

## BAB IV

### HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

Bab IV menjelaskan hasil eksperimen dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan. Data yang disajikan dari hasil penelitian meliputi pengaruh jumlah *photodiode* dan jumlah *Light Emitting Diode (LED)* terhadap nilai *optical power loss*, *delay spread* dan *signal to noise ratio*. Sistematika penyajian Bab IV terdiri atas konfigurasi perangkat eksperimen, prosedur pengambilan data, dan analisis dari data yang telah didapat dari eksperimen.

#### 4.1 Konfigurasi Perangkat Eksperimen

Blok diagram sistem *Visible Light Communication (VLC)* telah ditunjukkan pada Gambar 3.3. Perangkat yang digunakan terdiri atas Laptop, *amplifier*, LED, *photodiode*, *Speaker multimeter*, *Picoscope*, dan *Oscilloscope*. Spesifikasi dan penjelasan dari masing-masing perangkat eksperimen adalah sebagai berikut:

##### 1. Laptop

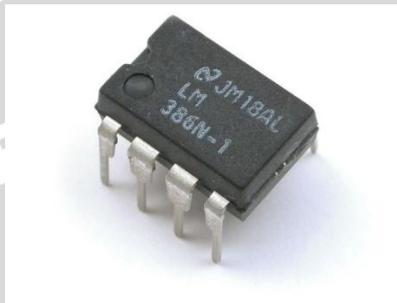
Pada penelitian ini laptop berfungsi sebagai sumber informasi yang menghasilkan sinyal input berupa sinyal suara. Sinyal suara yang dihasilkan berbentuk sinyal listrik yang dikeluarkan melalui *port audio* pada laptop. Amplitudo dan frekuensi sinyal input juga dapat diatur pada laptop dengan menggunakan aplikasi *open source "Audacity"*. *Audacity* merupakan *software* editor untuk *audio* dan dapat juga digunakan sebagai *recorder*. Untuk menghubungkan laptop ke rangkaian *transmitter* dibutuhkan kabel *audio jack*. Bentuk perangkat diilustrasikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Perangkat Laptop dan Kabel *Audio Jack*

## 2. Amplifier

*Amplifier* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Amplifier* tipe LM386. IC ini dirancang untuk digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan tegangan rendah. Tanpa komponen pendukung yang lain IC tersebut sudah dapat menguatkan *input* sebesar 20 kali. Pada penelitian ini menggunakan dua *Amplifier* LM386 pada *transmitter* digunakan untuk menguatkan sinyal suara dari laptop dan pada *receiver* digunakan untuk menguatkan sinyal yang ditangkap oleh *photodiode*. Bentuk perangkat diilustrasikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. *Amplifier* LM386  
(Sumber: [www.electroniccircuits.com](http://www.electroniccircuits.com))

## 3. LED

LED yang digunakan pada penelitian ini adalah LED tipe TLHW5400. Cahaya keluaran LED berwarna putih dengan panjang gelombang puncak sebesar 450 nm. Rangkaian *transmitter* menerima sinyal masukan dalam bentuk listrik lalu mengubahnya menjadi sinyal cahaya yang membawa informasi yang sama. Cahaya tersebut kemudian dihantarkan oleh LED melalui ruang bebas dengan menggunakan modulasi intensitas cahaya. Bentuk perangkat diilustrasikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. LED Tipe TLHW5400  
([www.electronics-diy.com](http://www.electronics-diy.com))

#### 4. *Photodiode*

*Photodiode* berfungsi sebagai merubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. *Photodiode* pada penelitian ini menggunakan *photodiode* tipe LTR-516AD dengan *peak sensitivity wavelength* sebesar 900 nm. Ketika cahaya masuk ke detektor maka nilai Resistansinya kecil, sedangkan ketika tidak ada cahaya maka nilai Resistansinya besar. Bentuk komponen diilustrasikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. *Photodiode* LTR-516AD

(Sumber: [www.digikey.com](http://www.digikey.com))

#### 5. *Speaker*

*Speaker* adalah perangkat elektronik yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi sinyal suara. Pada penelitian ini *speaker* berguna sebagai indikator apakah sinyal suara yang dikirim oleh *transmitter* dapat diterima dengan baik dan jelas oleh *receiver*. *Speaker* yang digunakan adalah *speaker Advance DUO-30* dengan *Input power* 5 W. Berikut perangkat diilustrasikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. *Speaker Advance* DUO-30

(sumber: [www.serunicomputer.com](http://www.serunicomputer.com))

## 6. *Picoscope*

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 4.6.



Gambar 4.6 *PicoScope* 3204

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

## 7. *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. Bentuk perangkat secara jelas ditunjukkan pada Gambar 4.7.

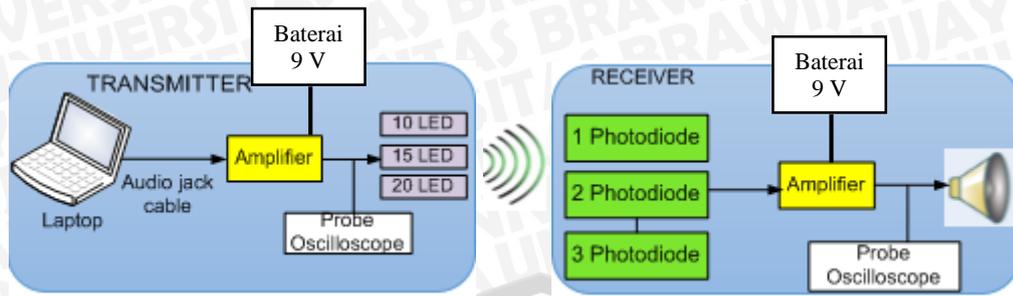


Gambar 4.7. *Digital Multimeter* SANWA CD800A

(Sumber: [www.overseas.sanwa-meter.co.jp](http://www.overseas.sanwa-meter.co.jp), 2013)

### 4.2 **Prosedur Pengambilan Data**

Prosedur pengambilan data melalui eksperimen diawali dengan mempersiapkan alat dan komponen pendukung pengukuran. Salah satu persiapan yang dilakukan adalah merangkai rangkaian pada *transmitter* dan *receiver* terlebih dahulu sesuai blok diagram pada Gambar 4.8 .



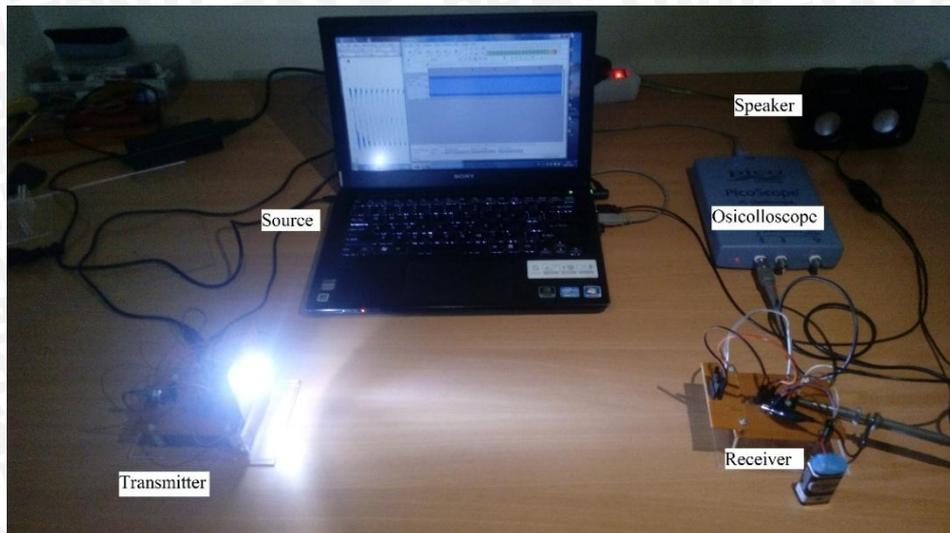
Gambar 4.8 Konfigurasi Pengukuran *Optical Power Loss* dan *Delay Spread*

Langkah perancangan perangkat dijelaskan sebagai berikut:

1. Hubungkan kabel *audio jack* dari Laptop ke *port input* dari *amplifier*.
2. Hubungkan kabel *output* dari *amplifier transmitter* ke LED. Pastikan Potensiometer dalam keadaan beban penuh.
3. Hubungkan kabel keluaran dari *photodiode* ke input *amplifier receiver*.
4. Hubungkan kabel keluaran dari *amplifier receiver* menuju *speaker*. Pastikan *speaker* sudah dicatu daya melalui laptop.
5. Hubungkan baterai ke *amplifier* masing-masing blok, baik *transmitter* dan *receiver*.
6. Hubungkan *probe oscilloscope* dan multimeter ke rangkaian blok *transmitter* dan *receiver* sesuai blok diagram pada Gambar 4.8.
7. Buka aplikasi Audacity pada laptop dan *setting* aplikasi agar menghasilkan sinyal suara dengan frekuensi sebesar 2 kHz.
8. Amati bentuk sinyal keluaran yang ditampilkan oleh aplikasi *Picosope 6*.

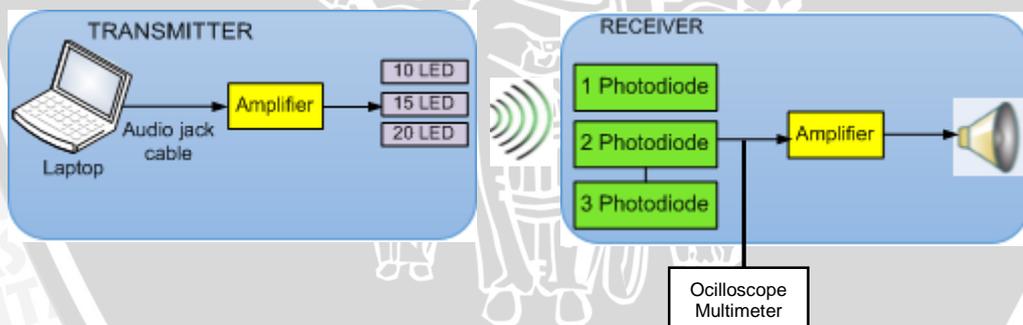
Setelah semua perangkat telah terhubung secara benar. Terapkan langkah diatas untuk jumlah *photodiode* dan jumlah LED lainnya. Suara yang keluar dari *speaker* adalah indikator bahwa sinyal yang dikirm dapat diterima dengan baik oleh *receiver*. Ukur tegangan dan arus pada blok *transmitter* dan *receiver* dengan menggunakan multimeter untuk mendapatkan nilai *optical power loss*. Sedangkan untuk parameter *delay spread* amati *periode* sinyal yang ditampilkan oleh *oscilloscope*.

Hasil konfigurasi perangkat dalam pengukuran *optical power loss* dan *delay spread* ditunjukkan pada Gambar 4.9. Kemudian jarak diubah dan amati setiap perubahan jarak terhadap performansi *optical power loss* dan *delay spread*.



Gambar 4.9 Konfigurasi Perangkat Eksperimen

Pada Gambar 4.9 terdapat *transmitter* dan *receiver* dengan jarak yang sama atau tidak ada perubahan jarak di tiap pengambilan datanya yaitu 40 cm. Cara melakukan analisis data yaitu dengan membandingkan pengaruh di tiap-tiap jumlah LED pada *transmitter* yaitu pada 10 LED, 15 LED dan 20 LED secara bergantian. Serta membandingkan pula pada *receiver* yang menggunakan *photodiode*, yaitu masing-masing 1 *photodiode*, 2 *photodiode* dan 3 *photodiode* secara bergantian untuk melihat pengaruhnya terhadap *optical power loss* dan *delay spread* dari sistem VLC.



Gambar 4.10 Konfigurasi Pengukuran *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Langkah perancangan perangkat dijelaskan sebagai berikut:

1. Hubungkan kabel *audio jack* dari Laptop ke *port* input dari *amplifier*.
2. Hubungkan kabel *output* dari *amplifier transmitter* ke LED. Pastikan Potensiometer dalam keadaan beban penuh.
3. Hubungkan kabel keluaran dari *photodiode* ke input *amplifier receiver*.
4. Hubungkan kabel keluaran dari *amplifier receiver* menuju *speaker*. Pastikan *speaker* sudah dicatu daya dari laptop.

5. Hubungkan *Power Supply* ke *amplifier* masing-masing blok, baik *transmitter* dan *receiver*.
6. Hubungkan *probe* multimeter ke rangkaian blok *transmitter* dan *receiver* sesuai blok diagram pada Gambar 4.10.
7. Buka aplikasi Audacity pada laptop dan *setting* aplikasi agar menghasilkan sinyal suara dengan frekuensi sebesar 2 kHz.
8. Lakukan pengukuran tegangan dan arus yang melewati *photodiode* pada blok *receiver*.

Sama seperti pengukuran *optical power loss* dan *delay spread*, pengambilan data menggunakan jarak tetap atau tidak ada perubahan di tiap pengambilan data yaitu 40 cm. Cara melakukan analisis data yaitu dengan membandingkan pengaruh di tiap-tiap jumlah LED pada *transmitter* yaitu pada 10 LED, 15 LED dan 20 LED secara bergantian. Serta membandingkan pula pada *receiver* yang menggunakan *photodiode*, yaitu masing-masing 1 *photodiode*, 2 *photodiode* dan 3 *photodiode* secara bergantian untuk melihat pengaruhnya terhadap *Signal to Noise Ratio* dari sistem VLC.

### 4.3 Analisis dan Pembahasan

Pada sub bab ini berisi hasil eksperimen pengaruh jumlah *photodiode* dan jumlah *Light Emitting Diode* (LED) pada performansi *Visible Light Communication* (VLC). Data-data yang didapatkan dari hasil pengukuran dihitung sesuai dengan Persamaan-Persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II. Analisis kinerja yang akan dilakukan meliputi *optical power loss*, *delay spread* dan *signal to noise ratio* (SNR).

#### 4.3.1 Analisis Optical Power Loss

Performansi *Visible Light Communication* (VLC) dengan parameter yang diamati adalah *Optical Power Loss* akan dibahas pada sub bab ini. Proses pengukuran menghasilkan nilai tegangan ( $V_{Tx}$ ) dan arus ( $I_{Tx}$ ) pada *transmitter* dan nilai tegangan ( $V_{Rx}$ ) dan arus ( $I_{Rx}$ ) pada *receiver*. Nilai-nilai tersebut diukur dalam variasi jumlah LED yang menggunakan 3 macam *transmitter* dan jumlah *photodiode* yang menggunakan 3 macam *receiver* yang dihitung secara bergantian. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3

**Tabel 4.1** Hasil Pengukuran *Optical Power Loss* menggunakan 1 *Photodiode*

Jumlah LED	Transmitter			Receiver (Photodiode)			Optical Power Loss (dB)
	Voltage (mV)	Current (mA)	Power ( $\mu$ W)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power ( $\mu$ W)	
10	2453	0,03	73,59	285,6	0,023	6,5688	-10,4933
15				174,9	0,022	3,8478	-12,8161
20				127,8	0,02	2,556	-14,5926

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran *Optical Power Loss* menggunakan 2 *Photodiode*

Jumlah LED	Transmitter			Receiver (Photodiode)			Optical Power Loss (dB)
	Voltage (mV)	Current (mA)	Power ( $\mu$ W)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power ( $\mu$ W)	
10	2453	0,03	73,59	621	0,026	16,146	-6,5875
15				336,9	0,024	8,085	-9,5910
20				241,2	0,23	5,547	-11,2271

**Tabel 4.3** Hasil Pengukuran *Optical Power Loss* menggunakan 3 *Photodiode*

Jumlah LED	Transmitter			Receiver (Photodiode)			Optical Power Loss (dB)
	Voltage (mV)	Current (mA)	Power ( $\mu$ W)	Voltage (mV)	Current (mA)	Power ( $\mu$ W)	
10	2453	0,03	73,59	988,9	0,029	28,678	-4,0926
15				714	0,06	18,564	-5,9814
20				619,5	0,05	15,487	-6,7683

Besar *Optical power loss* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.7), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4.1):

$$Power\ ration\ in\ dB = 10 \log \frac{P_{receiver}}{P_{transmitter}} \quad (4.1)$$

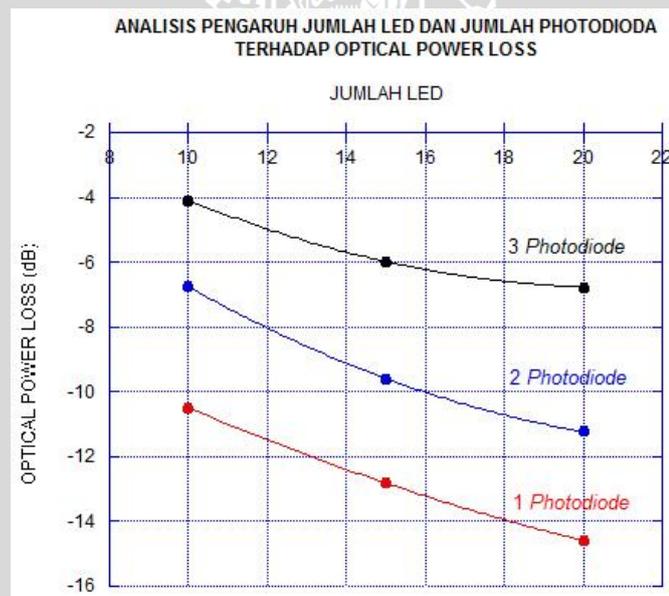
Nilai  $P_{Transmitter}$  adalah nilai daya yang dikirim oleh *transmitter*. Nilai  $P_{Receiver}$  adalah nilai daya yang diterima oleh *receiver*. Berikut contoh perhitungan nilai *optical power los* Menggunakan 10 LED dan 1 *photodiode*.

$$\begin{aligned}
 P_{transmitter} &= V \times I \\
 &= 2453 \text{ mV} \times 0,03 \text{ mA} \\
 &= 73,59 \text{ } \mu\text{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{receiver} &= V \times I \\
 &= 285,6 \text{ mV} \times 0,023 \text{ mA} \\
 &= 6,5688 \text{ } \mu\text{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Loss &= 10 \log \frac{P_{receiver}}{P_{transmitter}} \\
 &= 10 \log \frac{6,5688}{73,59} \\
 &= -10,4933 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Data pada Tabel 4.1, 4.2 dan 4.3 dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.11

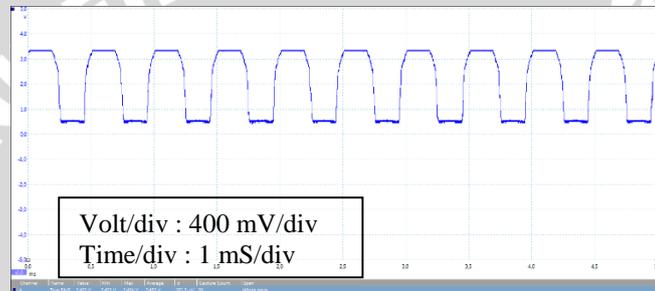


Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Jumlah *Photodiode* dan Jumlah LED Terhadap *Optical Power Loss*

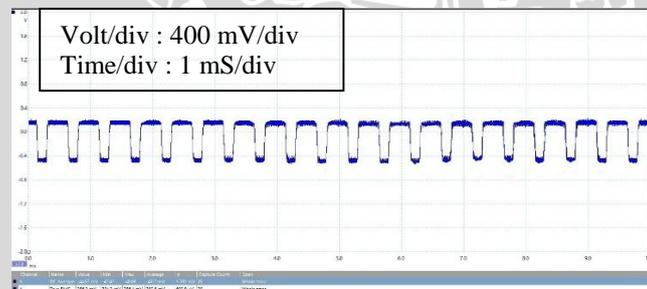
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.1 , Tabel 4.2 , Tabel 4.3 dan Gambar 4.11 dapat disimpulkan bahwa, jumlah *photodiode* dan jumlah LED berpengaruh terhadap nilai *Optical power loss* semakin banyak jumlah *photodiode* yang digunakan maka nilai *loss* akan semakin kecil, dan semakin banyak jumlah LED yang digunakan maka nilai *loss* akan semakin besar, hal ini dikarenakan

semakin banyaknya jumlah *photodiode* maka sensitivitas dari *photodiode* akan semakin tinggi yang akan menghasilkan tegangan yang semakin besar. Tetapi semakin banyak jumlah LED yang digunakan nilai tegangan yang dihasilkan oleh *photodiode* akan semakin menurun karena Pola radiasi dari cahaya LED akan semakin menyebar atau tidak fokus pada detektor seiring bertambahnya jumlah LED. nilai *Optical power loss* terkecil adalah pada saat menggunakan 10 LED dan menggunakan 3 *photodiode* yaitu -4,092 dB dan nilai *Optical power loss* terbesar pada saat menggunakan 20 LED dan menggunakan 1 *photodiode* yaitu -14,592 dB.

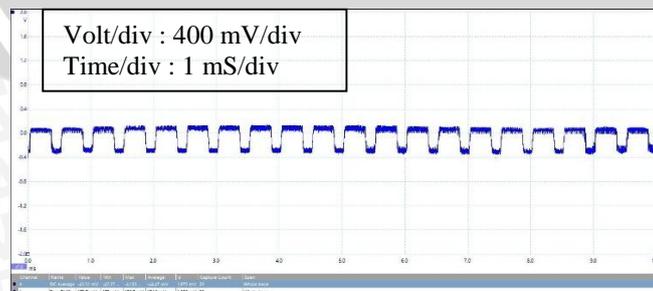
Pada Gambar 4.12, Gambar 4.13, Gambar 4.14 dan pada Gambar 4.15 akan merepresentasikan contoh bentuk sinyal *input* dan *output* pada *transmitter* dan *receiver* pada saat perhitungan *Optical Power loss*.



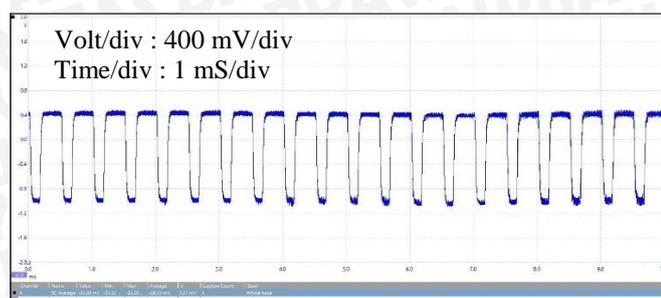
Gambar 4.12 Bentuk sinyal *input* setelah melewati *amplifier* pada *transmitter*



Gambar 4.13 Bentuk sinyal *Output* menggunakan 10 LED dan 1 *Photodiode*



Gambar 4.14 Bentuk sinyal *Output* menggunakan 15 LED dan 1 *Photodiode*



Gambar 4.15 Bentuk sinyal *Output* menggunakan 10 LED dan 2 *Photodiode*

Pada Gambar 4.12, Gambar 4.13, Gambar 4.14 dan pada Gambar 4.15 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah *photodiode* maka nilai tegangan yang dihasilkan oleh *receiver* akan semakin besar dan amplitudo sinyal pada *receiver* akan semakin besar pula mengikuti nilai tegangannya. Tetapi semakin banyak jumlah LED maka nilai tegangan yang dihasilkan oleh *receiver* akan semakin kecil dan amplitudo sinyal pada *receiver* semakin kecil pula mengikuti nilai tegangannya.

#### 4.3.2 Analisis *Delay Spread*

Performansi *Visible Light Communication (VLC)* dengan parameter yang diamati adalah *delay Spread* akan dibahas pada sub bab ini. Proses pengambilan data dengan mengamati *periode* sinyal yang dikirim oleh *transmitter* ( $T_{Rx}$ ) dan *periode* sinyal yang diterima ( $T_{Tx}$ ) pada *oscilloscope*. Nilai-nilai tersebut diukur dalam variasi jumlah LED yang menggunakan 3 macam *transmitter* dan jumlah *photodiode* yang menggunakan 3 macam *receiver* yang dihitung secara bergantian. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam bentuk Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

**Tabel 4.4** Hasil Pengukuran *delay spread* menggunakan 1 *Photodiode*

Jumlah Led	<i>Delay</i> ( $\mu$ s)		
	Periode Rx	Periode Tx	Delay
10	500,2	499,7	0,5
15	501,1	500,5	0,6
20	501,6	500,3	1,3

**Tabel 4.5** Hasil Pengukuran *delay spread* menggunakan 2 *Photodiode*

Jumlah Led	<i>Delay</i> ( $\mu$ s)		
	Periode Rx	Periode Tx	Delay
10	500,3	499,9	0,4
15	500,3	499,9	0,4
20	500,3	499,3	1

**Tabel 4.6** Hasil Pengukuran *delay spread* menggunakan 3 *Photodiode*

Jumlah Led	Delay ( $\mu\text{s}$ )		
	Periode Rx	Periode Tx	Delay
10	500,2	500	0,2
15	500,6	500,2	0,4
20	500,1	499,5	0,6

Besar nilai *delay spread* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.8), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4.2):

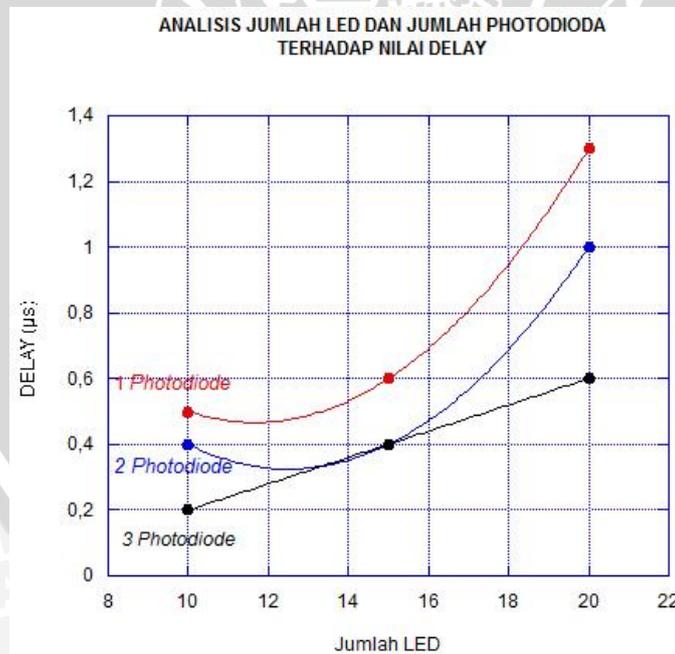
$$\text{Delay} = T_{\text{RX}} - T_{\text{TX}} \quad (4.2)$$

Nilai  $T_{\text{Transmitter}}$  adalah nilai *Periode* sinyal yang dikirim oleh *transmitter*.

Nilai  $T_{\text{Receiver}}$  adalah nilai *periode* sinyal yang diterima oleh *receiver*. Berikut contoh perhitungan nilai *delay spread* menggunakan 10 LED dan 2 *photodiode*.

$$\begin{aligned} \text{Delay} &= T_{\text{RX}} - T_{\text{TX}} \\ &= 500,3 - 499,9 \\ &= 0,4 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Data pada Tabel 4.4, 4.5 dan 4.6 dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.16



Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Jumlah *Photodiode* dan Jumlah LED Terhadap nilai *Delay Spread*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.4 , Tabel 4.5 , Tabel 4.6 dan Gambar 4.16 dapat disimpulkan bahwa, semakin banyak jumlah *photodiode* yang digunakan maka nilai *delay spread* akan semakin kecil, dan semakin banyak jumlah LED yang digunakan maka nilai *delay spread* akan semakin besar, semakin besar nilai *delay spread* menandakan kecepatan data yang dikirim akan semakin rendah.

Hal ini dikarenakan semakin banyaknya jumlah *photodiode* maka sensitivitas dari *photodiode* akan semakin tinggi yang akan menghasilkan *Periode receiver* menyerupai *Periode Transmitter*. Tetapi semakin banyak jumlah LED yang digunakan nilai *Periode* yang dihasilkan oleh *receiver* akan semakin besar atau semakin tidak menyerupai *Periode* pada *transmitter* karena Pola radiasi dari cahaya LED akan semakin menyebar atau tidak fokus pada detektor seiring bertambahnya jumlah LED. Tetapi perubahan *delay* pada *transmitter* dan *receiver* tidak terlalu signifikan atau relatif konstan karena kelebihan *visible light communication* (VLC) adalah mentransmisikan data yang sangat cepat oleh karena itu perbedaan *delay spread* tidak terlalu signifikan. Nilai *delay spread* terkecil adalah pada saat menggunakan 10 LED dan menggunakan 3 *photodiode* yaitu  $0.2\mu\text{s}$  dan *delay spread* terbesar pada saat menggunakan 20 LED dan menggunakan 1 *photodiode* yaitu  $1,3\mu\text{s}$ .

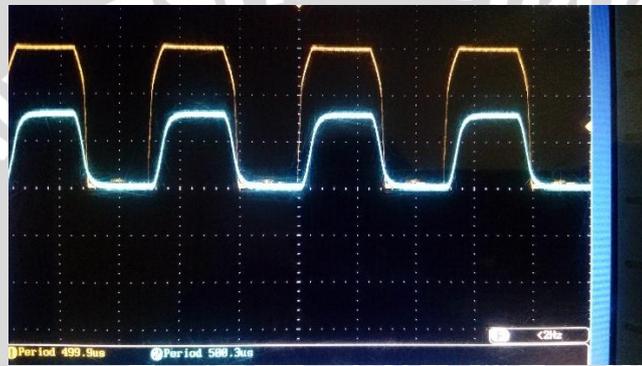
Pada Gambar 4.17, Gambar 4.18 dan pada Gambar 4.19 akan merepresentasikan contoh bentuk sinyal *input* dan *output* pada *transmitter* dan *receiver* pada saat perhitungan *delay spread*.



Gambar 4.17 Bentuk sinyal *input* dan *output* menggunakan 10 LED dan 1 *Photodiode*



Gambar 4.18 Bentuk *signal* input dan *output* menggunakan 15 LED dan 1 *Photodiode*



Gambar 4.19 Bentuk sinyal *input* dan *output* menggunakan 10 LED dan 2 *Photodiode*

Pada Gambar 4.17, Gambar 4.18, pada Gambar 4.19, sinyal berwarna kuning adalah bentuk sinyal keluaran dari *transmitter* dan sinyal berwarna biru adalah bentuk sinyal yang ditangkap oleh *receiver*. Dari Gambar diatas dapat disimpulkan bahwa, semakin banyak jumlah *photodiode* yang digunakan maka nilai *delay spread* akan semakin kecil, dan semakin banyak jumlah LED yang digunakan maka nilai *delay spread* akan semakin besar.

#### 4.3.3. Analisis *Signal to Noise Rattio* (SNR)

Performansi *Visible Light Communication* (VLC) dengan parameter yang diamati adalah *Signal to Noise Ratio* (snr) akan dibahas pada sub bab ini. Proses pengukuran menghasilkan *photocurrent* atau arus yang melewati *photodetector* ( $I_p$ ). Nilai-nilai tersebut diukur dalam variasi jumlah LED yang menggunakan 3 macam

transmitter dan jumlah photodiode yang menggunakan 3 macam receiver yang dihitung secara bergantian. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam bentuk Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil Pengukuran *Signal to Noise Ratio* menggunakan 1 Photodiode

Jumlah LED	Photocurrent ( $\mu\text{A}$ )	Arus Shot Noise (A)	Arus Thermal Noise (A)	SNR (dB)
10	$0,398 \times 10^{-06}$	$9,592 \times 10^{-19}$	$2,302 \times 10^{-15}$	18,378
15	$0,228 \times 10^{-06}$	$7,032 \times 10^{-19}$		15,441
20	$0,223 \times 10^{-06}$	$6,005 \times 10^{-19}$		13,911

**Tabel 4.8** Hasil Pengukuran *Signal to Noise Ratio* menggunakan 2 Photodiode

Jumlah LED	Photocurrent ( $\mu\text{A}$ )	Arus Shot Noise (A)	Arus Thermal Noise (A)	SNR (dB)
10	$0,662 \times 10^{-06}$	$1,550 \times 10^{-18}$	$2,302 \times 10^{-15}$	22,796
15	$0,528 \times 10^{-06}$	$1,251 \times 10^{-18}$		20,841
20	$0,393 \times 10^{-06}$	$9,496 \times 10^{-19}$		18,283

**Tabel 4.9** Hasil Pengukuran *Signal to Noise Ratio* menggunakan 3 Photodiode

Jumlah LED	Photocurrent ( $\mu\text{A}$ )	Arus Shot Noise (A)	Arus Thermal Noise (A)	SNR (dB)
10	$1,310 \times 10^{-06}$	$3,002 \times 10^{-18}$	$2,302 \times 10^{-15}$	28,720
15	$1,1037 \times 10^{-06}$	$2,539 \times 10^{-18}$		27,229
20	$9,149 \times 10^{-06}$	$2,116 \times 10^{-18}$		25,601

Besar arus *shot noise* ( $I_{SN}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.3), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4.3).

$$I_{SN} = \sqrt{2q (I_P + I_D)B} \quad (4.3)$$

Nilai  $q = 1.6 \times 10^{-19}$  C adalah muatan elektron,  $I_P$  adalah *photogenerated current*,  $I_D$  adalah *photodetector dark current* dan  $B$  adalah *bandwidth receiver*.

Berikut contoh perhitungan nilai arus *shot noise* pada saat menggunakan 10 LED dan 1 photodiode.

Diketahui :

$$I_P = 0,398 \mu\text{A} = 398 \text{ nA}$$

$$I_D = 30 \text{ nA}$$

$$t_r = 50 \text{ ns}$$

$$B = \frac{0,35}{t_r} = \frac{0,35}{50 \times 10^{-9}} = 7 \text{ MHz}$$

$$\begin{aligned} I_{SN}^2 &= 2q(I_P + I_D)B \\ &= 2 \cdot 1,6 \times 10^{-19} (398 \times 10^{-9} + 30 \times 10^{-9}) \cdot 7 \times 10^6 \\ &= 0,9592 \times 10^{-18} \text{ A} \end{aligned}$$

Besar arus *thermal noise* ( $I_{TN}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.4), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4.4).

$$I_{Jn} = \sqrt{\frac{4k_B T B}{R_{SH}}} \quad (4.4)$$

Dimana  $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$  adalah konstanta Boltzmann,  $T$  adalah suhu mutlak dalam derajat Kelvin ( $273 \text{ K} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $B$  adalah *bandwidth* dari *receiver* dan  $R_{SH}$  adalah resistansi shunt dari *photodetector*.

Berikut contoh perhitungan nilai arus *thermal noise* pada saat menggunakan 10 LED dan 1 *photodiode*.

Diketahui :

$$B = \frac{0,35}{t_r} = \frac{0,35}{50 \times 10^{-9}} = 7 \text{ MHz}$$

$$T = 25^\circ\text{C} + 273 = 298^\circ\text{K}$$

$$R_{SH} = 50 \Omega$$

$$\begin{aligned} I_{TN}^2 &= 4 \cdot k_B \cdot T \cdot B / R_{SH} \\ &= 4 \cdot 1,38 \times 10^{-23} \cdot 298 \cdot 7 \times 10^6 / 50 \\ &= 2,302 \times 10^{-15} \text{ A} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai arus *shot noise* dan arus *thermal noise* pada *photodiode*, maka nilai *signal to noise ratio* (SNR) bisa dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.10), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4.5).

$$SNR \text{ (dB)} = 10 \log \left[ \frac{I_P^2}{(I_{SN}^2 + I_{TN}^2)} \right] \quad (4.5)$$

$I_P$  adalah arus yang melewati *photodetector*,  $I_{TN}$  adalah arus *thermal noise* dan  $I_{SN}$  adalah arus *shot noise*.

Berikut contoh perhitungan nilai *signal to noise ratio* (SNR) pada saat menggunakan 10 LED dan 1 *photodiode*.

Diketahui :

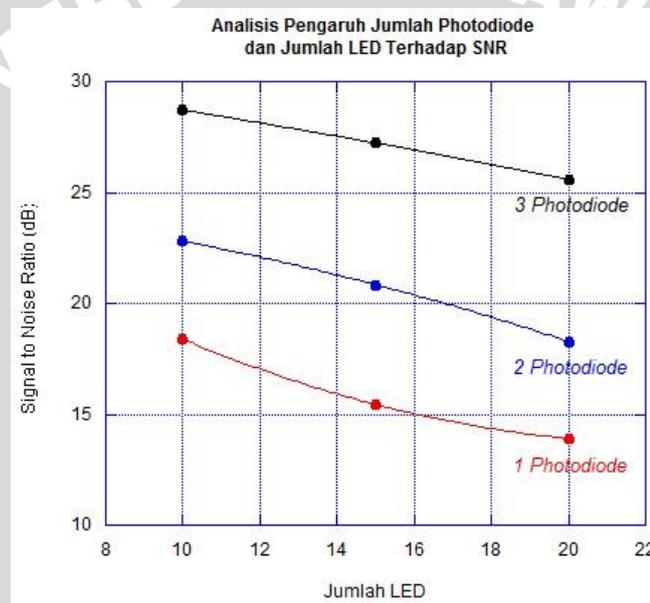
$$I_P = 0,398 \mu\text{A} = 398 \text{ nA}$$

$$I_{SN}^2 = 0,9592 \times 10^{-18} \text{ A}$$

$$I_{TN}^2 = 2,302 \times 10^{-15} \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= 10 \log \left[ \frac{(0,398 \times 10^{-6})^2}{(0,9592 \times 10^{-18} + 2,302 \times 10^{-15})} \right] \\ &= 10 \log [68,834] \\ &= 18,378 \text{ dB} \end{aligned}$$

Data yang didapatkan dari hasil perhitungan pada Tabel 4.7, Tabel 4.8 dan pada Tabel 4.9 direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.20



Gambar 4.20 Grafik Pengaruh Jumlah *Photodiode* dan Jumlah LED terhadap *signal to noise ratio*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah ditampilkan pada Tabel 4.7 , Tabel 4.8 , Tabel 4.9 dan Gambar 4.20 dapat disimpulkan bahwa, jumlah *photodiode* dan jumlah LED berpengaruh terhadap nilai *signal to noise ratio* semakin banyak jumlah *photodiode* yang digunakan maka nilai SNR akan semakin besar, dan semakin banyak jumlah LED yang digunakan maka nilai SNR akan semakin kecil. Nilai SNR terkecil adalah pada saat menggunakan 20 LED dan menggunakan 1 *photodiode* yaitu 13,911 dB dan nilai SNR terbesar pada saat menggunakan 10 LED dan menggunakan 3 *photodiode* yaitu 28,720 dB.

Nilai SNR yang besar menunjukkan kualitas sinyal yang baik dan semakin kecil nilai SNR maka kualitas sinyal semakin buruk. Hal ini disebabkan penguatan arus yang terjadi pada saat menggunakan jumlah *photodiode* yang lebih banyak. Arus yang besar menyebabkan daya sinyal yang diterima semakin besar.

Persamaan (2.10) menandakan bahwa semakin besar nilai arus maka semakin besar pula nilai *signal to noise ratio* (SNR). Sedangkan perubahan jumlah *photodiode* dan jumlah LED mempengaruhi daya yang diterima oleh *photodiode*. Jumlah *photodiode* yang lebih banyak menyebabkan daya lebih besar, Kenaikan daya yang diterima *photodiode* menyebabkan arus yang melewati *photodiode* semakin besar, sehingga nilai SNR semakin besar juga.

Tetapi pada saat menggunakan jumlah LED yang lebih banyak menyebabkan daya yang diterima oleh *photodiode* semakin kecil. Penurunan daya yang diterima *photodiode* menyebabkan arus yang melewati *photodiode* akan semakin kecil, sehingga nilai SNR juga semakin kecil. Nilai SNR yang semakin kecil mengakibatkan *noise* pada sinyal transmisi. Nilai SNR yang diharapkan adalah nilai SNR yang tinggi sehingga menunjukkan *noise* yang kecil.

