

BAB IV

HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

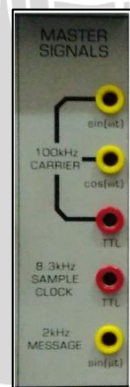
Bab IV menjelaskan hasil eksperimen dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan. Data yang disajikan dari hasil penelitian ini meliputi pengaruh *macrobending losses* terhadap BER dan *eye pattern* pada variasi *line coding* dengan media transmisi POF. Sistematika penulisan dalam Bab IV terdiri atas konfigurasi perangkat, prosedur pengambilan data, dan analisis data dari hasil eksperimen yang dilakukan.

4.1 Kofigurasi Perangkat Eksperimen

Perangkat yang digunakan dalam pengambilan data terdiri atas *master signal*, *sequence generator*, *line code encoder*, *fiber optic transmitter*, *plastic optical fiber* (POF), *mandrel*, *fiber optic receiver*, *line code decoder*, *integrate and dump*, *error counting utilities*, *multimeter*, *baseband channel filters*, dan *oscilloscope*. Blok diagram konfigurasi perangkat eksperimen telah ditunjukkan pada Gambar 3.3. Spesifikasi dan deskripsi dari masing-masing perangkat eksperimen adalah sebagai berikut :

1) *Master Signal*

Lima sinyal *analog* dan *digital* yang disinkronisasikan tersedia pada modul *master signal*. Dari rentang 2 kHz sampai 100 kHz. Fungsi dan frekuensi dari masing-masing sinyal dituliskan pada bagian depan modul. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



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

2) *Sequence Generator*

Modul ini menggunakan sinyal *eksternal clock*, keluaran *sequence generator* dua independen urutan acak X dan Y. Urutan X dan Y yang tersedia dapat berupa sinyal TTL atau analog. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.2.



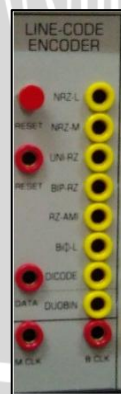
Gambar 4.2 *Sequence Generator*
(Sumber: TIMS User Manual)

Sinyal clock eksternal harus disediakan agar modul *sequence generator* berjalan. Sinyal dapat berupa sinusoida atau TTL. Urutan sinyal dapat berhenti kapanpun ketika menekan tombol reset yang terdapat pada modul *sequence generator*.

3) *Line Code Encoder*

Aliran data TTL *level* secara bersamaan dikodekan kedalam delapan *line-codes*. 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 yang tersedia pada modul *master signals*. Modul *sequence generator* digunakan untuk menyediakan data, kemudian masukan *clock* pada *sequence generator* menggunakan keluaran modul *encoder* B.CLK.



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

4) *Fiber Optic Transmitter*

Fiber optic transmitter berfungsi untuk mengkonversikan sinyal elektrik kedalam sinyal cahaya. Sinyal *analog* atau *digital* dapat ditransmisikan pada TIMS. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Fiber Optic Rx*
(Sumber: TIMS User Manual)

Sinyal yang akan ditransmisikan menggunakan terminal *input*. Saklar *input signal* dapat berfungsi untuk mengidentifikasi format sinyal yang dapat berupa sinyal TTL-level dan *analog*.

5) *Plastic Optical Fiber (POF)*

Pada penelitian ini serat optik yang digunakan adalah jenis *step-index multimode* dengan indeks bias inti (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. Jika ditinjau dari standar IEC 60793-2-40, serat optik yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam kategori A4a. Panjang kabel yang digunakan adalah satu meter. POF ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Plastic Optical Fiber*

6) *Mandrel*

Mandrel adalah tabung yang banyak digunakan untuk keperluan industri. *Mandrel* tersedia dalam berbagai ukuran dan bentuk sesuai dengan keperluan. Pada percobaan ini digunakan *mandrel* dengan diameter 4 mm – 20 mm sesuai dengan

diameter bengkokan sebagai alat untuk mempermudah terjadinya *bending*. Mandrel ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Mandrel dengan ukuran 4mm-20mm

7) *Fiber Optic Receiver*

Fiber optic receiver berfungsi untuk mengkonversikan sinyal cahaya ke dalam sinyal elektrik. Output sinyal dapat berupa *analog* atau *digital*. Sinyal yang akan diterima menggunakan konektor fiber optic input. Saklar *output signal* dapat berfungsi untuk mengidentifikasi format sinyal yang dapat berupa sinyal *TTL-level* dan *analog*. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Fiber Optic Tx*
(Sumber: TMS User Manual)

8) *Line Code Decoder*

Setiap sinyal yang dikodekan dihasilkan oleh modul line code encoder dapat didekodekan, yang menghasilkan aliran data TTL level. Sinkronisasi bit clock dengan deretan yang benar harus diberikan kepada modul decoder. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 *Line-Code Decoder*
(Sumber: TIMS User Manual)

9) *Integrate and Dump*

Variabel delay digital untuk sinyal clock TTL level dan dapat digunakan untuk menyelelarkan fasa bit clock ke aliran data. Variabel delay digital menerima standar sinyal TTL level pada input B.CLK dan juga output standar sinyal TTL level pada output CLK.OUT. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *Integrate & Dump*
(Sumber: TIMS User Manual)

10) *Error Counting Utilities*

Dua blok fungsional yang disediakan, yang dalam hubungannya dengan modul TIMS lain dapat digunakan ke pengukuran *carry-out bit error rate*. Dua blok adalah gerbang OR untuk membandingkan dua aliran data digital dan monostable yang tepat untuk penggerbangan sebuah perhitungan pulsa. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 *Error Counting Utilities*
(Sumber: TIMS User Manual)

11) *Baseband Channel Filters*

Empat *switch* yang terdapat pada modul ini 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 adalah 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 eksperimen ini digunakan PC *Oscilloscope* 60MHz jenis PicoScope 3204. Osiloskop ini memiliki dua kanal masukan dan mendukung *external trigger*. Tampilan osiloskop terhubung dengan PC sehingga memudahkan proses penyimpanan dan pencetakan tampilan sinyal. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.13.



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

4.2 **Prosedur Pengambilan Data**

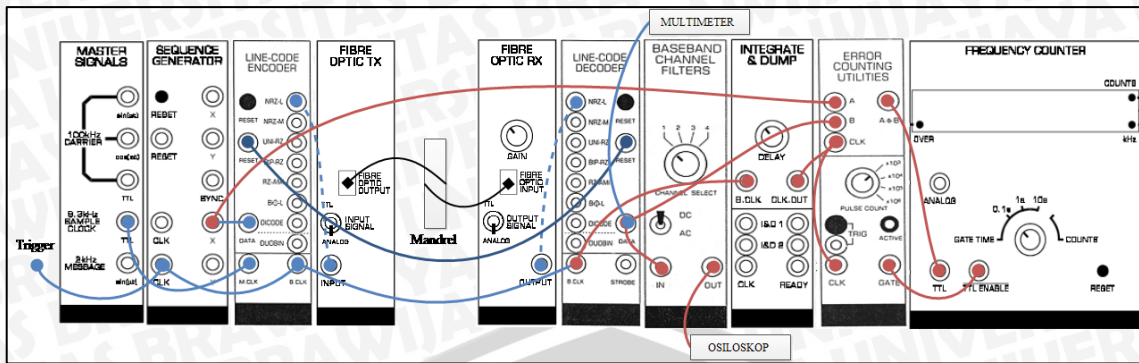
Prosedur pengambilan data penelitian ini diawali dengan tahap persiapan perangkat, antara lain modul-modul yang digunakan pada penelitian dan beberapa komponen pendukung pengukuran. Tahap awal yang dilakukan adalah membersihkan ujung POF dengan alkohol 95%. Hal ini dilakukan agar cahaya yang menjalar saat transmisi tidak terganggu oleh kotoran yang terdapat pada serat optik. Gambar 4.14 menunjukkan proses pembersihan POF dengan alkohol 95%.



Gambar 4.14 Pembersihan POF dengan Alkohol 95%

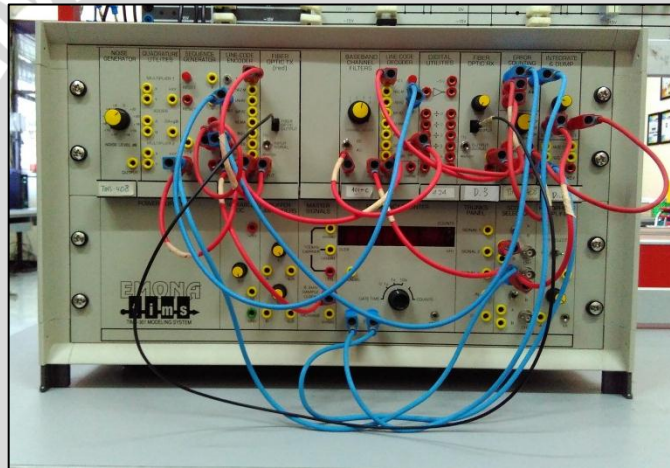
Tahap selanjutnya adalah menyiapkan mandrel dengan variasi diameter 4mm, 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm, 18mm dan 20mm. Mandrel yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Setelah tahap awal telah dilakukan maka konfigurasi perangkat penelitian dapat disusun sesuai pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Konfigurasi Perangkat Penelitian

Setelah perangkat tersusun secara lengkap dan benar, *power supply* dapat dinyalakan dan penelitian dapat segera dilakukan. Langkah pertama yang dilakukan untuk variasi jenis *line coding* dengan media transmisi POF tanpa *macro bending*. Susunan perangkat penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.16.



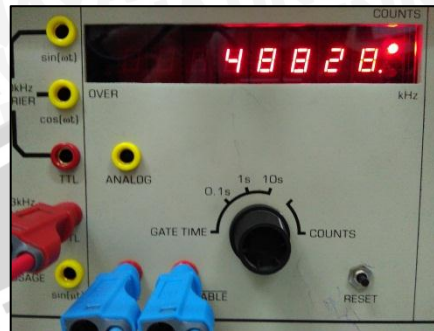
Gambar 4.16 Susunan Perangkat Penelitian Tanpa *Macro bending*

Pengambilan data pertama adalah pengukuran besar tegangan yang diterima di *receiver* dilakukan dengan menggunakan *multimeter*. Nilai tegangan sebelum terjadi *macro bending* dicatat sebagai V_a . Proses pengukuran besar tegangan yang diterima di *receiver* ini ditunjukkan pada Gambar 4.17.



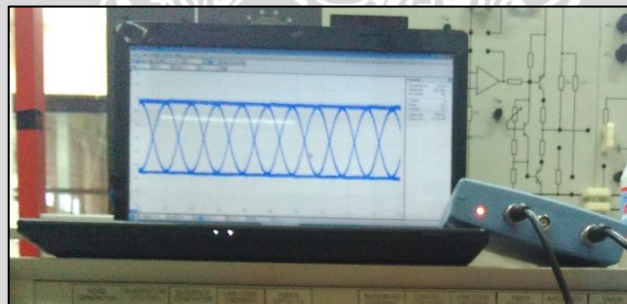
Gambar 4.17 Pengukuran Tegangan yang Diterima

Pengambilan data kedua adalah pengukuran BER dengan menggunakan modul *error counting utilities*. Hasil pengukuran bit *error* ditampilkan pada modul *frequency counter* yang telah diatur pada mode *counts* dalam bentuk angka digital. Angka yang muncul akan tertera pada modul *frequency counter* yang kemudian dicatat sebagai *Eb* (jumlah bit *error*). Pengukuran BER ditunjukkan pada Gambar 4.18.



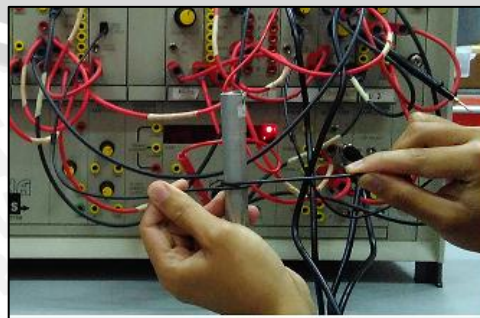
Gambar 4.18 Perhitungan *Bit Error* pada Modul *Frequency Counter*

Pengambilan data selanjutnya adalah pengukuran *eye pattern*. *Eye pattern* dibangkitkan oleh modul *baseband channel filters*. Tampilan *eye pattern* ditunjukkan melalui *software* PicoScope 6.0 pada laptop yang tersambung dengan PicoScope. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 4.19.



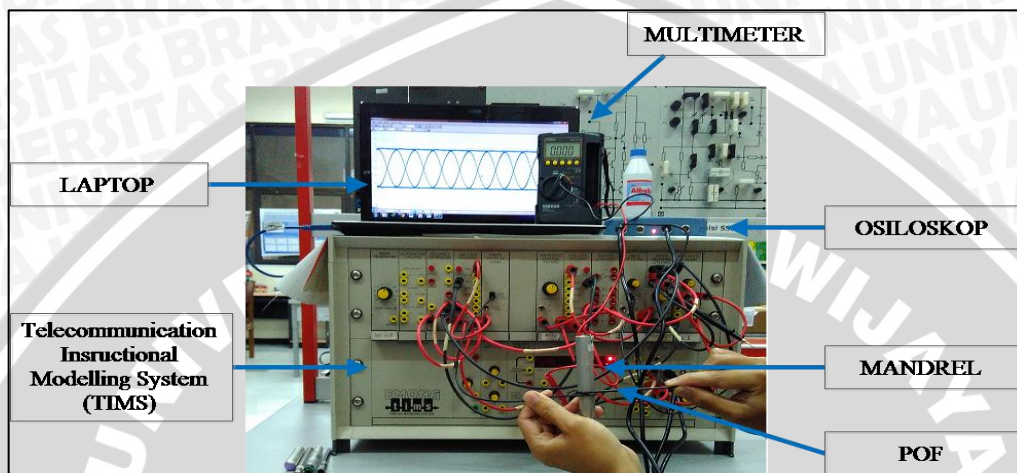
Gambar 4.19 Pengukuran *Eye Pattern* dengan PicoScope dan Laptop

Penelitian selanjutnya adalah POF dengan pengaruh *macrobending*. Kabel POF dibengkokkan pada mandrel dengan variasi diameter bengkokan 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, 18 mm dan 20 mm dalam satu lilitan. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 *Macrobending* pada POF dengan Mandrel

Melalui bengkokan ini akan didapatkan nilai *macrobending losses* untuk dianalisis pengaruhnya terhadap jenis *line coding* yang digunakan antara lain NRZ-L, NRZ-I, UNI-RZ, BIP-RZ, dan *Manchester*. Nilai *macrobending losses* dihitung setelah nilai tegangan terima saat terjadi *macrobending* atau dinyatakan dalam V_b . Konfigurasi perangkat penelitian dengan perlakuan *macrobending* pada media transmisi POF dengan variasi jenis *line coding* ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Susunan Perangkat Penelitian dengan *Macro bending*

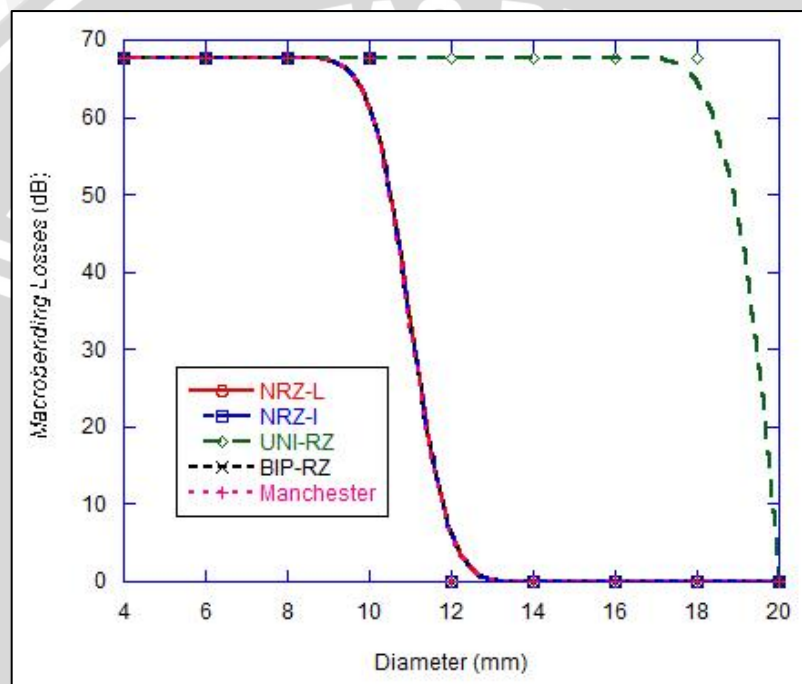
Proses pengambilan data tegangan, BER dan *eye pattern* dilakukan pada jenis *line coding* yang digunakan yaitu, NRZ-L, NRZ-I, UNI-RZ, BIP-RZ, dan *Manchester*. Gambar 4.22 merupakan bentuk *coding* yang digunakan pada penelitian ini. Pengukuran dilakukan untuk setiap diameter bengkokan 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, 18 mm dan 20 mm pada satu lilitan hingga seluruh data terkumpul untuk kemudian dianalisis.

$$\text{Macrobending Losses} = 20 \log \frac{2,432}{0,001} = 67,719 \text{ dB}$$

Perhitungan nilai BER menggunakan persamaan (2-7). Nilai E_b merupakan jumlah bit yang salah dari hasil pengukuran. Nilai T_b merupakan jumlah bit yang ditransmisikan yaitu 100000 bit yang telah diatur pada modul *error counting utilities*. Nilai BER untuk line coding UNI-RZ dengan diameter bengkokan 12 mm adalah :

$$\text{BER} = \frac{E_b}{T_b} = \frac{48825}{100000} = 488 \times 10^{-3}$$

Gambar 4.23 menunjukkan grafik hubungan antara diameter bengkokan dan *macrobending losses* untuk setiap jenis *line coding*.

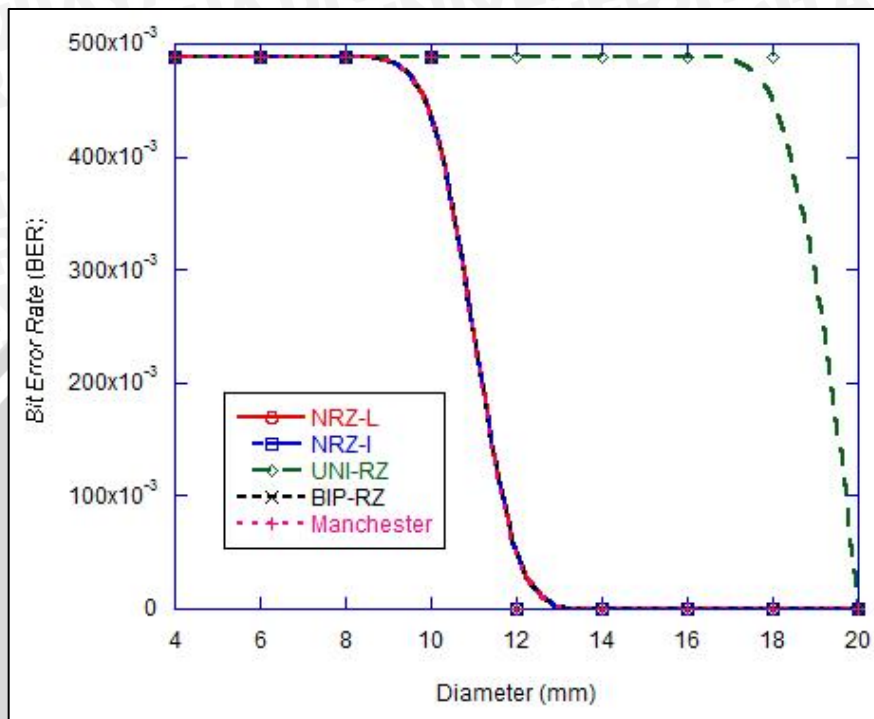


Gambar 4.23 Grafik Hubungan Antara Diameter Bengkokan dan *Macrobending Losses*

Gambar 4.23 menunjukkan pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ, dan *Manchester* nilai *macrobending losses* tidak begitu berpengaruh untuk diameter bengkokan 12 mm hingga 20 mm. Namun nilai *macrobending losses* terjadi kenaikan secara signifikan pada diameter 18 mm untuk *line coding* UNI-RZ. Dimana pada diameter 18 mm nilai *macrobending losses* untuk *line coding* UNI-RZ adalah sebesar 67,719 dB. Hal ini menunjukkan kenaikan yang sangat signifikan yaitu dari 0,003 dB ke 67,719 dB.

Macrobending losses akan menyebabkan banyak mode cahaya terbias keluar dari inti sehingga data tidak dapat ditransmisikan dengan sempurna. Ketika serat dibengkokkan nilai indeks bias meningkat. Jika diameter bengkokan semakin kecil maka akan semakin banyak cahaya yang terbias keluar. Peningkatan nilai indeks bias

akan mengakibatkan dispersi atau pelebaran pulsa. Dispersi pada sinyal menyebabkan level sinyal menurun dan terjadi *Intersymbol Interference* (ISI) sehingga terdapat *error bit* pada sinyal yang diterima. Gambar 4.24 menunjukkan grafik hubungan antara diameter bengkokan dan nilai BER untuk setiap jenis *line coding*.



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Antara Diameter Bengkokan dan BER

Dapat dilihat pada Gambar 4.24, nilai BER pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ dan *Manchester* tidak berpengaruh terhadap diameter bengkokan 12 mm hingga 20 mm, dimana nilai BER adalah nol, *macrobending losses* belum berpengaruh pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ dan *Manchester*. Nilai nol menunjukkan data yang dikirim sama dengan data yang diterima atau dengan kata lain tidak terdapat bit yang salah pada saat transmisi. Hal ini disebabkan pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ dan *Manchester* memiliki level sinyal yang lebih tinggi dibandingkan dengan *line coding* UNI-RZ.

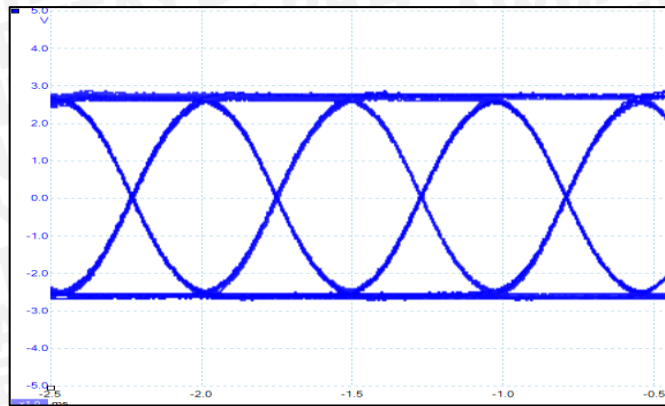
Karakteristik *line coding Manchester* terdapat transisi ditengah setiap periode bit. Adanya transisi ditengah setiap periode bit menyebabkan terjadi proses sinkronisasi antara pengirim dan penerima. Selain itu *line coding Manchester* memiliki level sinyal lebih tinggi dibandingkan dengan *line coding* lainnya. *Line coding* NRZ-L dan NRZ-I menggunakan tegangan positif dan negatif untuk merepresentasikan bit. *Line coding* NRZ-L memiliki karakteristik tegangan negatif dipakai untuk mewakili suatu bit dan tegangan positif dipakai untuk mewakili bit lainnya. Pada *line coding* NRZ-I memiliki

karakteristik terdapat transisi (*low* ke *high* atau *high* ke *low*) pada awal suatu bit untuk mewakili bit “1” dan tidak adanya transisi untuk mewakili bit “0”. *Line coding* NRZ-L dan NRZ-I memiliki komponen dc sehingga mengakibatkan sinkronisasi menjadi buruk. *Line coding* BIP-RZ memiliki karakteristik sinyal kembali ke nol pada pertengahan bit serta memiliki tiga level tegangan. Bit “1” direpresentasikan dengan perubahan level dari positif ke nol. Bit “0” direpresentasikan dengan perubahan perubahan level dari negatif ke nol.

Namun pada *line coding* UNI-RZ untuk diameter 18mm terjadi kenaikan BER yang sangat signifikan yaitu 488×10^{-3} . Hal ini menunjukkan bahwa *macro bending losses* sangat berpengaruh terhadap *line coding* UNI-RZ pada saat diameter 18 mm. Konsekuensi yang diberikan dari *macro bending losses* adalah transmisi data tidak dapat dilakukan sempurna karena nilai BER yang sangat tinggi yaitu 488×10^{-3} . Berdasarkan karakteristik *line coding* UNI-RZ, bit “1” direpresentasikan dengan setengah periode bit pertama atau kedua. Bit “0” direpresentasikan tidak adanya sinyal yang masuk selama periode bit. Sehingga pada saat bit “0” dianggap tidak terdapat sinyal pada periode bit tersebut, hal ini menyebabkan *line coding* UNI-RZ memiliki sinkronisasi yang buruk serta level sinyal yang lebih rendah dari pada *line coding* lainnya sehingga nilai BER naik secara signifikan.

4.3.2 Analisis Pengaruh *Macro bending Losses* Terhadap *Eye Pattern* pada Variasi Jenis *Line Coding*

Parameter yang akan diamati pada kinerja POF pada variasi *line coding* adalah bentuk *eye pattern*. *Eye pattern* atau *eye diagram* adalah parameter yang digunakan untuk melihat kualitas jaringan dari bentuk sinyal digital yang diterima. *Software* PicoScope 6.0 dapat menampilkan keluaran sinyal dari PicoScope sehingga dapat dilakukan pengukuran variable *eye pattern*. Gambar 4.25 merupakan contoh tampilan keluaran *eye pattern* pada PicoScope 6.0.

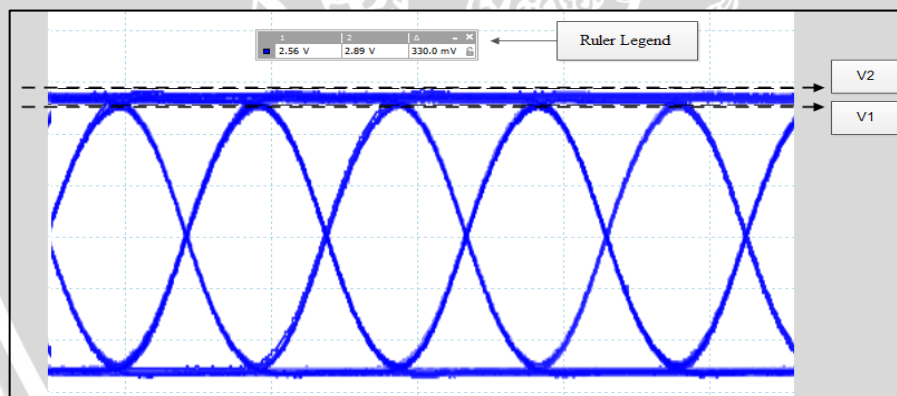


Gambar 4.25 Tampilan *Eye Pattern* pada PicoScope 6.0

Analisis *eye pattern* dilakukan dengan menghitung nilai *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate*. Perhitungan dan analisis untuk masing-masing parameter tersebut akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

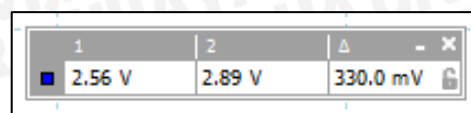
4.3.2.1 Analisis *Noise Margin* pada *Eye Pattern*

Nilai *noise margin* dihitung dari nilai puncak sinyal dari besar *eye opening* (V_1) dan nilai tegangan maksimum sinyal yang dihitung dari nilai *threshold* (V_2). Pengukuran nilai variabel-variabel tersebut dilakukan pada *software* PicoScope 6.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Pengukuran *Noise Margin* pada *Eye Pattern*

Gambar 4.26 menunjukkan pengukuran *noise margin* pada *line coding* NRZ-L ketika tidak terjadi *macro bending*. Nilai V_1 dan V_2 dapat diketahui dengan mengarahkan *signal rulers* pada PicoScope 6.0. Nilai dari *signal rulers* tersebut ditampilkan dalam *ruler legend* di atas tampilan *eye pattern*. Secara jelas V_1 dan V_2 pada *ruler legend* ditampilkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Nilai V_1 dan V_2 pada *Ruler Legend*

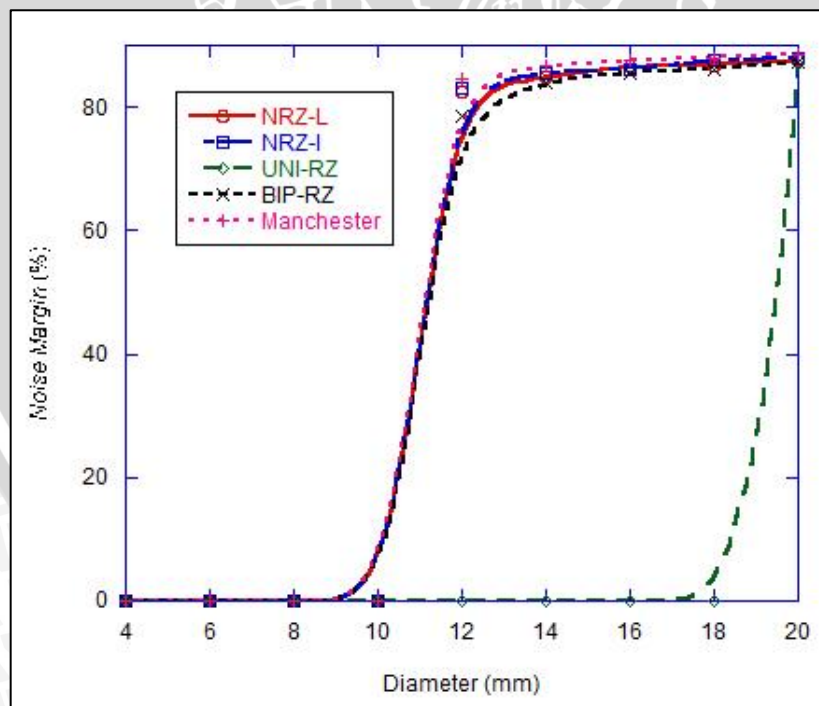
Nilai V_1 ditunjukkan pada kolom *ruler* satu yaitu sebesar 2,56 V dan nilai V_2 ditunjukkan pada kolom *ruler* dua yaitu sebesar 2,89 V. Data pengukuran *noise margin* untuk variasi besar diameter bengkokan dalam bentuk lilitan dilakukan untuk setiap jenis *line coding* yang digunakan, yaitu NRZ-L, NRZ-I, UNI-RZ, BIP-RZ, dan *Manchester* dapat menggunakan cara yang sama.

Pada diameter bengkokan dan jenis *line coding* tertentu yang menyebabkan nilai *macrobending losses* besar, *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan karena tidak ada data yang ditransmisikan. Oleh karena itu, nilai V_1 dan V_2 tidak dapat dianalisis.

Perhitungan nilai *noise margin* dapat dilakukan menggunakan persamaan (2-8). Besar nilai *noise margin* untuk *line coding* NRZ-L tanpa *macrobending* adalah :

$$\text{Noise Margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% = \frac{2,56\text{Volt}}{2,89\text{Volt}} \times 100\% = 88,58\%$$

Nilai *noise margin* untuk diameter bengkokan pada setiap jenis *line coding* dapat dihitung menggunakan cara yang sama. Nilai *noise margin* ketika *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan dianggap 0% dengan asumsi nilai V_1 sangat kecil mendekati nol. Gambar 4.28 menunjukkan grafik hubungan antara diameter bengkokan dan *noise margin* untuk setiap jenis *line coding*.



Gambar 4.28 Grafik Hubungan Antara Besar Diameter Bengkokan dengan *Noise Margin*

Perubahan nilai *noise margin* yang terjadi disebabkan karena semakin kecil besar diameter bengkokan yang digunakan pada setiap variasi *line coding*. Ketika serat dibengkokkan mengakibatkan indeks bias meningkat dan penjararan cahaya yang terjadi pada serat optik berubah. Beberapa cahaya akan terbias keluar dari jalur. Jika diameter bengkokan yang digunakan semakin kecil maka semakin banyak cahaya yang terbias keluar. Meningkatnya indeks bias akan mengakibatkan dispersi atau pelebaran pulsa. Hal ini akan mengakibatkan level sinyal dan ketahanan sinyal terhadap *noise* menjadi turun.

Pada Gambar 4.28 terlihat bahwa semakin kecil diameter bengkokan maka ketahanan sinyal terhadap *noise* yang disebut *noise margin* akan turun. Pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ dan *Manchester* untuk diameter bengkokan 20mm – 12mm tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Nilai *noise margin* yang tinggi menunjukkan ketahanan sinyal terhadap *noise* yang tinggi atau dengan kata lain hanya sedikit *noise* yang terjadi dalam transmisi. *Macrobending losses* belum berpengaruh secara signifikan pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ dan *Manchester* untuk diameter 20mm – 12mm. Pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, dan *Manchester* nilai *noise margin* yaitu sekitar 88% hingga 82% untuk diameter 20mm – 12mm. Pada *line coding* BIP-RZ nilai *noise margin* yaitu sekitar 87% hingga 78%. Hal ini disebabkan BIP-RZ memiliki level sinyal lebih rendah dibandingkan *line coding* NRZ-L, NRZ-I, dan *Manchester*. Level sinyal rendah akan menyebabkan ketahanan sinyal terhadap *noise* rendah.

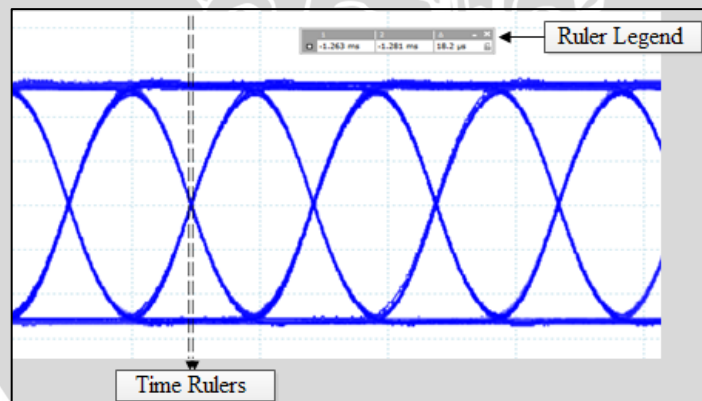
Karakteristik *Manchester* terdapat transisi ditengah setiap periode bit. Adanya transisi ditengah setiap periode bit menyebabkan terjadi proses sinkronisasi antara pengirim dan penerima. Selain itu *line coding Manchester* memiliki level sinyal lebih tinggi dibandingkan dengan *line coding* lainnya. *Line coding* NRZ-L dan NRZ-I menggunakan tegangan positif dan negatif untuk merepresentasikan bit. *Line coding* NRZ-L memiliki karakteristik tegangan negatif dipakai untuk mewakili suatu bit dan tegangan positif dipakai untuk mewakili bit lainnya. Pada *line coding* NRZ-I memiliki karakteristik terdapat transisi (*low* ke *high* atau *high* ke *low*) pada awal suatu bit untuk mewakili bit “1” dan tidak adanya transisi untuk mewakili bit “0”. *Line coding* NRZ-L dan NRZ-I memiliki komponen dc sehingga mengakibatkan sinkronisasi menjadi buruk. *Line coding* BIP-RZ memiliki karakteristik sinyal kembali ke nol pada pertengahan bit serta memiliki tiga level tegangan. Bit “1” direpresentasikan dengan perubahan level

dari positif ke nol. Bit “0” direpresentasikan dengan perubahan perubahan level dari negatif ke nol.

Pada *line coding* UNI-RZ untuk diameter bengkokan 18 mm nilai *noise margin* sangat rendah yaitu 0%. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh *macrobanding losses* sangat tinggi pada *line coding* UNI-RZ untuk diameter bengkokan 18 mm. Konsekuensi yang diberikan adalah kekebalan sistem terhadap *noise* semakin berkurang. Pada nilai ini transmisi data tidak dapat dilakukan karena pengaruh *macrobanding losses* yang besar. Berdasarkan karakteristik *line coding* UNI-RZ dimana bit “1” direpresentasikan dengan setengah periode bit pertama atau kedua. Bit “0” direpresentasikan tidak adanya sinyal yang masuk selama periode bit. Sehingga pada saat bit “0” dianggap tidak terdapat sinyal pada periode bit tersebut, hal ini menyebabkan *line coding* UNI-RZ memiliki sinkronisasi yang buruk. Selain itu *line coding* UNI-RZ memiliki level sinyal yang paling rendah dari pada *line coding* lainnya sehingga ketahanan sinyal terhadap *noise* turun secara signifikan.

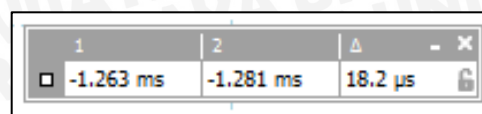
4.3.2.2 Analisis *Timing Jitter* pada *Eye Pattern*

Nilai *timing jitter* dihitung dari besar *timing error* atau distorsi waktu (ΔT) dan nilai *bit interval* (T_b). Pengukuran nilai-nilai tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* PicoScope 6.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.29.



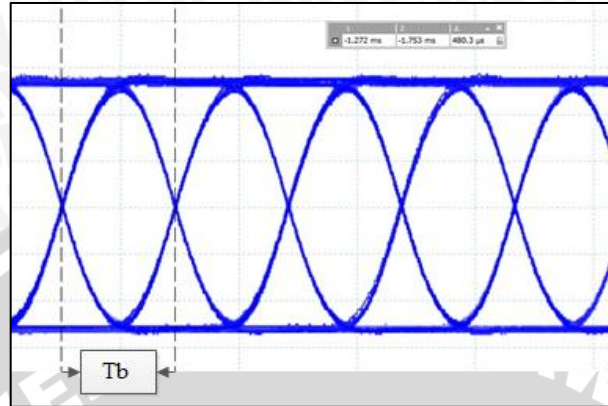
Gambar 4.29 Pengukuran Jumlah Distorsi (ΔT) pada *Eye Pattern*

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.



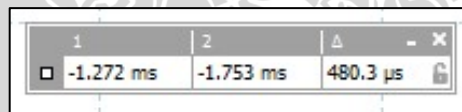
Gambar 4.30 Nilai ΔT pada *Ruler Legend*

Nilai ΔT ditunjukkan pada kolom *ruler difference* (Δ) yaitu sebesar 18,2 μs . Nilai tersebut merupakan nilai ΔT ketika kondisi tanpa *macrobending* pada *line coding* NRZ-L. 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* yang ada 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 474,9 μs . Nilai tersebut merupakan nilai T_b ketika kondisi tanpa *macrobending* pada *line coding* NRZ-L.

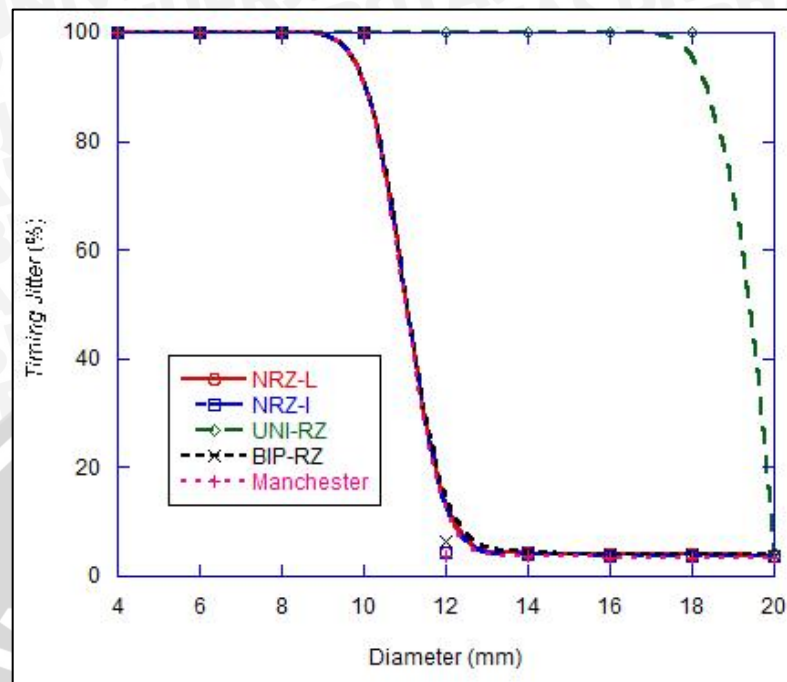
Nilai T_b untuk setiap diameter bengkokan dan jenis *line coding* yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan cara yang sama. Pada diameter bengkokan dan jenis *line coding* tertentu dapat menyebabkan nilai *macrobending losses* besar, dan *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan karena tidak ada data yang ditransmisikan. Oleh karena itu nilai ΔT dan T_b tidak dapat dianalisis.

Perhitungan nilai *timing jitter* dilakukan menggunakan persamaan (2-9). Besar nilai *timing jitter* untuk kondisi tanpa *macrobending* pada *line coding* NRZ-L adalah :

$$\text{Timing Jitter (\%)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% = \frac{18,2}{480,3} \times 100\% = 3,79\%$$

Nilai *timing jitter* untuk setiap diameter bengkokan dan jenis *line coding* yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan cara yang sama. Nilai *timing jitter* ketika *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan dianggap 100% dengan asumsi nilai ΔT

sangat besar mendekati satu *bit interval*. Gambar 4.33 menunjukkan grafik hubungan antara diameter bengkokan dengan *timing jitter*.



Gambar 4.33 Grafik Hubungan Antara Besar Diameter Bengkokan dengan *Timing Jitter*

Semakin kecil diameter bengkokan yang digunakan akan menyebabkan perubahan nilai *timing jitter*. Jika serat optik dibengkokkan menyebabkan nilai indeks bias meningkat. Semakin kecil diameter bengkokan maka semakin banyak cahaya yang terbias keluar. Meningkatnya indeks bias akan mengakibatkan dispersi atau pelebaran pulsa. Hal ini akan mengakibatkan level sinyal menjadi turun dan muncul noise dalam bentuk distorsi fasa. Distorsi fasa ini akan menyebabkan pergeseran timing sinyal sehingga *timing error* meningkat.

Pada Gambar 4.33 menunjukkan bahwa semakin kecil diameter bengkokan yang digunakan pada jenis *line coding* NRZ-L, NRZ-I, UNI-RZ, BIP-RZ, dan *Manchester* akan menyebabkan kenaikan nilai *timing jitter*. Pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ, dan *Manchester* untuk diameter 20mm – 12mm nilai *timing jitter* cenderung rendah. Hal ini menunjukkan bahwa *macro bending losses* belum berpengaruh signifikan pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ, dan *Manchester* untuk diameter 20 mm – 12 mm. Pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, dan *Manchester* nilai *timing jitter* yaitu sekitar 3,4% hingga 4,4% untuk diameter 20mm – 12mm. Pada *line coding* BIP-RZ nilai *timing jitter* yaitu sekitar 3,8% hingga 6,2%. Hal ini disebabkan BIP-RZ memiliki level sinyal lebih rendah dibandingkan *line coding* NRZ-L, NRZ-I, dan *Manchester*.

Level sinyal rendah akan menyebabkan *noise* dan mengindikasikan adanya distorsi fasa yang mengakibatkan pergeseran timing sinyal sehingga *timing error* semakin besar.

Karakteristik *Manchester* terdapat transisi ditengah setiap periode bit. Adanya transisi ditengah setiap periode bit menyebabkan terjadi proses sinkronisasi antara pengirim dan penerima. Selain itu *line coding Manchester* memiliki level sinyal lebih tinggi dibandingkan dengan *line coding* lainnya. *Line coding* NRZ-L dan NRZ-I menggunakan tegangan positif dan negatif untuk merepresentasikan bit. *Line coding* NRZ-L memiliki karakteristik tegangan negatif dipakai untuk mewakili suatu bit dan tegangan positif dipakai untuk mewakili bit lainnya. Pada *line coding* NRZ-I memiliki karakteristik terdapat transisi (*low* ke *high* atau *high* ke *low*) pada awal suatu bit untuk mewakili bit "1" dan tidak adanya transisi untuk mewakili bit "0". *Line coding* NRZ-L dan NRZ-I memiliki komponen dc sehingga mengakibatkan sinkronisasi menjadi buruk. *Line coding* BIP-RZ memiliki karakteristik sinyal kembali ke nol pada pertengahan bit serta memiliki tiga level tegangan. Bit "1" direpresentasikan dengan perubahan level dari positif ke nol. Bit "0" direpresentasikan dengan perubahan perubahan level dari negatif ke nol.

Namun pada *line coding* UNI-RZ untuk diameter bengkokan 18 mm nilai *timing jitter* naik secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh *macrobending losses* sangat tinggi pada *line coding* UNI-RZ untuk diameter bengkokan 18 mm. Berdasarkan karakteristik *line coding* UNI-RZ dimana bit "1" direpresentasikan dengan setengah periode bit pertama atau kedua. Bit "0" direpresentasikan tidak adanya sinyal yang masuk selama periode bit. Sehingga pada saat bit "0" dianggap tidak terdapat sinyal pada periode bit tersebut, hal ini menyebabkan *line coding* UNI-RZ memiliki sinkronisasi yang buruk. Selain itu *line coding* UNI-RZ memiliki level sinyal yang lebih rendah dari pada *line coding* lainnya sehingga terdapat *noise* dalam bentuk distorsi fasa yang akan menyebabkan pergeseran timing sinyal yang signifikan dan *timing error* cenderung tinggi.

4.3.2.3 Analisis *Bit Rate* pada *Eye Pattern*

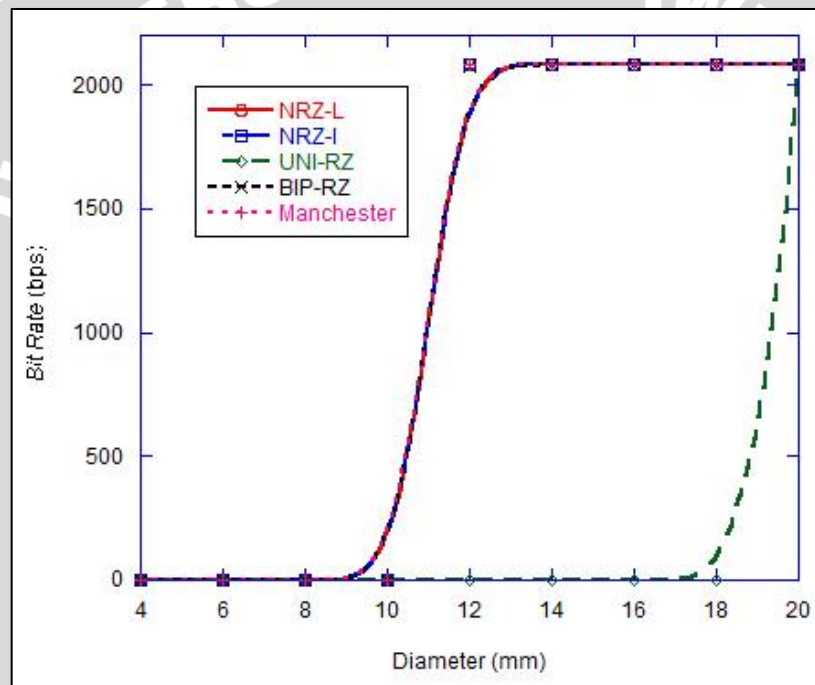
Nilai *bit rate* dihitung dari besar *bit interval* (T_b). Nilai ini menunjukkan waktu yang diperlukan untuk transmisi satu bit data. Pengukuran nilai T_b telah dijelaskan sebelumnya pada Sub Bab 4.3.2.2.

Pada diameter bengkokan dan jenis *line coding* tertentu yang menyebabkan nilai *macrobending losses* besar, *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan karena tidak ada data yang ditransmisikan. Oleh karena itu nilai T_b tidak dapat dianalisis.

Perhitungan nilai *bit rate* dapat dilakukan menggunakan persamaan (2-10). Nilai *bit rate* untuk kondisi tanpa *macrobending* pada *line coding* NRZ-L adalah :

$$\text{Bit Rate} = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{480,3 \mu\text{s}} \approx 2082 \text{ bps}$$

Nilai *bit rate* untuk diameter bengkokan pada jenis *line coding* lain dapat dihitung dengan cara yang sama. Nilai *bit rate* ketika *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan dianggap nol karena tidak terjadi penransmisian data. Gambar 4.34 menunjukkan grafik hubungan antara besar diameter bengkokan dengan *bit rate*.



Gambar 4.34 Grafik Hubungan Antara Besar Diameter Bengkokan dengan *Bit Rate*

Semakin kecil diameter bengkokan yang digunakan maka *bit rate* akan berubah. Ketika serat optik dibengkokkan mengakibatkan indeks bias meningkat. Semakin kecil diameter bengkokan maka level sinyal menurun dan semakin banyak cahaya yang terbias keluar. Hal ini menyebabkan semakin banyak data yang hilang sehingga data yang sampai pada penerima akan lebih sedikit atau dengan kata lain *bit rate* menjadi turun.

Pada Gambar 4.34 menunjukkan bahwa semakin kecil diameter bengkokan pada jenis *line coding* NRZ-L, NRZ-I, UNI-RZ, BIP-RZ, dan *Manchester* maka *bit rate* semakin berkurang. Pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, BIP-RZ, dan *Manchester* untuk

diameter 20 mm – 12 mm *macrobanding losses* belum berpengaruh signifikan, sehingga *bit rate* masih tinggi. Pada *line coding* NRZ-L, NRZ-I, dan *Manchester* nilai *bit rate* yaitu sekitar 2082 bps hingga 2080 bps untuk diameter 20mm – 12mm. Pada *line coding* BIP-RZ nilai *timing jitter* yaitu sekitar 2081 bps hingga 2075 bps untuk diameter 20mm – 12mm. Hal ini disebabkan BIP-RZ memiliki level sinyal lebih rendah dibandingkan *line coding* NRZ-L, NRZ-I, dan *Manchester*. Level sinyal rendah mengakibatkan semakin banyak data yang hilang pada penerima sehingga *bit rate* menjadi turun.

Karakteristik *Manchester* terdapat transisi ditengah setiap periode bit. Adanya transisi ditengah setiap periode bit menyebabkan terjadi proses sinkronisasi antara pengirim dan penerima. Selain itu *line coding Manchester* memiliki level sinyal lebih tinggi dibandingkan dengan *line coding* lainnya. *Line coding* NRZ-L dan NRZ-I menggunakan tegangan positif dan negatif untuk merepresentasikan bit. *Line coding* NRZ-L memiliki karakteristik tegangan negatif dipakai untuk mewakili suatu bit dan tegangan positif dipakai untuk mewakili bit lainnya. Pada *line coding* NRZ-I memiliki karakteristik terdapat transisi (*low* ke *high* atau *high* ke *low*) pada awal suatu bit untuk mewakili bit “1” dan tidak adanya transisi untuk mewakili bit “0”. *Line coding* NRZ-L dan NRZ-I memiliki komponen dc sehingga mengakibatkan sinkronisasi menjadi buruk. *Line coding* BIP-RZ memiliki karakteristik sinyal kembali ke nol pada pertengahan bit serta memiliki tiga level tegangan. Bit “1” direpresentasikan dengan perubahan level dari positif ke nol. Bit “0” direpresentasikan dengan perubahan perubahan level dari negatif ke nol.

Namun pada *line coding* UNI-RZ untuk diameter 18 mm nilai *bit rate* turun secara signifikan yaitu adalah 0 bps. Hal ini menunjukkan pengaruh *macrobanding losses* sangat tinggi pada *line coding* UNI-RZ untuk diameter 18 mm, dimana kabel tidak dapat mentransmisikan data. Dengan demikian akan menyebabkan *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan sehingga nilai *bit rate* tidak dapat dianalisis. Berdasarkan karakteristik *line coding* UNI-RZ dimana bit “1” direpresentasikan dengan setengah periode bit pertama atau kedua. Bit “0” direpresentasikan tidak adanya sinyal yang masuk selama periode bit. Sehingga pada saat bit “0” dianggap tidak terdapat sinyal pada periode bit tersebut, hal ini menyebabkan *line coding* UNI-RZ memiliki sinkronisasi yang buruk. Selain itu *line coding* UNI-RZ memiliki level sinyal yang lebih rendah dibandingkan *line coding* lainnya sehingga nilai *bit rate* menjadi turun secara signifikan.