

BAB IV

PENGUJIAN DAN HASIL ANALISIS

Bab IV menjelaskan hasil dan pembahasan dari penelitian. Data yang disajikan dari hasil penelitian meliputi pengaruh penggunaan *photodiode* dan *phototransistor* yang divariasikan dalam jarak terhadap *Optical Power Loss* (OPL), *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *delay spread* pada sistem *Visible Light Communication* (VLC). Sistematika penyajian Bab IV terdiri atas konfigurasi perangkat-perangkat yang digunakan pada pengujian, prosedur pengambilan data, dan analisis dari data yang telah didapat dari pengujian.

4.1 Konfigurasi Perangkat Eksperimen

Blok diagram konfigurasi perangkat eksperimen telah ditunjukkan pada Gambar 3.3. Perangkat yang digunakan terdiri atas laptop, *amplifier*, LED, *photodiode*, *phototransistor*, speaker, multimeter, dan *oscilloscope*. Spesifikasi dan penjelasan dari masing-masing perangkat eksperimen adalah sebagai berikut:

4.1.1 Laptop

Pada penelitian ini laptop berfungsi sebagai *source* atau 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*.



Gambar 4.1 Laptop
(Sumber: www.asus.com)

4.1.2 *Amplifier*

IC LM386 adalah IC yang biasa digunakan dalam power *amplifier* mini atau speaker aktif. 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.



Gambar 4.2 *Amplifier* IC LM386
(Sumber: www.electroniccircuits.com)

4.1.3 *Light Emitting Diode (LED)*

LED yang digunakan pada penelitian ini adalah LED TLHW5400. Cahaya yang dihasilkan LED ini 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 *Light Emitting Diode (LED)* TLHW5400
(Sumber: www.digikey.com)

4.1.4 *Photodiode*

Pada penerima, cahaya diubah kembali ke bentuk listrik yang kemudian diolah agar sesuai dengan bentuk asli sebelum dipancarkan. Penerima pada penelitian ini menggunakan *photodiode* tipe LTR-516AD dengan *peak sensitivity wavelength* sebesar 900 nm, *darkcurrent* 30 nA dan *risetime* 50 ns. *Photodiode* tipe LTR-516AD adalah *photodiode* 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 *Photodiode* tipe LTR-516AD
(Sumber: www.digikey.com)

4.1.5 *Phototransistor*

Phototransistor adalah Transistor yang dapat mengubah energi cahaya menjadi listrik dan memiliki penguat (gain) Internal. Penguat Internal yang terintegrasi ini menjadikan sensitivitas atau kepekaan *Phototransistor* terhadap cahaya jauh lebih baik dari komponen pendeteksi cahaya lainnya seperti *Photodiode* ataupun *Photoresistor*. Cahaya yang diterima oleh *phototransistor* akan menimbulkan arus pada daerah basisnya dan menghasilkan penguatan arus hingga ratusan kali bahkan beberapa ribu kali.

Pada penelitian ini menggunakan *phototransistor* tipe PNA1401L dengan *peak sensitivity wavelength* 800 nm. *Phototransistor* ini memiliki *darkcurrent* 300 nA dan *rise time* sebesar 3 μ s.



Gambar 4.5 *Phototransistor* tipe PNA1401L
(Sumber: www.digikey.com)

4.1.6 *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-26 dengan output power sebesar 6W dan SNR 90 dB.



Gambar 4.6 Speaker Advance Duo-026

4.1.7 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 4.8.



Gambar 4.7 PicoScope 3204

(Sumber: www.picotech.com, 2013)

4.1.8 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 4.8.



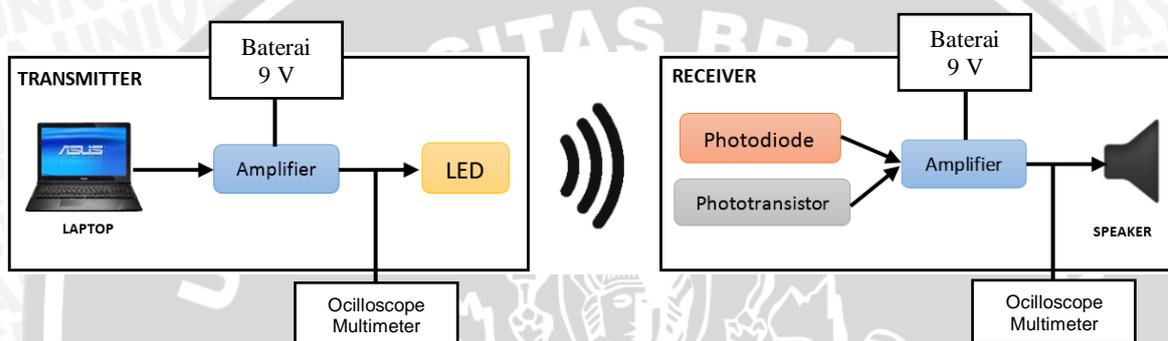
Gambar 4.8 Digital Multimeter SANWA CD800A

(Sumber: <http://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 sistem VLC sesuai dengan blok diagram pada Gambar 3.3

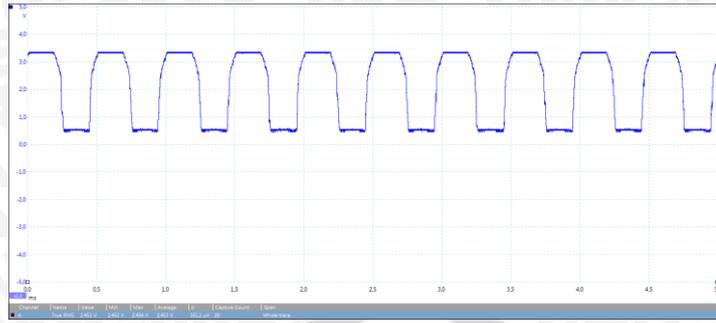
Penelitian ini menggunakan variabel yang ditekankan kepada parameter kinerja, yaitu *Optical Power Loss*, *Signal to Noise Ratio (SNR)* dan *delay spread*. Variabel bebas yang digunakan adalah variasi jarak antara blok *transmitter* dan blok *receiver* pada sistem VLC.



Gambar 4.9 Konfigurasi Pengukuran *Optical Power Loss* dan *Delay Spread*

Langkah perancangan perangkat dijelaskan sebagai berikut:

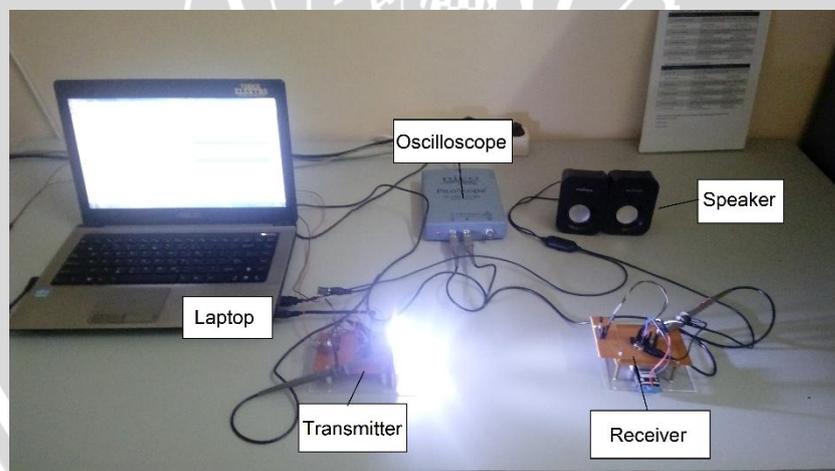
1. Hubungkan kabel audio jack dari laptop ke port input dari *amplifier*.
2. Hubungkan kabel output dari *amplifier transmitter* ke LED. Pastikan Potensiometer dalam keadaan beban penuh.
3. Hubungkan kabel keluaran dari *photodiode* atau *phototransistor* ke input *amplifier receiver*.
4. Hubungkan kabel 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 4.9.
7. Buka aplikasi Audacity pada laptop dan setting aplikasi agar menghasilkan sinyal suara dengan frekuensi sebesar 2 kHz, bentuk sinyal ditunjukkan pada Gambar 4.10.
8. Amati bentuk sinyal keluaran yang ditampilkan oleh aplikasi Picosope 6.



Gambar 4.10 Bentuk Sinyal Suara yang Dikirimkan.

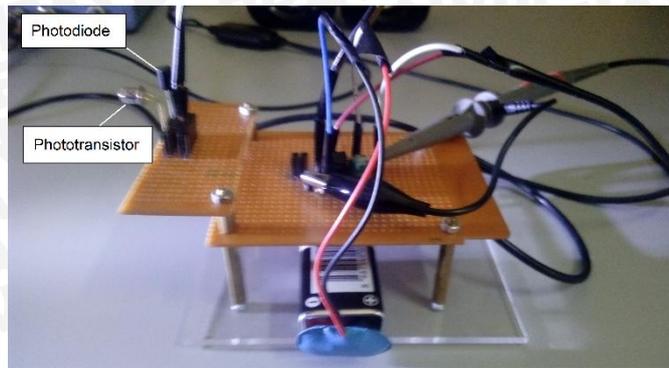
Setelah semua perangkat telah terhubung secara benar. Terapkan langkah diatas untuk detektor optik yang lain. Suara yang keluar dari speaker adalah indikator bahwa sinyal yang dikirm dapat diterima dengan baik oleh *receiver*. Ukur tegangan dan arus pada blok *transmitter* dan *receiver* dengan menggunakan 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 4.11. Kemudian jarak diubah dan amati setiap perubahan jarak terhadap performansi *optical power loss* dan *delay spread*.

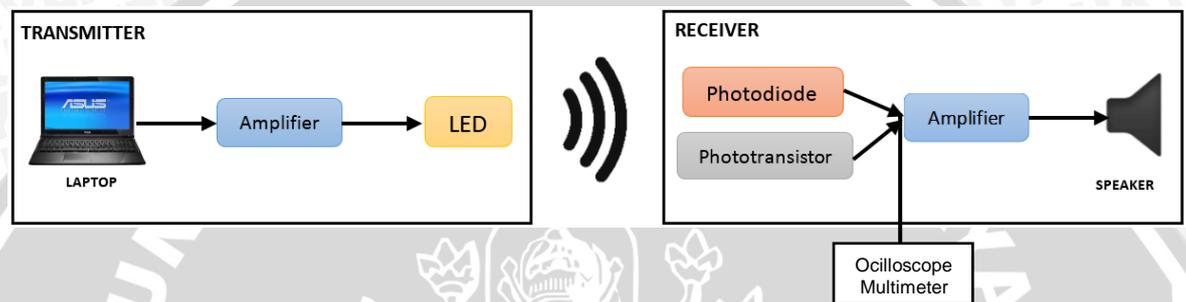


Gambar 4.11 Konfigurasi Perangkat Eksperimen

Pengambilan data dimulai dari jarak terdekat yaitu 0 cm sampai 50 cm dengan kenaikan setiap 10 cm. *Photodiode* dan *phototransistor* dipasang bergantian untuk melihat pengaruhnya terhadap *optical power loss* dan *delay spread* dari sistem VLC seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Pemasangan *Photodiode* dan *Phototransistor* pada *Receiver*



Gambar 4.13 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* atau *phototransistor* ke input *amplifier receiver*.
4. Hubungkan kabel keluaran dari *amplifier receiver* menuju speaker. Pastikan speaker sudah dicatu daya dari laptop.
5. Hubungkan baterai ke *amplifier* masing-masing blok, baik *transmitter* dan *receiver*.
6. Hubungkan *probe* multimeter ke rangkaian blok *transmitter* dan *receiver* sesuai blok diagram pada gambar 4.9.
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 detektor optik pada blok *receiver*.

Sama seperti pengukuran *optical power loss* dan *delay spread*, pengambilan data dimulai pada jarak terdekat yaitu 0 cm sampai 50 cm dengan kenaikan 10 cm. *Photodiode* dan *phototransistor* dipasang bergantian untuk melihat pengaruhnya terhadap *signal to noise ratio* (SNR) dari sistem VLC seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11.

4.3 Analisis Parameter Kinerja

Pada sub bab ini berisi hasil eksperimen pengaruh penggunaan *photodiode* dan *phototransistor* terhadap performansi *Visible Light Communication* (VLC) 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 *Optical Power Loss*, *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *delay spread*.

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 jarak antara blok *transmitter* dan *receiver*. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 4.1 untuk *photodiode* dan Tabel 4.2 untuk *phototransistor*.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran *Optical Power Loss* Pada *Photodiode*

Jarak (cm)	Transmitter			Receiver			Optical Power Loss (dB)
	V_{Tx} (mV)	I_{Tx} (mA)	P_{Tx} (mW)	V_{Rx} (mV)	I_{Rx} (mA)	P_{Rx} (mW)	
0	2453	0,03	$7,359 \times 10^{-2}$	916,5	0,03	$2,749 \times 10^{-2}$	-4,27
10				869,8	0,029	$2,522 \times 10^{-2}$	-4,65
20				616,2	0,026	$1,602 \times 10^{-2}$	-6,62
30				342,2	0,024	$0,821 \times 10^{-2}$	-9,52
40				200,1	0,022	$0,440 \times 10^{-2}$	-12,23
50				119,9	0,019	$0,228 \times 10^{-2}$	-15,09

Besar *optical power loss* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-2), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4-1):

$$\text{Optical Power Loss (dB)} = 10 \log \frac{P_{Rx}}{P_{Tx}} \quad (4-1)$$

Nilai P_{Tx} adalah nilai daya yang dikirim oleh *transmitter*. Nilai P_{Rx} adalah nilai daya yang diterima oleh *receiver*. Berikut contoh perhitungan nilai *optical power loss* untuk jarak 0 cm:

$$\begin{aligned} P_{Tx} &= V_{Tx} \times I_{Tx} \\ &= 2453 \text{ mV} \times 0,03 \text{ mA} \\ &= 73,59 \text{ } \mu\text{W} = 7,359 \times 10^{-2} \text{ mW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{Rx} &= V_{Rx} \times I_{Rx} \\ &= 916,5 \text{ mV} \times 0,03 \text{ mA} \\ &= 27,49 \text{ } \mu\text{W} = 2,749 \times 10^{-2} \text{ mW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Optical Power Loss} &= 10 \log \frac{P_{\text{receiver}}}{P_{\text{transmitter}}} \\ &= 10 \log \frac{2,749 \times 10^{-2}}{7,359 \times 10^{-2}} \\ &= -4,27 \text{ dB} \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran *Optical Power Loss* Pada *Phototransistor*

Jarak (cm)	Transmitter			Receiver			Optical Power Loss (dB)
	V_{Tx} (mV)	I_{Tx} (mA)	P_{Tx} (mW)	V_{Rx} (mV)	I_{Rx} (mA)	P_{Rx} (mW)	
0	2453	0,03	$7,359 \times 10^{-2}$	97,66	0,029	$0,283 \times 10^{-2}$	-14,15
10				92,6	0,028	$0,259 \times 10^{-2}$	-14,53
20				88,98	0,028	$0,249 \times 10^{-2}$	-14,7
30				85,13	0,026	$0,221 \times 10^{-2}$	-15,22
40				80,52	0,023	$0,185 \times 10^{-2}$	-15,99
50				75,35	0,02	$0,15 \times 10^{-2}$	-16,89

Besar *optical power loss* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-2), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4-1):

Berikut contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai *optical power loss* pada jarak 0 cm:

$$\begin{aligned} P_{Tx} &= V \times I \\ &= 2453 \text{ mV} \times 0,03 \text{ mA} \\ &= 73,59 \text{ } \mu\text{W} = 7,359 \times 10^{-2} \text{ mW} \end{aligned}$$

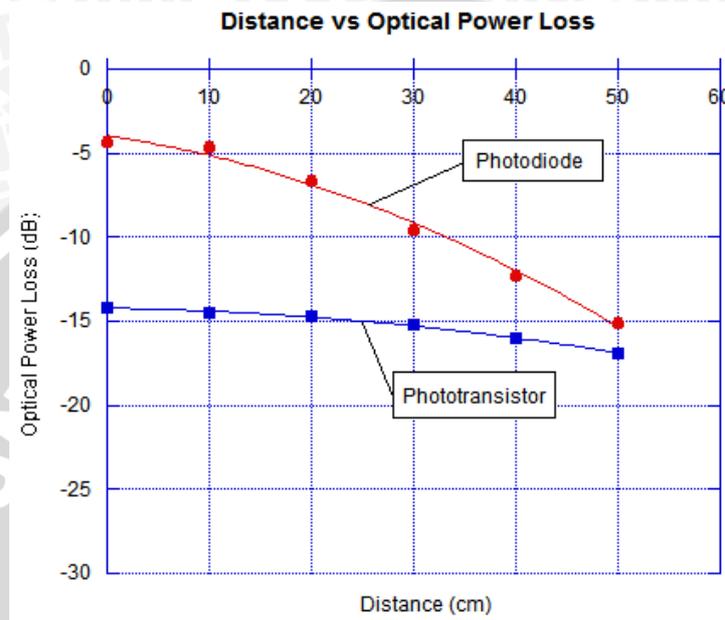
$$\begin{aligned} P_{Rx} &= V \times I \\ &= 97,66 \text{ mV} \times 0,029 \text{ mA} \\ &= 2,83 \text{ } \mu\text{W} = 0,283 \times 10^{-2} \text{ mW} \end{aligned}$$

$$\text{Optical Power Loss} = 10 \log \frac{P_{\text{receiver}}}{P_{\text{transmitter}}}$$

$$= 10 \log \frac{0,283 \times 10^{-2}}{7,359 \times 10^{-2}}$$

$$= -14,15 \text{ dB}$$

Nilai *optical power loss* yang didapatkan dari hasil perhitungan pada tabel 4.1 dan 4.2 direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.14

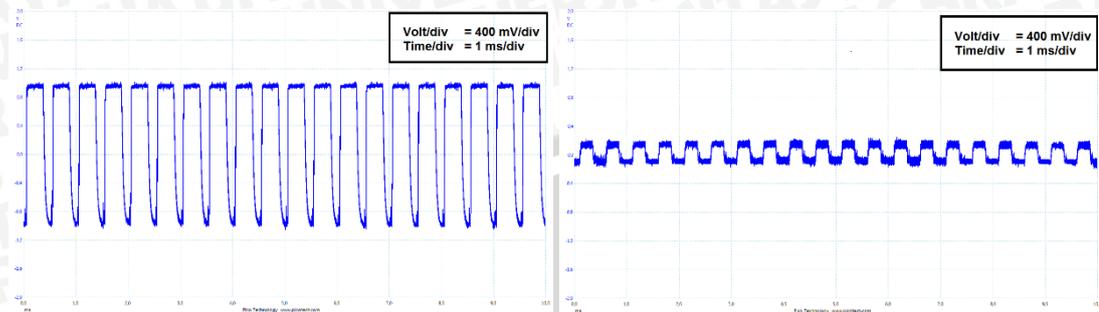


Gambar 4.14 Grafik Perbandingan *Optical Power Loss* antara *Photodiode* dan *Phototransistor*.

Gambar 4.14 menyatakan bahwa *optical power loss* pada *photodiode* dan *phototransistor* dipengaruhi oleh jarak antara *transmitter* dan *receiver*. Semakin jauh jarak propagasi maka semakin besar nilai *optical power loss* dan sebaliknya semakin dekat jarak propagasi maka nilai *optical power loss* semakin kecil. Jarak yang semakin jauh menyebabkan intensitas cahaya yang diterima oleh detektor optik semakin kecil, ketika intensitas cahaya melemah maka daya yang diterima oleh *receiver* juga melemah.

Pada *photodiode* nilai *optical power loss* menurun secara drastis pada jarak 50 cm yaitu mencapai -15,09 dB yang sebelumnya dari -4,27 dB pada jarak 0 cm. Sedangkan pada *phototransistor* nilai *optical power loss* cenderung lebih stabil dibandingkan *photodiode*. Pada jarak 0 cm nilai *optical power loss phototransistor* mencapai -14,15 dB dan turun menjadi -16,89 dB pada jarak 50 cm. Hal ini disebabkan sensitifitas sebuah *phototransistor* lebih baik dibandingkan *photodiode* sehingga *phototransistor* lebih digunakan untuk komunikasi jarak jauh. Namun

untuk jarak yang dekat *phototransistor* memiliki nilai *optical power loss* yang besar dibandingkan *photodiode*.



Gambar 4.15 Sinyal yang Diterima pada Jarak 0 cm (kiri) dan 50 cm (kanan)

Gambar diatas menunjukkan bentuk sinyal yang diterima oleh detektor optik pada jarak 0 cm dan 50 cm. Dimana amplitudo sinyal pada jarak 50 cm mengalami penurunan jika dibandingkan amplitudo pada jarak 0 cm. Inilah yang disebut dengan *optical power loss*.

4.3.2 Analisis Pengaruh Jarak Terhadap *Signal to Noise Ratio (SNR)*

Performansi *Visible Light Communication (VLC)* dengan parameter yang diamati adalah *Signal to Noise Ratio (SNR)* akan dibahas pada sub bab ini. Proses pengukuran dilakukan untuk mendapatkan nilai *photocurrent* atau arus yang melewati *photodetector* (I_p). Nilai-nilai tersebut diukur dalam variasi jarak antara blok *transmitter* dan *receiver*. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran *Noise* Pada *Photodiode* dan *Phototransistor*

Jarak (cm)	Photocurrent (I_p) (μA)		Arus Shot Noise (I_{SN}) (A)		Arus Thermal Noise (I_{TN}) (A)	
	Photo diode	Photo transistor	Photo diode	Photo transistor	Photo diode	Photo transistor
0	0,732	0,962	$1,71 \times 10^{-18}$	$4,71 \times 10^{-20}$	$2,30 \times 10^{-15}$	$3,84 \times 10^{-17}$
10	0,233	0,539	$5,89 \times 10^{-19}$	$3,13 \times 10^{-20}$	$2,30 \times 10^{-15}$	$3,84 \times 10^{-17}$
20	0,187	0,461	$4,86 \times 10^{-19}$	$2,84 \times 10^{-20}$	$2,30 \times 10^{-15}$	$3,84 \times 10^{-17}$
30	0,169	0,325	$4,46 \times 10^{-19}$	$2,33 \times 10^{-20}$	$2,30 \times 10^{-15}$	$3,84 \times 10^{-17}$
40	0,168	0,212	$4,43 \times 10^{-19}$	$1,91 \times 10^{-20}$	$2,30 \times 10^{-15}$	$3,84 \times 10^{-17}$
50	0,159	0,129	$4,23 \times 10^{-19}$	$1,60 \times 10^{-20}$	$2,30 \times 10^{-15}$	$3,84 \times 10^{-17}$

Besar arus *shot noise* (I_{SN}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-4), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4-2).

$$I_{SN} = \sqrt{2q(I_P + I_D)B} \quad (4-2)$$

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* untuk jarak 0 cm pada *photodiode*.

Diketahui :

$$I_P = 0,732 \mu\text{A} = 732 \text{ nA}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} I_{SN}^2 &= 2 \cdot q \cdot (I_P + I_D) \cdot B \\ &= 2 \cdot 1,6 \times 10^{-19} (732 \times 10^{-9} + 30 \times 10^{-9}) \cdot 7 \times 10^6 \\ &= 1,70688 \times 10^{-18} \text{ A} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan nilai arus *shot noise* untuk jarak 0 cm pada *phototransistor*.

Diketahui :

$$I_P = 0,961 \mu\text{A} = 961 \text{ nA}$$

$$I_D = 300 \text{ nA}$$

$$t_r = 3 \mu\text{s}$$

$$B = \frac{0,35}{t_r} = \frac{0,35}{3 \times 10^{-6}} = 117 \text{ kHz}$$

$$\begin{aligned} I_{SN}^2 &= 2 \cdot q \cdot (I_P + I_D) \cdot B \\ &= 2 \cdot 1,6 \times 10^{-19} (961 \times 10^{-9} + 300 \times 10^{-9}) \cdot 117 \times 10^3 \\ &= 4,71095 \times 10^{-20} \text{ A} \end{aligned}$$

Besar arus *thermal noise* (I_{TN}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-5), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4-3).

$$I_{Jn} = \sqrt{\frac{4k_B T B}{R_{SH}}} \quad (4-3)$$

Dimana $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$ 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* untuk jarak 0 cm pada *photodiode*:

Diketahui :

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

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

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

$$\begin{aligned} I_{TN}^2 &= 4 \cdot k_B \cdot T \cdot B / R_{SH} \\ &= 4 \cdot 1,38 \times 10^{-23} \cdot 298 \cdot 7 \times 10^6 / 50 \\ &= 2,30294 \times 10^{-15} \text{ A} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan nilai arus *thermal noise* untuk jarak 0 cm pada *phototransistor*:

Diketahui :

$$B = \frac{0,35}{t_r} = \frac{0,35}{3 \times 10^{-6}} = 117 \text{ kHz}$$

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

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

$$\begin{aligned} I_{TN}^2 &= 4 \cdot k_B \cdot T \cdot B / R_{SH} \\ &= 4 \cdot 1,38 \times 10^{-23} \cdot 298 \cdot 117 \times 10^3 / 50 \\ &= 3,83934 \times 10^{-17} \text{ A} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai arus *shot noise* dan arus *thermal noise* pada kedua detektor optik, maka nilai *signal to noise ratio* (SNR) bisa dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-9), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4-4).

$$SNR (dB) = 10 \log \left[\frac{I_P^2}{(I_{SN}^2 + I_{TN}^2)} \right] \quad (4-4)$$

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) untuk jarak 0 cm pada *photodiode*.

Diketahui :

$$I_P = 0,732 \mu\text{A} = 7,32 \times 10^{-7} \text{ A}$$

$$I_{SN}^2 = 1,70688 \times 10^{-18} \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_{TN}^2 &= 2,30294 \times 10^{-15} \text{ A} \\
 SNR &= 10 \log \left[\frac{(7,32 \times 10^{-7})^2}{(1,70688 \times 10^{-18} + 2,30294 \times 10^{-15})} \right] \\
 &= 10 \log [232,4968196] \\
 &= 23,664 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan nilai *signal to noise ratio* (SNR) untuk jarak 0 cm pada *phototransistor*.

Diketahui :

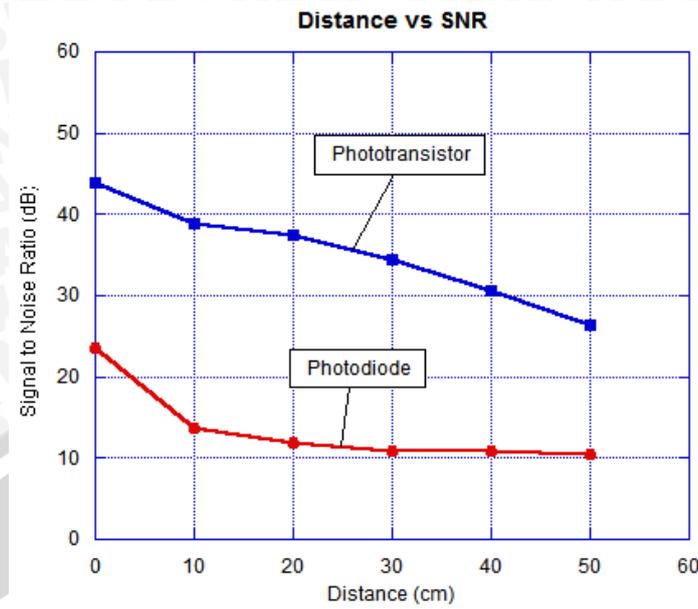
$$\begin{aligned}
 I_p &= 0,961 \mu\text{A} = 9,61 \times 10^{-7} \text{ A} \\
 I_{SN}^2 &= 4,71095 \times 10^{-20} \text{ A} \\
 I_{TN}^2 &= 3,83934 \times 10^{-17} \text{ A} \\
 SNR &= 10 \log \left[\frac{(9,61 \times 10^{-7})^2}{(4,71095 \times 10^{-20} + 3,83934 \times 10^{-17})} \right] \\
 &= 10 \log [24049,7088] \\
 &= 43,8111 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama didapat nilai SNR pada setiap perubahan jarak, ditunjukkan dengan jelas pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai SNR pada *Photodiode* dan *Phototransistor*

Jarak (cm)	SNR (dB)	
	Photodiode	Phototransistor
0	23,664	43,811
10	13,723	38,779
20	11,813	37,436
30	10,934	34,403
40	10,882	30,674
50	10,404	26,347

Data yang didapatkan dari hasil perhitungan pada tabel 4.4 direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.16



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai SNR pada *Photodiode* dan *Phototransistor*

Berdasarkan gambar 4.16 nilai SNR pada tiap detektor optik dipengaruhi oleh jarak. Semakin jauh jarak antara *transmitter* dan *receiver* maka nilai SNR semakin kecil. SNR tertinggi yaitu pada jarak 0 cm sebesar 23,664 dB pada *photodiode* dan 43,811 dB pada *phototransistor*, Sedangkan SNR terendah pada jarak 50 cm sebesar 10,404 dB pada *photodiode* dan 26,347 dB pada *phototransistor*.

Nilai SNR yang kecil menunjukkan kualitas sistem komunikasi yang buruk dan sebaliknya nilai SNR yang besar menunjukkan kualitas sistem komunikasi yang baik. Pada *phototransistor* nilai SNR lebih baik daripada *photodiode*, hal ini disebabkan oleh penguatan arus yang terjadi pada *phototransistor*. Arus yang besar menyebabkan daya sinyal yang diterima semakin besar.

Persamaan (2-9) menjelaskan bahwa kenaikan arus yang melewati detektor optik berbanding lurus dengan nilai SNR. Sedangkan perubahan jarak mempengaruhi daya yang diterima oleh detektor optik. Jarak yang lebar menyebabkan daya menurun. Penurunan daya yang diterima detektor optik menyebabkan arus yang melewati detektor optik 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.

4.3.3 Analisis Pengaruh Jarak Terhadap 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 jarak antara blok *transmitter* dan *receiver*. Hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran *Delay Spread* Pada *Photodiode* dan *Phototransistor*

Jarak (cm)	Photodiode			Phototransistor		
	Rx (μ s)	Tx (μ s)	Delay (μ s)	Rx (μ s)	Tx (μ s)	Delay (μ s)
10	498,8	498,2	0,6	513,6	502,4	11,2
20	499,2	498,6	0,6	515,4	500,8	14,6
30	499,7	498,8	0,9	514	498,8	15,2
40	500,2	499,2	1	515,8	499,4	16,4
50	500,6	499,6	1	515,8	499	16,8

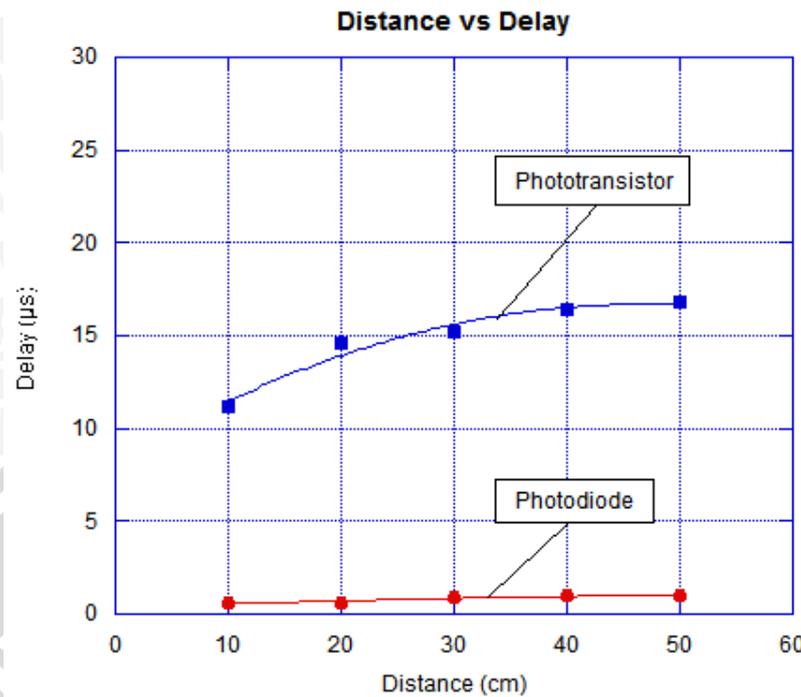
Besar *optical power loss* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-11), yang dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan (4-5):

$$\text{Delay Spread} = T_{Rx} - T_{Tx} \quad (4-5)$$

Nilai T_{Rx} adalah periode sinyal yang dikirim oleh *transmitter*. Nilai T_{Tx} adalah periode sinyal yang diterima oleh *receiver*. Berikut contoh perhitungan nilai *delay spread* untuk jarak 10 cm:

$$\begin{aligned} \text{Photodiode : Delay spread} &= T_{Rx} - T_{Tx} \\ &= 498,8 \mu\text{s} - 498,2 \mu\text{s} \\ &= 0,6 \mu\text{s} \\ \text{Phototransistor : Delay spread} &= T_{Rx} - T_{Tx} \\ &= 513,6 \mu\text{s} - 502,4 \mu\text{s} \\ &= 11,2 \mu\text{s} \end{aligned}$$

Data yang ada pada tabel 4.4 direpresentasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan *Delay Spread* antara *Photodiode* dan *Phototransistor*

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa *phototransistor* memiliki nilai *delay spread* lebih tinggi dibandingkan *photodiode* pada semua variasi jarak yang telah diberikan. Semakin jauh jarak antara *transmitter* dan *receiver* maka semakin besar nilai *delay spread* yang dihasilkan. *Delay spread* ini dapat menimbulkan interferensi antar simbol, karena setiap simbol saling bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya.

Selisih nilai *delay spread* terbesar terdapat pada jarak 50 cm dimana *photodiode* memiliki *delay spread* 1 µs sedangkan *phototransistor* memiliki *delay spread* 16,8 µs. Dan selisih nilai terkecil terdapat pada jarak 10 cm dimana *photodiode* memiliki nilai *delay spread* 0,6 µs sedangkan *phototransistor* memiliki nilai *delay spread* 11,2 µs. Perbandingan yang signifikan ini disebabkan karena responsifitas sebuah *photodiode* lebih baik dibandingkan dengan *phototransistor*. *Phototransistor* memiliki responsivitas dalam orde *microsecond*, sedangkan *photodiode* memiliki responsivitas dalam orde *nanosecond*. Sehingga kecepatan sinyal yang diterima oleh *phototransistor* sedikit lebih lambat dibandingkan *photodiode*.

Contoh pengamatan periode sinyal untuk mendapatkan nilai *delay spread* sistem VLC ditunjukkan pada Gambar 4.18. Dimana sinyal yang berwarna kuning

adalah sinyal yang dikirim dan sinyal yang berwarna biru adalah sinyal yang diterima oleh *receiver*.



Gambar 4.18 Contoh Pengamatan *Delay Spread* pada jarak 10 cm (kiri) dan 50 cm (kanan)

