding* BIP-RZ memiliki level sinyal rendah yang menyebabkan ketahanan sistem menjadi turun. *Line coding* BIP-RZ mempunyai karakteristik sinyal lebih baik daripada UNI-RZ karena menggunakan tiga level tegangan dan pada saat sinyal mencapai setengah durasi sinyal, sinyal tersebut dikembalikan ke tegangan nol. *Noise margin* terendah yaitu UNI-RZ sekitar 87,97% sampai 75,17%. Pada UNI-RZ bit “1” merepresentasikan setengah dari periode bit, dan bit “0” merepresentasikan saat tidak ada sinyal yang masuk. Jika pada periode bit yang lama terdapat banyak bit “0”, maka akan menyebabkan rugi-rugi sinkronisasi. Selain itu level sinyal pada UNI-RZ rendah daripada *line coding* lainnya sehingga ketahanan sistem terhadap *noise* turun.

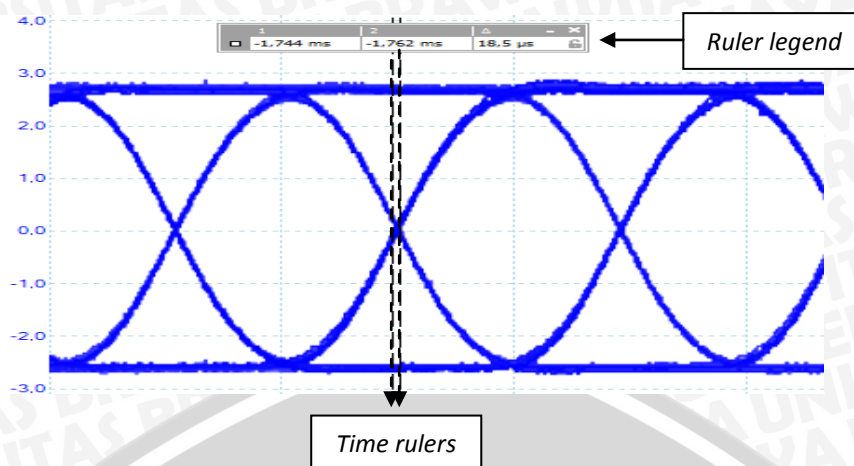
4.3.1.2 Analisis Timing Jitter pada Eye Pattern

Timing jitter adalah penyimpangan waktu dari waktu ideal sebuah event data bit. Nilai *timing jitter* dihitung menggunakan persamaan (2.9) dengan menentukan nilai jumlah distorsi (ΔT) dan *bit interval* (T_b) pada *eye pattern*. Nilai ΔT dan T_b didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.28.



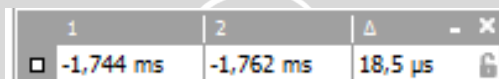
Gambar 4.28. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai ΔT dan T_b

Nilai ΔT dan T_b ditentukan pada *eye mask* yaitu dengan menganalisis *zero crossing variation*. Besar nilai ΔT merupakan ketebalan *zero crossing variation* dan nilai T_b merupakan panjang horisontal pada sebuah *eye mask*. Pengukuran jumlah distorsi (ΔT) dilakukan pada *software* PicoScope 6.0 yang ditunjukkan pada Gambar 4.29.



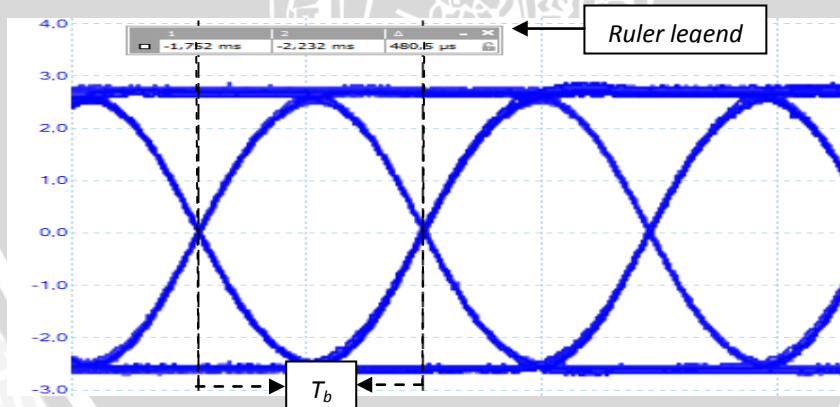
Gambar 4.29. Pengukuran Jumlah Distorsi (ΔT) pada *Eye Pattern*

Nilai ΔT dapat diketahui dengan mengarahkan *time rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai tersebut ditampilkan pada *ruler legend* di atas tampilan *eye pattern*. Secara jelas nilai ΔT pada *ruler legend* ditampilkan pada Gambar 4.30.



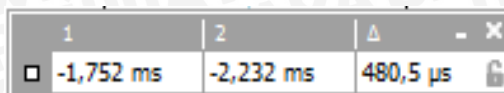
Gambar 4.30. Nilai ΔT pada *Ruler Legend*

Pada Gambar 4.30 nilai ΔT ditunjukkan pada kolom *ruler difference* (Δ) yaitu sebesar 18,5μs. Nilai tersebut merupakan nilai ΔT pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C. Pengukuran nilai *bit interval* (T_b) pada PicoScope 6.0 ditunjukkan pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31. Pengukuran Nilai *Bit Interval* (T_b) pada *Eye Pattern*

Nilai T_b dapat diketahui dengan mengarahkan *time rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai tersebut ditampilkan pada *ruler legend* di atas tampilan *eye pattern*. Secara jelas nilai T_b pada *ruler legend* ditampilkan pada Gambar 4.32.

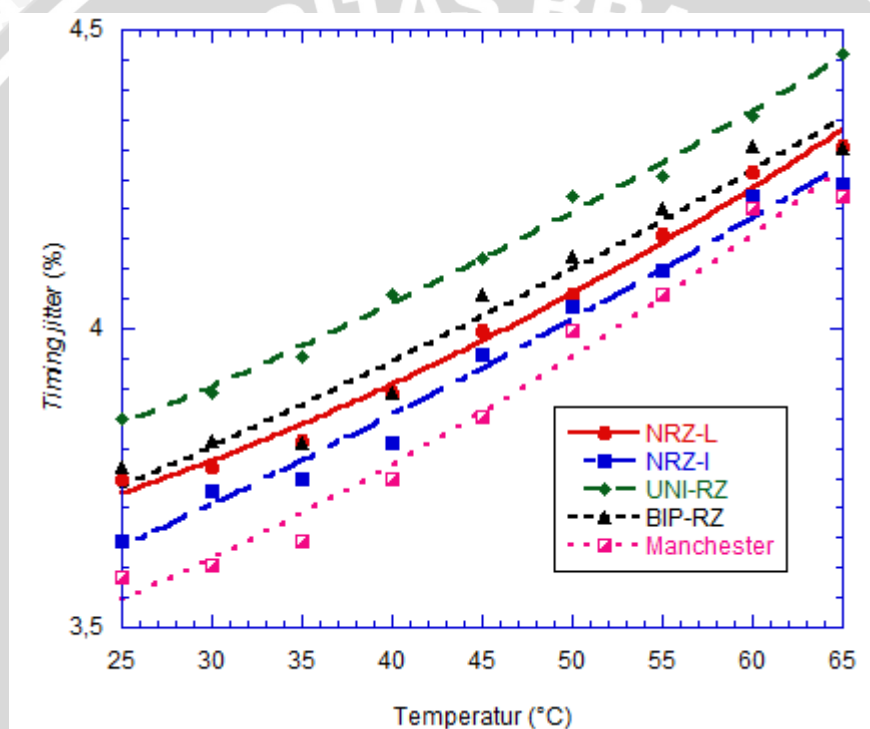


Gambar 4.32. Nilai T_b Pada *Ruler Legend*

Nilai T_b ditunjukkan pada kolom *ruler difference* (Δ) yaitu sebesar 480,5 μ s. Nilai tersebut merupakan nilai T_b pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C. Perhitungan *timing jitter* pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C adalah :

$$\text{Timing Jitter}(\%) = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% = \frac{18,5}{480,5} \times 100\% = 3,850\%$$

Nilai ΔT dan T_b terhadap pengaruh temperatur pada masing-masing *line coding* dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan yang sama. Hasil perhitungan *timing jitter* pada masing-masing *line coding* ditunjukkan pada Lampiran 2. Gambar 4.33 menunjukkan grafik hubungan *timing jitter* terhadap temperatur pada variasi *line coding*.



Gambar 4.33. Grafik Hubungan *Timing Jitter* Terhadap Temperatur pada Variasi *Line Coding*

Gambar 4.33 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka distorsi waktu juga semakin tinggi. Nilai *timing jitter* yang semakin naik disebabkan oleh perubahan indeks bias karena pengaruh temperatur. Perubahan indeks bias serat optik yang semakin tinggi ditandai dengan perubahan indeks bias relatif (Δ) dan *Numerical Aperture* (NA) yang mempengaruhi perilaku pancaran cahaya pada proses transmisi data. Dengan adanya perubahan indeks bias relatif, mengindikasikan terjadinya pelebaran pulsa (dispersi) yang menyebabkan level sinyal yang diterima menurun dan munculnya noise dalam bentuk distorsi fasa.

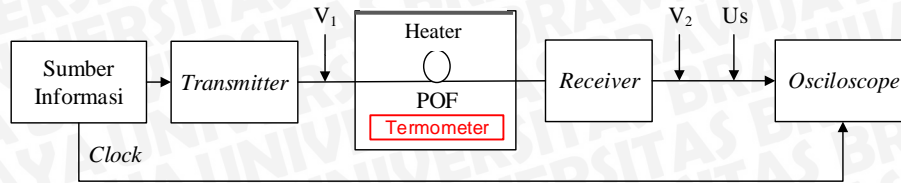
Berdasarkan Gambar 4.33 nilai *timing jitter* naik secara linier terhadap kenaikan temperatur pada masing-masing *line coding*. Perubahan *timing jitter* yang semakin tinggi menunjukkan bahwa adanya pergeseran waktu yang terjadi dalam proses transmisi data. Pada perubahan temperatur dari 25°C sampai 65°C nilai *timing jitter* terendah yaitu *Manchester* sekitar 3,583% sampai 4,221%, hal itu disebabkan karena pada *Manchester* memiliki level sinyal tinggi dan terdapat transisi ditengah setiap periode bit untuk sinkronisasi. *Manchester* juga memiliki level sinyal yang tinggi sehingga meminimalisir terjadinya distorsi fasa yang menyebabkan pergeseran timing sinyal sehingga *timing error* rendah.

Pada *line coding* NRZ tidak memiliki sinkronisasi yang baik seperti *Manchester*, hal itu disebabkan karena adanya *baseline wandering* yang mengakibatkan komponen DC. Pada NRZ-I *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 0 karena menunjukkan tidak adanya perubahan level sinyal dan pada NRZ-L *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 1 dan bit 0. Selain itu NRZ-I dan NRZ-L mempunyai level sinyal lebih rendah daripada *Manchester* sehingga distorsi fasa lebih besar dan mengindikasikan terjadinya pergeseran *timing* sinyal yang menyebabkan *timing error* lebih tinggi.

Pada *line coding* BIP-RZ memiliki level sinyal rendah yang menyebabkan munculnya *noise* dalam bentuk distorsi fasa, diindikasikan dengan terjadinya pergeseran *timing* sinyal sehingga *timing error* meningkat. *Line coding* BIP-RZ mempunyai karakteristik sinyal lebih baik daripada UNI-RZ karena menggunakan tiga level tegangan dan pada saat sinyal mencapai setengah durasi sinyal, sinyal tersebut dikembalikan ke tegangan nol. *Timing jitter* tertinggi yaitu UNI-RZ sekitar 3,850% sampai 4,461%. Pada UNI-RZ bit “1” merepresentasikan setengah dari periode bit, dan bit “0” merepresentasikan saat tidak ada sinyal yang masuk. Jika pada periode bit yang lama terdapat banyak bit “0”, maka akan menyebabkan rugi-rugi sinkronisasi. UNI-RZ memiliki level sinyal lebih rendah daripada *line coding* lainnya sehingga distorsi fasa semakin tinggi.

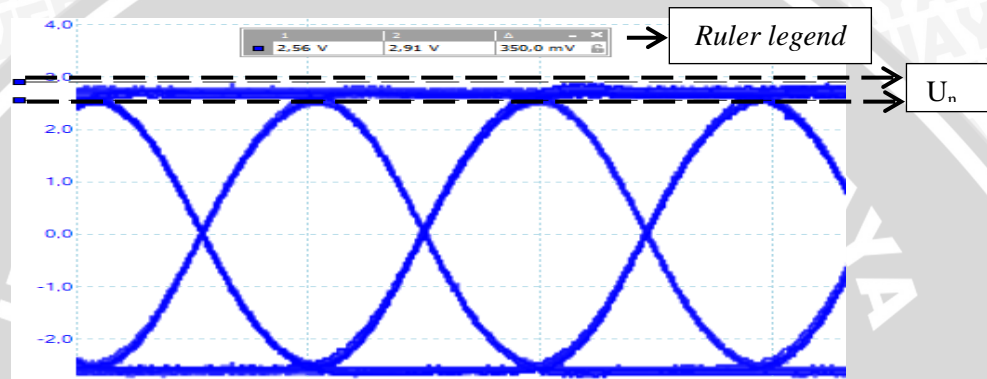
4.3.1.3 Analisis *Signal to Noise Ratio* pada *Eye Pattern*

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan parameter untuk menentukan kualitas sinyal dengan menghitung perbandingan daya sinyal dengan daya *noise*. Nilai SNR dihitung menggunakan persamaan (2.10) dengan menentukan nilai U_s dan U_n pada *eye pattern*. Nilai V_1 , V_2 , dan U_s didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.34.



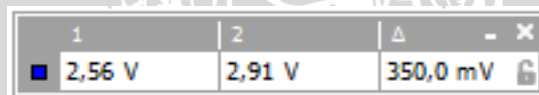
Gambar 4.34. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai V_1 , V_2 , dan U_s

Nilai U_n merupakan selisih dari nilai V_1 dan V_2 dan nilai U_s merupakan besarnya *eye amplitude* pada *vertical eye opening*. Pengukuran nilai variabel-variabel tersebut dilakukan pada *software* PicoScope 6.0. Pengukuran nilai U_n ditunjukkan pada Gambar 4.35.



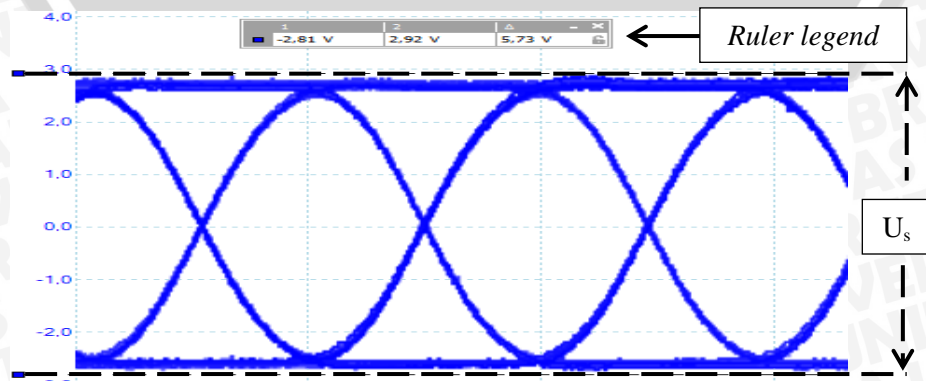
Gambar 4.35. Pengukuran U_n pada *Eye Pattern*

Nilai U_n dapat diketahui dengan mengarahkan *signal rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai tersebut ditampilkan pada *ruler legend* di atas tampilan *eye pattern*. Secara jelas nilai U_n pada *ruler legend* ditampilkan pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36. Nilai U_n pada *Ruler Legend*

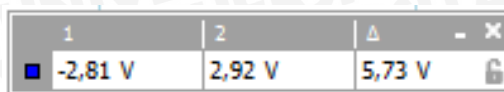
Nilai U_n ditunjukkan pada kolom *ruler difference* (Δ) yaitu sebesar 350,0mV atau 0,35V. Nilai tersebut merupakan nilai U_n pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C. Pengukuran nilai U_s pada PicoScope 6.0 ditunjukkan pada Gambar 4.37.



Gambar 4.37. Pengukuran U_s pada *Eye Pattern*



Nilai U_s dapat diketahui dengan mengarahkan *signal rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai tersebut ditampilkan pada *ruler legend* di atas tampilan *eye pattern*. Secara jelas nilai U_s pada *ruler legend* ditampilkan pada Gambar 4.38.

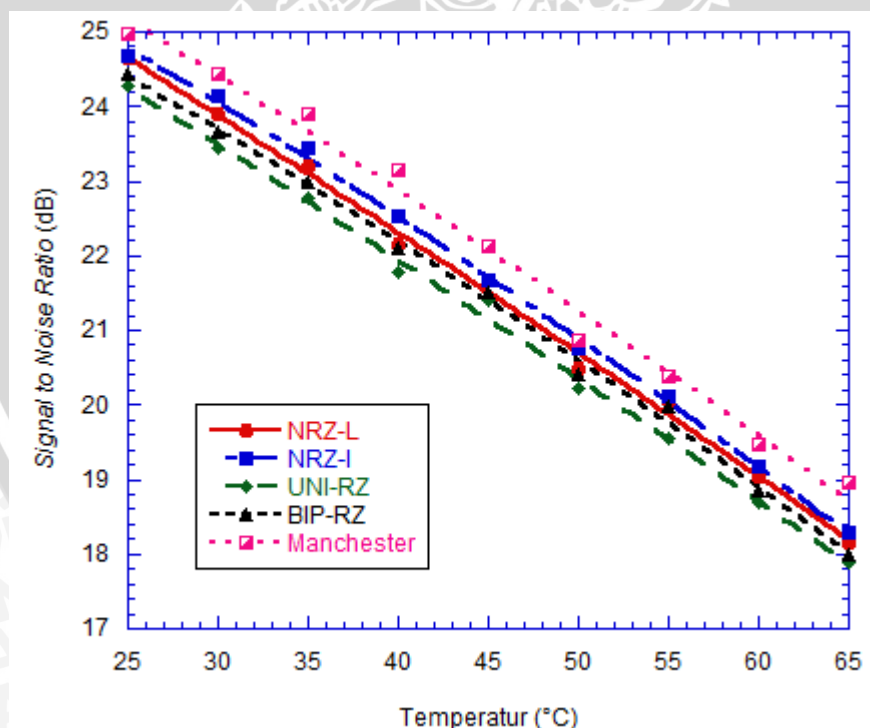


Gambar 4.38. Nilai U_s pada *Ruler Legend*

Nilai U_s ditunjukkan pada kolom *ruler difference* (Δ) yaitu sebesar 5,73V. Nilai tersebut merupakan nilai U_s pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C. Perhitungan SNR pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C adalah :

$$SNR \text{ eye pattern}(dB) = 20 \log \frac{U_s}{U_n} = 20 \log \frac{5,73}{0,35} = 24,282 dB$$

Nilai *signal to noise ratio* terhadap pengaruh temperatur pada masing-masing *line coding* dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan yang sama. Hasil perhitungan *signal to noise ratio* pada masing-masing *line coding* ditunjukkan pada Lampiran 3. Gambar 4.39 menunjukkan grafik hubungan *signal to noise ratio* terhadap temperatur pada variasi *line coding*.



Gambar 4.39. Grafik Hubungan *Signal to Noise Ratio* Terhadap Temperatur pada Variasi *Line Coding*

Gambar 4.39 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka kualitas sinyal pada sistem semakin rendah. Perubahan temperatur yang semakin tinggi menyebabkan

indeks bias semakin tinggi juga. Hal itu dibuktikan berdasarkan persamaan Sellmeier (2.5). Perubahan indeks bias serat optik yang semakin tinggi ditandai dengan perubahan indeks bias relatif (Δ) dan *Numerical Aperture* (NA) yang mempengaruhi perilaku pancaran cahaya pada proses transmisi data. Dengan adanya perubahan indeks bias relatif, mengindikasikan terjadinya dispersi yang menyebabkan level sinyal yang diterima menurun dan terdapat *noise*.

Grafik hubungan SNR terhadap temperatur turun secara eksponensial pada masing-masing *line coding*. Penurunan SNR disebabkan karena adanya *noise* yang terjadi dalam proses transmisi data. Pada perubahan temperatur yang semakin tinggi dari 25°C sampai 65°C nilai SNR tertinggi yaitu *Manchester* sekitar 24,984dB sampai 18,948dB, hal itu disebabkan karena pada *Manchester* terdapat transisi ditengah setiap periode bit untuk sinkronisasi. Selain itu *Manchester* juga memiliki level sinyal yang tinggi sehingga meminimalisir munculnya *noise* pada sistem.

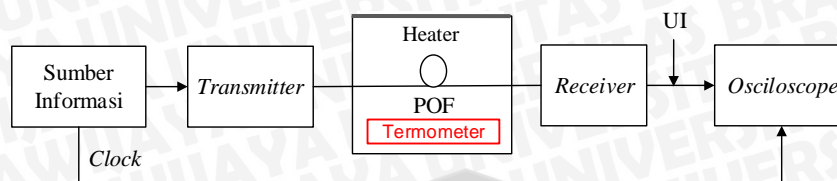
Pada *line coding* NRZ tidak memiliki sinkronisasi yang baik seperti *Manchester*, hal itu disebabkan karena adanya *baseline wandering* yang mengakibatkan komponen DC. Pada NRZ-I *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 0 karena menunjukkan tidak adanya perubahan level sinyal dan pada NRZ-L *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 1 dan bit 0. Selain itu NRZ-I dan NRZ-L mempunyai level sinyal yang lebih rendah daripada *Manchester*.

Pada *line coding* BIP-RZ memiliki level sinyal rendah yang menyebabkan munculnya *noise*. *Line coding* BIP-RZ mempunyai karakteristik sinyal lebih baik daripada UNI-RZ karena menggunakan tiga level tegangan dan pada saat sinyal mencapai setengah durasi sinyal, sinyal tersebut dikembalikan ke tegangan nol. SNR terendah yaitu UNI-RZ sekitar 24,282dB sampai 17,879dB. Pada UNI-RZ bit "1" merepresentasikan setengah dari periode bit, sedangkan bit "0" merepresentasikan saat tidak ada sinyal yang masuk. Jika pada periode bit yang lama terdapat banyak bit "0", maka akan menyebabkan rugi-rugi sinkronisasi. Selain itu level sinyal pada UNI-RZ rendah daripada *line coding* lainnya sehingga *noise* meningkat dan SNR mengalami penurunan.

4.3.1.4 Analisis Bit Rate pada Eye Pattern

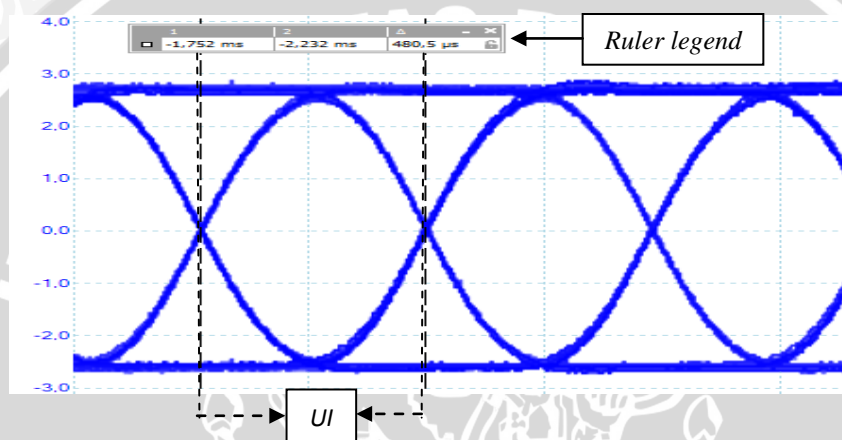
Bit Rate merupakan parameter yang berhubungan dengan kecepatan transmisi data, dengan kata lain waktu yang diperlukan untuk transmisi satu bit data. Nilai *bit rate*

dihitung menggunakan persamaan (2.11) dengan menentukan nilai *unit interval* (UI) pada *eye pattern*. Nilai UI didapat dari titik yang ditunjukkan pada Gambar 4.40.



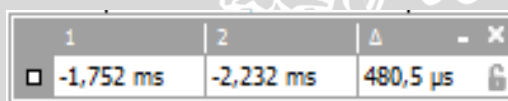
Gambar 4.40. Blok Diagram Konfigurasi Pengambilan Nilai UI

. *Unit interval* dapat dilihat dari panjang dua *zero crossing* sebuah *eye mask*. Pengukuran nilai *unit interval* pada *eye mask* ditunjukkan pada Gambar 4.41.



Gambar 4.41. Pengukuran T_b pada *Eye Pattern*

Gambar 4.41 menunjukkan pengukuran *unit interval* (UI) pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C. Nilai UI dapat diketahui dengan mengarahkan *signal rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai dari *signal rulers* ditampilkan dalam *ruler legend*, secara jelas nilai UI pada *ruler legend* ditunjukkan pada Gambar 4.42. Nilai UI ditunjukkan pada kolom *ruler difference* (Δ) yaitu sebesar 480,5 μ s.

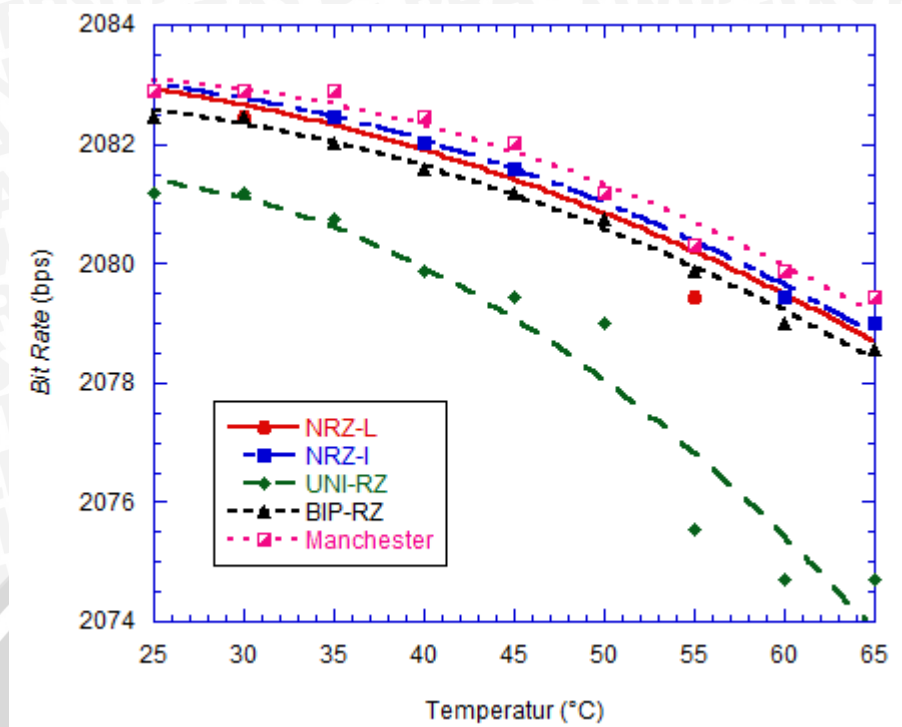


Gambar 4.42. Nilai UI pada *Ruler Legend*

Perhitungan *bit rate* pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C adalah :

$$\text{Bit Rate}(\%) = \frac{1}{UI} = \frac{1}{480,5\mu\text{s}} = 2081,17\text{bps}$$

Nilai *bit rate* terhadap pengaruh temperatur pada masing-masing *line coding* dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan yang sama. Hasil perhitungan *bit rate* pada masing-masing *line coding* ditunjukkan pada Lampiran 4. Gambar 4.43 menunjukkan grafik hubungan *bit rate* terhadap temperatur pada variasi *line coding*.



Gambar 4.43. Grafik Hubungan *Bit Rate* Terhadap Temperatur pada Variasi *Line Coding*

Gambar 4.43 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka kecepatan transmisi data semakin rendah sehingga terjadi penurunan kinerja pada transmisi serat optik. Perubahan temperatur yang semakin tinggi menyebabkan indeks bias semakin tinggi. Kenaikan indeks bias ditandai dengan perubahan indeks bias relatif dan *Numerical Aperture* yang mempengaruhi perilaku pancaran cahaya pada proses transmisi data. Dengan adanya perubahan indeks bias relatif, mengindikasikan terjadinya dispersi yang menyebabkan level sinyal menurun dan data yang hilang semakin banyak sehingga *bit rate* menjadi rendah.

Grafik hubungan *bit rate* terhadap temperatur turun secara eksponensial pada masing-masing *line coding*. Penurunan *bit rate* karena terjadinya penurunan kinerja serat optik. Pada perubahan temperatur yang semakin tinggi dari 25°C sampai 65°C nilai *bit rate* tertinggi yaitu *Manchester* sekitar 2082,90bps sampai 2079,43bps, hal itu disebabkan karena pada *Manchester* terdapat transisi ditengah setiap periode bit untuk sinkronisasi dan memiliki level sinyal tinggi.

Pada *line coding* NRZ tidak memiliki sinkronisasi yang baik seperti *Manchester*, hal itu disebabkan karena adanya *baseline wandering* yang mengakibatkan komponen DC. Pada NRZ-I *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 0 karena menunjukkan tidak adanya perubahan level sinyal dan pada NRZ-L *baseline*

wandering terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 1 dan bit 0. Selain itu NRZ-I dan NRZ-L memiliki level sinyal lebih rendah dari *Manchester*.

Pada *line coding* BIP-RZ memiliki level sinyal rendah yang menyebabkan *bit rate* rendah. *Line coding* BIP-RZ mempunyai karakteristik sinyal lebih baik daripada UNI-RZ karena menggunakan tiga level tegangan dan pada saat sinyal mencapai setengah durasi sinyal, sinyal tersebut dikembalikan ke tegangan nol. *Bit rate* terendah yaitu UNI-RZ sekitar 2081,17bps sampai 2074,69bps. Pada *Unipolar-Return to Zero* (UNI-RZ) bit “1” merepresentasikan setengah dari periode bit, sedangkan bit “0” merepresentasikan saat tidak ada sinyal yang masuk. Oleh karena itu apabila pada periode bit yang lama terdapat banyak bit “0”, maka akan menyebabkan rugi-rugi sinkronisasi. UNI-RZ memiliki level sinyal rendah daripada *line coding* lainnya.

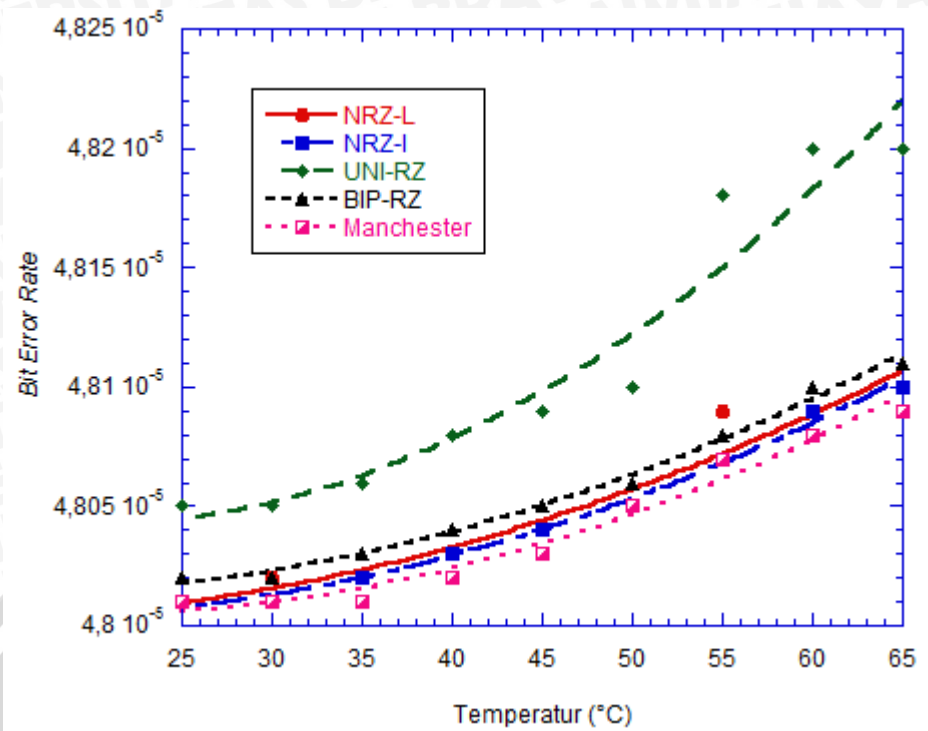
4.3.2 Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap *Bit Error Rate*

Parameter lain pada kinerja *Plastic Optical Fiber* (POF) yang diamati adalah *Bit Error Rate* (BER) akan dibahas pada sub bab ini. BER disebut juga probabilitas *bit error* yang merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER menyatakan berapa jumlah bit salah yang terjadi dalam satuan detik. Nilai BER dihitung dengan menentukan *bit rate* yang telah dibahas pada Sub Bab 4.3.1.4 dan interval waktu perhitungan selama 10 detik.

Perhitungan *bit error rate* dilakukan menggunakan persamaan (2.7). nilai BER pada *line coding* UNI-RZ dengan temperatur 25°C adalah:

$$\text{Bit Error Rate} = \frac{1}{\Delta t x BR} = \frac{1}{10 x 2081,17} = 0,00004805$$

Nilai *Bit Error Rate* (BER) terhadap pengaruh temperatur pada masing-masing *line coding* dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan yang sama. Hasil perhitungan *Bit Error Rate* (BER) pada masing-masing *line coding* ditunjukkan pada Lampiran 5. Gambar 4.44 menunjukkan grafik hubungan *Bit Error Rate* (BER) terhadap temperatur pada variasi *line coding*.



Gambar 4.44. Grafik Hubungan *Bit Error Rate* Terhadap Temperatur pada Variasi *Line Coding*

Gambar 4.44 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka nilai *bit error rate* semakin tinggi. Nilai BER yang tinggi disebabkan karena adanya cahaya yang terbias keluar akibat pengaruh tingginya temperatur yang menyebabkan indeks bias semakin tinggi juga. Kenaikan indeks bias ditandai dengan perubahan indeks bias relatif (Δ) dan *Numerical Aperture* (NA) yang mempengaruhi perilaku pancaran cahaya pada proses transmisi data. Dengan adanya perubahan indeks bias relatif, mengindikasikan terjadinya pelebaran pulsa (dispersi) yang menyebabkan level sinyal yang diterima menurun dan terdapat Dengan adanya perubahan indeks bias relatif, mengindikasikan terjadinya pelebaran pulsa (dispersi) yang menyebabkan ISI (*Intersymbol Interference*) sehingga bit yang salah semakin banyak.

Berdasarkan Gambar 4.44 nilai BER naik secara linier terhadap kenaikan temperatur pada masing-masing *line coding*. Pada perubahan temperatur yang semakin tinggi dari 25°C sampai 65°C nilai BER yang paling kecil yaitu *Manchester* sekitar $4,801 \times 10^{-5}$ sampai $4,809 \times 10^{-5}$, hal itu disebabkan karena *Manchester* memiliki level sinyal tinggi dan terdapat transisi ditengah setiap periode bit untuk sinkronisasi. Sehingga meminimalisir adanya kesalahan bit. Pada *line coding* NRZ tidak memiliki sinkronisasi yang baik seperti *Manchester*, hal itu disebabkan karena adanya *baseline wandering* yang mengakibatkan komponen DC sehingga deteksi *error* pada sisi

penerima rendah. Pada NRZ-I *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 0 karena menunjukkan tidak adanya perubahan level sinyal dan pada NRZ-L *baseline wandering* terjadi apabila terdapat deretan panjang bit 1 dan bit 0. Sinkronisasi yang kurang baik mengindikasikan adanya kesalahan bit (*error bit*) sehingga memiliki nilai BER lebih besar dari *Manchester*.

Pada *line coding* BIP-RZ memiliki level sinyal rendah yang menyebabkan *noise* sehingga *error bit* semakin besar. *Line coding* BIP-RZ mempunyai karakteristik sinyal lebih baik daripada UNI-RZ karena menggunakan tiga level tegangan dan pada saat sinyal mencapai setengah durasi sinyal, sinyal tersebut dikembalikan ke tegangan nol. BER tertinggi terjadi pada *line coding* UNI-RZ yaitu sekitar $4,805 \times 10^{-5}$ sampai $4,820 \times 10^{-5}$. Hal itu dikarenakan pada UNI-RZ bit "1" merepresentasikan setengah dari periode bit dan bit "0" merepresentasikan saat tidak ada sinyal yang masuk. Oleh karena itu apabila pada periode bit yang lama terdapat banyak bit "0", maka akan menyebabkan rugi-rugi sinkronisasi. Sinkronisasi yang buruk pada *receiver* menyebabkan bit yang salah semakin banyak.

