

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. “*Number of internet users in Indonesia from 2015 to 2022 (in millions)*”. <https://www.statista.com/statistics/254456/number-of-internet-users-in-indonesia/> diakses pada 22 April 2018.
- [2] Dilukshan Karunatilaka, et al. “*LED Based Indoor Visible Light Communications: State of the Art*”, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 26 Maret 2015
- [3] Goswami, P. dan Shukla, M.K. “*Design of a Li-Fi Transceiver*”. Wireless Engineering and Technology, 8, page 71-86, 2017.
- [4] Trio Adiono, Syaiful Fuada, dkk. “*Desain Awal Analog Front-End Optical Transceiver untuk Aplikasi Visible Light Communication*”, JNTETI, Vol. 5, No. 4, November 2016.
- [5] Latif Ullah Khan. “*Visible Light Communication: Applications, Architecture, Standardization and Research Challenges*”, Digital Communications and Networks, 18 Juni 2016
- [6] Dickson Kho. “*Pengertian LED (Light Emitting Diode) dan Cara Kerjanya*” <https://teknikelektronika.com/pengertian-led-light-emitting-diode-cara-kerja/> diakses pada 17 Juni 2021.
- [7] Dickson Kho. “*Pengertian Photodiode (Dioda Foto) dan Prinsip kerjanya*”. <https://teknikelektronika.com/pengertian-photodiode-dioda-foto-prinsip-kerja-photodiode/> diakses pada 17 Juni 2021.

- [8] Anonim. *“Output Digital Mikrokontroler Dengan MOSFET”*. <https://elektrologi.ipitek.web.id/output-digital-mikrokontroler-dengan-mosfet/> diakses pada 17 Juni 2021.
- [9] International Rectifier. *“Datasheet IRF520N”*. https://alltransistors.com/adv/pdfdatasheet_international_rectifier/irf520n.pdf diakses pada 17 Juni 2021.
- [10] Dickson Kho. *“Pengertian Resistor dan Jenis-jenisnya”*. <https://teknikelektronika.com/pengertian-resistor-jenis-jenis-resistor/> diakses pada 17 Juni 2021.
- [11] Dickson Kho. *“Pengertian Konektor (Connector) dan Jenis-jenisnya”*. <https://teknikelektronika.com/pengertian-konektor-connector-dan-jenis-jenisnya/> diakses pada 17 Juni 2021.
- [12] Dickson Kho. *“Pengertian USB (Universal Serial Bus) dan Jenis-jenis Konektor USB”*. <https://teknikelektronika.com/pengertian-usb-universal-serial-bus-jenis-jenis-konektor-usb/> diakses pada 17 Juni 2021.
- [13] Anonim. *“Arduino UNO Rev 3”*. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> diakses pada 17 Juni 2021.
- [14] Anonim. *“Penggunaan Arduino IDE – Menara Ilmu Mikrokontroller”*. <https://mikrokontroler.mipa.ugm.ac.id> diakses pada 17 Juni 2021.
- [15] Anonim. *“Arduino Software (IDE)”*. <https://www.arduino.cc/en/guide/environment#> diakses pada 17 Juni 2021
- [16] Etsi. *“Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)”*.

https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101300_101399/101329/02.01.01_60/tr_101329v020101p.pdf diakses pada 21 Juni 2021.

- [17] Retno Renggani Nugroho, Inung Wijayanto, dkk. “*Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital Berbasis VLC dengan LED dan Phototransistor Array*”, Jurnal Edukasi Elektro, Vol. 2, No. 1, Mei 2018.
- [18] Ganang Saputro, Eny Sukani Rahayu, dkk. “*Prototipe Li-Fi dengan Arduino Mega 2560*”, CITEE 2019 Yogyakarta, 24-25 Juli 2019.
- [19] Nenggala Yudhabrama, Inung Wijayanto, dkk. “*Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital Berbasis Visible Light Communication*”, Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2017. ITN Malang, 4 Pebruari 2017.

LAMPIRAN

Lampiran 1 *Datasheet Photodiode*

EVERLIGHT
AMERICAS

DATASHEET

5mm Silicon PIN Photodiode , T-1 3/4 EAPDLP05RDDA1



Features

- Fast response time
- High photo sensitivity
- Small junction capacitance
- Pb free
- This product itself will remain within RoHS compliant version.

Description

EAPDLP05RDDA1 is a high speed and high sensitive PIN photodiode in a standard 5 ϕ plastic package. Due to its water clear epoxy the device is sensitive to visible and infrared radiation.

Applications

- High speed photo detector
- Security system
- Camera

Device Selection Guide

Chip Materials	Lens Color
Silicon	Water clear

Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

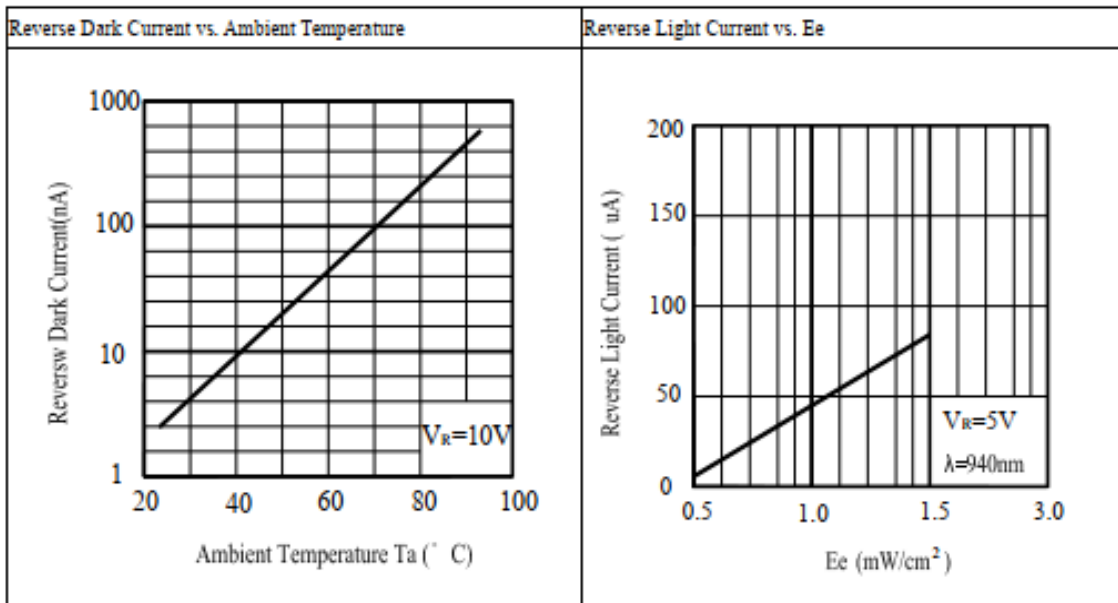
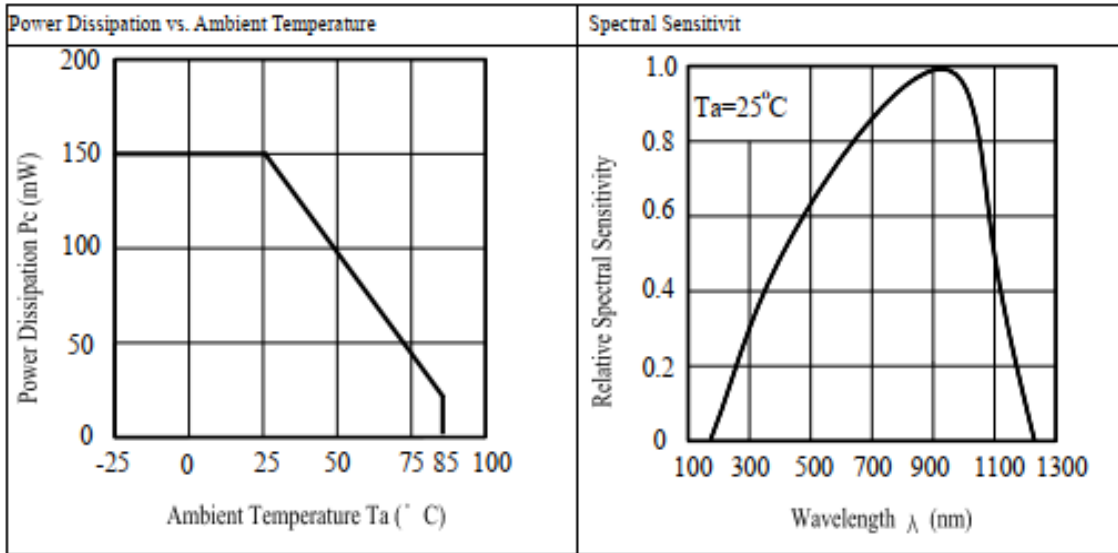
Parameter	Symbol	Rating	Unit
Reverse Voltage	V _R	32	V
Power Dissipation	P _d	150	mW
Lead Soldering Temperature	T _{sol}	260	°C
Operating Temperature	T _{opr}	-25 ~ +85	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-40 ~ +100	°C

Notes: *1: Soldering time \leq 5 seconds.

Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
Range Of Spectral Bandwidth	$\lambda_{0.5}$	400	---	1100	nm	----
Wavelength Of Peak Sensitivity	λ_p	---	940	---	nm	----
Open-Circuit Voltage	V_{OC}	---	0.39	---	V	Ee=5m W/cm ² $\lambda_p=940nm$
Short- Circuit Current	I_{SC}	---	40	---	μA	Ee=1m W/cm ² $\lambda_p=940nm$
Reverse Light Current	I_L	36	40	---		Ee=1m W/cm ² $\lambda_p=940nm$ $V_R=5V$
Reverse Dark Current	I_D	---	5	30	nA	Ee=0m W/cm ² $V_R=10V$
Reverse Breakdown Voltage	V_{BR}	32	170	---	V	Ee=0m W/cm ² $I_R=100 \mu A$
Total Capacitance	C_t	---	18	---	pF	Ee=0m W/cm ² $V_R=5V$ $f=1MHz$
Rise Time/ Fall Time	t_r/t_f	---	45/45	---	nS	$V_R=10V$ $R_L=1K\Omega$
View Angle	$2\theta_{1/2}$	--	80	--	deg	$I_f=20mA$

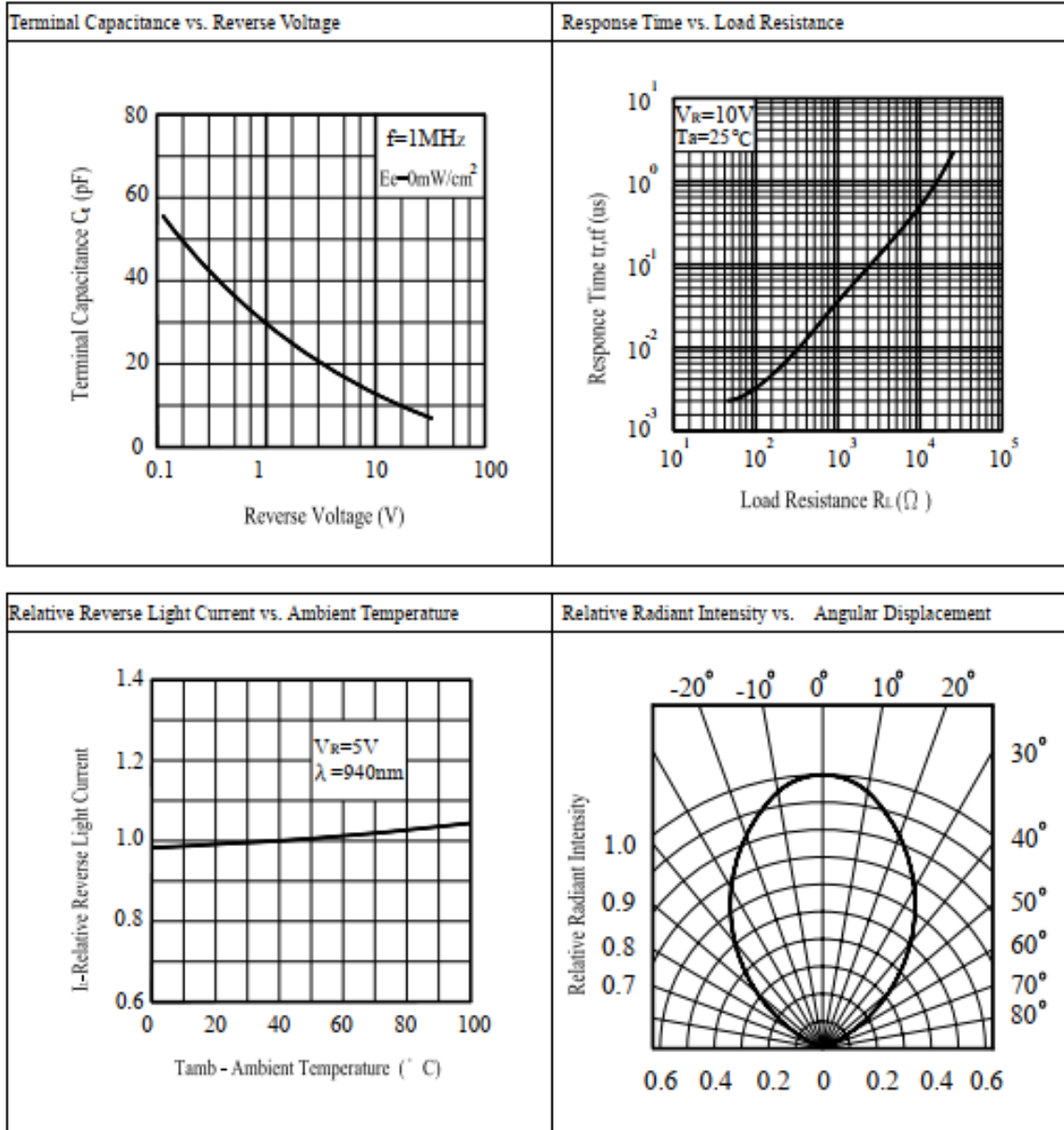
Typical Electro-Optical Characteristics Curves



DATASHEET

5mm Silicon PIN Photodiode , T-1 3/4
EAPDLP05RDDA1

EVERLIGHT
AMERICAS

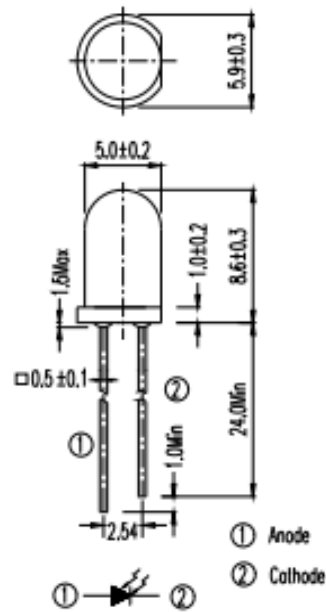


DATASHEET

5mm Silicon PIN Photodiode, T-1 3/4
EAPDLP05RDDA1

EVERLIGHT
AMERICAS

Package Dimension



Note: Tolerances unless dimensions $\neq 0.25$ mm

Lampiran 2 Datasheet Transistor MOSFET IRF520N

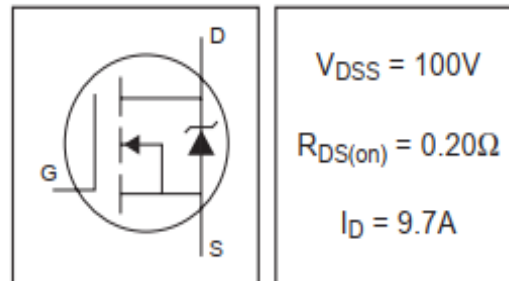
International
IR Rectifier

PD-91339A

IRF520N

HEXFET® Power MOSFET

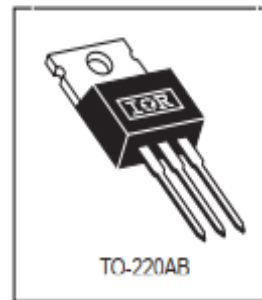
- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings


	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	9.7	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	6.8	
I_{DM}	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{D}}$	38	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	48	W
	Linear Derating Factor	0.32	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	91	mJ
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{D}}$	5.7	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	4.8	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{D}}$	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175	°C
T_{STG}			
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N-m)	

Thermal Resistance

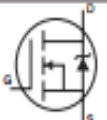
	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	3.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

5/13/98

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.11	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.20	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.7A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	2.7	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 5.7A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 100V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 80V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{DS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	25	nC	$I_D = 5.7A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	4.8		$V_{DS} = 80V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	11		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13 ②
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	4.5	—	ns	$V_{DD} = 50V$
t_r	Rise Time	—	23	—		$I_D = 5.7A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	32	—		$R_G = 22\Omega$
t_f	Fall Time	—	23	—		$R_D = 8.6\Omega$, See Fig. 10 ③
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact 
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	330	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	92	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	54	—		$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	9.7	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ④	—	—	38		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 5.7A, V_{GS} = 0V$ ⑤
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	99	150	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 5.7A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	390	580	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ⑥

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② $V_{DD} = 25V$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 4.7\text{mH}$
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 5.7A$. (See Figure 12)

③ $I_{SD} \leq 5.7A, di/dt \leq 240A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 175^\circ\text{C}$

④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

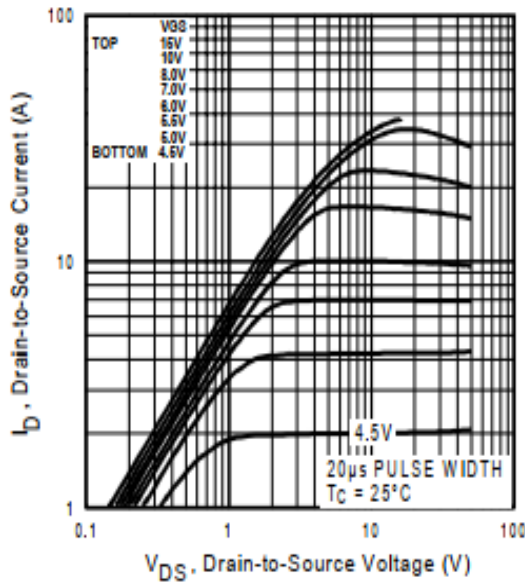


Fig 1. Typical Output Characteristics

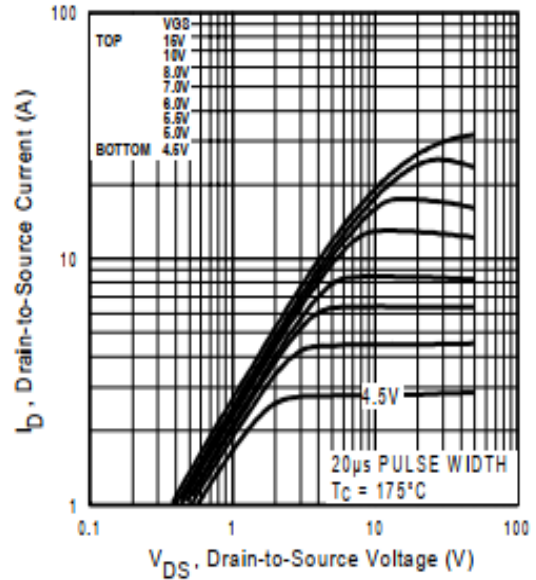


Fig 2. Typical Output Characteristics

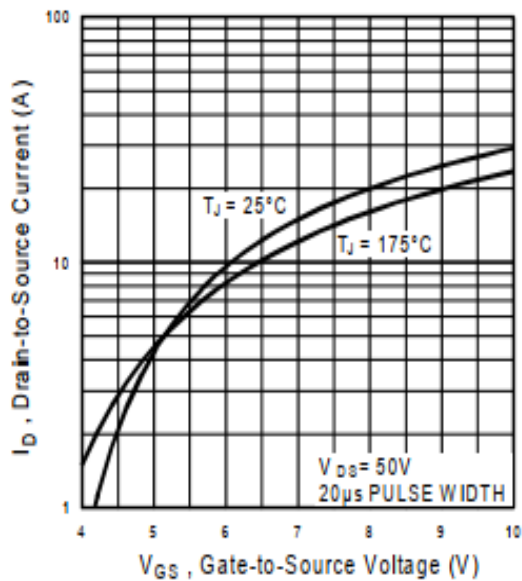


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

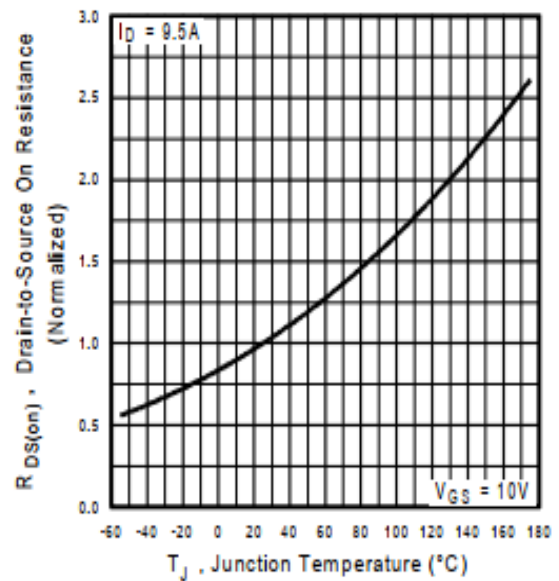


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

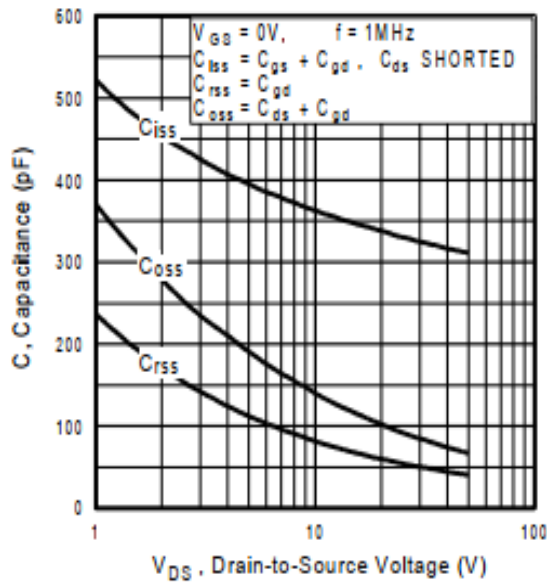


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

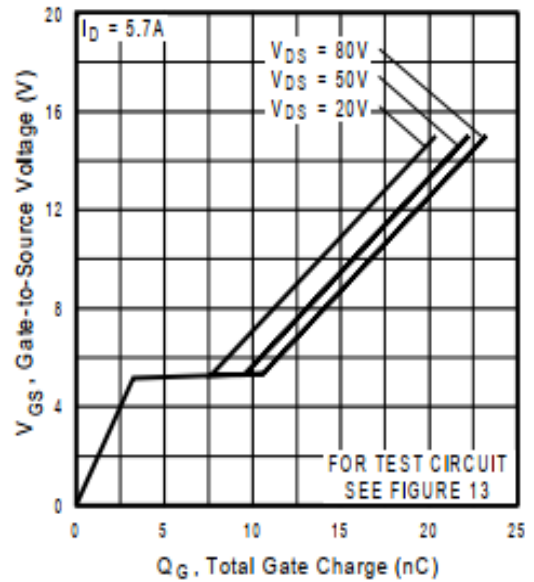


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

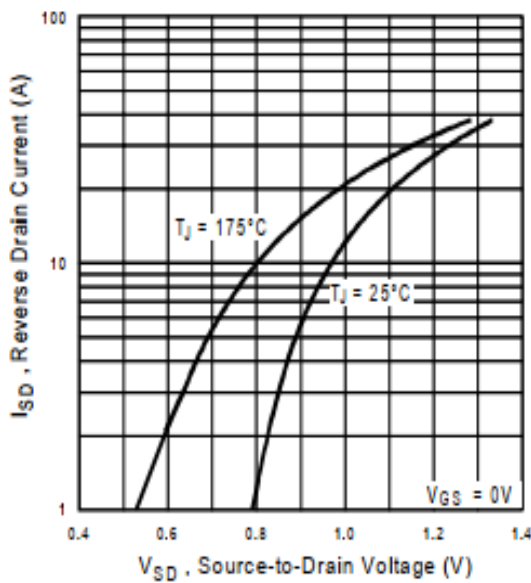


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

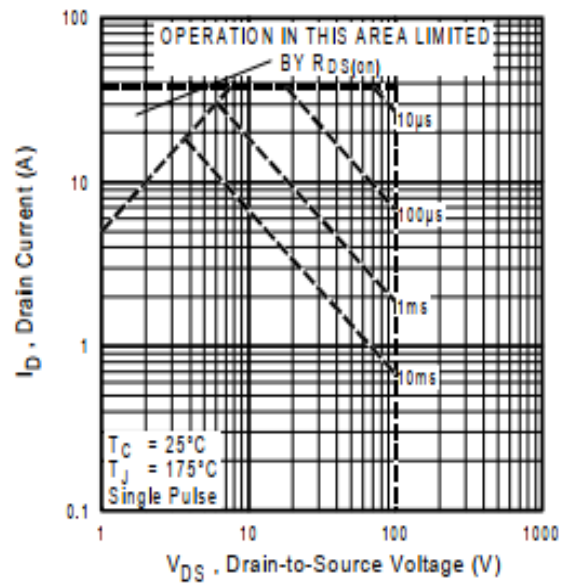


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

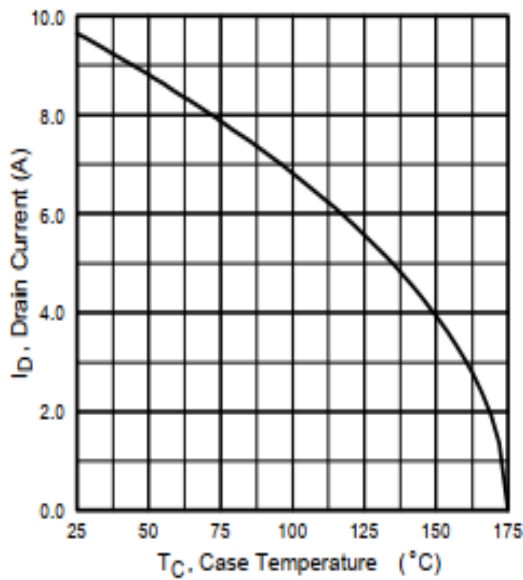


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

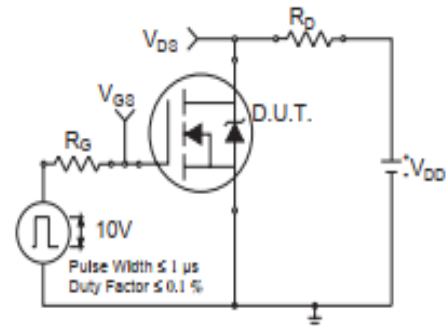


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

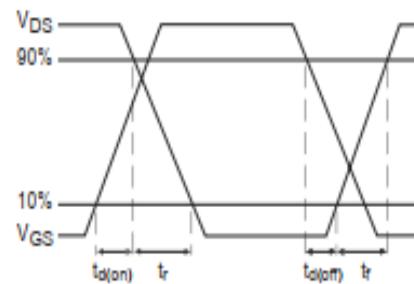


Fig 10b. Switching Time Waveforms

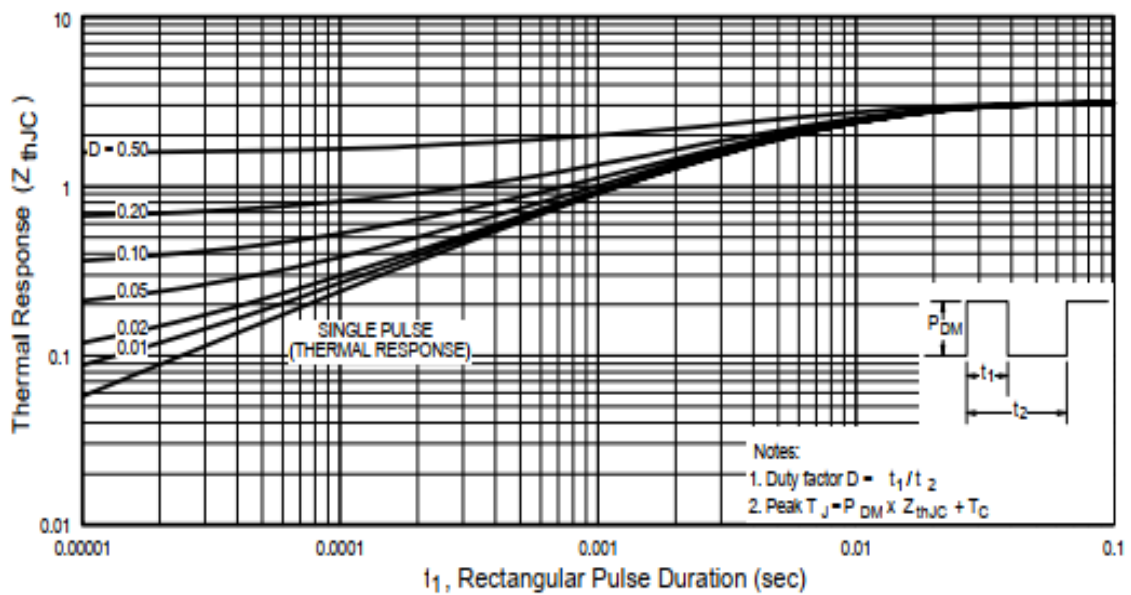


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

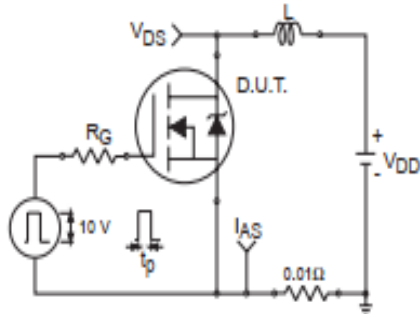


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

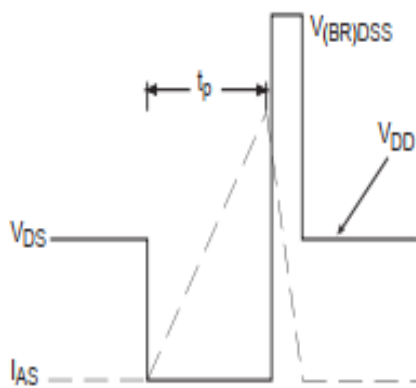


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

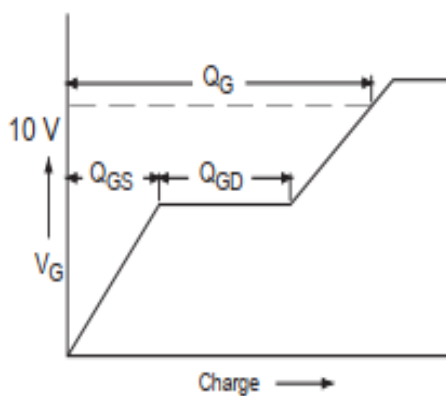


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

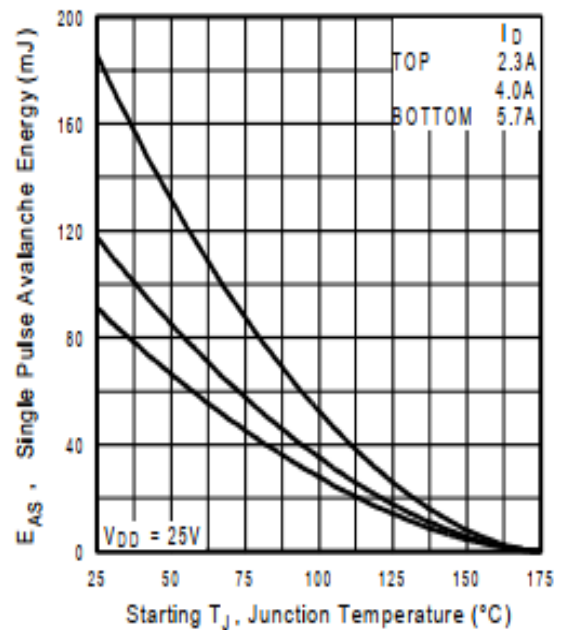


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

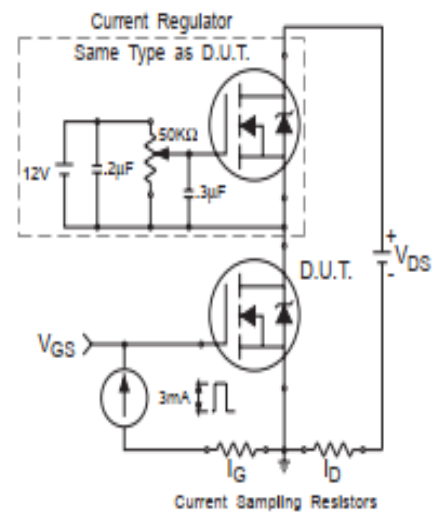
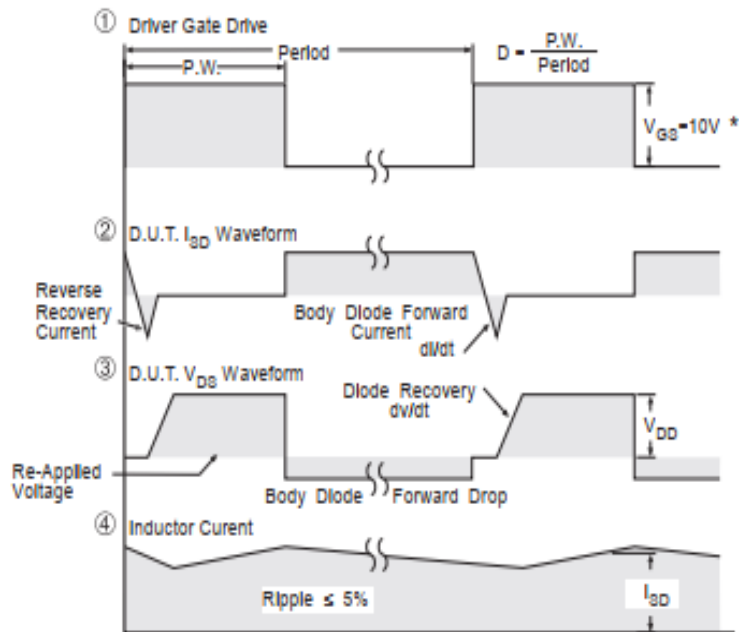
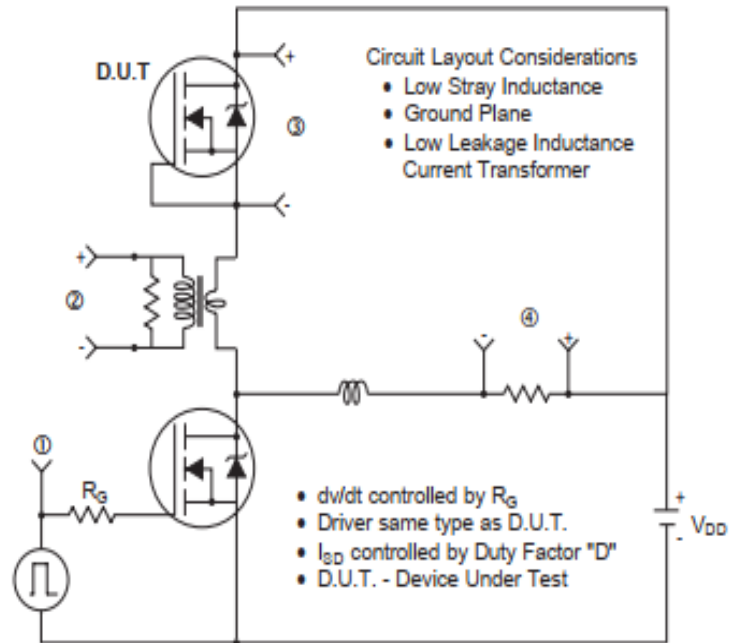


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit



* $V_{GS} = 5V$ for Logic Level Devices

Fig 14. For N-Channel HEXFETS

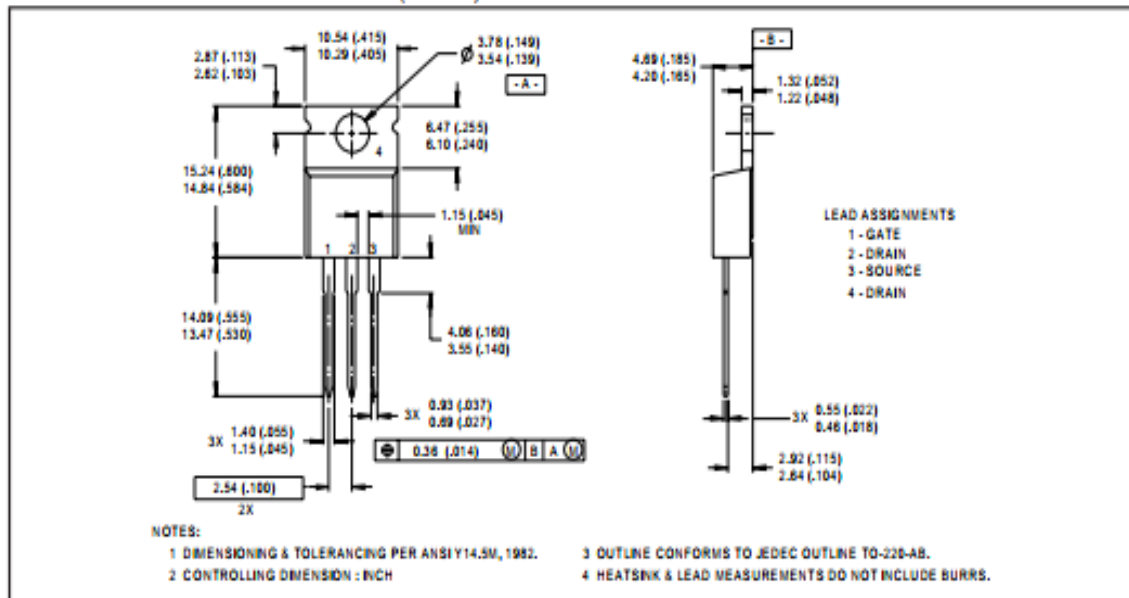
IRF520N

International
IR Rectifier

Package Outline

TO-220AB Outline

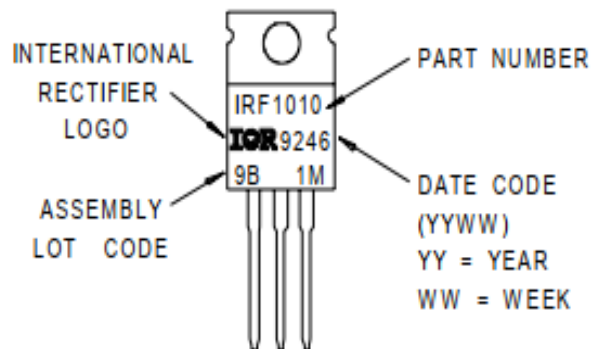
Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information

TO-220AB

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 9B1M



International
IR Rectifier

WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331

EUROPEAN HEADQUARTERS: Hurst Green, Oxted, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1883 732020

IR CANADA: 7321 Victoria Park Ave., Suite 201, Markham, Ontario L3R 2Z8, Tel: (905) 475 1897

IR GERMANY: Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590

IR ITALY: Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111

IR FAR EAST: K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086

IR SOUTHEAST ASIA: 315 Outram Road, #10-02 Tan Boon Liat Building, Singapore 0316 Tel: 65 221 8371

<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 5/98

Lampiran 3 Source Code Transceiver VLC

```
// library timer 1
#include <TimerOne.h>

int pintx = 3; // pin lampu LED
int pinrx = 2; // pin photodiode
// variable pengolah data
char count = 0;
int timer = 0;
String text = "";
// program interrupt external pembaca signal masuk
void ISRrun(){
count++;
timer=0;
}
// program interrupt timer pengambil sample signal
void timerIsr(){
if(timer<=5)timer++; // timer mencacah
if(timer==5){ // stop terima data jika tdk ad signal masuk selama 0.5 detik
Serial.print("RX: ");
Serial.println(text);
text = "";
}
if(timer==2){ // ambil data jika tdk ad signal masuk selama 0.2 detik
text += count;
count=0;
}
}
```

```

}

// fungsi setup, dijalankan 1x saat arduino on
void setup() {
  Serial.begin (9600); // serial inisialisasi
  // i/o inisialisasi
  pinMode(pintx,OUTPUT);
  pinMode(pinrx,INPUT_PULLUP);
  // jalankan external interrupt
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinrx), ISRrun, FALLING);
  // jalankan timer interrupt
  Timer1.initialize(100000); // set a timer of length 100000 microseconds (or 0.1
  sec - or 10Hz => the led will blink 5 times, 5 cycles of on-and-off, per second)
  Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
  Serial.println("READY");
}

// buffer transmitter data
int cnt=0;
char buff[100];

void loop() {
  // baca data serial
  if(Serial.available()){
    char c = Serial.read();
    if(c!='~'){buff[cnt] = c;cnt++;} // ambil data serial

    if(c=='~'){ // kirim data buffer

```



```
Serial.print("TX: ");
Serial.println(buff);
for(int i=0; i<cnt; i++){
  for(int j=0; j<buff[i]; j++){ // ubah data buffer ke signal lampu
    digitalWrite(pintx,1);delay(10);digitalWrite(pintx,0);delay(1);
  }
  delay(200); // jeda 0.2detik
}
// transmit selesai
// hapus data buffer
for(int i=0; i<cnt; i++){
  buff[i] = 0;
}
cnt=0;
}
}
```

Lampiran 4 Jurnal Penelitian Terkait

Jurnal Edukasi Elektro, Vol. 2, No. 1, Mei 2018
<http://journal.uny.ac.id/index.php/jee/>

ISSN 2548-8260 (Media Online)

PERANCANGAN DAN ANALISIS PENGIRIMAN DATA DIGITAL BERBASIS VLC DENGAN LED DAN PHOTOTRANSISTOR ARRAY

Retno Renggani Nugroho¹, Inung Wijayanto², Sugondo Hadiyoso³

¹Mahasiswa S1 Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom

²Dosen S1 Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom

³Dosen D3 Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom

E-mail: rrenggani@student.telkomuniversity.ac.id

ABSTRACT

Visible Light Communication (VLC) is a communication system using visible light as information carrier. The development of VLC is based on the some banning of radio frequency usage and the increasing use of LEDs. LED consumes low power and has high switching speed, which suitable for transmitting data. This study designed VLC prototype with LED array and phototransistor array that sends digital data of text in various sizes. Test is done by combination of different distance and bitrate. As results, this prototype can send and receive data at distance 1-100 cm and speed 2400, 4800, and 9600 bps.

Keywords: VLC, LED, Phototransistor, Array.

ABSTRAK

*Visible Light Communication (VLC) adalah sistem komunikasi yang menggunakan cahaya tampak sebagai pembawa informasinya. Perkembangan VLC didasarkan atas pelarangan penggunaan frekuensi radio di beberapa tempat serta meningkatnya penggunaan LED. Kelebihan LED yaitu mengkonsumsisi daya rendah serta memiliki kecepatan *switching* yang tinggi sehingga cocok untuk mentransmisikan data. Pada penelitian ini dirancang prototipe VLC dengan LED array dan phototransistor array. Prototipe ini mengirimkan data digital berupa teks dalam berbagai ukuran. Pengujian dilakukan dengan kombinasi jarak dan bitrate yang berbeda-beda. Prototipe dapat mengirim dan menerima data pada jarak 1-100 cm kecepatan 2400, 4800, dan 9600 bps.*

Kata kunci: VLC, LED, Phototransistor, Array.

PENDAHULUAN

Teknologi nirkabel semakin berkembang dari waktu ke waktu dan gelombang radio masih menjadi pilihan utama sebagai pembawa informasi. Namun ada beberapa kelemahan gelombang radio diantaranya adalah pelarangan penggunaan frekuensi radio di beberapa tempat (UU NO 1, 2009: Pasal 54) serta semakin terbatasnya frekuensi radio yang tersedia (Denny Setiawan, 2010: 14-15). Dengan adanya permasalahan tersebut mendorong munculnya pemanfaatan pembawa informasi lain yang ada pada spektrum gelombang elektromagnetik, yaitu cahaya tampak. Teknologi yang menggunakan cahaya tampak sebagai pembawa informasi disebut *Visible Light Communication (VLC)*.

Semakin maraknya penggunaan LED dikalangan masyarakat menjadi pendukung berkembangnya VLC. Cahaya tampak yang digunakan pada VLC bersumber dari LED. LED dipakai karena memiliki kecepatan *switching* yang tinggi, mengkonsumsi daya rendah, dan murah, sehingga cocok jika digunakan sebagai bagian dari teknologi komunikasi nirkabel cahaya tampak ini (Sumit Jaykant Meshram, 2016: 1). Teknologi ini merupakan pengembangan teknologi serat optik yang menggunakan cahaya sebagai pembawa informasi melalui media transmisi berbahan kaca, sehingga sangat mungkin jika cahaya tampak dari LED dapat pula mengirimkan informasi dimana media transmisinya adalah udara seperti pada teknologi *wireless* sebelumnya yang menggunakan gelombang radio sebagai pembawanya.



Gambar 1. Spektrum gelombang elektromagnetik

Penelitian ini merancang sebuah prototipe berupa *transceiver*, dimana perangkat dapat berperan baik sebagai pengirim maupun penerima. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya (Nenggala Yudhabrama, 2017: 60) dimana prototipe hanya dapat melakukan pengiriman data sejauh 15 cm dengan kecepatan 4800 bps, 9600 bps, dan 19200 bps. Pada prototipe ini, di bagian pengirim terdapat LED array yang memancarkan cahaya tampak untuk mengirimkan data digital berupa teks, data tersebut kemudian diterima oleh *phototransistorarray* di bagian penerima. Dari prototipe ini akan dianalisa pengaruh jarak dan bitrate pada pengiriman data digital berupa teks yang mempunyai ukuran berbeda-beda.

Visible Light Communication

Visible Light Communication (VLC) merupakan salah satu jenis sistem komunikasi optik *unguided* yang menggunakan cahaya tampak sebagai pembawa informasi, udara sebagai media transmisi, dan *phototransistor* sebagai komponen penerima (Liju Sajan, 2015: 53). Pada frekuensi gelombang elektromagnetik, cahaya tampak mempunyai rentang frekuensi 430 THz - 750 THz, dimana rentang frekuensi tersebut lebih besar daripada rentang frekuensi gelombang radio 3 KHz - 300 GHz. Dengan rentang frekuensi yang besar membuat cahaya tampak mempunyai *bandwidth* yang lebar serta dapat mengakomodasi lebih banyak *user* dan juga berpotensi mempunyai kecepatan transfer data yang tinggi (Liju Sajan, 2015: 53). Pengembangan VLC lebih difokuskan untuk pengaplikasian *indoor*.

Light Emitting Diode

Light Emitting Diode (LED) adalah komponen elektronika yang mengemisi cahaya dari arus yang diterima (Keiser Gerd, 2000: 139). Lampu LED sudah banyak digunakan masyarakat sebagai sumber penerangan pengganti lampu neon karena sifatnya yang hemat daya dan murah. LED akan menyala ketika mengirimkan logika 1 dan mati ketika mengirimkan logika 0. LED mempunyai kecepatan *switching* yang sangat cepat hingga tidak dapat terlihat langsung oleh mata kita. Di dalam LED terdapat sambungan semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n yang diberi *forward bias*. Elektron akan berada pada pita valensi apabila tidak ada arus yang mengalir, namun apabila arus yang diberikan memiliki energi yang lebih besar daripada *energy gap* maka elektron-elektron yang berada pada pita valensi akan berpindah ke pita konduksi. Emisi LED termasuk emisi spontan, hal tersebut yang menyebabkan pancaran cahaya LED bersifat menyebar.

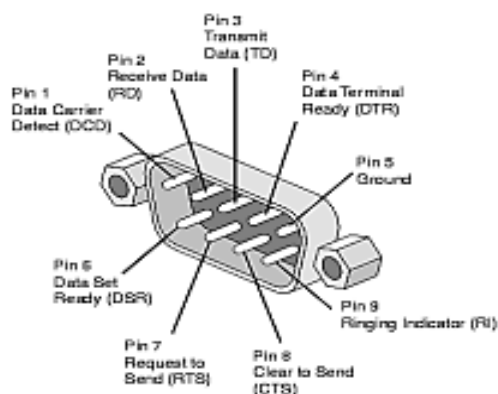
Phototransistor

Transistor yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik dan mempunyai penguat internal disebut *phototransistor*. Cara kerja *phototransistor* hampir sama dengan transistor lain, arus pada basis transistor dikalikan untuk memberikan arus pada kolektor. Pada *phototransistor*, arus basis dikendalikan oleh jumlah cahaya yang diterimanya. Dengan demikian, *phototransistor* biasanya hanya memiliki dua kaki yaitu kolektor dan emitor, untuk terminal basisnya berbentuk lensa yang berfungsi sebagai sensor pendeteksi cahaya. Arus yang mengalir dari kolektor ke emitor akan semakin besar apabila terminal basis pada *phototransistor* menerima intensitas cahaya yang tinggi.

Komunikasi Serial RS 232

Transfer data dalam sebuah sistem umumnya dilakukan secara paralel. Bit-bit data yang akan dikirim secara paralel pada waktu

yang sama melalui suatu sistem digital. Untuk mentransfer data pada jarak jauh lebih baik mengirimkan data dalam bentuk serial. Data yang dikirim dari sistem dikonversi menjadi bit serial dan satu bit ditransfer pada satu jalur ke sistem penerima pada satu waktu. Pada penerima, data akan direkonstruksi dari serial menjadi paralel (Liju Sajan, 2015: 53). Prinsip komunikasi RS 232 adalah komunikasi asinkron, dimana sinyal *clock* pada komunikasi ini tidak disertakan bersama data namun dibangkitkan pada masing-masing pengirim dan penerima. Untuk melakukan sinkronisasi maka setiap kali pengiriman data disertakan sebuah *start* bit dan sebuah *stop* bit. Maka *frame* data yang dikirimkan susunannya adalah *start* bit, bit-bit data, paritas dan diakhiri dengan *stop* bit. Kecepatan transfer data pada komunikasi serial asinkron cukup beragam, 2400, 4800, 9600, 19200 bps. Komponen yang biasa dipakai sebagai penghubung RS 232 adalah konektor DB9.



Gambar 2. Fungsi dari setiap pin DB9
 (www.db9-pinout.com, 2014)

LED dan Phototransistor Array

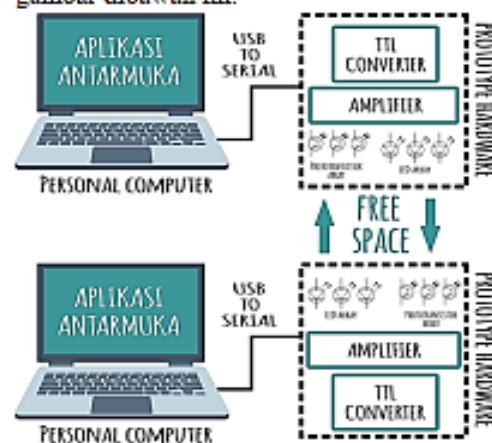
LED yang disusun *array* dapat mendukung beberapa aliran data bersamaan serta memberikan intensitas iluminasi yang memadai (Chaopei Wu, 2014: 1). Dengan disusunnya LED *array* maka akan memperluas jangkauan pancaran dari LED. Phototransistor yang juga disusun *array* akan memiliki cakupan daerah penerimaan yang lebih luas pula.

METODE

Perancangan sistem komunikasi berbasis cahaya tampak ini dimulai dari studi kepustakaan guna mempelajari teori mengenai komponen-komponen yang akan digunakan untuk merancang prototipe VLC serta komunikasi serial. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah analisis perancangan perangkat keras sesuai dengan ilmu yang telah didapatkan dari studi kepustakaan sebelumnya. Setelah menganalisis rangkaian perangkat keras, maka dilakukan implementasi perangkat keras. Tahapan terakhir yang dilakukan adalah menganalisis performansi perangkat keras dengan melakukan beberapa percobaan pada ukuran data dengan kombinasi jarak dan kecepatan yang berbeda-beda.

Perancangan Sistem

Sistem menggunakan dua prototipe berupa *transceiver*, sehingga masing-masing prototipe dapat melakukan pengiriman (*transfer*) maupun penerimaan (*receive*) informasi. Kedua prototipe masing-masing dihubungkan ke sebuah *Personal Computer* (PC) yang telah terpasang perangkat lunak berupa aplikasi antarmuka untuk memudahkan *user* dalam melakukan pengiriman data. Untuk menghubungkan antara prototipe dengan PC digunakan konektor DB9. Model sistem dari prototipe yang dirancang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Model sistem

Dari model sistem diatas dapat diketahui aliran data awal berasal dari *Personal Computer* (PC). Di dalam PC terdapat aplikasi antarmuka yang menjembatani antara *user* dengan perangkat keras. Data dari PC dikirim melalui USB to serial ke perangkat keras, pada perancangan kali ini digunakan konektor DB9. Dari konektor DB9, data masuk ke modul RS 232 to TTL untuk mengubah tegangan RS-232 menjadi level tegangan *transistor-transistor logic* (TTL) agar nantinya dapat diproses lebih lanjut. Dari blok TTL *converter*, masuk ke blok *amplifier* dimana terdapat IC 7414 *Scmitt Trigger hex inverter* sebagai perangkat penguat. Dengan adanya proses ini maka sinyal yang masuk akan dikuatkan dan *noise* akan berkurang sebelum diproses lebih lanjut. Dari blok *amplifier*, masuk ke blok LED, sebagai penghasil cahaya tampak. Pada penelitian kali ini digunakan *High Power LED* 3 watt yang disusun *array* secara paralel, tujuannya adalah saat ada satu LED yang terputus maka LED lain akan tetap menyala. Selain hal tersebut, pada rangkaian paralel nyala lampu lebih terang daripada rangkaian seri karena arus yang didapatkan antar LED dialokasikan untuk masing-masing LED bukan untuk dibagi-bagi untuk semua LED di rangkaian seperti pada rangkaian seri. Cahaya LED akan membawa sinyal berisi informasi yang dikirimkan ke penerima.

Pada rangkaian prototipe penerima digunakan *phototransistor* jenis L14G1 yang disusun *array* sebagai penerima sinyal berisi informasi dari pengirim. *Phototransistor* disusun *array* secara paralel karena pada rangkaian paralel ketika ada satu *phototransistor* yang terlepas dari rangkaian maka *phototransistor* lain masih dapat bekerja dengan baik. Sinyal yang diterima oleh *phototransistor* masuk ke blok *amplifier* untuk dikuatkan. Dari blok *amplifier*, masuk ke blok TTL *converter* berupa modul RS 232 to TTL digunakan untuk mengubah tegangan dari sinyal yang telah dikuatkan oleh IC 7414 berupa level tegangan TTL menjadi tegangan RS-232 untuk kemudian diteruskan ke konektor

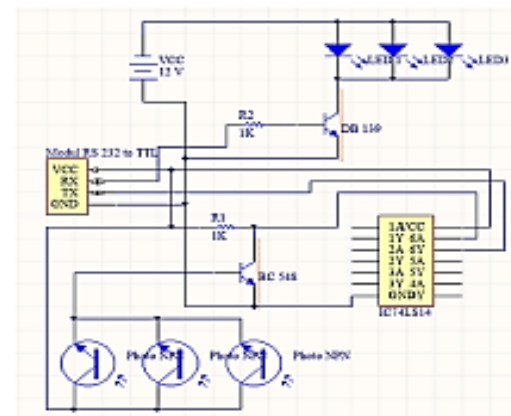
DB-9. Dari konektor DB9, informasi diteruskan ke PC dan diterjemahkan oleh aplikasi antarmuka agar dapat dibaca dengan mudah oleh *user*.

Perancangan Perangkat Keras

Pada bagian perangkat keras *transceiver*, LED berperan sebagai sumber cahaya yang akan membawa informasi dan *phototransistor* berfungsi sebagai penerimanya. Selanjutnya, *phototransistor* akan mengubahnya menjadi sinyal listrik sebelum direkonstruksi kembali menjadi informasi awal. Selain itu, digunakan pula berbagai komponen lain seperti terlihat pada desain skematik prototipe pada gambar 3.

Berikut ini adalah komponen-komponen yang digunakan pada masing-masing prototipe *transceiver*, yaitu :

- Adaptor 12 V 220mA = 1 buah
- Kabel USB to serial = 1 buah
- Modul RS 232 to TTL = 1 buah
- Resistor 1 K = 2 buah
- Transistor BC 548 = 1 buah
- Transistor DB 139 = 1 buah
- IC 74LS14 = 1 buah
- *High Power LED* 3 watt = 3 buah
- *Phototransistor*L14G1 = 3 buah



Gambar 3. Desain rangkaian

Modul RS 232 to TTL digunakan untuk mengubah tegangan RS 232 ke level tegangan TTL agar dapat diproses lebih lanjut. Sedangkan IC 74LS14 *Scmitt Trigger hex inverter* berfungsi sebagai *amplifier*. Untuk LED dan *phototransistor* disusun *array* secara

paralel. Rangkaian paralel mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan rangkaian seri, diantaranya adalah jika salah satu sambungan LED atau *phototransistor* terputus, maka komponen lain akan tetap menyala, selain itu nyala lampu pada rangkaian paralel lebih terang daripada rangkaian seri karena arus yang diterima setiap lampu sama. Keuntungan lainnya adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mengoperasikan rangkaian paralel juga lebih rendah daripada rangkaian seri.

Penguatan Pada Amplifier

Operational Amplifier (Op-Amp) merupakan penguat tegangan berupa *differensial amplifier*, *common emitter amplifier* dan bagian umpan balik negatif yang dibuat dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC). Ada dua jenis penguatan Op-Amp, yaitu *Op-Amp Inverting* dan *Op-Amp non-Inverting*.

Op-Amp Inverting adalah rangkaian *Op-Amp* yang bekerja sebagai penguat tegangan pembalik. Hasil penguatan dari *Op-Amp Inverting* akan berbeda fase 180° dari tegangan inputnya. Apabila input berupa tegangan positif, maka output akan berupa tegangan negatif, dan sebaliknya.



Gambar 4. Input Op-Amp inverter

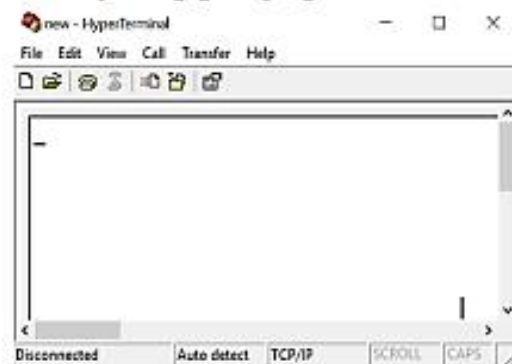
Pada rangkaian digunakan *amplifier* berupa IC 74LS14 *Scmitt Triggerhex inverter*. Masukan *Op-Amp* sebesar 356 mV setelah mendapat penguatan dari *Op-Amp Inverting* tegangan berubah menjadi -2.24 V.



Gambar 4. Output Op-Amp inverter

Aplikasi Antarmuka

Guna mempermudah *user* dalam mengirimkan teks digital, digunakan aplikasi komunikasi serial *Hyper Terminal*. Alasan digunakannya aplikasi ini adalah aplikasi ini telah ada di masyarakat serta mudah di unduh dan digunakan oleh masyarakat. Selain kelebihan tersebut, kelebihan lain aplikasi *Hyper Terminal* yaitu aplikasi ini akan mencoba mengirimkan kembali file secara otomatis apabila terjadi kegagalan pengiriman. Perlu adanya beberapa pengaturan pada proses pertukaran data diantaranya adalah di sisi pengirim dan penerima *baud rate* besarnya harus sama. Jika besar *baud rate* berbeda, maka akan terjadi kegagalan pengiriman informasi.

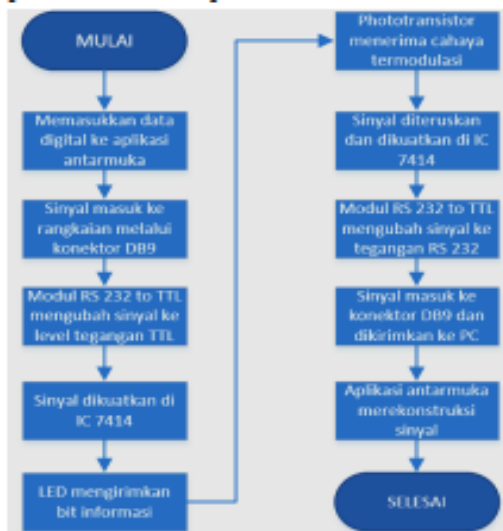


Gambar 4. Aplikasi *Hyper Terminal*

Melalui *dialog box baud rate* di aplikasi antarmuka, kita dapat memilih beberapa nilai *baud rate* yaitu 1200 bps, 2400 bps, 4800 bps, 9600 bps, 19200 bps, 38400 bps, dan 57600 bps.

Diagram Alir Kerja Sistem

Gambar 4 adalah diagram alir kerja sistem mulai dari pengiriman data sampai penerimaan di sisi penerima.



Gambar 4. Diagram kerja sistem

Proses pengiriman dimulai dari memasukkan data ke aplikasi antarmuka. Sebelum melakukan pengiriman, harus dipastikan bahwa *baud rate* antara pengirim dan penerima sama besar. Pada sisi penerima harus diatur lokasi yang digunakan untuk menyimpan data yang diterima sebelum melakukan penerimaan data. Setelah aplikasi di sisi pengirim dan penerima telah siap, maka data siap dikirim. Data yang berasal dari PC pengirim masuk ke rangkaian melalui kabel USB to serial. Pada ujung kabel terdapat konektor untuk menghubungkan ke rangkaian, konektor tersebut adalah konektor DB9. Dari konektor DB9, sinyal masuk ke modul RS 232 to TTL, lalu modul tersebut akan merubah tegangan RS 232 ke level tegangan TTL agar dapat diproses lebih lanjut. Selanjutnya sinyal akan dikuatkan oleh *amplifier*. Dari *amplifier*, sinyal akan dikirimkan ke penerima melalui cahaya tampak yang dipancarkan oleh LED. Di sisi penerima cahaya berisi sinyal informasi akan diterima oleh *phototransistor*. Kemudian sinyal informasi akan diteruskan ke *amplifier* untuk mendapatkan penguatan. Dari *amplifier*

sinyal masuk ke modul RS 232 to TTL untuk mendapatkan perubahan tegangan dari tegangan TTL ke tegangan RS 232. Dari modul ini, sinyal informasi masuk ke PC penerima melalui konektor DB9 dan kabel USB to serial. Di sisi penerima aplikasi antarmuka akan membaca data yang diterimanya.

Skenario Pengujian

Analisis pengujian prototipe dilakukan dengan kombinasi jarak dan bitrate yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan dengan kombinasi jarak antara 1-100 cm serta kecepatan 2400, 4800, dan 9600 bps.

Pengujian dimulai dengan mengatur aplikasi antarmuka dan memastikan bahwa *baud rate* antara pengirim dan penerima sama besar. Percobaan dilakukan pada kecepatan 2400 bps, 4800 bps, dan 9600 bps. Langkah selanjutnya adalah mengatur jarak antara pengirim dan penerima. Jarak yang digunakan adalah 10cm, 30 cm, 70 cm, dan yang terakhir 100 cm. Setelah itu pengujian dilakukan dengan memilih file berukuran 80 KB untuk 12 kali percobaan pertama, 500 KB untuk 12 kali percobaan selanjutnya dan 1500 KB untuk percobaan terakhir. Setelah memilih ukuran file, maka sistem siap mengirimkan data digital berupa teks ke penerima.

Percobaan dianggap berhasil apabila telah dipastikan file yang dikirim dari PC pengirim ada di PC penerima dan tidak mengalami kerusakan. Setelah dipastikan bahwa file tidak mengalami kerusakan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pencatatan hasil percobaan.



Gambar 5. Diagram alir pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian prototipe telah dipastikan bahwa data digital berupa teks yang dikirim, diterima tanpa adanya kerusakan di sisi penerima dan didapatkan data yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian prototipe

No	Ukuran file	Baud rate	Jarak	Ket
1.	80 KB	2400	10 cm	Berhasil
2.			30 cm	Berhasil
3.			70 cm	Berhasil
4.			100 cm	Berhasil
5.	4800	4800	10 cm	Berhasil
6.			30 cm	Berhasil
7.			70 cm	Berhasil
8.			100 cm	Berhasil
9.	9600	9600	10 cm	Berhasil
10.			30 cm	Berhasil
11.			70 cm	Berhasil

No	Ukuran file	Baud rate	Jarak	Ket
12.			100 cm	Gagal
13.	500 KB	2400	10 cm	Berhasil
14.			30 cm	Berhasil
15.			70 cm	Berhasil
16.			100 cm	Berhasil
17.		4800	10 cm	Berhasil
18.			30 cm	Berhasil
19.			70 cm	Berhasil
20.			100 cm	Berhasil
21.		9600	10 cm	Berhasil
22.			30 cm	Berhasil
23.			70 cm	Gagal
24.			100 cm	Gagal
25.	1500 KB	2400	10 cm	Berhasil
26.			30 cm	Berhasil
27.			70 cm	Berhasil
28.			100 cm	Berhasil
29.		4800	10 cm	Berhasil
30.			30 cm	Berhasil
31.			70 cm	Berhasil
32.			100 cm	Berhasil
33.		9600	10 cm	Berhasil
34.			30 cm	Berhasil
35.			70 cm	Gagal
36.			100 cm	Gagal

SIMPULAN

Dari hasil pengujian prototipe didapatkan hasil bahwa prototipe VLC dengan LED array dan phototransistor array dapat meningkatkan jangkauan jarak pengiriman dibandingkan dengan VLC dengan LED dan phototransistor tunggal. Untuk memperkuat sinyal informasi yang akan dikirim maupun yang akan diterima dapat digunakan IC 74LS15 *Scmitt Triggerhex inverter*. Berdasarkan analisis pengujian prototipe, didapatkan hasil bahwa prototipe dapat mengirimkan data dengan baik pada jarak 100 cm dengan kecepatan 4800 bps.

DAFTAR RUJUKAN

D-sub 9 Connector Pinout. <https://www.db9-pinout.com/>, 7 Oktober 2017.

- Denny Setiawan. 2010. *Alokasi Frekuensi, Kebijakan dan Perencanaan Spektrum Indonesia*. Jakarta: Departemen Komunikasi dan Informatika.
- Keiser, G. 2000. *Optical Fiber Communications, 3rd Ed*. Boston: McGraw Hill.
- Meshram, S.J & Wadhe, A.P. 2016. *Secure data transfer using visible light communication Technique*. IJIERE, Vol. 3.
- Presiden Republik Indonesia. 2009. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tentang Penerbangan*. Pasal 54 poin f.
- Sajan, L & Mathew, L. 2015. *Wireless Data Transfer Using Visible Light Communication*. IJRET, Vol. 4.
- Wu, C & Zhang, H. 2014. *On Visible Light Communication Using LED Array with DFT-Spread OFDM*. IEEE.
- Yudhabrama, N. 2017. *Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital Berbasis Visible Light Communication*. Bandung.

Prototipe Li-Fi dengan Arduino Mega 2560

Ganang Saputro, Eny Sukani Rahayu, Dyonisius Dony Ariananda

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2 Senolowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
ganang.saputro@mail.ugm.ac.id, eny_sr@ugm.ac.id, dvonisius.dony@ugm.ac.id

Intisari—Komunikasi nirkabel sangat umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya dalam aplikasi televisi dan radio serta dalam aplikasi internet pada komputer dan telepon pintar. Meskipun demikian, seiring dengan meningkatnya jumlah aplikasi pada komunikasi nirkabel, kapasitas frekuensi yang dibutuhkan juga semakin meningkat. Akibatnya, spektrum frekuensi yang tersedia umumnya telah dipakai. Komunikasi nirkabel membutuhkan sebuah teknologi yang mampu mengatasi masalah tersebut. Salah satu solusi yang tersedia adalah dengan menggunakan komunikasi cahaya tampak atau yang lebih sering dikenal dengan *Visible Light Communication (VLC)*. VLC menggunakan media cahaya tampak untuk memfasilitasi proses komunikasi antar perangkat yang digunakan. VLC merupakan sebuah pilihan yang menarik dan memiliki keunggulan tersendiri jika dibandingkan dengan metode komunikasi yang menggunakan transmisi teknologi nirkabel yang lain. Bentuk implementasi VLC yang dipakai untuk memfasilitasi layanan internet atau pengiriman data adalah teknologi *light fidelity* atau Li-Fi. Pada teknologi Li-Fi, data ditransmisikan dengan menggunakan modulasi pada intensitas cahaya. Isyarat cahaya yang dikirimkan ini akan diterima oleh *photo-sensitive detector*. Isyarat cahaya yang diterima kemudian akan didemodulasikan menjadi isyarat elektrik yang mengandung informasi data. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan prototipe sederhana Li-Fi dengan menggunakan dua buah Arduino Mega 2560. Parameter yang diuji pada prototipe Li-Fi adalah jarak antara pengirim dan penerima, sudut transmisi dan intensitas LED yang digunakan. Berdasarkan parameter uji tersebut akan diamati kesesuaian isi pesan, tunda waktu dan daya terima pada bagian penerima Li-Fi. Dengan platform teknologi Li-Fi, kapasitas teknologi komunikasi nirkabel yang sudah ada dapat ditingkatkan dan jangkauan akses internet yang telah ada dapat diperluas.

Kata kunci – VLC; Li-Fi, Modulasi OOK

Abstract—Wireless communication technology plays important roles in human daily life. These includes its use in television and radio applications as well as internet applications using either computers or smart phones. However, the continuous increase in the number of wireless applications has led to spectrum scarcity problems. As a result, solutions to overcome the spectrum shortage problem are required. One possible alternative is to use the so-called visible light communication (VLC). VLC employs visible light to facilitate communication between wireless devices. VLC is an attractive choice and offers some advantages compared to the existing wireless communication technologies. Light fidelity (Li-Fi) technology is one implementation of VLC that is used to facilitate internet service and data transfer. Li-Fi data transfer is conducting through the modulation of light intensity. The transmitted visible light is then received by a photo-sensitive detector. Then, the received visible light is then demodulated into

electric signal. The data or information is then extracted from the recovered electric signal. In this research a simple prototype Li-Fi modeling was carried out using two Arduino Mega 2560. The parameters tested on the Li-Fi prototype were the distance between the sender and receiver, the transmission angle and the intensity of the LED used. Based on the test parameters, it will be observed the suitability of the message content, the delay in time and the power of the Li-Fi receiver. It is likely that the Li-Fi technology platform will increase the internet coverage and the range of wireless communications that exist nowadays.

Keywords – VLC, Li-Fi, OOK Modulation

I. PENDAHULUAN

Salah satu manfaat dari pesatnya perkembangan teknologi informasi dan telekomunikasi dewasa ini adalah tersedianya akses internet bagi semakin banyak orang. Akses internet berkecepatan tinggi sangat diinginkan oleh banyak konsumen karena akses internet dengan kecepatan yang sangat terbatas dapat mengganggu kelancaran aktivitas pengguna dalam hidup sehari-hari. Pada saat ini, akses internet yang tersedia dapat juga disediakan oleh teknologi jaringan selular generasi kelima (atau biasa dikenal dengan *5th generation (5G)*) yang mampu menyediakan layanan dengan kecepatan akses hingga 100 Gbps [1]. Teknologi 5G juga memiliki keterbatasan terutama dalam konteks media transmisi yang digunakan (dalam hal ini *radio frequency (RF)*). Spektrum frekuensi yang tersedia pada media transmisi RF cukup terbatas. Oleh karena itu, para pakar teknologi komunikasi nirkabel mulai memberikan perhatian pada penelitian di bidang *visible light communication (VLC)* yang diharapkan dapat pula memberikan kemudahan dalam penyediaan layanan internet.

VLC merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang cukup menarik dan memiliki keunggulan tersendiri jika dibandingkan dengan metode komunikasi yang menggunakan transmisi teknologi RF. Proses komunikasi dengan teknologi VLC tidak akan mengalami interferensi oleh sinyal radio. Di samping itu, pencurian pada proses pertukaran data akan sulit untuk dilakukan karena VLC menggunakan cahaya tampak sebagai media transmisi. Digunakannya *light emitting diodes (LEDs)* sebagai media transmisi pada VLC memungkinkan direalisasinya suatu sistem komunikasi yang berbiaya rendah (*low-cost communication*) [2].

Salah satu bentuk implementasi VLC adalah *light fidelity (Li-Fi)*. Pada teknologi Li-Fi, transmisi data dilakukan dengan menggunakan modulasi pada intensitas cahaya. Isyarat cahaya yang ditransmisikan kemudian akan diterima oleh *photo-sensitive detector*. Isyarat cahaya kemudian akan dikenakan proses demodulasi

menjadi isyarat elektrik. Data atau informasi yang terkandung pada isyarat elektrik yang diperoleh kemudian dapat diekstrak [3]. Platform teknologi Li-Fi cukup menjanjikan peningkatan pada kemampuan pada komunikasi nirkabel yang sudah ada sekarang ini. Di samping itu, cakupan atau jangkauan akses internet diharapkan juga dapat ditingkatkan.

Li-Fi juga memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan teknologi komunikasi nirkabel yang lain. Salah satu keunggulan tersebut adalah dimungkinkannya penggunaan cahaya lampu sebagai media transmisi bagi akses internet. Dengan demikian, lokasi di sekitar lampu yang ada di rumah maupun di jalan dapat digunakan sebagai lokasi akses internet Li-Fi. Selain itu, teknologi Li-Fi menyediakan tingkat keamanan yang cukup baik dalam transmisi data karena isyarat Li-Fi tidak dapat menembus dinding, dan hanya terbatas pada pancaran dari lampu yang digunakan [4].

II. TUJUAN PENELITIAN

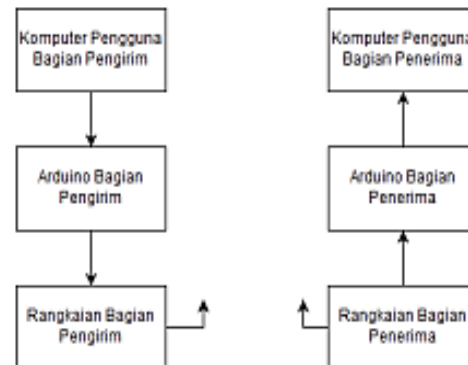
Tujuan penelitian yang dilakukan pada makalah ini adalah

- Pembuatan purwarupa Li-Fi dengan menggunakan Arduino Mega 2560.
- Pengujian pengaruh intensitas cahaya dan posisi relatif pengirim terhadap penerima, terhadap jarak transmisi serta tunda waktu yang dialami mulai pada saat isyarat Li-Fi dikirim hingga informasi dapat diekstrak pada sisi penerima.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, teknologi Li-Fi dirancang untuk menggunakan metode modulasi OOK yang didukung dengan perangkat Arduino Mega 2560, program Python, serta bagian pengirim dan penerima. Rangkaian pada bagian pengirim dan penerima dirancang untuk dapat melakukan komunikasi data. Perancangan Li-Fi ini berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Bapak Yiren Ramon Qu dari Washington University.

Bagian pengirim dan penerima pada Li-Fi masing-masing didesain untuk menggunakan perangkat Arduino dan program Python yang dijalankan pada komputer di setiap pengguna. Baik bagian pengirim maupun bagian penerima menggunakan perangkat Arduino dengan rangkaian yang dirancang sedemikian rupa. Skema desain Li-Fi yang akan digunakan diilustrasikan pada Gambar 1.



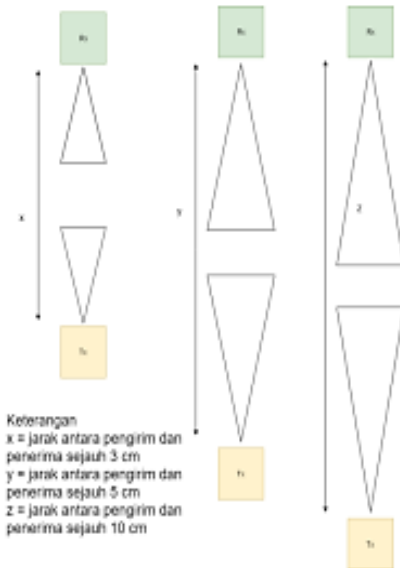
Gambar 1. Skema Perancangan Li-Fi

Skema implementasi teknologi Li-Fi ini melibatkan penggunaan program Python, program Arduino, perangkat Arduino serta rangkaian pada bagian pengirim dan penerima untuk merealisasikan proses komunikasi data. Program Python pada bagian pengirim berfungsi untuk melakukan konversi informasi yang asli ke dalam bentuk digit-digit biner (bit). Bit-bit data ini ditransmisikan oleh LED pada rangkaian pengirim Arduino. Selanjutnya, *photodiode* pada rangkaian penerima Arduino akan menginterpretasikan isyarat cahaya yang ditransmisikan tersebut sebagai tegangan atau isyarat analog. Pada program Arduino di sisi penerima, isyarat analog tersebut akan dikonversikan menjadi isyarat digital yang berupa bit-bit data dengan nilai batasan (*threshold*) yang telah ditentukan. Kemudian, bit-bit data inilah yang akan dirangkai kembali sebagai replika dari informasi asli pada bagian program penerima Python. Hasil pemulihan informasi yang asli ini kemudian ditampilkan pada *user interface* penerima.

A. Parameter Pengujian

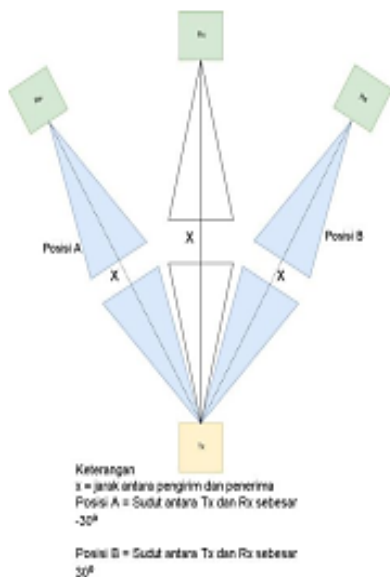
Terdapat tiga macam parameter pengujian pada komunikasi dengan teknologi Li-Fi, yaitu jarak antara pengirim dan penerima, posisi sudut pengiriman, dan intensitas cahaya. Pada penelitian ini, intensitas cahaya yang berbeda direalisasikan dengan menggunakan jumlah LED yang berbeda. Variabel yang akan diamati pada pengujian ini adalah tunda waktu (*delay*) dan daya terima Li-Fi. Pengambilan data dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing parameter yang diuji.

Parameter pertama yang akan dievaluasi pada pengujian komunikasi Li-Fi adalah jarak antara pengirim dan penerima, di mana kedua perangkat akan dipisahkan sejauh 3 cm, 5 cm dan 10 cm. Selanjutnya, pengambilan data akan dilakukan secara *real-time* sebanyak lima kali untuk setiap nilai jarak yang diuji. Hasil pengukuran akan diamati pada *user interface* (UI) dan osiloskop sedangkan pengamatan secara langsung atau *real time* dilakukan untuk mengamati *delay*, kesesuaian isi pesan, serta nilai tegangan dan daya terima pada bagian *receiver*. Gambar 2 mengilustrasikan parameter pengujian Li-Fi yang pertama yaitu jarak.

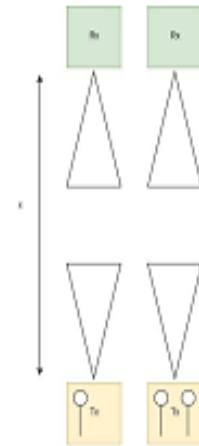


Gambar 2. Parameter Jarak Pengujian Li-Fi

Parameter kedua yang diamati pada pengujian komunikasi Li-Fi adalah posisi relatif *transmitter* terhadap *receiver* di mana kedua perangkat akan diletakkan dengan sudut cahaya LED yang berbeda, dimulai dari -90° , -60° , -45° , 0° , 45° , 60° , dan 90° . Selanjutnya pengambilan data akan dilakukan secara *real-time* sebanyak lima kali untuk setiap posisi sudut. Hasil pengukuran akan diamati pada UI dan osiloskop, sedangkan pengamatan secara langsung atau *real time* dilakukan untuk mengamati *delay*, kesesuaian isi pesan, serta nilai tegangan dan daya terima pada bagian *receiver*. Gambar 3 mengilustrasikan parameter uji sudut antara pengirim dan penerima Li-Fi.



Gambar 3. Parameter Posisi Sudut Pengujian Li-Fi



Keterangan
 x = jarak antara pengirim dan penerima

Gambar 4. Parameter Intensitas Pengujian Li-Fi

Parameter ketiga yang dievaluasi pada pengujian komunikasi Li-Fi adalah intensitas cahaya yang dihasilkan LED pada bagian pengirim. Pada transmitter akan digunakan sebuah LED dan dua buah LED untuk membedakan nilai intensitas yang diuji. Selanjutnya pengambilan data akan dilakukan secara *real-time* sebanyak lima kali untuk setiap nilai intensitas. Hasil pengukuran akan diamati pada UI dan osiloskop, sedangkan pengamatan secara langsung atau *real time* untuk dilakukan untuk mengamati tunda waktu, kesesuaian isi pesan, serta nilai tegangan dan daya terima pada bagian *receiver*. Gambar 4 mengilustrasikan parameter uji intensitas LED pada Li-Fi.

Percobaan yang dilakukan berupa pengiriman teks yang dapat diilustrasikan berikut ini :

```
"Ganang Saputro",
"UGM",
":-)",
"Happy",
"Today is May 1st",
"Happy Monday",
"Welcome to the fair"
```

Setiap karakter dari isi pesan di atas akan dikonversikan ke dalam bentuk 8-bit data sesuai dengan format tabel ASCII. Untuk kasus pesan berupa teks tersebut di atas, hasil konversi teks ke dalam bentuk digit biner ditampilkan dalam Tabel I.

TABEL I. Konversi Informasi Teks ke Biner

Ganang Saputra				Today is May 1st				
G	71	01000111	s	83	01010001	T	84	00101000
a	97	01100000	a	97	01100001	e	111	00101111
a	110	01101110	a	112	01110000	d	100	00100100
a	97	01100000	u	117	01110101	a	97	00100000
a	110	01101110	f	116	01110100	y	121	00111000
e	102	01100111	r	114	01110000	space	40	00101000
space	40	00101000	a	113	01101111	e	109	00101000
UGM			-			e	115	01110011
U	85	01010100	e	58	00111000	space	40	00101000
G	71	01000111	-	45	00101101	Welcome to the fair		
M	77	01011100		41	00101001	W	87	00101111
Happy						e	101	00100100
H	72	01001000				f	108	00101100
a	97	01100000				c	96	00100011
a	112	01110000				a	111	00101111
a	112	01110000				m	109	00101100
y	121	01111000				e	101	00100100
Happy Monday			space	40	00101000	r	114	01110010
H	72	01001000	M	77	01001101		116	00110100
a	97	01100000	a	113	01101111		111	00101111
a	112	01110000	n	110	01101110	space	40	00101000
a	112	01110000	d	100	01100100			
y	121	01111000	a	97	01100001			
space	40	00101000	y	121	01111000			

Pada hasil konversi di atas tampak bahwa jumlah karakter yang dikonversikan adalah 72 karakter. Setiap karakter diubah ke dalam bentuk 8 bit atau 1 byte. Dengan demikian, total ukuran pesan yang ditransmisikan adalah 72 byte atau 576 bit.

B. Standard VLC

Berdasarkan pada standard IEEE 802.15.7 yang berjudul *Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support*, jenis modulasi VLC yang dapat diterapkan pada suatu lapisan fisik dari model komunikasi data ada tiga macam yaitu *On-Off Keying (OOK) Modulation*, *Variable Pulse-Position Modulation (VPPM)*, dan *Color Shift Keying (CSK)*.

Dengan berbasiskan pada jenis modulasi yang digunakan, dapat pula didefinisikan kategori lapisan fisik (PHY) yang meliputi kategori I hingga III. PHY I memiliki pesat data mulai 11,67 hingga 266,6 Kbps, PHY memiliki pesat data antara yang berkisar antara 1,25 dan 96 Mbps, sedangkan PHY III memiliki pesat data mulai 12 hingga 96 Mbps. Kategori PHY I dan II didefinisikan untuk sistem VLC dengan pengirim yang memiliki satu sumber cahaya, sedangkan kategori PHY III didefinisikan untuk sistem VLC yang menggunakan banyak sumber cahaya dengan berbagai frekuensi yang berbeda. Dengan demikian, PHY I dan II menjadi standar acuan bagi modulasi OOK dan VPPM, dengan pesat data minimal yang telah dispesifikasikan. Sebaliknya, PHY III menjadi standar acuan bagi modulasi CSK [5]. Tabel II memperlihatkan pesat data minimal bagi setiap standar lapisan fisik serta jenis modulasi yang digunakan.

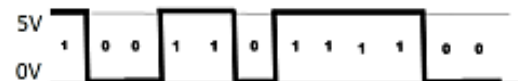
TABEL II. Standard VLC [5]

PHY	Modulation	Encoder	Optical Clock Rate	Bit Rate
PHY I	OOK		1 KHz - 200 KHz	11,67 kbps - 100 kbps
	OOK	Manchester	1 KHz - 200 KHz	11,67 kbps - 100 kbps
	VPPM	4B6B	1 KHz - 400 KHz	35,56 kbps - 266,6 kbps
PHY II	VPPM	4B6B	3,75 KHz - 7,5 KHz	1,25 Mbps - 5 Mbps
	OOK	8B10B	15 MHz - 120 MHz	6 Mbps - 96 Mbps
PHY III	4-CSK		12 MHz	12 Mbps
	8-CSK			18 Mbps
	4-CSK		24 MHz	24 Mbps
	8-CSK			36 Mbps - 72 Mbps
	16-CSK			48 Mbps - 96 Mbps

C. Perancangan Prototipe Li-Fi dengan Arduino Mega 2560

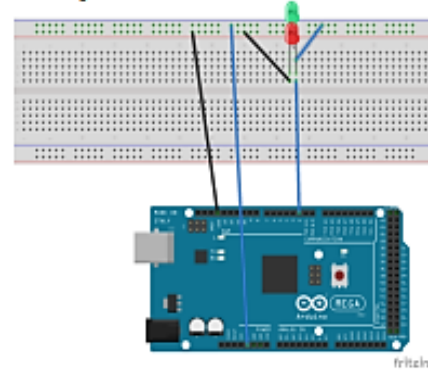
Penggunaan Arduino pada perancangan Li-Fi diterapkan pada bagian pengirim maupun bagian penerima. Arduino Mega 2560 digunakan baik pada sisi pengirim maupun penerima sebagai perangkat pada media transmisi. Selain itu, penggunaan Arduino didukung dengan rangkaian sederhana untuk melakukan pengiriman dan penerimaan informasi melalui LED.

Pada bagian pengirim program Arduino, dilakukan proses transmisi hasil konversi bit-bit data informasi oleh program Python. Arduino mentransmisikan data berupa digit biner dengan memanipulasi cahaya LED. Ketika bit data menunjukkan nilai 1 maka LED akan menyala, dengan menerima sumber tegangan DC 5 V dari Arduino, sedangkan apabila bit data menunjukkan nilai 0 maka LED akan mati. Manipulasi cahaya LED ini diilustrasikan pada Gambar 5



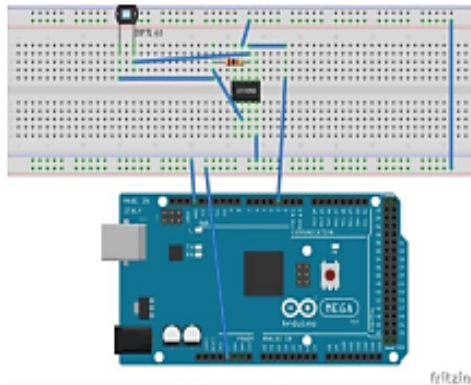
Gambar 5. Tampilan data biner terhadap tegangan masukan LED [6]

Rangkaian pada bagian pengirim berupa dua buah LED yang dihubungkan pada pin 2, serta dihubungkan pada sumber DC 5 V pada Arduino dan GND (ground). LED pada pin 2 berfungsi sebagai media untuk mentransmisikan bit-bit data dari informasi yang bentuknya berupa kedipan cahaya pada LED tersebut. Tampilan rangkaian untuk bagian pengirim pada Arduino diilustrasikan pada Gambar 6



Gambar 6. Rangkaian Pengirim [6]

Pada bagian penerima Arduino, rangkaian yang digunakan berupa *photodiode-amplifier* dengan menggunakan IC LTC 1050 dan BPX65 sebagai sebuah *photodiode*. IC LTC 1050 dan BPX65 akan melakukan pembacaan perbedaan nilai tegangan ketika LED menyala maupun mati. Hasil pembacaan nilai tegangan ini akan dikonversikan seolah menjadi data biner yang akan diteruskan ke program Python untuk diolah kembali menjadi informasi asalnya. Pemodelan rangkaian penerima diilustrasikan pada Gambar 7



Gambar 7. Rangkaian Penerima [6]

D. Variabel yang diamati

Pada penelitian ini akan diamati dua variabel uji berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Variabel uji yang akan diamati adalah tunda waktu atau *delay* dan daya terima. Berdasarkan parameter dan variabel dari pengambilan data yang dilakukan, hasil pengamatan dideskripsikan dalam plot grafik agar dapat lebih mudah dianalisis.

Delay atau tunda waktu yang diukur dan diamati pada penelitian ini merupakan waktu yang diukur dari waktu transmisi, waktu propagasi dan waktu pemrosesan pesan hingga terbaca kembali seluruhnya di bagian penerima. Daya terima diukur dan diamati untuk melihat seberapa jauh dan maksimal Li-Fi dapat bekerja dengan melihat kesesuaian pesan yang diterima oleh sisi penerima.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

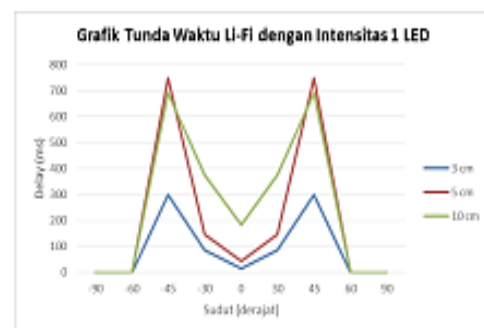
A. Plot Grafik berdasarkan Parameter Uji dan Variabel yang Diamati

Berdasarkan ketiga parameter uji yang telah dijelaskan, akan didapatkan data pengujian Li-Fi dari setiap kombinasi parameter uji. Dari setiap parameter yang diuji, baik jarak, intensitas lampu (jumlah LED), serta sudut relatif antara posisi pengirim dan penerima, diperoleh nilai tunda waktu, tegangan dan daya terima serta kesesuaian isi pesan. Pengambilan data untuk setiap parameter tersebut dilakukan sebanyak 5 kali, di mana dapat dicermati bahwa, untuk setiap pengambilan, tidak terdapat perbedaan data yang jauh dari setiap parameter ujinya.

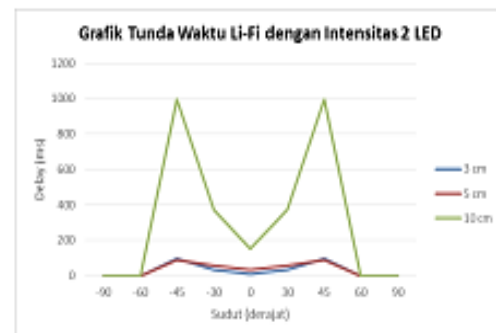
Dengan berbasiskan pada data yang diperoleh tersebut, dilakukan perhitungan rata-rata dari setiap parameter yang diuji untuk membuat plot grafik. Berdasarkan pada perhitungan nilai rata-rata dari data Li-Fi yang telah didapatkan, dapat dibuat plot grafik tunda waktu dan grafik daya terima dari Li-Fi dengan semua parameter uji yaitu jarak, sudut dan juga intensitas LED. Dengan

mengacu pada plot grafik tersebut, proses analisis lebih lanjut mengenai uji coba Li-Fi yang telah dilakukan dapat dimulai.

Grafik yang ditampilkan pada Gambar 8 mengilustrasikan bahwa, untuk intensitas 1 LED, Li-Fi memiliki tunda waktu paling cepat saat jarak bernilai 3 cm. Di samping itu, bisa ditemukan bahwa tunda waktu akan semakin panjang ketika sudut transmisi diubah dari 0 derajat menjadi 45 dan -45 derajat, sedangkan nilai tunda menjadi 0 saat sudut pengiriman bernilai 60 derajat atau lebih. Berdasarkan pada data uji, diperoleh bahwa pesan Li-Fi tidak dapat diterima saat sudut transmisi bernilai lebih besar dari 60 derajat. Hal ini disebabkan karena daya pancar LED yang terbatas, ketika sudut transmisi cukup besar, maka photodiode pada bagian penerima tidak menerima sinar kedipan LED yang mengandung pesan yang akan dikirimkan. Di samping itu, pada jarak 10 cm dengan sudut transmisi 45 derajat, pesan tidak dapat diterima karena intensitas LED yang diterima oleh photodiode di bagian penerima terlalu lemah.

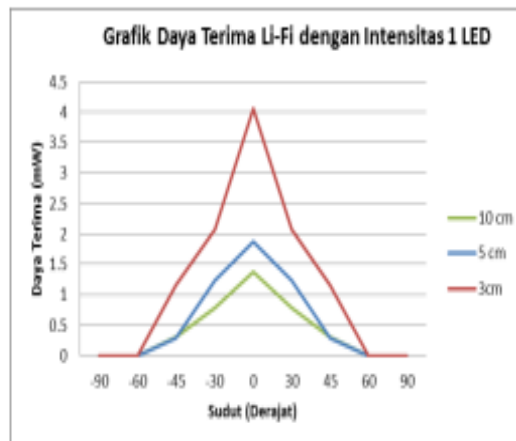


Gambar 8. Grafik Tunda Waktu Li-Fi dengan Intensitas 1 LED



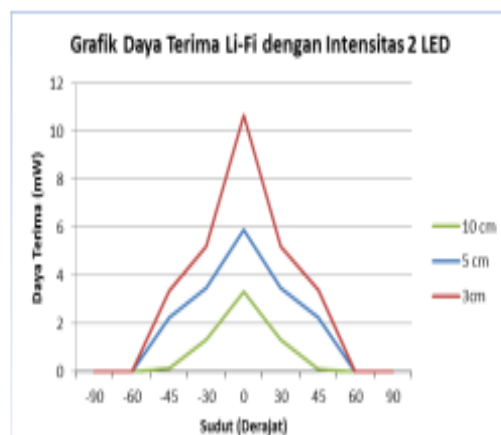
Gambar 9 Grafik Tunda Waktu Li-Fi dengan Intensitas 2 LED

Pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 9, dapat ditemukan bahwa tunda waktu memiliki nilai paling kecil saat jarak antara pengirim dan penerima bernilai 3 cm dan saat intensitas 2 LED digunakan. Di samping itu, baik pada jarak 3 cm maupun 5 cm, terjadi penurunan nilai tunda waktu saat intensitas 2 LED digunakan untuk sudut -45 sampai 45 derajat.



Gambar 10. Grafik Daya Terima Li-Fi dengan Intensitas 1 LED

Pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 10, dapat ditemukan bahwa, pada saat intensitas 1 LED digunakan, nilai daya terima paling besar diperoleh pada jarak 3 cm dengan sudut transmisi 0 derajat. Di samping itu, nilai daya terima tersebut semakin menurun seiring bertambahnya sudut transmisi hingga 45 derajat. Nilai daya terima tersebut semakin menurun karena semakin besar sudut transmisi, semakin sedikit pula intensitas yang diterima oleh *photodiode* di bagian penerima. Selain itu, nilai daya terima bernilai 0 pada semua jarak ketika sudut transmisi bernilai lebih dari 60 derajat.



Gambar 11. Grafik Daya Terima Li-Fi dengan Intensitas 2 LED

Grafik yang ditampilkan pada Gambar 11 mengilustrasikan bahwa semua nilai pada setiap parameter jarak dan sudut dalam lingkup 45 derajat mengalami kenaikan nilai daya terima. Hal ini karena intensitas yang digunakan ditambah menjadi 2 LED,

sehingga daya pancar LED pada bagian pengirim menjadi lebih terang.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai studi pembuatan prototipe Li-Fi dengan menggunakan Arduino Mega 2560 yang telah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini, telah dapat dirancang sebuah prototipe sederhana Li-Fi bagian pengirim dan penerima dengan menggunakan Arduino Mega 2560. Prototipe Li-Fi yang telah dirancang memenuhi standard IEEE 802.15.7 mengenai *Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support*, untuk beberapa parameter yang telah diuji secara *real time* dengan nilai pesat data minimal.

2. Pada penelitian ini, parameter uji yang memiliki nilai paling optimal untuk pengiriman data Li-Fi adalah pada posisi jarak 3 cm dengan sudut pengiriman 0 derajat dan intensitas 2 LED.

REFERENSI

- [1] Techworld. (2019, Februari 25). What is 5G? Everything you need to know about 5G. [Online]. Available : <https://www.techworld.com/apps-wearables/what-is-5g-everything-you-need-know-about-5g-3634921/>
- [2] Schmid Stefan, Richner Thomas, Mangold Stefan, Gross Thomas R. "Enlighting : An Indoor Visible Light Communication System Based on Networked Light Bulbs" in 13th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON). 2016.
- [3] Trio Adiono. "Desain Awal Analog Front-End (AFE) Optical Transceiver untuk aplikasi Visible Light Communication (VLC)" JNETI. 2016.
- [4] PureLifi. (2019, Februari 25). Technology. Imagine a world where every light could connect you to the internet. [Online]. Available : <https://purelifi.com/technology/>.
- [5] Rajagopal Sridhar, Roberts Richard D., and Lim Sang-Kyu. "IEEE 802.15.7 Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support" IEEE Communication Magazine, March 2012, page 72-82.
- [6] Qu Yiren, McKinnon John. "Li-Fi - Visible Light Communication System" in Lyndon Institute, 2017

PERANCANGAN DAN ANALISIS PENGIRIMAN DATA DIGITAL BERBASIS *VISIBLE LIGHT COMMUNICATION*

Nenggala Yudhabrama¹⁾, Inung Wijayanto²⁾, Sugondo Hadiyoso³⁾

^{1,2)} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³⁾ Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi No.1 Terusan Buah Batu Bandung

Email : nenggala.y@gmail.com

Abstrak. *Visible Light Communication (VLC)* adalah sistem komunikasi dengan menggunakan cahaya tampak sebagai pembawanya. Awal mula berkembangnya teknologi ini dimulai dari mulai semakin luasnya penggunaan lampu LED. Dibandingkan dengan lampu-lampu jenis lain, LED lebih hemat daya dan memiliki kemampuan *switching* yang sangat tinggi sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai pengirim informasi jarak dekat. Komunikasi dengan menggunakan cahaya tampak dapat memungkinkan dikirimkannya berbagai jenis informasi termasuk data digital seperti teks dan citra. Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis hasil dari perancangan prototype VLC transceiver untuk mengirim data digital berupa teks yang berbasis komunikasi cahaya tampak. Pengujian akan dilakukan dengan mengirimkan informasi teks dengan ukuran tertentu yang ditentukan pada sisi pengirim ke sisi penerima. Kemudian, akan dilihat dan dianalisis pengaruh parameter jarak, sudut terima, dan kecepatan terhadap Character Error Rate (CER). Pada penelitian ini, desain prototype yang telah dibuat dapat mengirimkan informasi digital berupa teks dengan dengan baik pada rentang jarak 1 – 12 cm. Rentang sudut terima dimana sistem dapat bekerja dengan baik adalah 0°-75°. Sistem yang dirancang dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan pengiriman data (baud rate) 4800, 9600, dan 19200 bps.

Kata kunci: VLC, transceiver, teks, CER.

1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu, teknologi nirkabel semakin berkembang pada banyak bidang. Dari berbagai macam sistem teknologi nirkabel yang telah ada, gelombang radio masih menjadi pilihan utama untuk membawa sinyal informasi. Pada pemanfaatan gelombang radio terdapat beberapa kelemahan antara lain keamanan, kebutuhan masyarakat akan pengiriman informasi dengan kecepatan yang lebih tinggi, dan keterbatasan frekuensi sebagai sumber daya utama yang saat ini sudah banyak digunakan, termasuk di Indonesia. Berdasarkan [1], dapat dilihat bahwa penggunaan frekuensi radio di Indonesia sudah sangat padat untuk semua alokasi frekuensi yang digunakan untuk berbagai sektor. Untuk itulah diperlukan suatu pembawa informasi lain yang diimplementasikan untuk komunikasi nirkabel. Jenis lain dari komunikasi nirkabel adalah komunikasi cahaya tampak dimana cahaya dimodulasi pada cahaya tampak. Salah satu penyebab munculnya ide komunikasi cahaya tampak adalah karena semakin berkembangnya teknologi LED. LED akan menyala untuk mengirim nilai logika 1 dan mati untuk nilai logika 0. Namun karena LED memiliki kecepatan *switching* yang tinggi, maka mata manusia tidak dapat mengikuti perubahan kondisi saat pengiriman informasi [2]. Dalam penelitian ini, dirancang sebuah *prototype* berupa *transceiver* dimana perangkat dapat berperan baik sebagai pengirim maupun penerima. Di bagian pengirim, informasi digital berupa teks dikirimkan dengan menggunakan cahaya tampak yang dipancarkan oleh LED. Cahaya yang berisi informasi tersebut kemudian akan diterima oleh *phototransistor* pada sisi penerima. Dari *prototype* tersebut, dapat dilihat bagaimana cara kerja dari teknologi *visible light communication (VLC)* untuk kemudian dianalisis pengiriman data digital dari pengirim ke penerima untuk melihat pengaruh perubahan nilai jarak, sudut terima, dan kecepatan kirim.

1.1 Visible Light Communication

Visible Light Communication (komunikasi cahaya tampak) adalah salah satu jenis sistem komunikasi cahaya *unguided* dimana jenis cahaya yang digunakan adalah cahaya tampak. Cahaya tampak sendiri merupakan jenis cahaya yang bisa dilihat secara kasat mata yang memiliki panjang gelombang pada

rentang 380-750 nm dan rentang frekuensi 430-750 THz [3]. Saat ini, pengembangan VLC lebih banyak difokuskan untuk aplikasi *indoor* yang diadaptasi dari sistem komunikasi inframerah konvensional [4,5]. VLC memiliki konfigurasi secara umum yang mirip dengan komunikasi inframerah. Perbedaan utamanya adalah panjang gelombang yang digunakan untuk beroperasi. VLC mempunyai banyak kemungkinan implementasi dan pengembangan. Implementasi dasar yang dapat dilakukan adalah untuk menyediakan koneksi nirkabel pada semua perangkat di lokasi tertentu dengan memanfaatkan LED yang tidak hanya digunakan untuk media penerangan namun juga untuk media komunikasi.

1.2 LED

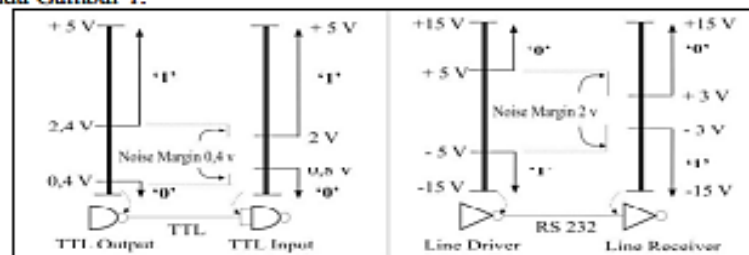
Light Emitting Diode (dioda pememisi cahaya) adalah piranti elektronika yang berfungsi untuk mengemisi cahaya dari catuan arus yang diberikan [6]. Dioda jenis inilah yang telah mulai diaplikasikan sebagai lampu untuk tujuan penerangan. Keunggulan dari lampu LED adalah penggunaan daya yang lebih hemat dibanding lampu neon atau pijar. LED terdiri dari sambungan semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n yang diberi forward bias [7]. Pada keadaan tidak ada arus yang lewat, elektron-elektron akan berada pada pita valensi, yaitu garis lintasan gaya terluar dari atom. Elektron-elektron ini akan dapat berpindah ke pita konduksi, yaitu garis lintasan gaya diatas pita valensi apabila arus yang diberikan memiliki energi yang lebih besar dari *energy gap*. Prinsip emisi cahaya dari LED adalah emisi spontan. Proses emisi spontan ini menyebabkan cahaya yang dihasilkan bersifat menyebar.

1.3 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 basis-nya dan menghasilkan penguatan arus hingga ratusan kali bahkan beberapa ribu kali [6]. *Phototransistor* juga merupakan komponen elektronika yang digolongkan sebagai *Transducer*. Cara kerja *phototransistor* atau transistor foto hampir sama dengan transistor normal pada umumnya, dimana arus pada basis transistor dikalikan untuk memberikan arus pada kolektor.

1.4 Komunikasi Serial RS-232

RS232 adalah standar komunikasi serial yang digunakan untuk koneksi periperal ke periperal. Standar ini menggunakan beberapa piranti dalam implementasinya. Piranti yang paling umum dipakai adalah *plug / konektor* DB9 atau DB25. Prinsip komunikasinya adalah komunikasi *asynchronous*, dimana sinyal *clock* pada komunikasi ini tidak disertakan pada *frame* data. Untuk melakukan sinkronisasi maka setiap kali pengiriman data disertakan sebuah *start* bit dan sebuah *stop* bit. *Frame* data yang dikirimkan disusun dengan urutan *start* bit, diikuti bit-bit data, paritas dan diakhiri dengan stop bit. Ada dua hal pokok yang diatur pada standar RS232 yaitu bentuk sinyal dan level tegangan yang dipakai. RS232 dibuat pada tahun 1962, jauh sebelum IC *Transistor-Transistor Logic* (TTL) populer, oleh karena itu level tegangan yang ditentukan untuk RS232 tidak ada hubungannya dengan level tegangan TTL, bahkan dapat dikatakan jauh berbeda. Perbedaan antara level tegangan RS232 dan TTL dapat dilihat pada Gambar 1.



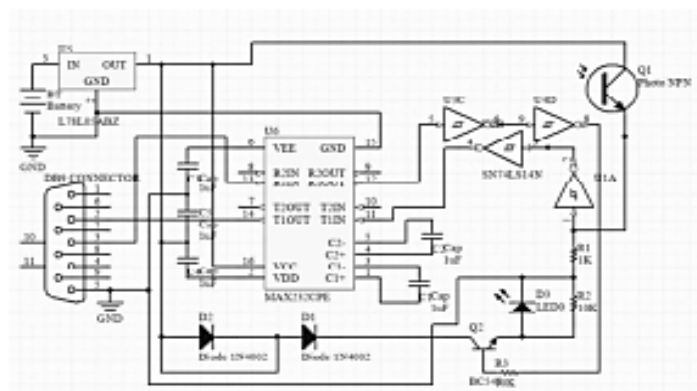
Gambar 1. Level tegangan RS-232 dan TTL

2. Pembahasan

Perancangan sistem terdiri dari dua bagian utama yaitu perancangan perangkat keras *transceiver* dan perancangan perangkat lunak antarmuka. Analisis dilakukan terhadap hasil pengujian pengaruh perubahan nilai parameter jarak, sudut terima, dan kecepatan kirim terhadap nilai *character error rate* (CER). Pengujian untuk masing-masing parameter dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiga panjang teks yang berbeda yakni 400 karakter, 800 karakter, dan 1200 karakter (semua termasuk spasi). Ketiga hasil pengujian kemudian dirata-rata untuk setiap nilai parameter.

2.1 Perancangan perangkat keras transceiver

Rangkaian transceiver memiliki komponen utama LED sebagai sumber cahaya yang akan termodulasi oleh informasi dan *phototransistor* sebagai penerima cahaya termodulasi yang akan mengubahnya kembali menjadi sinyal listrik sebelum direkonstruksi kembali menjadi informasi awal. Selain itu, digunakan berbagai komponen lain seperti IC MAX232 untuk mengubah aras tegangan RS-232 ke aras TTL dan IC 7414 *hex inverter* yang dapat berfungsi sebagai *buffer* dan *amplifier*. Desain skematik prototipe dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain skematik rangkaian transceiver

2.2 Perancangan perangkat lunak antarmuka

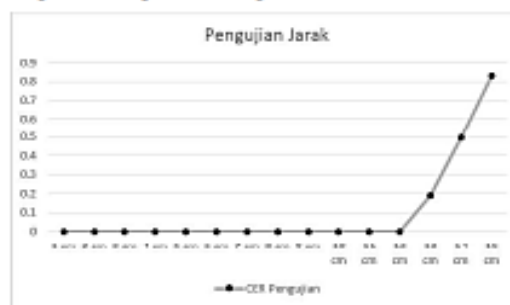
Aplikasi antarmuka dibuat untuk memudahkan pengguna dalam memasukkan teks yang akan dikirim. Alasan pembuatan aplikasi ini adalah karena aplikasi komunikasi serial yang telah ada seperti *Hyper Terminal* dan *TeraTerm* masih sangat umum sehingga diperlukan setting yang cukup rumit sebelum dapat digunakan untuk mengirimkan teks seperti yang diinginkan pada penelitian ini. Tampilan dari aplikasi antarmuka yang telah dibuat dengan *Microsoft Visual Studio* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan aplikasi antarmuka pengiriman teks VLC

2.3 Hasil pengujian jarak

Berdasarkan hasil pengujian jarak, didapatkan bahwa nilai CER sama dengan nol berturut-turut dari jarak 1 cm sampai dengan 12 cm. Hal ini berarti semua teks yang dikirimkan dapat diterima dengan baik tanpa ada kesalahan di penerima. Mulai rentang jarak 13 cm sampai 15 cm, mulai terjadi kesalahan penerimaan dimana semakin jauh jarak, semakin besar nilai CER. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dibuat mampu melakukan pengiriman teks tanpa kesalahan sampai 12 cm, dan masih dapat saling mendeteksi sampai jarak 15 cm dengan adanya kesalahan yang nilainya berbanding lurus dengan jarak. Nilai rata-rata CER pada jarak deteksi terjauh 15 cm mencapai nilai 0,8630. Keterbatasan sistem dalam hal jarak disebabkan oleh keterbatasan daya operasi pada LED yang dipakai yang mempengaruhi daya pancar dan jarak terjauh cahaya dapat dipancarkan. Dalam bentuk grafik, pengaruh jarak terhadap CER dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik perubahan nilai CER pada pengujian jarak

2.4 Hasil pengujian sudut terima

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa teks dapat diterima secara lengkap mulai dari sudut terima 0° sampai 75° . Hal ini berarti sistem dapat bekerja dengan baik pada rentang sudut terima tersebut. Kesalahan pengiriman mulai terjadi pada sudut 80° dan 85° dengan nilai CER yang cukup tinggi. Sedangkan pada sudut terima 90° , tidak ada informasi yang dapat dikirimkan. Hasil pengujian sudut terima ini tergolong bagus karena rentang sudut terima dimana informasi dapat dikirim dengan baik tanpa ada kesalahan cukup lebar, yakni mencapai sudut terima 75° . Sedangkan sudut terima terjauh perangkat dapat saling mendeteksi adalah 85° dimana nilai rata-rata CER yang didapat senilai 0,7167. Hal ini dapat terjadi karena sifat dari LED itu sendiri. Emisi cahaya pada LED tidak seperti LASER yang koheren. Karena sifat emisi spontan pada LED, cahaya yang diemisikan memiliki beda sudut yang variatif sehingga cahaya akan menyebar ke banyak arah. Hal ini lah yang menjadi salah satu alasan dipilihnya LED sebagai sumber cahaya untuk VLC. Pengaruh perubahan nilai sudut terima terhadap CER secara grafik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik perubahan nilai CER pada pengujian sudut terima

2.5 Hasil pengujian kecepatan kirim

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa sistem akan bekerja dengan baik dan tanpa kesalahan pada standar baud rate 4800, 9600, dan 19200 bps. Untuk nilai standar baud rate dibawah rentang tersebut akan terjadi kesalahan karena berada dibawah kecepatan minimal pembacaan oleh

phototransistor. Bahkan pada nilai baud rate 1200, semua karakter dalam teks yang dikirimkan menjadi karakter “?” dikarenakan ketidaklengkapan bit dalam sebuah karakter. Sedangkan untuk nilai diatas rentang 4800-19200 bps, terdapat kesalahan yang berbanding lurus dengan besar kecepatan karena keterbatasan kecepatan switching oleh perangkat *phototransistor*. Pada kecepatan 38400, didapat nilai rata-rata CER senilai 0,3694. Sedangkan pada kecepatan 56700, didapat nilai rata-rata CER senilai 0,8145. Grafik pengaruh perubahan nilai kecepatan pada pengiriman teks dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik perubahan nilai CER pada pengujian kecepatan kirim

3. Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan baik dari segi perangkat keras *prototype* VLC *transceiver* dan perangkat lunak antarmuka serta hasil pengujian pengiriman teks, dapat disimpulkan secara umum bahwa sistem yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik dengan tanpa kesalahan pada jarak 1 – 12 cm, sudut terima 0° - 75° , dan kecepatan 4800, 9600, dan 19200 bps. Beberapa simpulan penting dinyatakan sebagai berikut:

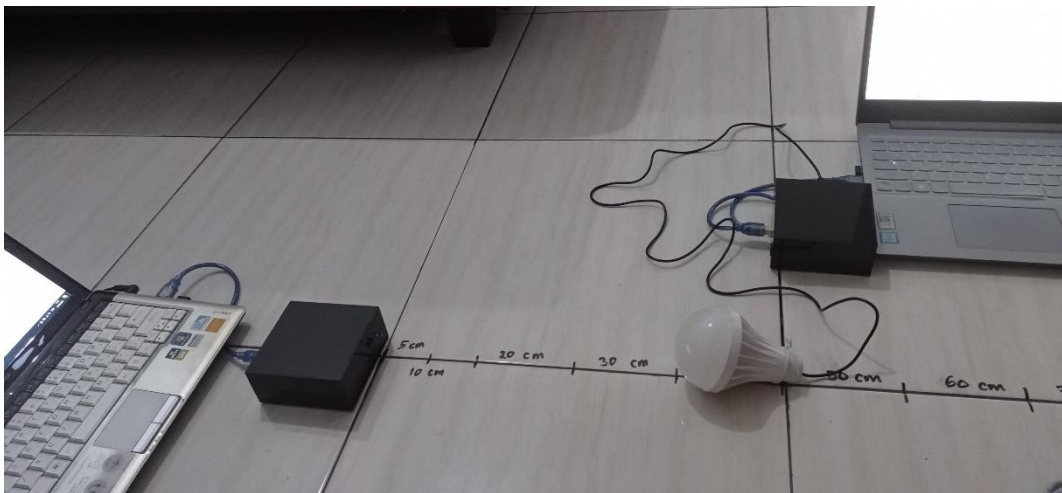
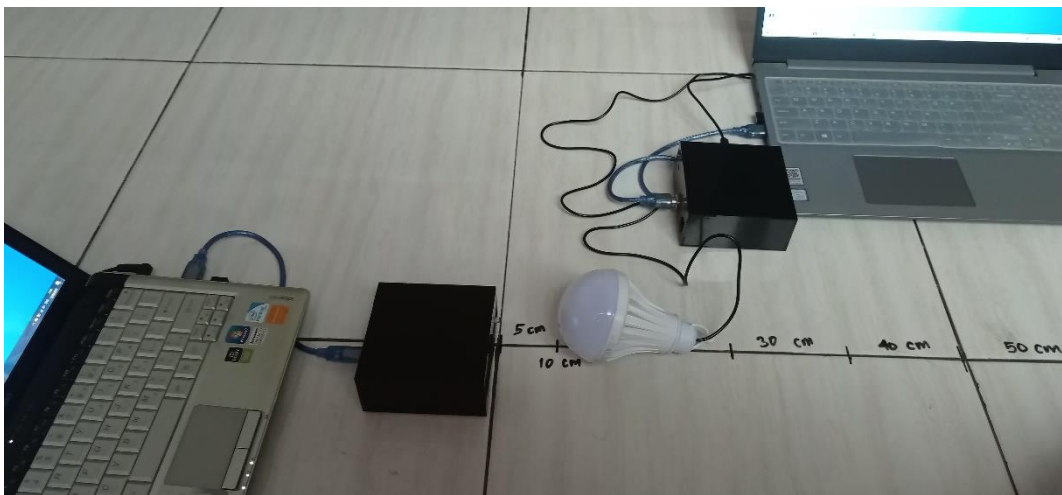
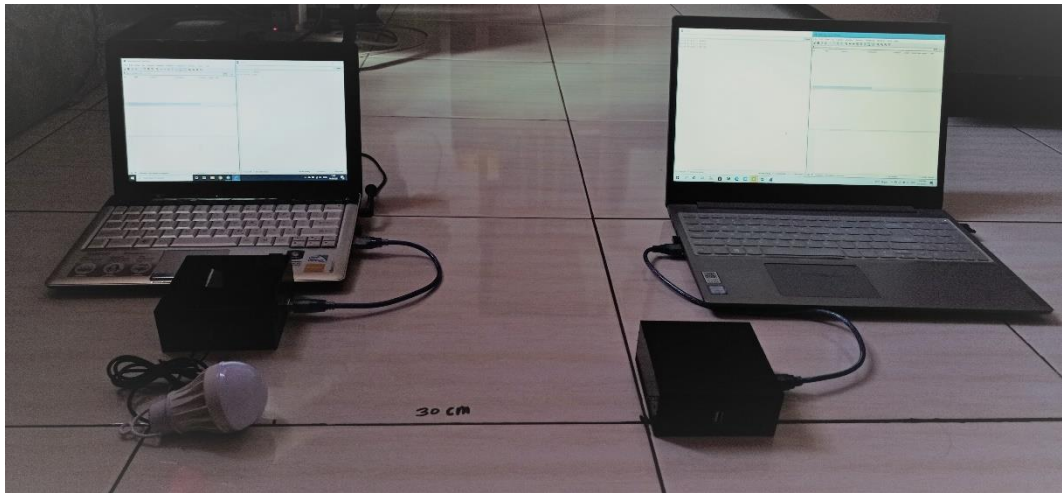
- Jarak maksimal perangkat *prototype* masih dapat saling mendeteksi dan mengirim informasi (dengan error) adalah 15 cm dengan nilai rata-rata CER 0,8630.
- Sudut terima maksimal *prototype* dapat saling mendeteksi adalah 85° dengan nilai rata-rata CER 0,7167..
- Pada kecepatan diatas 19200 bps, kesalahan pengiriman mulai terjadi dimana besar nilai CER berbanding lurus dengan nilai kecepatan.
- Keterbatasan cakupan jarak sistem untuk mengirim informasi disebabkan karena keterbatasan daya LED yang dipancarkan.
- Dari segi pengaruh sudut terima, penggunaan LED pada VLC sudah tepat karena sifat pemancarannya yang menyebar.
- Keterbatasan sistem dalam hal kecepatan maksimum dikarenakan keterbatasan kecepatan switching LED yang digunakan pada sistem dan keterbatasan sensitivitas *phototransistor* untuk mendeteksi cahaya.

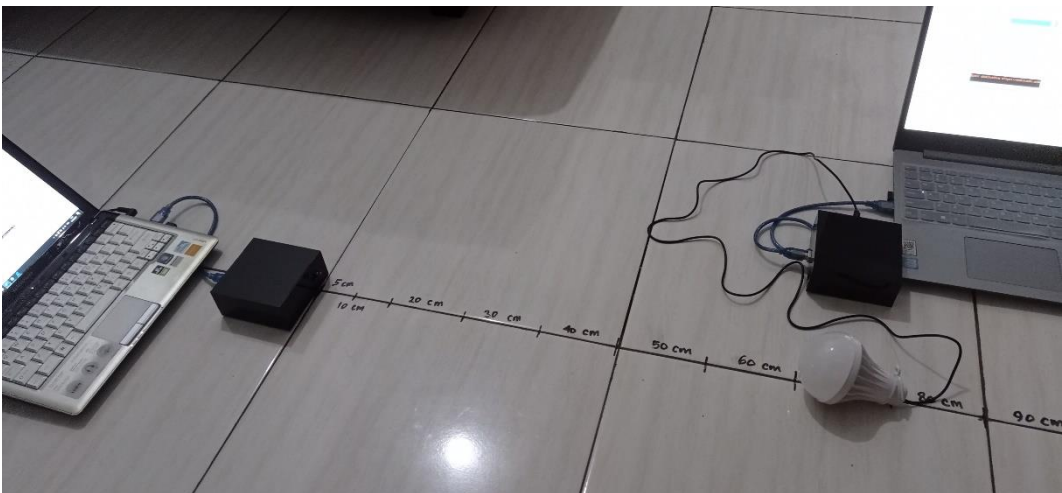
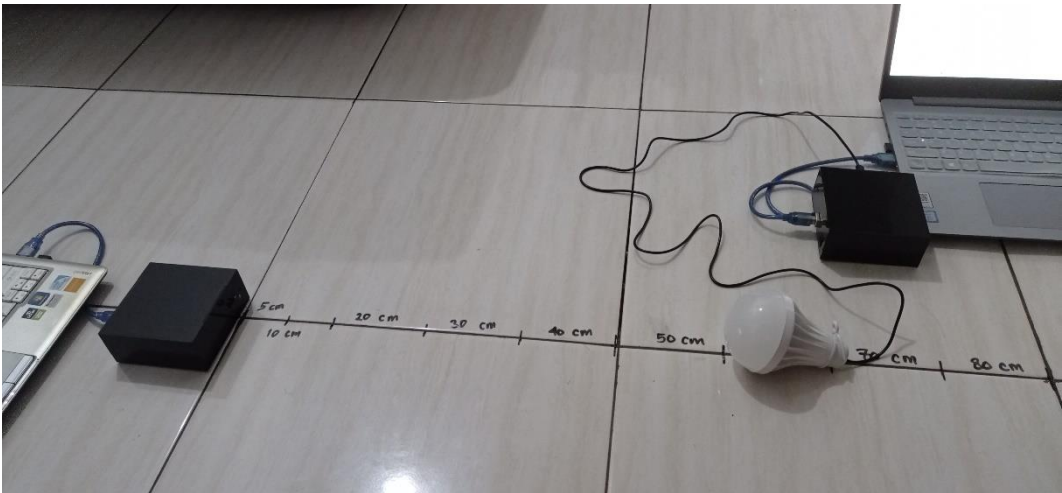
Daftar Pustaka

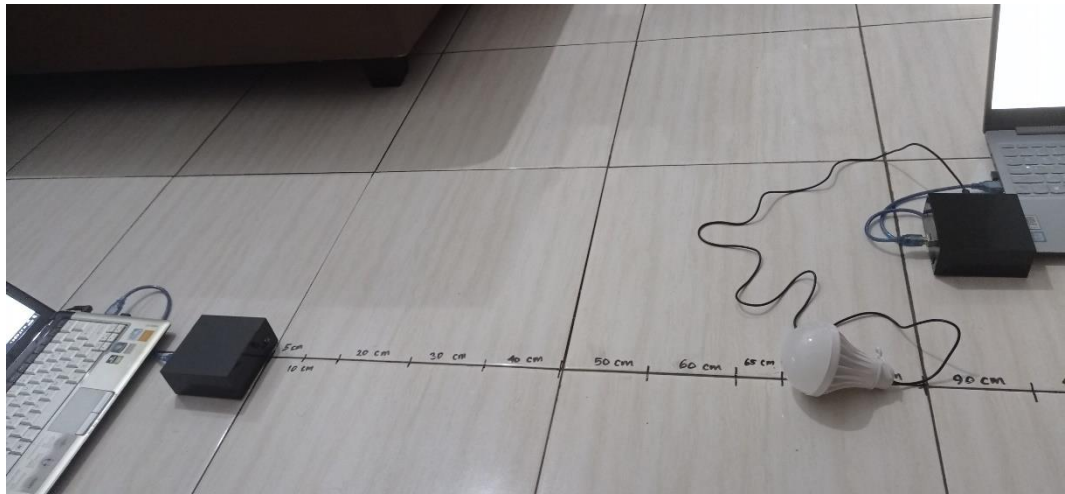
- [1]. Menteri Komunikasi dan Informatika, 2014. Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 25 Tahun 2004 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia. Kementerian Komunikasi dan Informatika, Jakarta.
- [2]. Meshram S.J. dan Wadhe A.P , “ *Secure Data Transfer Using Visible Light Communication Technique*”, in *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*. vol 3 2016.
- [3]. Liju S, Lince M, Abraham T , Sarun S, dan Bibin B, “*Wireless Data Transfer Using Visible light Communication*”, in *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol.4 2015.
- [4]. Kahn, J.M , Barry J.R, “*Wireless Infrared Communications*”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 85, No.2, (February 1997) (265-298), 0018-9219.

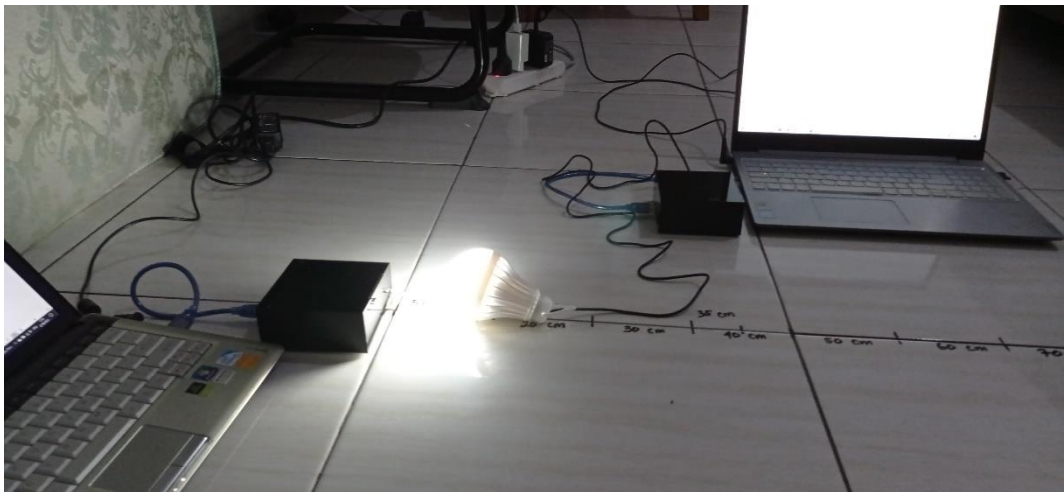
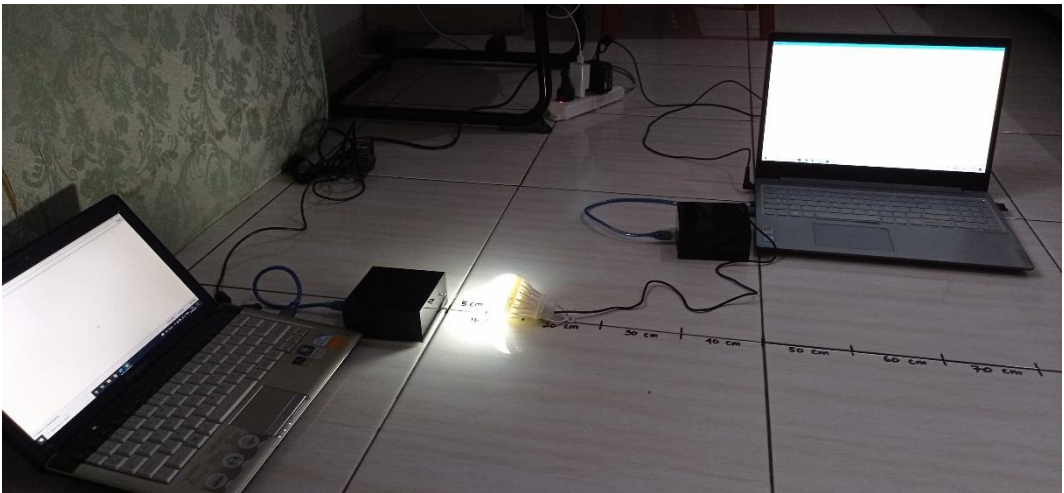
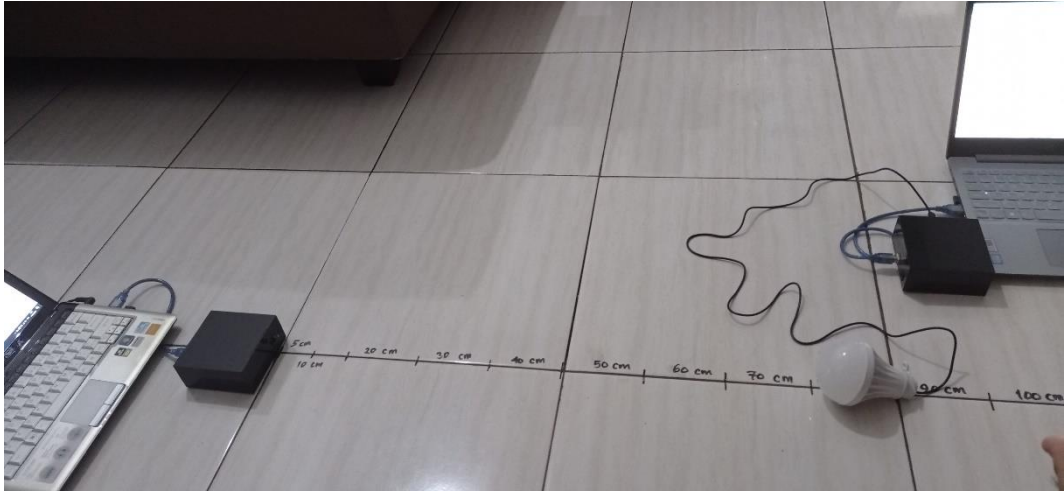
- [5]. Knutson C. D, Brown J. M, 2004. *IrDA Principles and Protocols*. MCL Press, 0-9753892-0-3, USA.
- [6]. Keiser Gerd, 2000. *Optical Fiber Communications*, 3rd Ed. McGraw Hill. Boston.
- [7]. Boylestad, R. L, 1997. *Introductory Circuit Analysis* 11th Ed, Prentice. Hall.

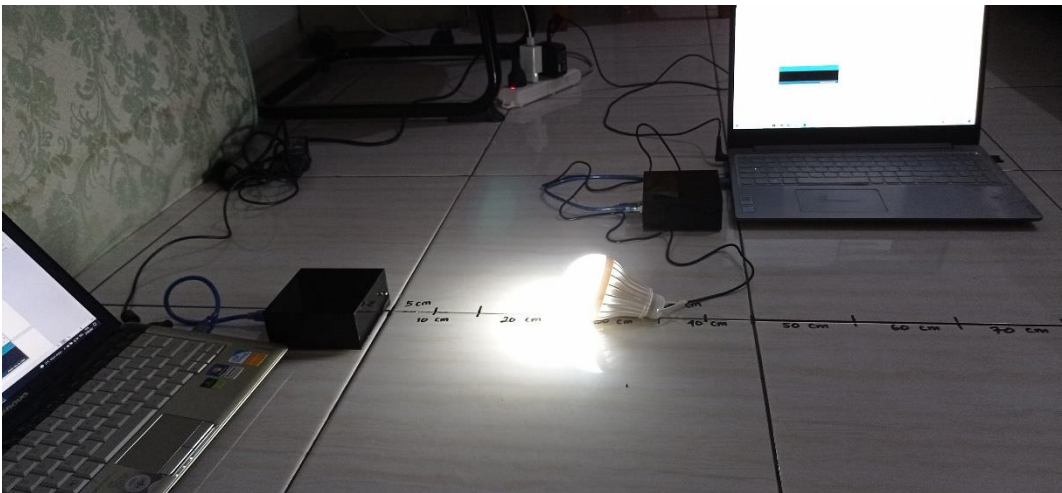
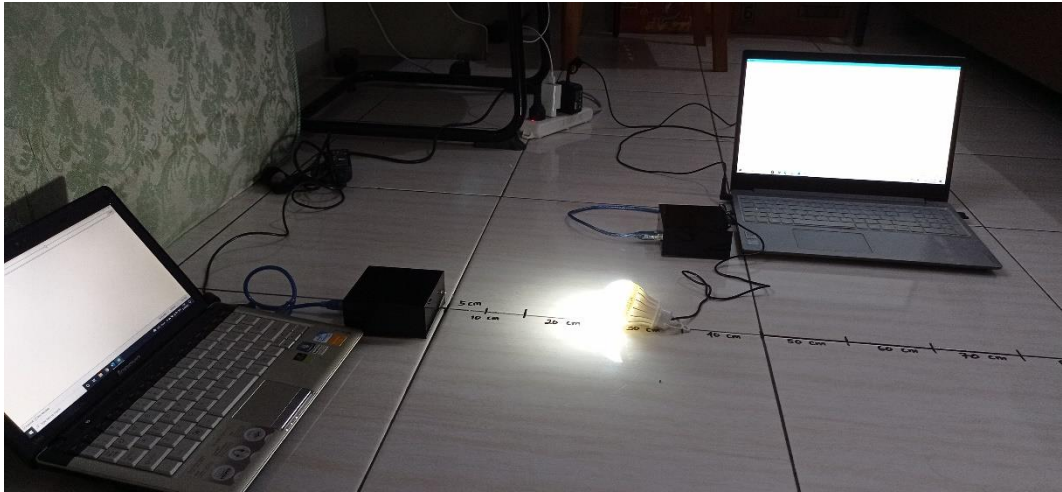
Lampiran 5 Dokumentasi Pengujian *Transceiver* VLC

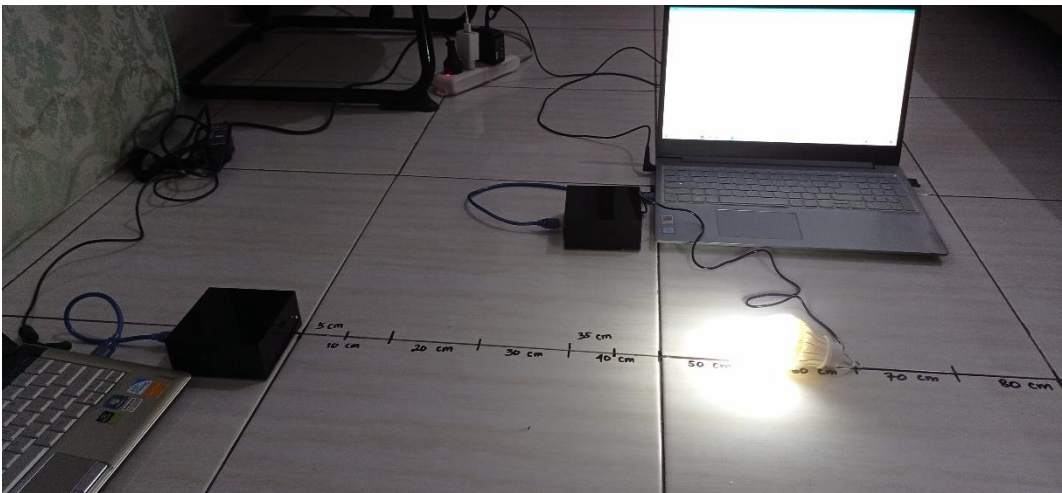
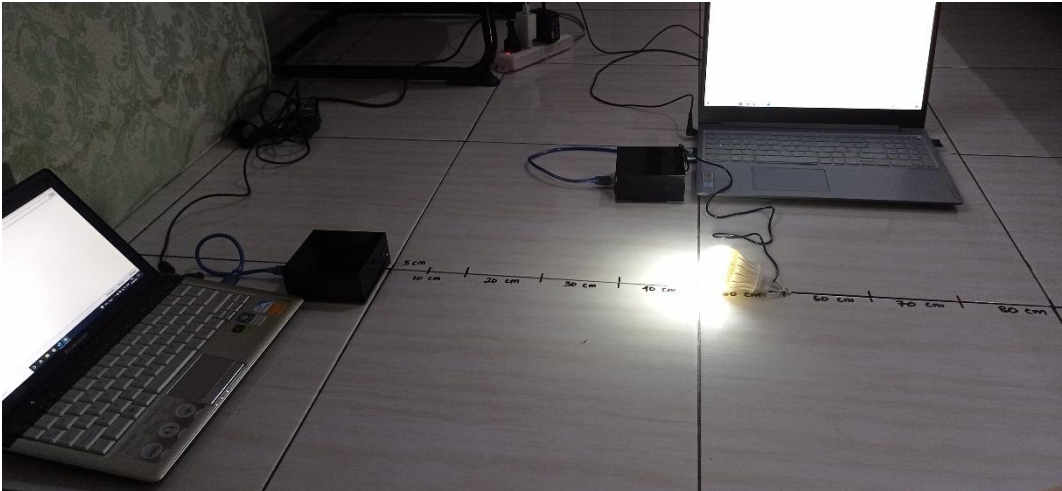












Lampiran 6 Hasil Pengambilan Data Transceiver VLC

The screenshot displays a terminal window on the left and a Wireshark network traffic analysis tool on the right. The terminal window, titled 'COM3', shows the following communication:

```

13:57:45.110 -> READY
13:57:45.609 -> RX:
14:01:27.431 -> TX: Hello
14:01:40.269 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanaddin
    
```

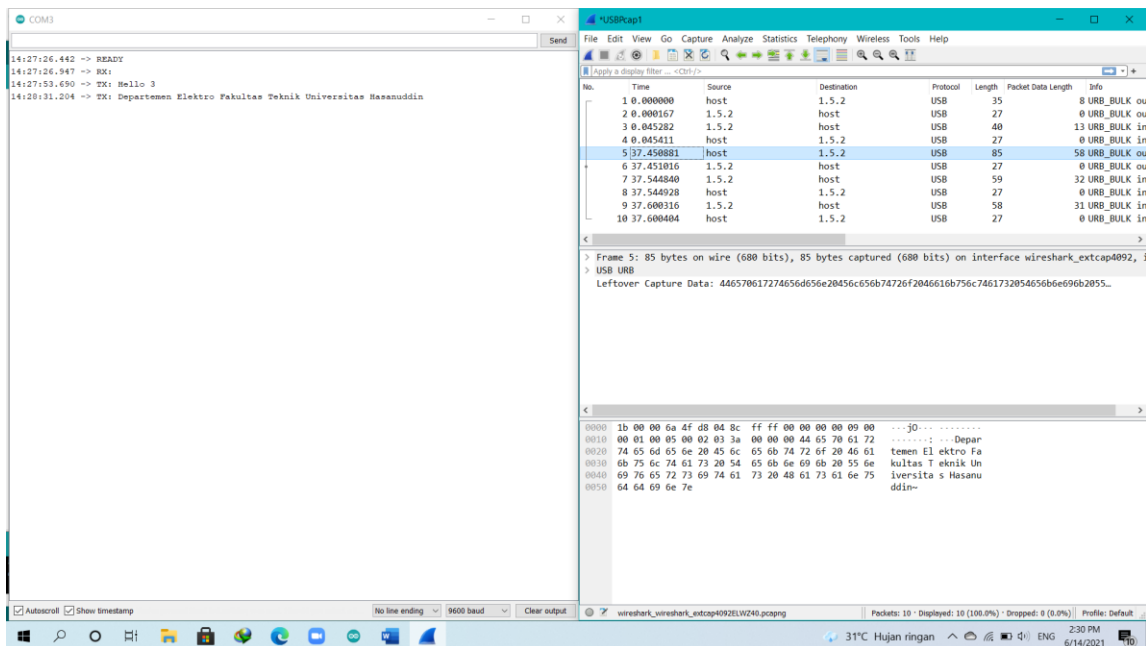
The Wireshark window, titled 'USBasp1', shows a capture of 10 packets. The first packet (No. 1) is selected, showing a frame of 33 bytes on the wire (264 bits), which was fully captured (264 bits) on the interface 'wireshark_extcap1796'. The left-over capture data is shown as hexadecimal: 48656c6c667e. The packet details pane shows the raw data: 0000 1b 00 00 27 ca d8 04 8c ff ff 00 00 00 09 00 0010 01 00 05 00 02 03 06 00 00 48 65 6c 6c 6f 0020 7e. The hex data is interpreted as 'Hello'.

The screenshot displays a terminal window on the left and a Wireshark network traffic analysis tool on the right. The terminal window, titled 'COM3', shows the following communication:

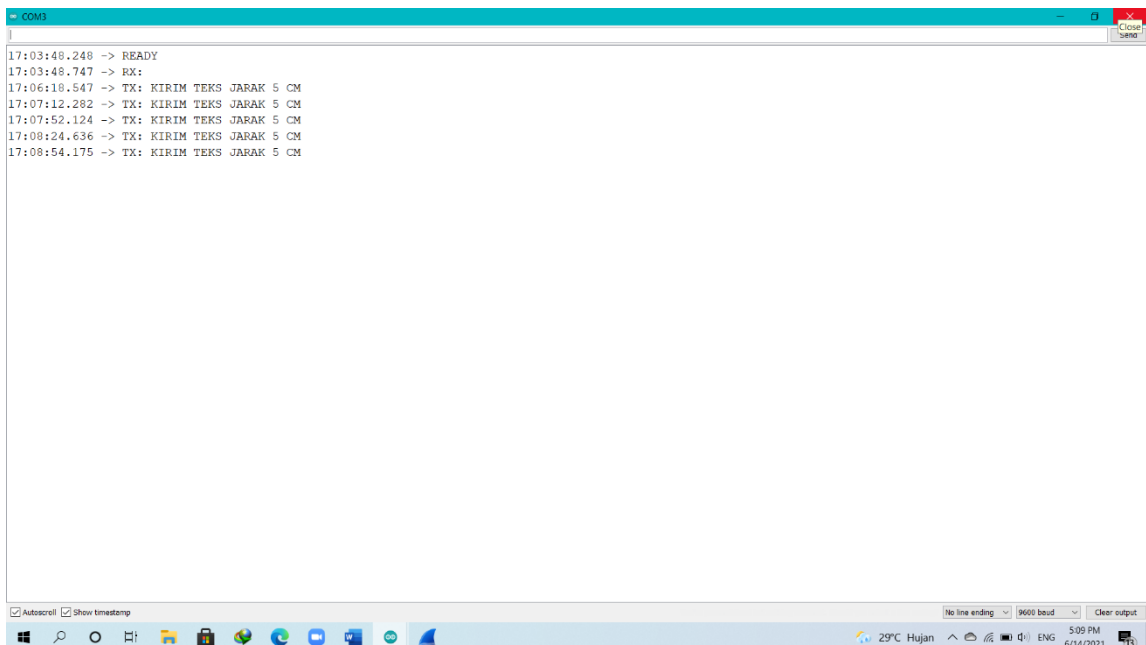
```

14:13:41.814 -> READY
14:13:42.324 -> RX:
14:15:31.072 -> TX: Hello 2
14:15:46.971 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanaddin
    
```

The Wireshark window, titled 'USBasp1', shows a capture of 10 packets. The fifth packet (No. 5) is selected, showing a frame of 85 bytes on the wire (680 bits), which was fully captured (680 bits) on the interface 'wireshark_extcap2816'. The left-over capture data is shown as hexadecimal: 446570617274656d656e20456c656b74726f2046616b756c7461732054656b6e696b2055. The packet details pane shows the raw data: 0000 1b 00 60 e7 c9 d8 04 8c ff ff 30 30 30 09 00 0010 00 01 00 05 00 02 03 3a 00 00 00 44 65 70 61 72 0020 74 65 6d 65 6e 20 45 6c 65 6b 74 72 6f 20 46 61 0030 6b 75 6c 74 61 73 20 54 65 6b 6e 69 6b 20 55 6e 0040 69 76 65 72 73 69 74 61 73 20 48 61 73 61 6e 75 0050 64 64 69 6c 7e. The hex data is interpreted as 'Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanaddin'.



KIRIM TEKS 5 CM



KIRIM 5 CM QOS

The image shows a Windows terminal window and a Wireshark network analyzer window. The terminal window displays the following text:

```
17:12:09.162 -> READY
17:12:09.651 -> RX:
17:12:30.731 -> TX: TEST
17:12:43.820 -> TX: 123
17:13:25.158 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

The Wireshark window shows a list of captured packets. The first packet is selected, and its details are shown below:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Packet Data Length	Info
5	5.088544	host	1.5.2	USB	31	4	URB_BULK
6	5.088548	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
7	5.125690	1.5.2	host	USB	36	9	URB_BULK
8	5.125945	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
9	46.350873	host	1.5.2	USB	85	58	URB_BULK
10	46.351035	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
11	46.444877	1.5.2	host	USB	59	32	URB_BULK
12	46.445040	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
13	46.500313	1.5.2	host	USB	58	31	URB_BULK
14	46.500476	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK

The detailed view of the selected frame shows the following data:

```
> Frame 1: 32 bytes on wire (256 bits), 32 bytes captured (256 bits) on interface wireshark_extcap1740, in USB URB
Leftover Capture Data: 54453547e
```

The packet bytes are displayed as follows:

```
0000 1b 00 10 30 2c 93 8a d6 ff ff 00 00 00 09 00 ...0, ...
0010 00 01 00 05 00 02 03 05 00 00 00 54 45 53 54 7e ...TEST~
```

KIRIM TEKS 10 CM

The image shows a Windows terminal window displaying the following text:

```
17:21:10.686 -> READY
17:21:11.198 -> RX:
17:23:00.636 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
17:23:32.197 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
17:23:52.952 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
17:24:35.562 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
17:25:00.986 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
```

KIRIM 10 CM QOS

COM3

```
17:29:01.507 -> READY
17:29:02.005 -> RX:
17:30:22.411 -> TX: TEST
17:30:31.228 -> TX: 123
17:30:37.261 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

QOS 10 CM Tcpcapng

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Packet Data Length	Info
5	8.846810	host	1.5.2	USB	31	4 URB_BULK	
6	8.846931	1.5.2	host	USB	27	0 URB_BULK	
7	8.883931	1.5.2	host	USB	36	9 URB_BULK	
8	8.884859	host	1.5.2	USB	27	0 URB_BULK	
9	14.821225	host	1.5.2	USB	85	58 URB_BULK	
10	14.821446	1.5.2	host	USB	27	0 URB_BULK	
11	14.915157	1.5.2	host	USB	59	32 URB_BULK	
12	14.915313	host	1.5.2	USB	27	0 URB_BULK	
13	14.970686	1.5.2	host	USB	58	31 URB_BULK	
14	14.970854	host	1.5.2	USB	27	0 URB_BULK	

> Frame 1: 32 bytes on wire (256 bits), 32 bytes captured (256 bits) on interface wireshark_extcap2360, interface USB_URB
Leftover Capture Data: 544553547e

```
0000 1b 00 1b 00 b0 4d 94 8a d6 ff ff 00 00 00 00 09 00  ....M.....
0010 00 01 00 05 00 02 03 05 00 00 00 54 45 53 54 7e  ....TEST-
```

KIRIM TEKS 20 CM

COM3

```
17:37:00.023 -> READY
17:37:00.546 -> RX:
17:37:50.856 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM
17:38:18.166 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM
17:38:45.824 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM
17:39:16.794 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM
17:39:39.996 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM
```


QOS 20 CM T

COM3

```
17:41:57.108 -> READY
17:41:57.590 -> RX:
17:43:02.417 -> TX: TEST
17:43:11.447 -> TX: 123
17:43:22.740 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

QOS 20 CM T.pcapng

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Packet Data Length	Info
5	9.024303	host	1.5.2	USB	31	4	URB_BULK
6	9.024415	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
7	9.061463	1.5.2	host	USB	36	9	URB_BULK
8	9.061627	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
9	20.263330	host	1.5.2	USB	85	58	URB_BULK
10	20.263495	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
11	20.357312	1.5.2	host	USB	59	32	URB_BULK
12	20.357486	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
13	20.412868	1.5.2	host	USB	58	31	URB_BULK
14	20.413034	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK

Frame 1: 32 bytes on wire (256 bits), 32 bytes captured (256 bits) on interface wireshark_extcap2748, interface USB_URB
Leftover Capture Data: 544553547e

```
0000 1b 00 50 07 06 95 8a d6 ff ff 00 00 00 09 00 .....
0010 00 01 00 05 00 02 03 05 00 00 00 54 45 53 54 7e .....---TEST---
```

KIRIM TEKS 30 CM

COM3

```
17:47:56.267 -> READY
17:47:56.731 -> RX:
17:49:10.110 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 30 CM
17:49:36.634 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 30 CM
17:49:58.255 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 30 CM
17:50:21.259 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 30 CM
17:50:42.356 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 30 CM
17:51:02.735 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 30 CM
```

QOS 30 CM T

COM3

```
17:52:37.540 -> READY
17:52:38.042 -> RX:
17:54:44.634 -> TX: TEST
17:54:49.742 -> TX: COBA COBA
17:54:58.570 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

QOS 30 CM Tcpdump

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Packet Data Length	Info
5	5.098651	host	1.5.2	USB	37	10	URB_BULK
6	5.098768	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
7	5.148230	1.5.2	host	USB	42	15	URB_BULK
8	5.148411	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
9	13.873333	host	1.5.2	USB	85	58	URB_BULK
10	13.873500	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
11	13.967294	1.5.2	host	USB	59	32	URB_BULK
12	13.967413	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
13	14.022856	1.5.2	host	USB	58	31	URB_BULK
14	14.022994	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK

> Frame 12: 32 bytes on wire (256 bits), 32 bytes captured (256 bits) on interface wireshark_extcap1772, interface USB_URB
Leftover Capture Data: 544553547e

```
0000 1b 00 10 f0 a5 94 8a d5 ff ff 00 00 00 00 09 00 .....
0010 00 01 00 05 00 02 03 05 00 00 00 54 45 53 54 7e .....TEST-
```

Autoscroll Show timestamp No line ending 9600 baud Clear output Ready to load or capture Packets: 14 - Displayed: 14 (100.0%) Profile: Default

28°C Badai Petir 5:53 PM 6/14/2021

KIRIM TEKS 40 CM

COM3

```
17:59:37.149 -> READY
17:59:37.671 -> RX:
18:01:07.891 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 40 CM
18:01:31.657 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 40 CM
18:01:55.011 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 40 CM
18:02:20.286 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 40 CM
18:02:52.608 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 40 CM
```

Autoscroll Show timestamp No line ending 9600 baud Clear output

28°C Badai Petir 6:03 PM 6/14/2021

QOS 40 CM T

COM3

```
18:04:03.031 -> READY
18:04:03.523 -> RX:
18:05:09.147 -> TX: TEST
18:05:16.280 -> TX: COBA COBA 2
18:05:26.920 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

QOS 40 CM T pcapng

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Packet Data Length	Info
5	7.123919	host	1.5.2	USB	39	12	URB_BULK
6	7.124058	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
7	7.177724	1.5.2	host	USB	44	17	URB_BULK
8	7.177871	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
9	17.796647	host	1.5.2	USB	85	58	URB_BULK
10	17.796206	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
11	17.800037	1.5.2	host	USB	59	32	URB_BULK
12	17.800210	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
13	17.855460	1.5.2	host	USB	58	31	URB_BULK
14	17.855618	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK

Frame 1: 32 bytes on wire (256 bits), 32 bytes captured (256 bits) on interface wireshark_extcap3092, 2
> USB URB
Leftover Capture Data: 544553547e

```
0000 1b 00 10 30 11 05 8a d6 ff ff 00 00 00 09 00 ...0 ...
0010 00 01 00 05 00 02 03 05 00 00 00 54 45 53 54 7e ...TEST-
```

KIRIM TEKS 50CM

COM3

```
18:10:04.460 -> READY
18:10:04.978 -> RX:
18:10:54.425 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM
18:11:18.403 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM
18:11:40.897 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM
18:12:03.095 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM
18:12:24.294 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM
```

QOS 50 CM T

The screenshot displays two windows on a Windows desktop. On the left is a terminal window titled 'COM3' showing the following text:

```
18:13:42.327 -> READY
18:13:42.810 -> RX:
18:15:23.970 -> TX: TEST
18:15:31.752 -> TX: COBA COBA
18:15:41.235 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

On the right is a Wireshark window titled 'QOS 50 CM T.pcapng'. It shows a list of captured packets:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Packet Data Length	Info
5	7.771058	host	1.5.2	USB	37	10	URB_BULK
6	7.771187	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
7	7.820650	1.5.2	host	USB	42	15	URB_BULK
8	7.820780	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
9	17.231724	host	1.5.2	USB	85	58	URB_BULK
10	17.231889	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
11	17.325742	1.5.2	host	USB	59	32	URB_BULK
12	17.325922	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
13	17.381217	1.5.2	host	USB	58	31	URB_BULK
14	17.381386	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK

The detailed view of the selected packet (No. 11) shows:

```
> Frame 11: 32 bytes on wire (256 bits), 32 bytes captured (256 bits) on interface wireshark_extcap2512, 0 bytes of captured data (0 bits) on USB_URB
Leftover Capture Data: 544553547e

0000 1b 00 20 5a 5a 03 8a d6 ff ff 00 00 00 09 00 ..ZZ.....
0010 00 01 00 05 00 02 03 05 00 00 00 54 45 53 54 7e .....TEST~
```

KIRIM TEKS 60 CM

The screenshot shows a terminal window titled 'COM3' with the following text:

```
18:21:57.875 -> READY
18:21:58.400 -> RX:
18:22:35.583 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 60 CM
18:23:08.512 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 60 CM
18:23:30.013 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 60 CM
18:23:55.244 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 60 CM
18:24:20.599 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 60 CM
```

QOS 60 CM T

COM3

```
18:24:51.373 -> READY
18:24:51.092 -> RX:
18:26:36.100 -> TX: TEST
18:26:45.598 -> TX: UJI COBA
18:27:03.416 -> TX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

QOS 60 CM T pcapng

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Packet Data Length	Info
5	9.492945	host	1.5.2	USB	36	9	URB_BULK
6	9.493064	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
7	9.540307	1.5.2	host	USB	41	14	URB_BULK
8	9.540358	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
9	27.246340	host	1.5.2	USB	85	58	URB_BULK
10	27.246550	1.5.2	host	USB	27	0	URB_BULK
11	27.340393	1.5.2	host	USB	59	32	URB_BULK
12	27.340567	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK
13	27.395766	1.5.2	host	USB	58	31	URB_BULK
14	27.395898	host	1.5.2	USB	27	0	URB_BULK

Frame 1: 32 bytes on wire (256 bits), 32 bytes captured (256 bits) on interface wireshark_extcap860, id 0 USB_URB
Leftover Capture Data: 544553547e

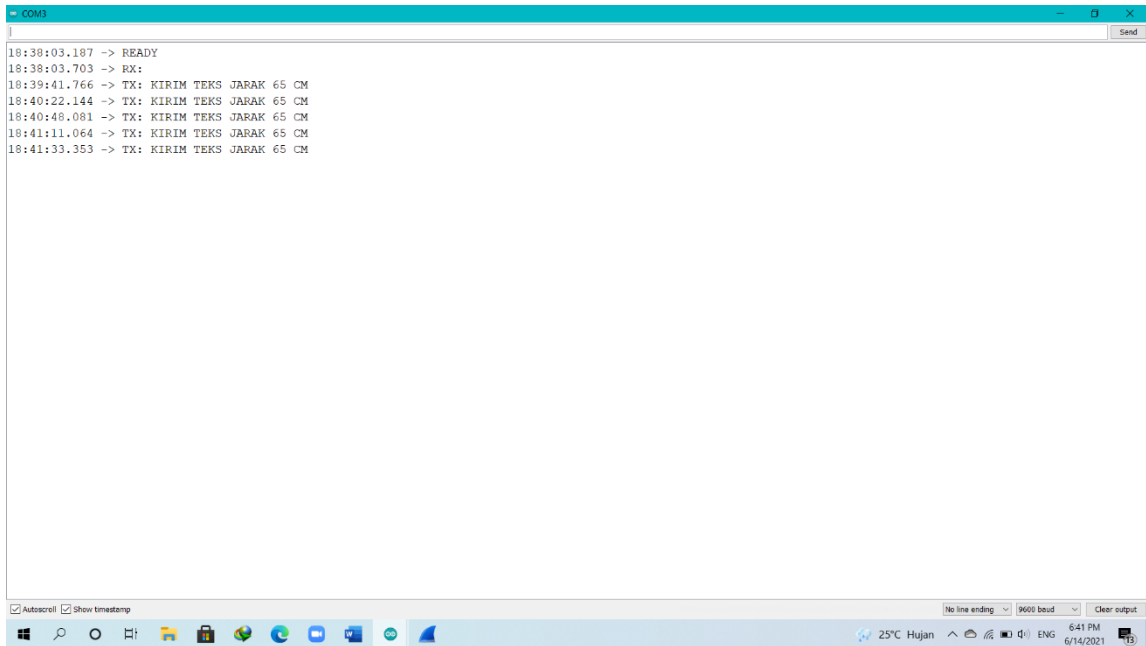
```
0000 1b 00 20 4a Sa 03 8a d6 ff ff 00 00 00 09 00 ..3Z.....
0010 00 01 00 05 00 02 03 05 00 00 00 54 45 53 54 7e .....-TEST-
```

KIRIM TEKS 63 CM

COM3

```
18:52:45.911 -> READY
18:52:46.421 -> RX:
18:54:23.474 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 63 CM
18:55:28.380 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 63 CM
18:55:59.611 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 63 CM
18:56:26.189 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 63 CM
18:57:03.400 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 63 CM
```


KIRIM TEKS JARAK 65 CM



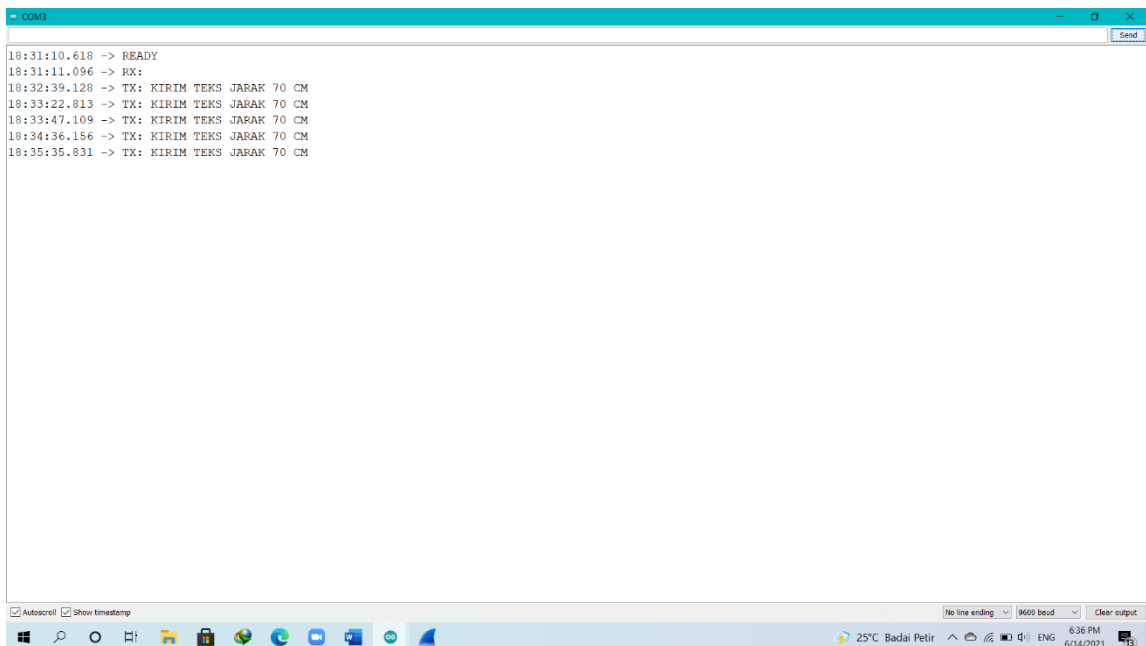
```
COM3
18:38:03.187 -> READY
18:38:03.703 -> RX:
18:39:41.766 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 65 CM
18:40:22.144 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 65 CM
18:40:48.081 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 65 CM
18:41:11.064 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 65 CM
18:41:33.353 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 65 CM
```

Autoscroll Show timestamp

No line ending 9600 baud Clear output

25°C Hujan 6:41 PM 6/14/2021

KIRIM TEKS JARAK 70 CM



```
COM3
18:31:10.618 -> READY
18:31:11.096 -> RX:
18:32:39.128 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 70 CM
18:33:22.813 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 70 CM
18:33:47.109 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 70 CM
18:34:36.156 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 70 CM
18:35:35.831 -> TX: KIRIM TEKS JARAK 70 CM
```

Autoscroll Show timestamp

No line ending 9600 baud Clear output

25°C Badai Petir 6:36 PM 6/14/2021

The screenshot shows two windows side-by-side. The left window is Wireshark, displaying a capture of USB traffic. The right window is a terminal titled 'COM4' showing the output of a serial communication.

Wireshark Packet List:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	1.1.2	host	USB	38	URB_BULK in
2	0.000127	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
3	79.093027	1.1.2	host	USB	59	URB_BULK in
4	79.093152	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
5	79.148027	1.1.2	host	USB	58	URB_BULK in
6	79.148148	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in

Wireshark Packet Details (Frame 5):

```

USB URB
  Leftover Capture Data: 54656b6e696b20556e6976572736974617320486173616e756464696e0d0a
  
```

Wireshark Packet Bytes (Frame 5):

```

0000 1b 00 98 5c 59 8b ff ff ff 00 00 00 09 00
0010 01 01 00 01 00 82 03 1f 00 00 00 54 65 6b 6e 69
0020 6b 20 55 6e 69 76 65 72 73 69 74 61 73 20 48 61
0030 73 61 6e 75 64 64 69 6e 0d 0a
  
```

COM4 Terminal Output:

```

13:59:54.023 -> READY
13:59:54.539 -> RX:
14:01:34.104 -> RX: Hello
14:02:53.236 -> RX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
  
```

The screenshot shows two windows side-by-side. The left window is Wireshark, displaying a capture of USB traffic. The right window is a terminal titled 'COM4' showing the output of a serial communication.

Wireshark Packet List:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	1.1.2	host	USB	40	URB_BULK in
2	0.000128	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
3	00.798999	1.1.2	host	USB	59	URB_BULK in
4	00.791129	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
5	00.847006	1.1.2	host	USB	58	URB_BULK in
6	00.847132	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in

Wireshark Packet Details (Frame 3):

```

USB URB
  Leftover Capture Data: 52583a20446570617274656d656e20456c656b74726f2046616b756c74617320
  
```

Wireshark Packet Bytes (Frame 3):

```

0000 1b 00 50 46 03 88 ff ff ff 00 00 00 09 00
0010 01 01 00 01 00 82 03 20 00 00 00 52 58 3a 20 44
0020 65 70 61 72 74 65 6d 65 6e 20 45 6c 65 6b 74 72
0030 6f 20 46 61 6b 75 6c 74 61 73 20
  
```

COM4 Terminal Output:

```

14:13:33.445 -> READY
14:13:33.914 -> RX:
14:15:39.123 -> RX: Hello 2
14:16:59.902 -> RX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
  
```

The image shows two windows side-by-side. The left window is Wireshark, titled '*USBPcap1', displaying a packet capture on a USB interface. The packet list shows six USB URB packets. Packet 3 is selected, and its details pane shows 'USB URB' with 'Leftover: Capture Data: 52583a20446570617274656d656e20456c656b74726f2046616b756c74617320'. The hex and ASCII views show the captured data: 'Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin'.

The right window is a terminal titled 'COM4' showing the following serial communication:

```

14:26:06.235 -> READY
14:26:06.750 -> RX:
14:28:01.716 -> RX: Hello 3
14:29:44.133 -> RX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

```

TERIMA TEKS 5 CM

The image shows a terminal window titled 'COM4' with the following serial communication:

```

17:04:03.339 -> READY
17:04:03.855 -> RX:
17:06:38.459 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 5 CM
17:07:32.177 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 5 CM
17:08:11.957 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 5 CM
17:08:44.462 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 5 CM
17:09:14.050 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 5 CM

```

TERIMA 5 CM QOS

The image shows two windows side-by-side. The left window is Wireshark, titled '*USBpcap1', displaying a packet capture list with 8 entries. The right window is a terminal titled 'COM4' showing serial communication logs.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	1.1.2	host	USB	37	URB_BULK in
2	0.000191	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
3	2.998001	1.1.2	host	USB	36	URB_BULK in
4	2.998174	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
5	114.792027	1.1.2	host	USB	59	URB_BULK in
6	114.792210	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
7	114.847041	1.1.2	host	USB	58	URB_BULK in
8	114.847222	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in

COM4 terminal output:

```
17:11:30.101 -> READY
17:11:30.570 -> RX:
17:12:43.570 -> RX: TEST
17:12:46.570 -> RX: 123
17:14:38.353 -> RX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

TERIMA TEKS 10 CM

The image shows a terminal window titled 'COM4' displaying serial communication logs. The output shows a series of 'RX' messages containing the text 'KIRIM TEKS JARAK 10 CM'.

```
17:21:57.796 -> READY
17:21:58.265 -> RX:
17:23:21.201 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
17:23:52.689 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
17:24:13.486 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
17:24:56.078 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
17:25:21.484 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 10 CM
```

QOS 10CM R

The screenshot displays two windows side-by-side. The left window is Wireshark, showing a capture of 8 packets on a USB interface. The right window is a COM4 terminal window showing the received data from the serial port.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	1.1.2	host	USB	37	URB_BULK in
2	0.000187	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
3	6.798036	1.1.2	host	USB	36	URB_BULK in
4	6.798218	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
5	83.194031	1.1.2	host	USB	59	URB_BULK in
6	83.194218	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
7	83.250052	1.1.2	host	USB	58	URB_BULK in
8	83.250222	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in

Frame 1: 37 bytes on wire (296 bits), 37 bytes captured (296 bits) on interface wireshark_extc
> USB URB
Leftover Capture Data: 52583a20544553540d0a

```
0000 1b 00 08 d0 ad db ff ff ff ff 00 00 00 00 00 00 .....  
0010 01 01 00 01 00 82 03 0a 00 00 00 52 58 3a 20 54 .....RX: T  
0020 45 53 54 0d 0a .....EST--
```

COM4 terminal output:

```
17:28:27.112 -> READY  
17:28:27.628 -> RX:  
17:30:27.196 -> RX: TEST  
17:30:34.008 -> RX: 123  
17:31:50.413 -> RX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

TERIMA TEKS 20 CM

The screenshot shows a COM4 terminal window with the following text:

```
17:36:52.488 -> READY  
17:36:52.941 -> RX:  
17:38:11.329 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM  
17:39:09.751 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM  
17:39:06.343 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM  
17:39:37.359 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM  
17:40:00.538 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 20 CM
```


QOS 40 CM

The screenshot displays two windows side-by-side. The left window is Wireshark, titled 'QOS 40 CM R:pcapng'. It shows a list of captured packets in a table format:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	1.1.2	host	USB	37	URB_BULK in
2	0.000117	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
3	12.405998	1.1.2	host	USB	44	URB_BULK in
4	12.406142	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
5	06.194010	1.1.2	host	USB	59	URB_BULK in
6	06.194143	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
7	86.249010	1.1.2	host	USB	58	URB_BULK in
8	86.249134	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in

Below the table, the details pane shows 'Frame 5: 59 bytes on wire (472 bits), 59 bytes captured (472 bits) on interface wireshark_ext... USB URB'. The hex dump shows the raw data of the selected frame:

```
0000 1b 00 d8 c9 78 f6 ff ff ff 00 00 00 09 00 .....x.....  
0010 01 01 00 01 00 82 03 20 00 00 52 58 3a 20 44 .....RX: D  
0020 65 70 61 72 74 65 6d 65 6e 20 45 6c 65 6b 74 72 eparteme n Electr  
0030 6f 20 46 61 6b 75 6c 74 61 73 20 o Fakult as
```

The right window is a terminal window titled 'COM4' with a 'Send' button. It shows a series of 'READY' and 'RX:' messages with timestamps and text:

```
18:04:15.958 -> READY  
18:04:16.474 -> RX:  
18:05:13.890 -> RX: TEST  
18:05:26.265 -> RX: COBA COBA 2  
18:06:40.055 -> RX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
```

The bottom of the image shows the Windows taskbar with the system tray displaying the time as 18:08 on 14/06/2021.

TERIMA TEKS 50 CM

The screenshot shows a terminal window titled 'COM4' with a 'Send' button. It displays a series of received text messages:

```
18:09:39.678 -> READY  
18:09:40.147 -> RX:  
18:11:14.996 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM  
18:11:30.949 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM  
18:12:01.445 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM  
18:12:23.681 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM  
18:12:44.857 -> RX: KIRIM TEKS JARAK 50 CM
```

The bottom of the image shows the Windows taskbar with the system tray displaying the time as 18:12 on 14/06/2021.

QOS 60 CM R

The screenshot shows two windows: Wireshark on the left and a COM4 terminal on the right.

Wireshark Window:

- Title: QOS 60 CM R.pcapng
- Filter: Apply a display filter <-Ctrl-F>
- Table of captured packets:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	1.1.2	host	USB	37	URB_BULK in
2	0.000124	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
3	12.703004	1.1.2	host	USB	41	URB_BULK in
4	12.703132	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
5	95.593004	1.1.2	host	USB	59	URB_BULK in
6	95.593135	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in
7	95.649018	1.1.2	host	USB	58	URB_BULK in
8	95.649143	host	1.1.2	USB	27	URB_BULK in

- Packet 7 details: Frame 7: 58 bytes on wire (464 bits), 58 bytes captured (464 bits) on interface wireshark_ext... USB URB. Leftover Capture Data: 54656b6e696b20556e69766572736974617320486173616e756464696e0a0a
- Packet 7 hex dump:

```

0000 1b 00 40 4d d8 c1 ff ff ff 00 00 00 00 00 00 00 00  @!.....
0010 01 01 00 01 00 82 03 1f 00 00 00 54 65 6b 6e 69  ....Tekni
0020 6b 20 55 6e 69 76 65 72 73 69 74 61 73 20 48 61  k Univer sitas Ha
0030 73 61 6e 75 64 64 69 6e 0d 0a
    
```

COM4 Terminal Window:

```

18:25:30.314 -> READY
18:25:30.769 -> RX:
18:26:40.915 -> RX: TEST
18:26:53.572 -> RX: UJI COBA
18:28:16.487 -> RX: Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
    
```

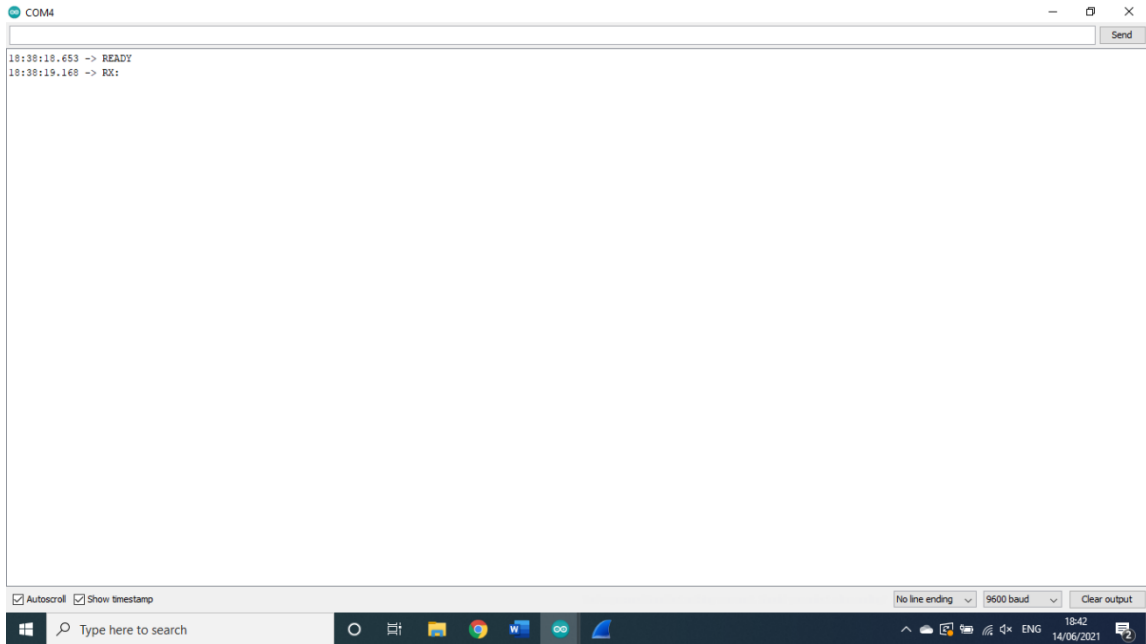
TERIMA TEKS 63 CM

The screenshot shows a COM4 terminal window with the following serial data:

```

18:53:07.623 -> READY
18:53:08.092 -> RX:
18:54:36.985 -> RX: □□□□
18:54:37.969 -> RX: □
18:54:38.570 -> RX: □
18:54:39.094 -> RX: □
18:54:42.985 -> RX: □□□□□□□□
18:54:43.781 -> RX: □□
18:55:29.071 -> RX: □
18:55:29.600 -> RX: □
18:55:30.750 -> RX: □
18:55:31.274 -> RX: □
18:55:31.790 -> RX: □
18:55:32.259 -> RX: □
18:55:32.774 -> RX: □
18:55:33.290 -> RX: □
18:55:33.750 -> RX: □
18:55:34.274 -> RX: □
18:55:34.791 -> RX: □
18:55:35.259 -> RX: □
18:56:10.900 -> RX: CDB0C
18:56:20.182 -> RX: CDB0K 63DCC
18:56:46.689 -> RX: KIMIM TEKM JARAI 63 CI
18:57:23.981 -> RX: DIRIF MEKH ED#JAK 63 CC
    
```


KIRIM TEKS JARAK 65 CM



TERIMA TEKS 70 CM

