

BAB IV

HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil eksperimen dan pembahasan berupa analisis dari penelitian ini. Hasil eksperimen akan disajikan dalam bentuk data yang meliputi pengaruh dari variasi rugi-rugi tekanan beban diam terhadap parameter performansi BER dan *eye pattern*. Sistematika penyajian Bab IV ini terdiri atas konfigurasi perangkat-perangkat yang digunakan pada eksperimen, prosedur pengambilan data, dan analisis dari data yang telah didapat dari eksperimen.

4.1 Konfigurasi Perangkat Pengukuran

Konfigurasi perangkat pengukuran pada penelitian ini disajikan dalam bentuk blok diagram yang telah ditunjukkan pada Gambar 3.3. Perangkat yang digunakan terdiri atas PRBS generator, LED, *photo diode*, POF jenis *step index multimode* sepanjang satu meter, penampang bidang tekan, *mandrel* dengan diameter 1 cm, Beban diam, *multimeter*, dan osiloskop. Spesifikasi dan penjelasan dari masing-masing perangkat eksperimen adalah sebagai berikut:

1) PRBS generator

Pseudorandom Bit Sequence (PRBS) generator adalah perangkat untuk membangkitkan sinyal data acak. Kata *pseudorandom* memiliki arti bahwa kombinasi 0 dan 1 yang dibangkitkan adalah berulang tapi secara acak. Bentuk perangkat diilustrasikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. PRBS Generator

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

PRBS dapat 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. Pada eksperimen ini digunakan PRBS yang dibangkitkan dengan menggunakan *4-bit right shift*

register yang umpan baliknya dilengkapi dengan gerbang XOR. Tabel 4.1 menunjukkan tabel logika PRBS *Sequence* jika diberi masukan 1001.

Tabel 4.1. Logika PRBS *Generator*

<i>Clock</i>	D1	D2	D3	D4	
<i>States</i>			A	B	C
1	1	0	0	1	1
2	1	1	0	0	0
3	0	1	1	0	1
4	1	0	1	1	0
5	0	1	0	1	1
6	1	0	1	0	1
7	1	1	0	1	1
8	1	1	1	0	1
9	1	1	1	1	0
10	0	1	1	1	0
11	0	0	1	1	0
12	0	0	0	1	1
13	1	0	0	0	0
14	0	1	0	0	0
15	0	0	1	0	1
16	1	0	0	1	1

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

Rangkaian sekuensial di atas akan selalu berulang dengan periode sesuai dengan 16 *clock states*. Panjang *sequence* = $2^4 = 16$. Dari Tabel 4.1 didapatkan pola *Pseudo Random Bit Sequence* adalah C = 1010111100010011.

2) LED

LED yang digunakan pada penelitian ini adalah LED tipe SFH756V. Cahaya keluaran LED berpusat pada gelombang merah tampak dengan panjang gelombang 660 nm. Modul pemancar menerima sinyal masukan dalam bentuk listrik lalu mengubahnya

menjadi energi cahaya yang membawa informasi yang sama. Cahaya tersebut kemudian dihantarkan melalui serat optik. Bentuk perangkat diilustrasikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Perangkat *Transmitter*

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

3) *Mandrel dan Penampang beban*

Pada penelitian ini, terdapat *Mandrel* yang merupakan tabung yang banyak digunakan untuk keperluan industri. *Mandrel* tersedia dalam berbagai ukuran dan bentuk sesuai dengan keperluan. Pada penelitian ini digunakan *mandrel* dengan diameter 10 mm disesuaikan sebagai alat untuk memperlihatkan pengaruh beban diam pada daerah tertentu pada kabel POF. Bentuk perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada skripsi ini akan diletakkan beban dengan luas permukaan bidang tekan 1 cm x 0.22 cm. Beban ini akan dilakukan di 2 titik dengan jarak 5 cm.



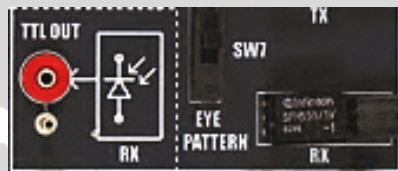
Gambar 4.3. *Mandrel* dengan Ukuran 10 mm dan penampang beban

4) *Plastic Optical Fiber (POF)*

Serat optik yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis *step-index multimode* dengan indeks bias inti (n_1) 1.492 dan indeks bias *cladding* (n_2) 1.406. Serat optik memiliki diameter 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.

5) *Photo diode*

Pada sistem komunikasi serat optik ini terdapat penerima, yang berfungsi untuk mengubah cahaya kembali ke bentuk listrik yang kemudian diolah agar sesuai dengan bentuk asli sebelum dipancarkan. Penerima pada penelitian ini menggunakan *photo diode* tipe SFH551/1V. *Photo diode* tipe SFH551/1V adalah *photo transistor* dengan keluaran TTL *logic*. Ketika cahaya masuk ke detektor maka keluaran sinyal adalah TTL *high* sedangkan ketika tidak ada cahaya maka TTL *low*. Bentuk perangkat diilustrasikan pada Gambar 4.4.

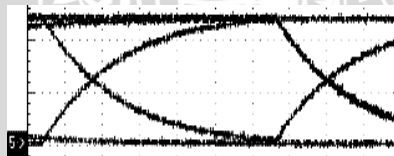


Gambar 4.4. Perangkat *Receiver*

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

6) *Eye Pattern Generator*

Eye Pattern Generator ini berfungsi sebagai pembangkit *eye pattern* pada penelitian ini. *Eye pattern* dibangkitkan dari kombinasi 4-bit-long NRZ pada keluaran PRBS *generator* yang masuk ke masukan vertikal osiloskop dan *clock* untuk memicu *horizontal sweep*. Kedua masukan akan menghasilkan tampilan yang menyerupai mata manusia seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Tampilan *Eye Pattern* dalam Osiloskop

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

Eye pattern dibangkitkan dengan menggunakan *switch eye pattern*. Bentuk perangkat diilustrasikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. *Switch Eye Pattern*

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

7) *Oscilloscope*

Oscilloscope pada penelitian 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 4.8.



Gambar 4.8. PicoScope 3204

(Sumber: www.picotech.com, 2013)

Pada penggunaan osiloskop untuk eksperimen ini, kanal masukan diatur *ac coupled*. Penggunaan X10 (*attenuation probe*) atau resistansi 180 Ω yang diseri dengan *probe* osiloskop disarankan ketika pengamatan sinyal pada osiloskop.

8) *Multimeter*

Pada penelitian ini, *multimeter* yang digunakan jenis *Digital Multimeter* dengan nama SANWA CD800A. *Multimeter* ini sebagai alat untuk mengukur besaran utama pada listrik yaitu tegangan, arus, dan hambatan dan besaran lain seperti frekuensi dan induksi. Sebagai syarat pencarian parameter, *multimeter* ini digunakan untuk mengukur tegangan keluaran detektor penerima. Bentuk perangkat secara jelas ditunjukkan pada Gambar 4.9.



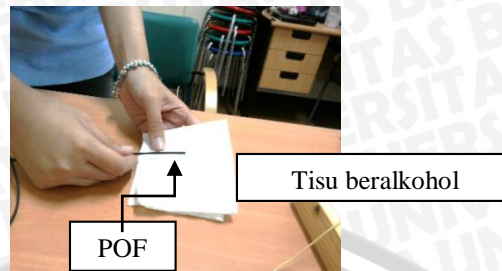
Gambar 4.9. *Digital Multimeter* SANWA CD800A

(Sumber: <http://overseas.sanwa-meter.co.jp>, 2013)

4.2 **Prosedur Pengambilan Data**

Prosedur pengambilan data pada penelitian ini dimulai dengan persiapan alat dan komponen pendukung pengukuran. Hal yang perlu dilakukan untuk persiapan awal salah satunya adalah membersihkan ujung POF dengan Alkohol 95% untuk mengurangi

ketidakmurnian pada POF yang mempengaruhi transmisi cahaya. Proses ini secara jelas ditunjukkan pada Gambar 4.10.



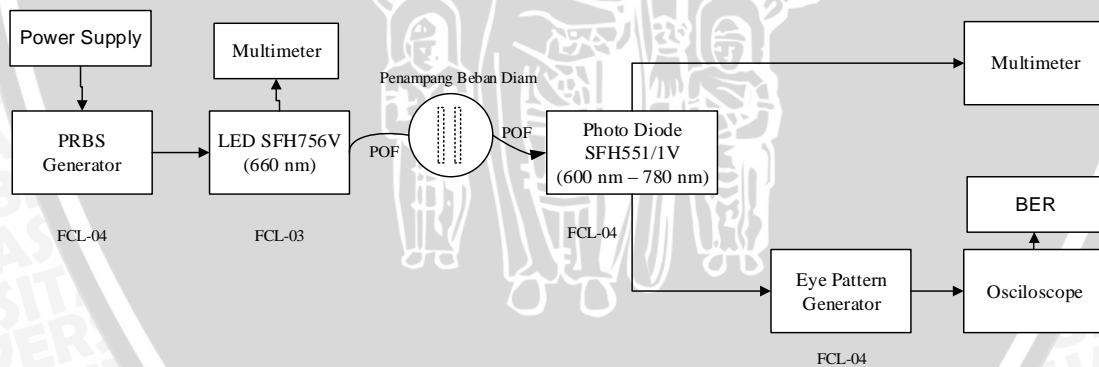
Gambar 4.10. Membersihkan POF dengan tisu Alkohol 95%

Persiapan lain adalah dengan mengukur diameter *mandrel* menggunakan mikrometer sekrup. Mikrometer sekrup yang digunakan memiliki ketelitian hingga 0,01 mm. Proses pengukuran *mandrel* ditunjukkan pada Gambar 4.11.



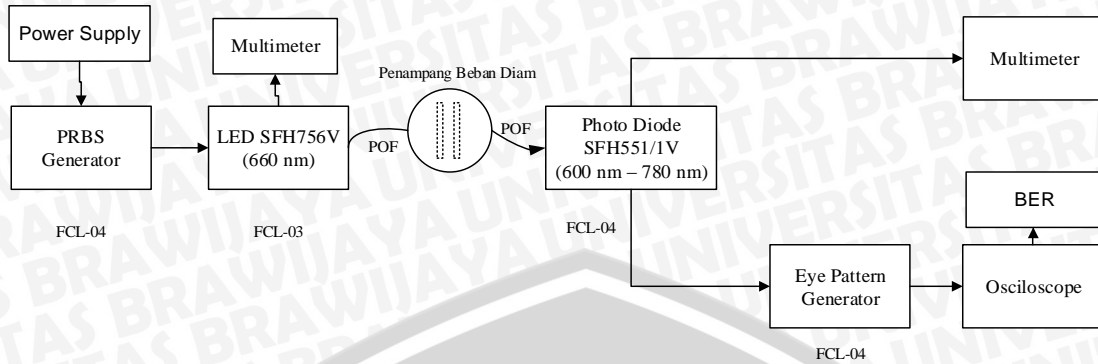
Gambar 4.11. Pengukuran Diameter *Mandrel* Menggunakan Mikrometer Sekrup

Perangkat disusun sesuai dengan panduan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Susunan Perangkat Eksperimen

Setelah penyusunan perangkat, *power supply* dapat dinyalakan dan eksperimen dapat segera dilakukan setelah alat tersusun secara lengkap dan benar. Eksperimen pertama dilakukan untuk POF tanpa beban diam. Pada eksperimen ini alat yang digunakan PRBS generator, transmitter LED, POF, penerima Photo Dioda, osiloskop dan multimeter Susunan perangkat eksperimen secara jelas ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Perangkat Eksperimen Tanpa Tekanan Beban Diam

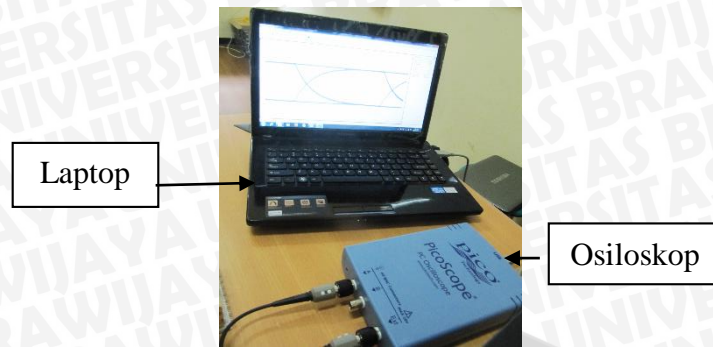
Pengambilan data pertama adalah besar tegangan di penerima yang diukur dengan multimeter disesuaikan dengan tegangan pengirim 2,7 Volt. Nilai dicatat sebagai V_b atau tegangan sebelum terpengaruh tekanan beban diam. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Pengukuran Tegangan Penerima dengan *Multimeter*

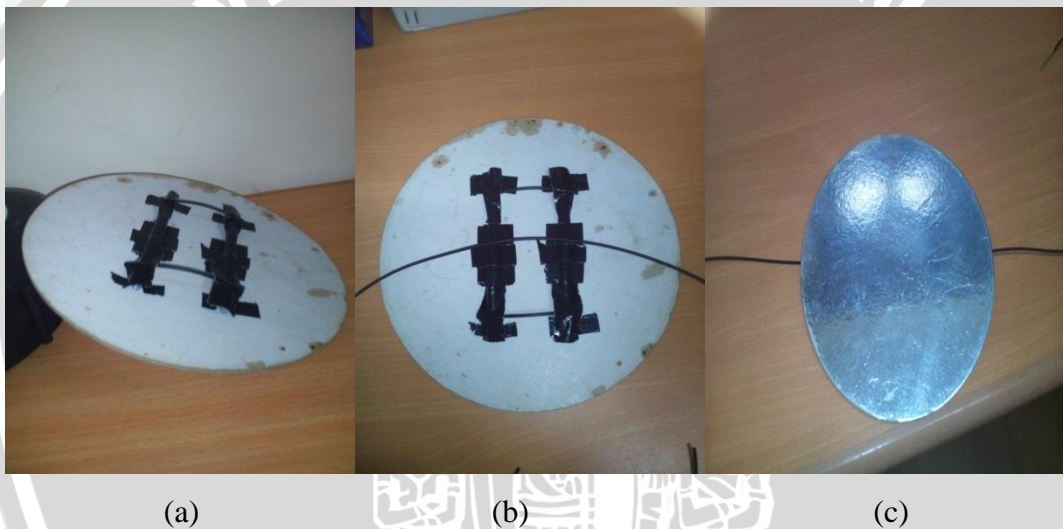
Pengukuran data selanjutnya adalah pengukuran BER. Hasil pengukuran *error bit* ditampilkan melalui data yang ada pada *Eye Pattern*. Proses ini dimulai dengan penentuan waktu lama pengambilan *Eye Pattern* yaitu 20 detik. Kemudian pada *Eye Pattern* diambil data Bit Rate yang dihitung dari rumus (13). Perhitungan dengan rumus BER dilakukan sesuai rumus (10).

Pengambilan data terakhir adalah pengambilan data *eye pattern*. Tampilan *eye pattern* ditunjukkan melalui *software* PicoScope 6.0 pada laptop yang telah tersambung dengan PicoScope. Pada tampilan didapatkan *noise margin*, *jitter*, *SNR* dan *Bitrate*. Proses ini secara jelas ditunjukkan pada Gambar 4.15.



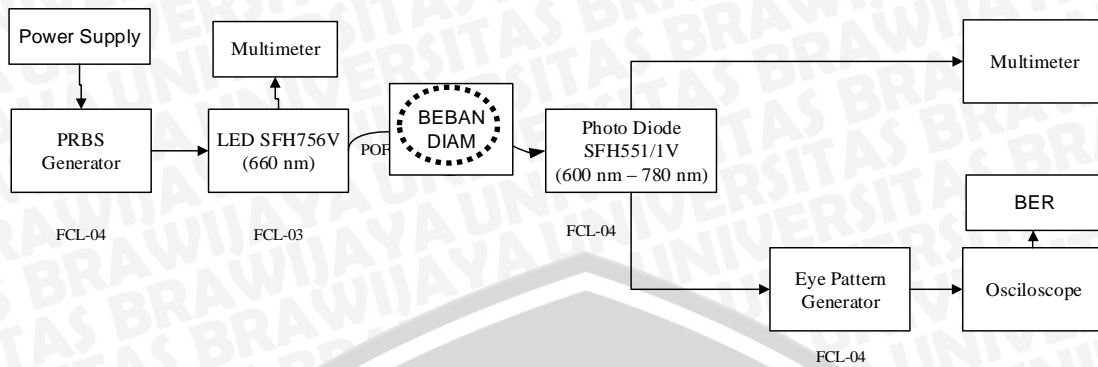
Gambar 4.15. *Eye Pattern* ditampilkan Melalui Picoscope yang Tersambung ke Laptop

Eksperimen berikutnya dilakukan untuk POF dengan pengaruh variasi beban diam Kabel POF dibebani dengan 2 *mandrel* dan variasi beban diam mulai dari 0 N, 16,3 N, 22,8 N, 29,4 N, 35,9 N, 42,4 N, 49 N. Proses ini secara jelas ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16.(a).Perekatan mandrel pada penampang dan ujung-ujung mandrel yang diberi POF 5 cm untuk penyeimbang beban. (b).Perekatan kabel POF agar tepat di tengah mandrel. (c).Penampang dibalik untuk siap di beri beban diam.

Susunan perangkat eksperimen yang telah ditambahkan perlakuan pengaruh beban diam pada POF ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17. Perangkat Eksperimen dengan Beban Diam

Proses pengambilan data tegangan, BER, dan *eye pattern* pada eksperimen dengan penambahan beban diam dapat dilakukan dengan cara seperti eksperimen sebelumnya. Pengukuran dilakukan untuk setiap parameter tekanan beban diam, yaitu variasi besar beban diam yang ditambahkan hingga seluruh data terkumpul.

4.3 Analisis Parameter Kinerja

Pada skripsi ini, dibuat analisis data yang merupakan hasil pengukuran pengaruh variasi tekanan beban diam terhadap kinerja POF *step index multimode* dan pembahasannya. Data-data yang didapatkan dari hasil pengukuran dihitung sesuai dengan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II. Analisis kinerja yang akan dilakukan meliputi BER dan *eye pattern*.

Sebelum pengambilan data BER dan *eye pattern* dilakukan pengukuran tegangan pada pengirim (V_a) dan penerima (V_b) dengan data terlampir.

4.3.1 Analisis Pengaruh Rugi-rugi Variasi Tekanan Beban Diam Terhadap BER

Parameter kinerja POF dengan yang diamati adalah BER akan dibahas pada sub bab ini. Proses pengukuran menghasilkan nilai tegangan sebelum terjadi gangguan tekanan beban diam (*microbending*) (V_a), nilai tegangan setelah terjadi mendapat pengaruh tekanan beban diam (V_b), lama waktu pengambilan *Eye Pattern* (ΔT), dan kecepatan transmisi bit (*Bit Rate*). Nilai-nilai tersebut diukur dalam variasi besar tekanan beban diam. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Pengaruh Beban Diam Terhadap BER

Beban Diam (Newton)	Interval waktu pengukuran (s)	Bit Rate (bps)
0	20	32010.24
16.3 ± 0.03	20	31989.76
22.8 ± 0.06	20	31979.53
29.4 ± 0.04	20	31959.09
35.9 ± 0.03	20	31948.88
42.4 ± 0.06	20	31938.68
49	20	31897.93

Besar rugi-rugi tekanan beban diam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rugi-rugi tegangan, yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan :

$$\text{Microbending Loss} = 20 \log \frac{V_a}{V_b}$$

Nilai V_a adalah nilai tegangan sebelum terjadinya *microbending* yaitu pada nilai tekanan beban nol. Nilai V_b adalah nilai tegangan setelah terjadinya *microbending*. Setelah terpengaruh tekanan beban diam Besar rugi-rugi *microbending* untuk tekanan beban diam sebesar 49 N adalah:

$$\text{Microbending Loss} = 20 \log \frac{2,700 \text{ Volt}}{2,0 \text{ Volt}} = 2,606 \text{ dB}$$

Perhitungan nilai BER dapat dihitung menggunakan persamaan 10. Angka 1 dibagi dengan T sebagai waktu pengambilan data pada *eye pattern* setelah diberi beban diam dan dikali dengan kecepatan pengiriman data *Bit Rate* (B). Pada keadaan pemberian beban diam 49 N, banyak bit yang salah dalam bentuk desimal 1568×10^{-9} . Artinya dalam pengiriman tiap seribu juta bit, terdapat banyak bit error 1568 bit. Nilai BER pada kondisi tersebut dengan perhitungan sebagai berikut:

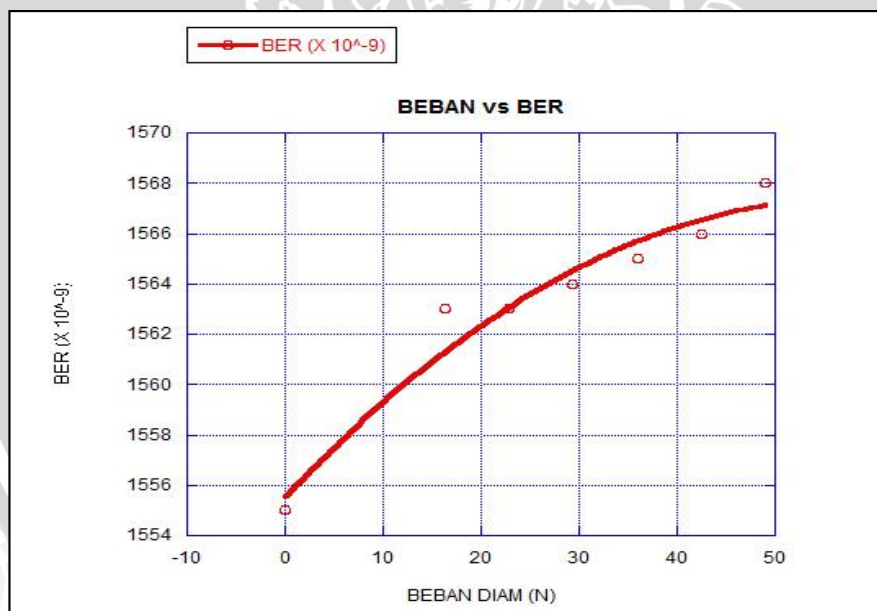
$$\text{BER} = \frac{1}{T \cdot B} = \frac{1}{20.31897 \text{ bitpersecond}} = 1568 \times 10^{-9}$$

Nilai BER untuk tiap rugi-rugi *microbending* akibat variasi tekanan beban diam ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Pengaruh Rugi-rugi *Microbending* akibat Variasi Beban Diam Terhadap BER

No	Beban Diam (Newton)	Microbending Loss (dB)	BER
1	0	0 ± 0.01	1555×10^{-9}
2	16.3 ± 0.03	$0,097 \pm 0.01$	1563×10^{-9}
3	22.8 ± 0.06	$0,162 \pm 0.01$	1563×10^{-9}
4	29.4 ± 0.04	$0,327 \pm 0.01$	1564×10^{-9}
5	35.9 ± 0.03	$0,462 \pm 0.01$	1565×10^{-9}
6	42.4 ± 0.06	$1,392 \pm 0.01$	1566×10^{-9}
7	49	$2,606 \pm 0.01$	1568×10^{-9}

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.18.

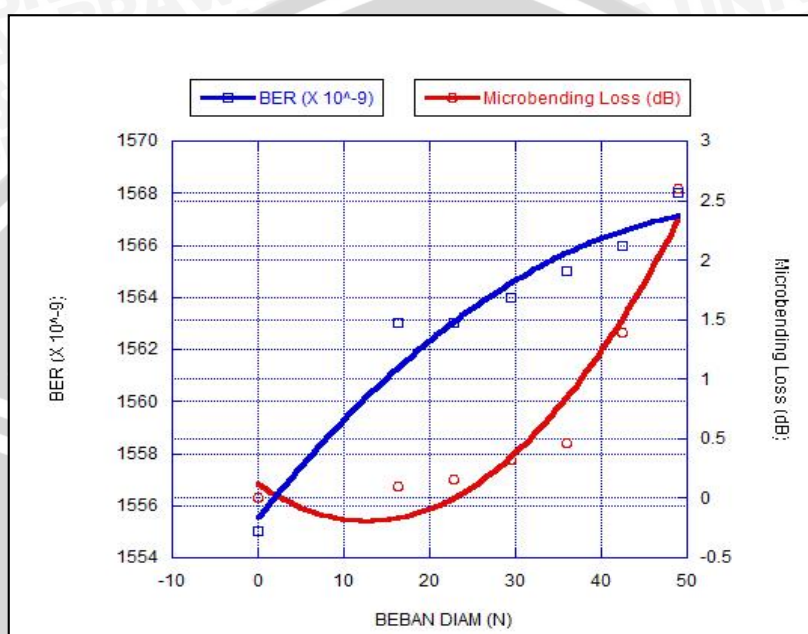


Gambar 4.18 Grafik Hubungan Beban Diam dengan BER

Hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.18 menunjukkan bahwa untuk setiap kenaikan tekanan beban diam yang diberikan, memberikan perubahan pada BER. Perubahan tersebut adalah banyak jumlah bit salah yang dikirimkan semakin banyak, ditandai dengan naiknya nilai BER. Pada pembahasan rugi-rugi *microbending* akibat pengaruh tekanan beban diam yang diberikan, untuk setiap

kenaikan beban diam memberikan perubahan pada nilai rugi-rugi *microbending* yang semakin naik juga. Pada beban diam 49 N nilai BER mencapai yaitu 1568×10^{-9} . Hal ini menunjukkan bahwa rugi-rugi *microbending* pada beban 49 N cukup memberikan pengaruh terhadap nilai BER.

Gambar 4.19 menunjukkan grafik hubungan variasi beban diam yang diberikan, rugi-rugi *microbending*, dan BER untuk satu bengkokan.



Gambar 4.19 Grafik Hubungan Antara Beban Diam, *Microbending loss*, dan BER

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa karakteristik BER terhadap beban diam dengan kurva karakteristik *microbending loss* terhadap beban diam. Pada beban diam 0 N BER yang ditunjukkan adalah 1555×10^{-9} . Kemudian setelah 16,3 N mulai diberikan, mulai berpengaruh signifikan pada penjalaran cahaya sehingga nilai BER mulai menunjukkan angka yang signifikan yaitu 1563×10^{-9} . Angka beban yang diberikan mulai 16,3 N hingga 42,46 N memberikan perubahan terhadap nilai BER untuk setiap kenaikannya. Pada beban diam 49 N nilai BER naik lebih signifikan yaitu 1568×10^{-9} , jika dibandingkan nilai BER pada rentang kenaikan beban 16,3 N hingga 42,46 N.

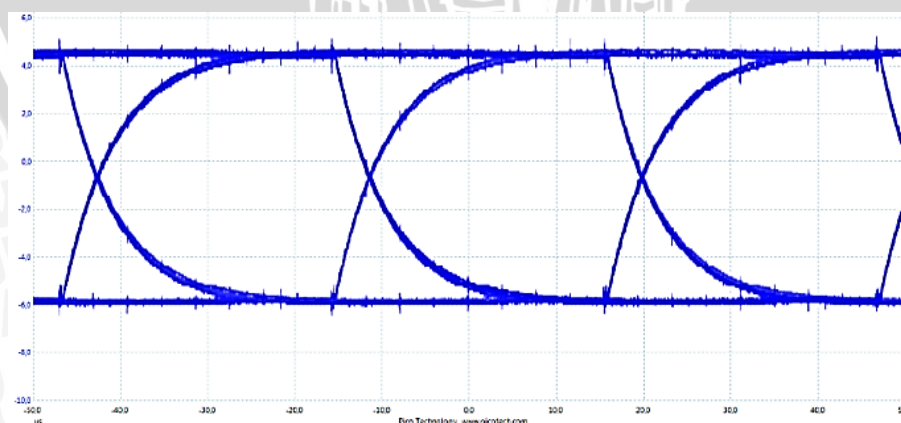
Nilai BER mengalami perubahan disebabkan karena naiknya rugi-rugi *microbending* seiring penambahan beban diam. Rugi-rugi *microbending* juga menyebabkan banyak mode cahaya terbias keluar dari inti sehingga data tidak dapat ditransmisikan secara sempurna. Ketika serat optik diberi tekanan oleh beban diam, kepadatan material serat optik akan berubah. Perubahan ini mengakibatkan indeks bias

meningkat dan penjalaran cahaya pada serat optik berubah. Beban diam juga menyebabkan beberapa cahaya akan terbias keluar dari jalur sehingga tidak lagi mengalami *total internal reflection*. Jika beban diam yang ditambahkan semakin berat, maka semakin banyak cahaya yang terbias keluar jalur transmisinya. Konsekuensi dari banyaknya cahaya yang terbias keluar, maka data yang ditransmisikan tidak akan sampai ke penerima dengan sempurna. Pada penerima akan memiliki level tegangan yang lebih rendah dari tegangan pengirim sinya dan pada kondisi ini akan memunculkan *noise*. *Noise muncul dan* pertambahannya mengakibatkan semakin banyak bit salah dan nilai BER akan naik.

Pada sistem transmisi umumnya, nilai BER yang diharapkan adalah nilai BER yang kecil. Nilai BER yang kecil menunjukkan hanya sedikit kesalahan yang terjadi dalam transmisi atau data yang diterima menyerupai data yang dikirimkan. Nilai BER untuk data dalam kabel yang terpengaruh rugi-rugi *microbending* akibat beban diam berkisar antara 1563×10^{-9} sampai 1568×10^{-9} . Nilai ini jauh di bawah standar yang ditetapkan oleh ITU-T untuk sistem komunikasi serat optik, yaitu 10^{-12} .

4.3.2 Analisis Pengaruh Rugi-rugi Variasi Tekanan Beban Diam Terhadap *Eye Pattern*

Pada sub bab ini membahas parameter kinerja POF yang diamati dalam bentuk *eye pattern*. *Eye pattern* merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja sistem transmisi digital. *Software* PicoScope 6.0 digunakan untuk dapat menampilkan keluaran sinyal dari PicoScope sehingga pengukuran variabel *eye pattern* dapat dilakukan. Contoh tampilan keluaran *eye pattern* pada PicoScope 6.0 ditunjukkan oleh Gambar 4.20.

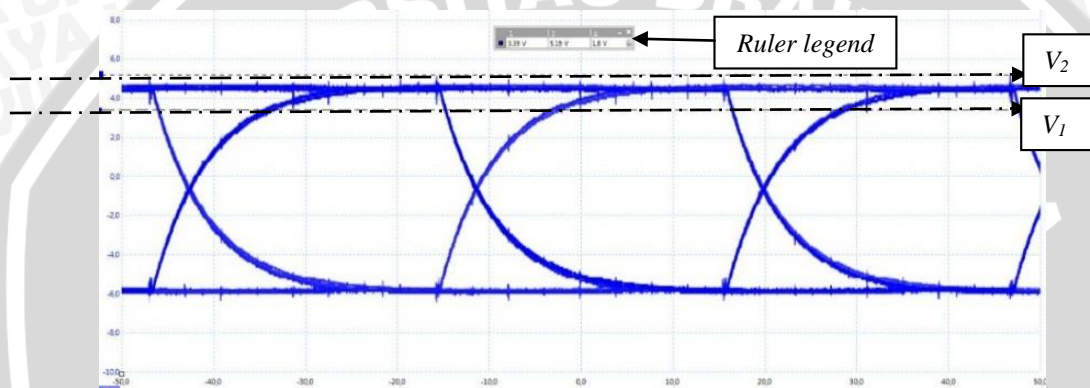


Gambar 4.20 Tampilan *Eye Pattern* pada Picoscope 6.0

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

4.3.2.1 Analisis Noise Margin pada Eye Pattern

Analisis dari *Noise Margin* dilakukan dengan melihat terlebih dahulu nilai puncak sinyal dari besar *eye opening* (V_1) dan nilai tegangan maksimum sinyal yang dihitung dari nilai *threshold* (V_2) pada *Eye Pattern*. Pengukuran nilai variabel-variabel tersebut dilakukan pada *software* PicoScope 6.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.22. Kemudian Nilai *noise margin* dihitung dari data tersebut. Gambar 4.22 menunjukkan pengukuran *noise margin* ketika belum diberi beban diam.



Gambar 4.21 Pengukuran *Noise Margin* Pada *Eye Pattern*

1	2	Δ	-	×
4.106 V	4.315 V	209.0 mV		

Gambar 4.22. Nilai V_1 dan V_2 Pada *Ruler Legend*

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*. Secara jelas nilai V_1 dan V_2 pada *ruler legend* ditampilkan pada Gambar 4.23.

Nilai V_1 ditunjukkan pada gambar 4.23 kolom *ruler* satu yaitu sebesar 4,1 V dan nilai V_2 ditunjukkan pada kolom *ruler* dua yaitu sebesar 4,31 V. Data pengukuran *noise margin* untuk variasi besar beban diam yang diberikan dapat diketahui dengan menggunakan cara yang sama dengan gambar 4.23.

Pada beban diam tertentu yang diberikan menyebabkan nilai rugi-rugi *microbending* besar, *eye pattern* yang tampak akan semakin susah di analisis. karena *Noise* membesar. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Pengaruh Rugi-rugi Tekanan Beban Diam Terhadap *Noise Margin*

No.	Beban Diam (Newton)	V ₁ (Volt)	V ₂ (Volt)
1.	0	4.1	4.31
2.	16.3 ± 0.03	4.12	4.38
3.	22.8 ± 0.06	4.05	4.41
4.	29.4 ± 0.04	4.09	4.45
5.	35.9 ± 0.03	4.09	4.62
6.	42.4 ± 0.06	4.27	5.05
7.	49	4.84	5.9

Perhitungan nilai *noise margin* dapat dilakukan menggunakan Persamaan perbandingan tegangan V₁ dan V₂. Besar nilai *noise margin* untuk kondisi tanpa dipengaruhi adanya beban diam, adalah:

$$\text{Noise margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% = \frac{4,1\text{Volt}}{4,31\text{Volt}} \times 100\% = 95,12\%$$

Nilai *noise margin* untuk variasi beban diam yang lain dapat dihitung dengan menggunakan cara yang sama. Nilai *noise margin* untuk variasi beban diam yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Pengaruh Rugi-rugi *Microbending* Terhadap *Noise Margin*

No.	Beban Diam (Newton)	<i>Microbending loss</i> (dB)	Noise Margin (%)
1.	0	0 ± 0.01	$95,12 \pm 0.007$
2.	16.3 ± 0.03	$0,097 \pm 0.01$	$94,06 \pm 0.003$
3.	22.8 ± 0.06	$0,162 \pm 0.01$	$91,83 \pm 0.006$
4.	29.4 ± 0.04	$0,327 \pm 0.01$	$91,91 \pm 0.001$
5.	35.9 ± 0.03	$0,462 \pm 0.01$	$88,52 \pm 0.008$
6.	42.4 ± 0.06	$1,392 \pm 0.01$	$84,55 \pm 0.004$
7.	49	$2,606 \pm 0.01$	$82,03 \pm 0.003$

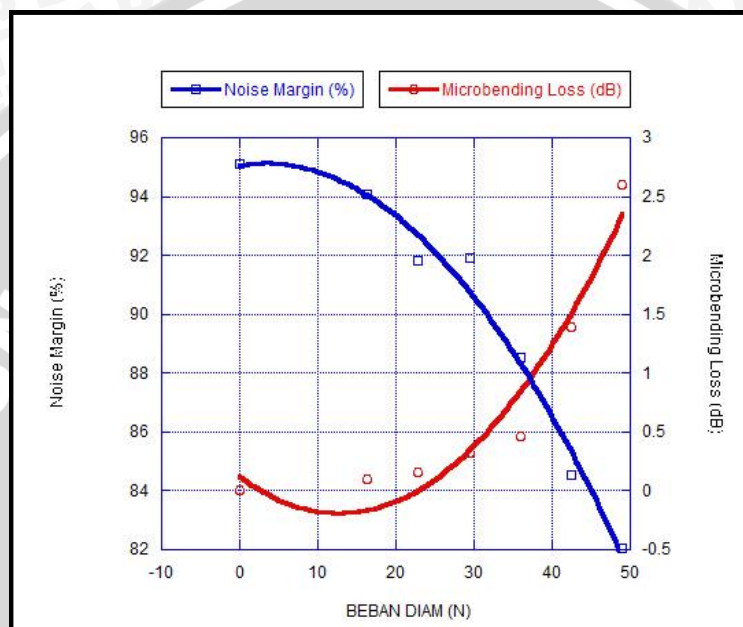
Tabel 4.5 menunjukkan hubungan nilai rugi-rugi *microbending* untuk tiap variasi beban diam terhadap nilai *Noise Margin*. Hal ini untuk mempermudah analisis pengaruh rugi-rugi *microbending* terhadap *noise margin*. Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.

Gambar 4.23 Grafik Hubungan Antara Tekanan Beban Diam dengan *Noise Margin*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.23 terlihat bahwa seiring naiknya nilai beban diam yang diberikan maka kekebalan sistem terhadap *noise* yang disebut *noise margin* akan turun. Dari data yang ada, terlihat pada saat beban 16,3 N nilai rugi-rugi *microbending* bernilai 0,097 dB dan

nilai *Noise Margin* 94,06 %. Hal ini menunjukkan bahwa rugi-rugi *microbending* akibat beban diam mulai memberikan pengaruh pada fisik POF. Pengaruh beban diam yang paling signifikan adalah pada nilai 35,9 N hingga 49 N dengan nilai *Noise Margin* masing-masing 84,55 dan 82,03.

Gambar 4.24 menunjukkan grafik hubungan variasi beban diam, rugi-rugi *microbending*, dan *noise margin*.



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Antara Beban Diam, Rugi-rugi *Microbending*, dan *Noise Margin*

Gambar 4.24 menunjukkan bahwa karakteristik *noise margin* terhadap variasi beban diam berbanding terbalik dengan kurva karakteristik *microbending loss* terhadap variasi beban diam. Pada beban diam 16,3 N hingga 35,9 N, beban diam belum berpengaruh signifikan pada penjalaran cahaya sehingga nilai *noise margin* cukup tinggi sekitar 88 % dari tegangan maksimum sinyal. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kekebalan yang cukup terhadap *noise*. Nilai *noise margin* turun signifikan menjadi 84,55% ketika nilai rugi *microbending* mulai naik secara signifikan, yaitu pada beban diam 42,4 N. Konsekuensi yang diberikan dari nilai rugi-rugi ini adalah kekebalan sistem terhadap *noise* semakin berkurang.

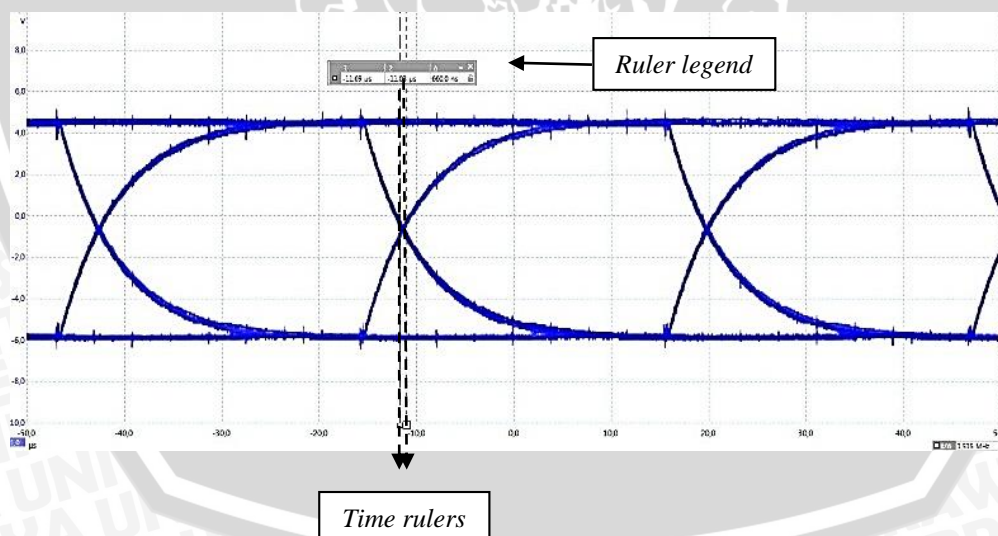
Nilai *noise margin* mengalami perubahan disebabkan karena naiknya rugi-rugi *microbending* dengan bertambahnya beban diam yang diberikan. Kepadatan material serat optik akan berubah ketika beban diam mulai diberikan. Perubahan ini

mengakibatkan indeks bias meningkat dan penjaran cahaya pada serat optik berubah. Beban diam juga menyebabkan beberapa cahaya akan terbias keluar dari jalur sehingga tidak lagi mengalami *total internal reflection*. Jika beban diam yang ditambahkan semakin berat, maka semakin banyak cahaya yang terbias keluar jalur transmisinya. Hal ini menyebabkan timbulnya *Noise*, ditandai dengan level sinyal yang diterima menurun. *Noise* yang timbul mengakibatkan adanya distorsi pada amplitudo sinyal yang diterima. Distorsi yang terjadi ditunjukkan dengan adanya variasi amplitudo sinyal sehingga beda level tegangan antara bit '0' dan '1' semakin kecil.

Pada sistem transmisi umumnya, nilai *noise margin* yang diharapkan adalah nilai *noise margin* yang tinggi. Nilai *noise margin* yang tinggi menunjukkan ketahanan sistem terhadap *noise* yang tinggi atau dengan kata lain hanya sedikit *noise* yang terjadi dalam transmisi.

4.3.2.2 Analisis *Timing Jitter* pada *Eye Pattern*

Analisis *Timing Jitter* dimulai dari melihat besarnya *timing error* atau distorsi waktu (ΔT) dan nilai *bit interval* (T_b) pada *Eye Pattern*. Pengukuran nilai-nilai tersebut dilakukan pada *software* PicoScope 6.0. Pengukuran jumlah distorsi (ΔT) ditunjukkan pada Gambar 4.25.



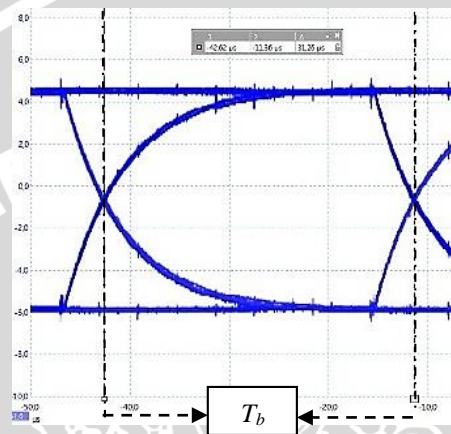
Gambar 4.25 Pengukuran Jumlah Distorsi (ΔT) Pada *Eye Pattern*

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 4.26.

1	2	Δ
19.72 μ s	20.03 μ s	310.0 ns

Gambar 4.26 Nilai ΔT Pada *Ruler Legend*

ΔT pada kolom *ruler difference* (Δ) menunjukkan nilai sebesar 310,0 ns atau 0,31 μ s. Nilai tersebut merupakan nilai ΔT ketika kondisi tanpa pengaruh beban diam. Pengukuran nilai *bit interval* (T_b) pada PicoScope 6.0 ditunjukkan pada Gambar 4.27.

Gambar 4.27 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 4.28.

1	2	Δ
20.2 μ s	51.43 μ s	31.23 μ s

Gambar 4.28 Nilai T_b Pada *Ruler Legend*

Nilai T_b ditunjukkan pada kolom *ruler difference* (Δ) yaitu sebesar 31,23 μ s. Nilai tersebut merupakan nilai T_b ketika kondisi tanpa pengaruh beban diam.

Nilai ΔT dan T_b untuk variasi beban diam yang diberikan dapat dihitung dengan menggunakan cara yang sama. Pada berat beban diam tertentu yang menyebabkan nilai rugi-rugi *microbending* besar, *eye pattern* semakin sulit untuk dianalisis karena adanya *noise*.

Hasil pengukuran ditampilkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Pengaruh Beban Diam Terhadap *Timing Jitter*

No.	Beban Diam (Newton)	ΔT	T_b
1.	0	0,31	31.23 ± 0.001
2.	16.3 ± 0.03	0,49	31.26 ± 0.001
3.	22.8 ± 0.06	0.51	31.27 ± 0.001
4.	29.4 ± 0.04	0.55	31.29 ± 0.001
5.	35.9 ± 0.03	0.63	31.3 ± 0.001
6.	42.4 ± 0.06	0.72	31.31 ± 0.001
7.	49	0.9	31.35 ± 0.001

Perhitungan nilai *timing jitter* dapat dilakukan menggunakan Persamaan (12). Besar nilai *timing jitter* untuk kondisi tanpa pengaruh beban diam adalah:

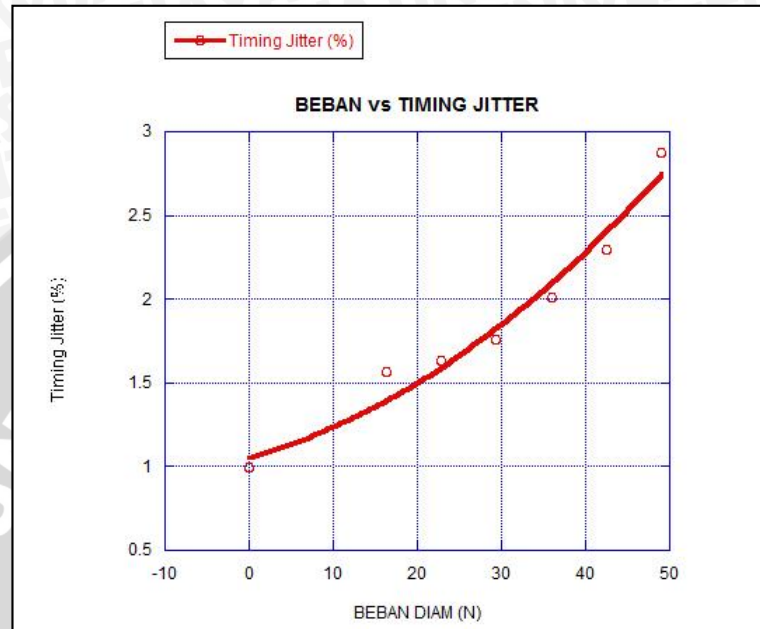
$$\text{Timing jitter (\%)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% = \frac{0,31 \times 10^{-6} \mu s}{31,23 \times 10^{-6} \mu s} \times 100\% = 0,99\%$$

Nilai *timing jitter* untuk variasi beban diam yang diberikan dapat diperoleh dengan menggunakan cara perhitungan yang sama. Nilai *timing jitter* ketika *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan dianggap 100% dengan asumsi nilai ΔT sangat besar mendekati satu bit interval. Nilai *timing jitter* untuk rugi-rugi *microbending* dengan diameter dan jumlah bengkokan yang tersusun dalam bentuk lilitan yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Pengaruh Rugi-rugi *Microbending* Terhadap *Timing Jitter*

No.	Beban Diam (Newton)	ΔT	T_b	<i>Microbending loss</i> (dB)	Timing Jitter (%)
1.	0	0,31	31.24	0 ± 0.01	0.99 ± 0.02
2.	16.3 ± 0.03	0,49	31.26	$0,097 \pm 0.01$	1.56 ± 0.01
3.	22.8 ± 0.06	0.51	31.27	$0,162 \pm 0.01$	1.63 ± 0.01
4.	29.4 ± 0.04	0.55	31.29	$0,327 \pm 0.01$	1.75 ± 0.01
5.	35.9 ± 0.03	0.63	31.3	$0,462 \pm 0.01$	2.01 ± 0.01
6.	42.4 ± 0.06	0.72	31.31	$1,392 \pm 0.01$	2.29 ± 0.02
7.	49	0.9	31.35	$2,606 \pm 0.01$	2.87 ± 0.01

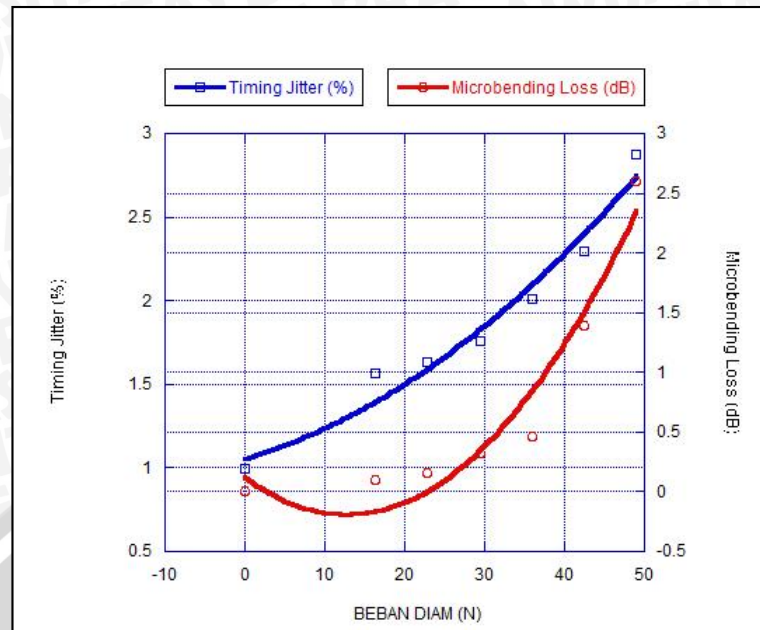
Tabel 4.7 dilengkapi dengan nilai rugi-rugi *microbending* untuk tiap variasi beban diam yang didapatkan dari perhitungan untuk mempermudah analisis pengaruh rugi-rugi *microbending* terhadap *timing jitter*. Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30.



Gambar 4.29 Grafik Hubungan Antara Besar Tekanan Beban Diam dengan *Timing Jitter*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.29 terlihat bahwa untuk nilai beban diam yang diberikan semakin besar maka distorsi waktu akan semakin banyak, sehingga *timing jitter* akan naik. Nilai *timing jitter* untuk beban diam yang diberikan sebesar 16,3 N hingga 29,4 N belum menunjukkan perubahan yang signifikan yaitu sekitar 0,1%. Hal ini menunjukkan bahwa beban diam belum berpengaruh pada fisik POF. Pengaruh beban diam yang menyebabkan rugi-rugi *microbending* menunjukkan peningkatan nilai yang signifikan pada rentang 35,9 N hingga 49 N, yaitu sekitar 2,6 %. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh rugi-rugi *microbending* sangat tinggi pada variasi beban diam yang diberikan.

Gambar 4.31 menunjukkan grafik hubungan variasi beban diam yang diberikan, rugi-rugi *microbending*, dan *timing jitter* untuk satu bengkokan.



Gambar 4.30 Grafik Hubungan Antara Beban Diam, *Microbending loss*, dan *Timing Jitter*

Gambar 4.30 menunjukkan bahwa karakteristik *timing jitter* terhadap variasi beban diam yang diberikan sebanding dengan kurva karakteristik *microbending loss* terhadap variasi beban diam yang diberikan. Pada beban diam 16,3 N hingga 29,4 N, nilai rugi-rugi *microbending* 0,097 hingga 0,327 belum berpengaruh signifikan pada penjarangan cahaya sehingga nilai *timing jitter* cenderung rendah yaitu sekitar 1,56% dan 1,75%. *Timing jitter* naik signifikan menjadi 2.01 % pada beban 35,9 N hingga 2.87 % pada beban 49 N ketika rugi-rugi *microbending* mulai meningkat, yaitu 0,462 dB pada beban 35,9 N hingga 2,606 dB pada 49 N . Konsekuensi yang diberikan dari nilai rugi-rugi ini adalah munculnya *timing error*. *Timing error* yang muncul menyebabkan nilai *timing jitter* juga ada.

Nilai *timing jitter* menunjukkan perubahan disebabkan karena naiknya rugi-rugi *microbending* dengan bertambahnya beban diam yang diberikan. Kepadatan material serat optik akan berubah jika serat optik diberi beban diam.. Beban diam juga menyebabkan beberapa cahaya akan terbias keluar dari jalur sehingga tidak lagi mengalami *total internal reflection*. Jika beban diam yang ditambahkan semakin berat, maka semakin banyak cahaya yang terbias keluar jalur transmisinya. Hal ini mengakibatkan penurunan level tegangan pada sinyal yang diterima dan muncul *noise*. Besar *noise* pada sinyal ditunjukkan dengan adanya distorsi fasa. Distorsi fasa akan menyebabkan pergeseran *timing* sinyal sehingga *timing error* semakin besar.

Pada sistem transmisi umumnya, nilai *timing jitter* yang diharapkan adalah nilai yang rendah. Nilai *timing jitter* yang rendah menunjukkan data berada pada *timing* yang ideal atau hanya sedikit pergeseran waktu yang terjadi dalam transmisi. Nilai *timing jitter* yang baik secara umum harus berada di bawah 30% dari bit interval.

4.3.2.3 Analisis *Bit Rate* pada *Eye Pattern*

Nilai *bit rate*, dihitung dari nilai *bit interval* (T_b). Nilai *bit interval* diukur dari titik *zero crossing* pada *eye pattern*. 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 Hasil pengukuran ditampilkan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Pengaruh Rugi-rugi *Microbending* Terhadap *Bit Rate*

No.	Beban (Newton)	Diam	T_b (μ s)	<i>Bit Rate</i> (bps)
1.	0		31,24	32010 ± 10
2.	16.3 ± 0.03		31,26	31989 ± 1
3.	22.8 ± 0.06		31,27	31979 ± 1
4.	29.4 ± 0.04		31,29	31959 ± 1
5.	35.9 ± 0.03		31,3	31948 ± 1
6.	42.4 ± 0.06		31,31	31938 ± 1
7.	49		31,35	31897 ± 1

Perhitungan nilai *bit rate* dapat dilakukan menggunakan Persamaan (13). Nilai *bit rate* untuk kondisi tanpa *microbending* adalah:

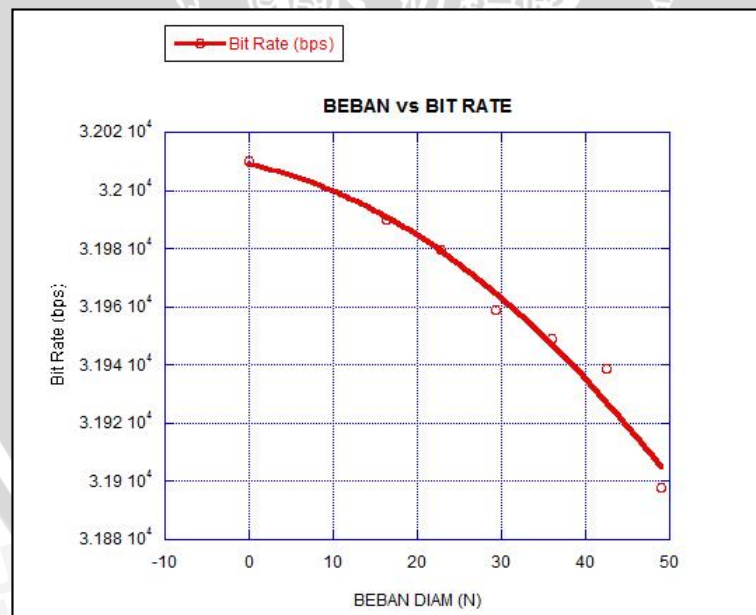
$$\text{Bit Rate} = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{31,24 \times 10^{-6} \mu\text{s}} \approx 32010 \text{ bps}$$

Nilai *bit rate* untuk variasi beban diam yang lain dapat dihitung dengan menggunakan cara perhitungan yang sama. Nilai *bit rate* ketika *eye pattern* tidak dapat dibangkitkan dianggap nol karena tidak terjadi pentransmisian data. Nilai *bit rate* untuk rugi-rugi *microbending* dengan diameter dan jumlah bengkokan berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Pengaruh Rugi-rugi *Microbending* Terhadap *Bit Rate*

No.	Beban (Newton)	Diam	T_b (μ s)	<i>Microbending loss</i> (dB)	<i>Bit Rate</i> (bps)
1.	0		31,24	0 ± 0.01	32010 ± 10
2.	16.3 ± 0.03		31,26	$0,097 \pm 0.01$	31989 ± 1
3.	22.8 ± 0.06		31,27	$0,162 \pm 0.01$	31979 ± 1
4.	29.4 ± 0.04		31,29	$0,327 \pm 0.01$	31959 ± 1
5.	35.9 ± 0.03		31,3	$0,462 \pm 0.01$	31948 ± 1
6.	42.4 ± 0.06		31,31	$1,392 \pm 0.01$	31938 ± 1
7.	49		31,35	$2,606 \pm 0.01$	31897 ± 1

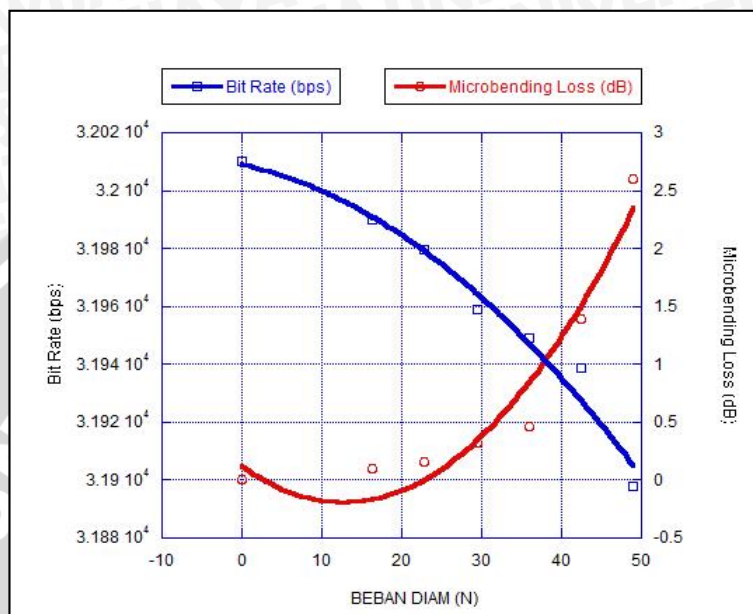
Tabel 4.9 dilengkapi dengan nilai rugi-rugi *microbending* untuk tiap variasi beban diam yang diberikan untuk mempermudah analisis pengaruh rugi-rugi *microbending* terhadap *bit rate*. Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.31.

Gambar 4.31 Grafik Hubungan Beban Diam dengan *Bit Rate*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.31 terlihat bahwa untuk setiap kenaikan beban diam yang diberikan maka *bit rate* semakin berkurang. Pada saat beban yang diberikan adalah 49 N dimana eye pattern mulai

terlihat sulit diamati bit rate bernilai 31897 , nilai tersebut turun cukup signifikan dari nilai pada beban sebelumnya pada 42,4 N bernilai 31938 bps. Pada beban 49 N, pengaruh rugi-rugi *microbending* lebih berpengaruh pada fisik POF.

Hubungan variasi beban diam yang diberikan, rugi-rugi *microbending*, dan *bit rate* secara lebih jelas dapat diamati melalui grafik pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Grafik Hubungan Antara Beban Diam, Rugi-rugi *Microbending*, dan *Bit Rate*

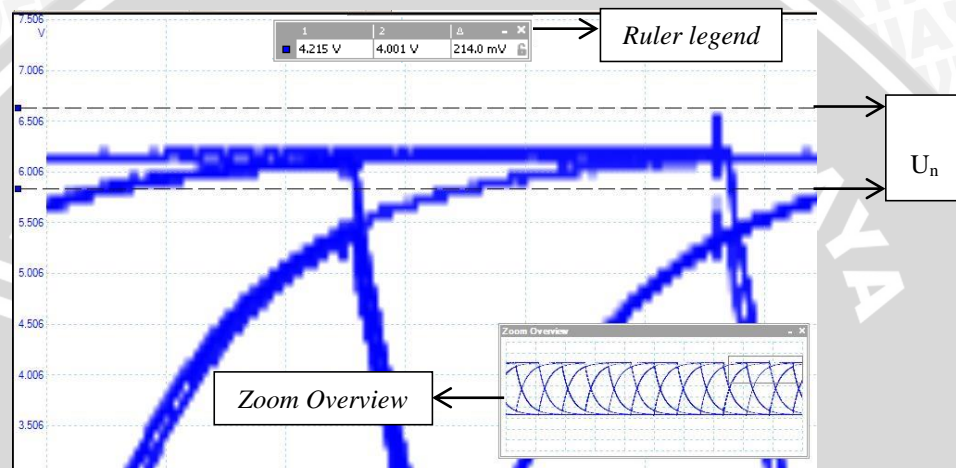
Gambar 4.32 menunjukkan bahwa karakteristik *bit rate* terhadap variasi beban diam berbanding terbalik dengan kurva karakteristik *microbending loss* terhadap variasi beban diam yang diberikan. Pada beban diam 16,3 N hingga 42,4 N , nilai rugi-rugi *microbending* tidak terlalu berpengaruh signifikan, sehingga *bit rate* yaitu sekitar 31,9 Kbps. Nilai *bit rate* turun menjadi 31,897 Kbps ketika rugi-rugi *microbending* mulai naik secara signifikan dari 1,392 ke 2,606 dB, yaitu pada beban diam 49 N.

Nilai *bit rate* mengalami perubahan disebabkan oleh naiknya rugi-rugi *microbending* dengan bertambahnya berat beban diam yang diberikan. Kepadatan material serat optik akan berubah ketika serat optik diberikan beban diam. Beban diam juga menyebabkan beberapa cahaya akan terbias keluar dari jalur sehingga tidak lagi mengalami *total internal reflection*. Jika beban diam yang ditambahkan semakin berat, maka semakin banyak cahaya yang terbias keluar jalur transmisinya. Pada transmisi serat optik ini, adanya cahaya merupakan representasi dari bit data sehingga semakin banyak cahaya yang terbiaskan, maka semakin banyak data yang hilang. Kondisi ini

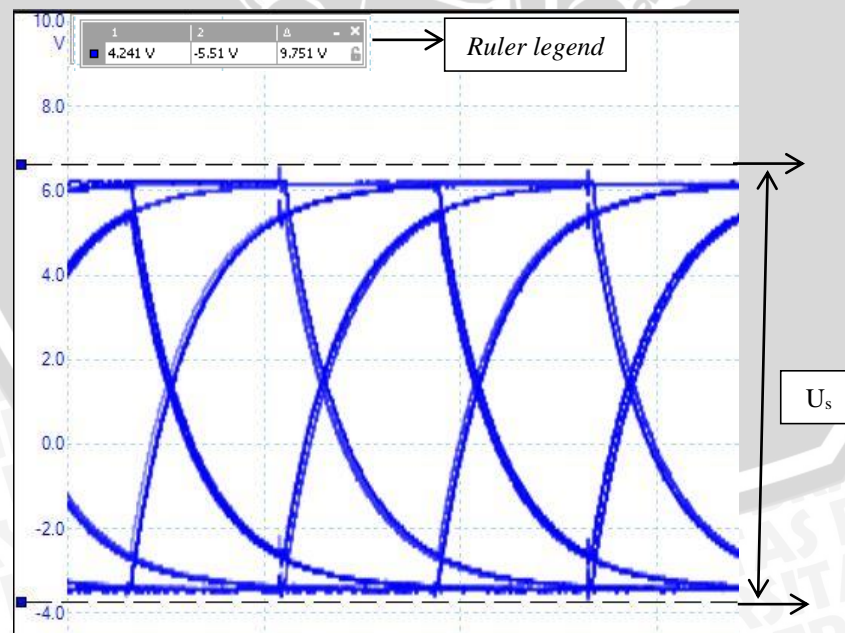
mengakibatkan data yang sampai pada penerima akan lebih sedikit atau dengan kata lain kecepatan penyaluran bit data atau *bit rate* menjadi turun.

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

Analisis SNR pada *Eye Pattern* dimulai dengan menentukan nilai U_s dan U_n . Nilai U_n ditentukan dari selesih V_1 dan V_2 , dan nilai U_s ditentukan dari besar *eye amplitude*. Nilai U_s dan U_n dapat diketahui dengan mengarahkan *signal rulers* pada PicoScope 6.0 sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk nilai SNR. Nilai dari *signal rulers* ditampilkan dalam *ruler legend* di atas tampilan *eye pattern*.



(a)



(b)

Gambar 4.33 Menentukan nilai U_n (a) dan Menentukan nilai U_s (b)

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Pengaruh Beban Diam Terhadap SNR

No.	Beban Diam (Newton)	U_n (volt)	U_s (volt)
1.	0	0,21	9,75
2.	16.3 ± 0.03	0,26	9,78
3.	22.8 ± 0.06	0,36	9,83
4.	29.4 ± 0.04	0,36	9,84
5.	35.9 ± 0.03	0,53	9,91
6.	42.4 ± 0.06	0,78	9,97
7.	49	1,06	10,25

Sesuai Gambar 4.19 maka diketahui nilai U_s dan U_n .

$$U_s = 9,75 \text{ V}$$

$$U_n = 0,21 \text{ V}$$

Maka, perhitungan SNR:

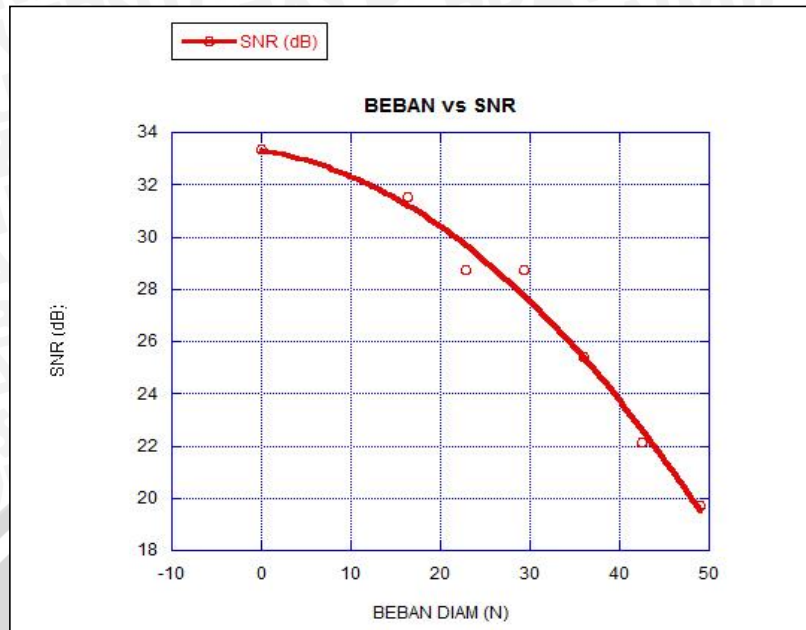
$$\text{SNR} = 20 \log \frac{U_s}{U_n} = 20 \log \frac{9,75}{0,21} = 33,33 \text{ dB}$$

Nilai *signal to noise ratio* untuk tiap variasi beban diam dengan menggunakan cara perhitungan yang sama maka didapat seperti ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Pengaruh Rugi-rugi *Microbending* Terhadap SNR

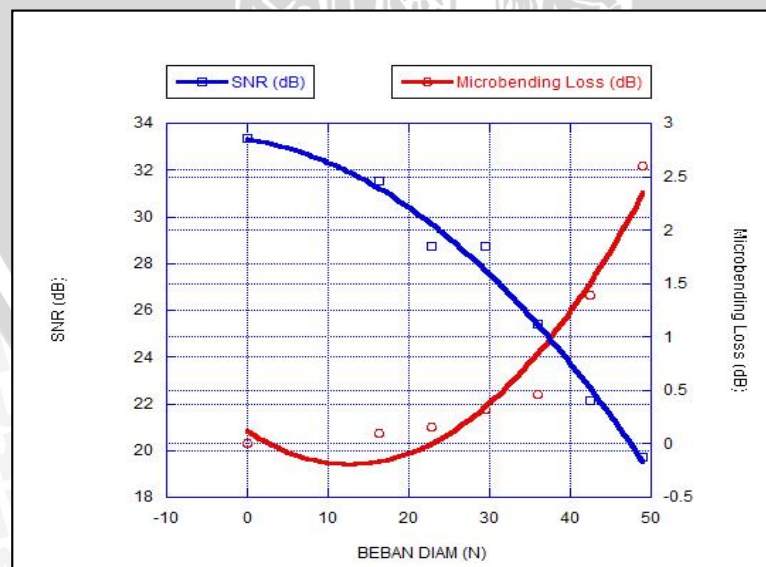
No.	Beban Diam (Newton)	U_n (Volt)	U_s (Volt)	<i>Microbending loss</i> (dB)	SNR (dB)
1.	0	0,21	9,75	0 ± 0.01	33,33
2.	16.3 ± 0.03	0,26	9,78	0,097 ± 0.01	31,50
3.	22.8 ± 0.06	0,36	9,83	0,162 ± 0.01	28,72
4.	29.4 ± 0.04	0,36	9,84	0,327 ± 0.01	28,73
5.	35.9 ± 0.03	0,53	9,91	0,462 ± 0.01	25,43
6.	42.4 ± 0.06	0,78	9,97	1,392 ± 0.01	22,13
7.	49	1,06	10,25	2,606 ± 0.01	19,70

Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Kurva Karakteristik SNR Terhadap Beban Diam

Hasil perhitungan pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.34 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya berat beban diam yang diberikan, maka SNR akan semakin menurun. Hal tersebut menjelaskan bahwa perbandingan sinyal terhadap *noise* mengalami penurunan. Nilai SNR mengalami penurunan secara eksponensial terhadap kenaikan beban diam yang diberikan dan SNR terendah terjadi pada beban diam 49 N sebesar 19,7 dB ditunjukkan pada gambar kurva karakteristik 4.34.



Gambar 4.35 Grafik Hubungan Antara Beban Diam, Rugi-rugi *Microbending*, dan SNR.

Gambar 4.35 menunjukkan bahwa karakteristik SNR terhadap variasi beban diam berbanding terbalik dengan kurva karakteristik *microbending loss* terhadap variasi beban diam yang diberikan. Pada beban diam 16,3 N hingga 29,4 N, nilai rugi-rugi *microbending* tidak terlalu berpengaruh signifikan, sehingga nilai SNR hanya turun menjadi sekitar 28 dB. Nilai SNR turun signifikan menjadi 19,7 dB ketika rugi-rugi *microbending* mulai naik secara signifikan dari 0,327 ke 2,606 dB, yaitu pada beban diam 49 N.

Nilai SNR mengalami penurunan karena disebabkan adanya penambahan beban diam pada fisik POF. Beban diam juga menyebabkan beberapa cahaya akan terbias keluar dari jalur sehingga tidak lagi mengalami *total internal reflection*. Jika beban diam yang ditambahkan semakin berat, maka semakin banyak cahaya yang terbias keluar jalur transmisinya. Hal ini juga menyebabkan perubahan pada indeks bias POF.

Nilai SNR yang menurun juga disebabkan adanya pelebaran pulsa. Pelebaran pulsa menyebabkan level sinyal yang diterima menurun dan ketahanan sinyal terhadap *noise* menurun, sedangkan level *noise* naik. Besarnya *noise* menyebabkan penurunan SNR. Nilai SNR yang semakin kecil mengakibatkan *error* pada sinyal transmisi. Nilai SNR yang diharapkan adalah nilai SNR yang tinggi sehingga menunjukkan *noise* yang kecil.

