



**ANALISIS PARAMETER PERFORMANSI *QoS* PADA SISTEM  
KOMUNIKASI OPTIK RUANG BEBAS “TWO SITES”  
MENGUNAKAN METODE EKSPERIMEN**

**SKRIPSI**

diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Strata Satu Teknik Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik  
Universitas Jember

**Oleh:**

**Jessica Sidauruk  
NIM. 101910201081**

**PROGRAM STUDI STRATA 1  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2015**



**ANALISIS PARAMETER PERFORMANSI *QoS* PADA SISTEM  
KOMUNIKASI OPTIK RUANG BEBAS “*TWO SITES*”  
MENGUNAKAN METODE EKSPERIMEN**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh :

**Jessica Sidauruk  
101910201081**

**PROGRAM STUDI STRATA 1  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Tuhan atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah tertulis (skripsi) ini yang berjudul “Analisis Parameter Performansi *Qos* Pada Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas “*Two Sites*” Menggunakan Metode Eksperimen” serta merupakan gerbang awal untuk mencapai kesuksesan yang sebenarnya.

Untuk itu saya ingin mempersembahkan karya tulis (skripsi) ini kepada :

1. Bapakku Torop Sidauruk, S.Pd dan mamaku Ester Francisca Sitohang, S.Pd yang terkasih;
2. Kakaku Eka Debora Sidauruk, Adikku Yuli Septinsi Sidauruk dan Vando Sidauruk yang tersayang;
3. Guru-guruku dari Sekolah Dasar sampai Sekolah Menengah Atas dan Dosen – Dosenku di Universitas Jember;
4. Dosen Pembimbing Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T dan Ibu Ike Fibriani, S.T., M.T. atas bimbingan dan nasehatnya
5. Tim Futsal Universitas Jember, OJAN, FFC, JFCI, dan Matador FC yang memberi warna dihidupku, pengalaman yang luar biasa, dan penghilang galau tugas akhir;
6. Keluarga Besar Teknik Elektro 2010 yang selalu kompak dan saling mendukung serta memotivasi;
7. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;

## MOTTO

“Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman TUHAN, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan.”

(Yeremia 29:11)

“Bekerjalah bagaikan tak butuh uang. Mencintailah bagaikan tak pernah disakiti. Menarilah bagaikan tak seorang pun sedang menonton.” (Mark Twain)

The world suffers a lot. Not because of the violence of bad people, but because of the silence of good people (Napoleon)

Serahkanlah segala kekuatiranmu kepada-Nya, sebab Ia yang memelihara kamu (1 petrus 5:7)

Anda tidak bisa mengubah orang lain, Anda harus menjadi perubahan yang Anda harapkan dari orang lain (Mahatma Gandhi)

Sing Penting Wani Disek. #SPWD  
(Elektro 2010)

Pemenang berkata “ini memang tidak mudah, tapi bisa dilakukan “  
(Jessica Sidauruk)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jessica Sidauruk

NIM : 101910201081

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Parameter Performansi  $Q_{os}$  Pada Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas “*Two Sites*” Menggunakan Metode Eksperimen” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isi sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 25 Februari 2015  
Yang menyatakan

Jessica Sidauruk  
NIM 101910201081

**SKRIPSI**

**ANALISIS PARAMETER PERFORMANSI *QoS* PADA SISTEM  
KOMUNIKASI OPTIK RUANG BEBAS “*TWO SITES*” MENGGUNAKAN  
METODE EKSPERIMEN**

Oleh

Jessica Sidauruk  
NIM 101910201081

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Bambang Supeno, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ike Fibriani, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Parameter Performansi *Qos* Pada Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas “*Two Sites*” Menggunakan Metode Eksperimen” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal 25 Februari 2015

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Bambang Supeno, S.T., M.T.  
NIP 19690630 199512 1 001

Ike Fibriani, S.T., M.T.  
NRP 760011391

Penguji I,

Penguji II,

Catur Suko Sarwono, S.T  
NIP 1968119 199702 1 001

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.  
NIP 19840531 200812 1 004

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik,

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 19610414 198902 1 001

## Analisis Parameter Performansi QoS pada Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas “Two Sites” Menggunakan Metode Eksperimen

**Jessica Sidauruk**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

### ABSTRAK

Sistem *free space optic* (FSO) merupakan sistem yang memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media transmisi. Panjang gelombang yang digunakan adalah daerah *infrared* sehingga dapat menyesuaikan dengan perangkat optik yang digunakan untuk jaringan serat. Teknologi ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya *Bandwidth* yang sangat besar sehingga dapat memenuhi kebutuhan data *rate* yang tinggi dan tidak memerlukan perizinan penggunaan frekuensi. Akan tetapi, propagasi gelombang optik melalui udara mengalami fluktuasi amplitude dan fasa karena turbukensi atmosfer dan tetap ada dalam kondisi cuaca cerah. Komunikasi yang diharapkan adalah adanya keberhasilan dari transmitter ke receiver. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa performansi komunikasi ruang bebas *two sites* dengan menggunakan metode eksperimen terhadap parameternya yaitu: *Bit Error Rate (BER)* dan *throughput*. Pada penelitian sebelumnya hanya membahas besar *throughput* tanpa menggunakan tudung. Hasil *throughput* pada penelitian tersebut tidak beraturan, sehingga penelitian ini dilanjutkan dengan menganalisis hasil *throughput* dan *bit error rates* menggunakan lensa cembung dan teropong hitam. Dari hasil pengujian dan analisa nilai *Bit Error Rate* berbanding terbalik dengan besar *throughput*, semakin besar persentase *Bit Error Rate* semakin kecil tingkat keberhasilan penerima data (besar *throughput*).

Kata Kunci : Komunikasi optik ruang bebas, *Infrared*, *Bit Error Rate*, *Throughput*

*Performance analysis of QoS parameters on Free Space Optical Communication Systems “Two Sites” Using Experimental Methods*

**Jessica Sidauruk**

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
Universitas Jember*

*System free space optical (FSO) is a system that utilizes the frequency of light as a transmission medium. The wavelength used is the infrared region so as to adjust the optical device used for fiber networks. This technology has several advantages including a very large bandwidth so as to meet the needs of high data rate and does not require a licensing frequency. However, the propagation of optical waves through the air fluctuating amplitude and phase as turbukensi atmosphere and remain in good weather conditions. Expected communication is the success of the transmitter to the receiver. In this study will be carried out free-space communication performance analysis of two sites by using the experimental method to the parameters are: Bit Error Rate (BER) and throughput. In a previous study discusses only large throughput without the use of a hood. Throughput results in the study of irregular, so this study was followed by analyzing the results of throughput and bit error rates using a convex lens and black binoculars. From the test results and analysis of the value of Bit Error Rate inversely with large throughput, greater persertase Bit Error Rate smaller success rate of data recipient (large throughput).*

*Keywords: Free Space Optical Communication (FSO), Infrared, Bit Error Rate, Throughput*

## RINGKASAN

**Analisis Parameter Performansi QoS pada Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas “Two Sites” Menggunakan Metode Eksperimen;** Jessica Sidauruk; 101910201081, 2015; 124 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sistem komunikasi *optical wireless* menawarkan beberapa kelebihan. Diantaranya adalah kapasitas yang sangat besar, lebih murah dibandingkan sistem *wireless* dengan *radio frequency*, dan karena menggunakan frekuensi cahaya, serta tidak perlu perizinan penggunaan frekuensi. Karena kelebihan tersebut, sistem ini sangat cocok untuk jaringan komunikasi privat (Haryadi,2004). Daya tarik lain yang dimiliki oleh sistem komunikasi optik adalah kemampuannya untuk bekerja seperti pada sistem komunikasi terestrial yaitu mampu melintasi daerah perbukitan, sungai, lembah, lintasan kereta api juga jalanan yang sangat padat karena banyaknya gedung/bangunan tanpa harus melakukan penggalian kabel seperti pada sistem transmisi konvensional yang memakai kabel atau serat optik. Keuntungan terbesar yang dapat diambil dari sistem *optical wireless* adalah *beam* yang sangat tipis yang dapat digunakan. Beberapa vendor memanfaatkan hal ini dan menggunakan *beam* yang lebar untuk memastikan cukup sinyal yang diterima di *receiver*, bahkan ketika *pointing transceiver* menyimpang. Tantangan terbesar dari sistem *optical wireless* adalah atenuasi/redaman cuaca.

Sistem *free space optic* (FSO) merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi masalah ini. Sistem ini memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media transmisi. Panjang gelombang yang digunakan adalah daerah *infrared* sehingga dapat menyesuaikan dengan perangkat optik yang digunakan untuk jaringan serat. Teknologi ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya *bandwidth* yang sangat besar sehingga dapat memenuhi kebutuhan data *rate* yang tinggi dan tidak memerlukan perizinan penggunaan frekuensi. Akan

tetapi, propagasi gelombang optik melalui udara mengalami fluktuasi *amplitude* dan fasa karena turbulensi atmosfer yang juga dikenal dengan *scintillation* (sintilasi) dan tetap ada dalam kondisi cuaca cerah. Turbulensi atmosfer dapat menyebabkan sintilasi yang mengakibatkan peningkatan *bit error rate* (BER) (Juma'inah,2012). Komunikasi yang diharapkan adalah adanya keberhasilan dari *transmitter* ke *receiver*. *Transmitter* akan mengirim data dan *receiver* siap menerima data yang dikirim, jika terjadi kesalahan dalam proses pengiriman maka nilai *bit error rates* (BER) dapat diperoleh. Keunggulan-keunggulan yang dimiliki sistem komunikasi ini diantaranya adalah bebas terhadap *interferensi* gelombang elektromagnetik, keamanannya yang tinggi, dimensi perangkat yang lebih kecil dan ringan, disamping *bandwidth*-nya yang lebar dan kecepatannya yang tinggi.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa performansi komunikasi ruang bebas *two sites* dengan menggunakan metode eksperimen terhadap parameternya yaitu: *Bit Error Rates* (BER) dan *throughput*. Jumlah *Bit Error* (kesalahan *bit*) adalah jumlah *bit* yang diterima dari aliran data melalui jalur komunikasi yang telah berubah karena gangguan derau (*noise*), *interferensi*, atau kesalahan sinkronisasi *bit*. Kemudian *throughput* bertujuan untuk mengetahui kecepatan pengiriman dan penerimaan data yang dapat dilakukan antara antena *receiver* dan *transmitter* pada sistem komunikasi ruang bebas. Dari hasil pengujian dan analisa nilai *Bit Error Rate* berbanding terbalik dengan besar *throughput*, semakin besar persentase *Bit Error Rate* semakin kecil tingkat keberhasilan penerima data (besar *throughput*).

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah tertulis (skripsi) ini yang berjudul “Analisis Parameter Performansi *Qos* Pada Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas “*Two Sites*” Menggunakan Metode Eksperimen”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

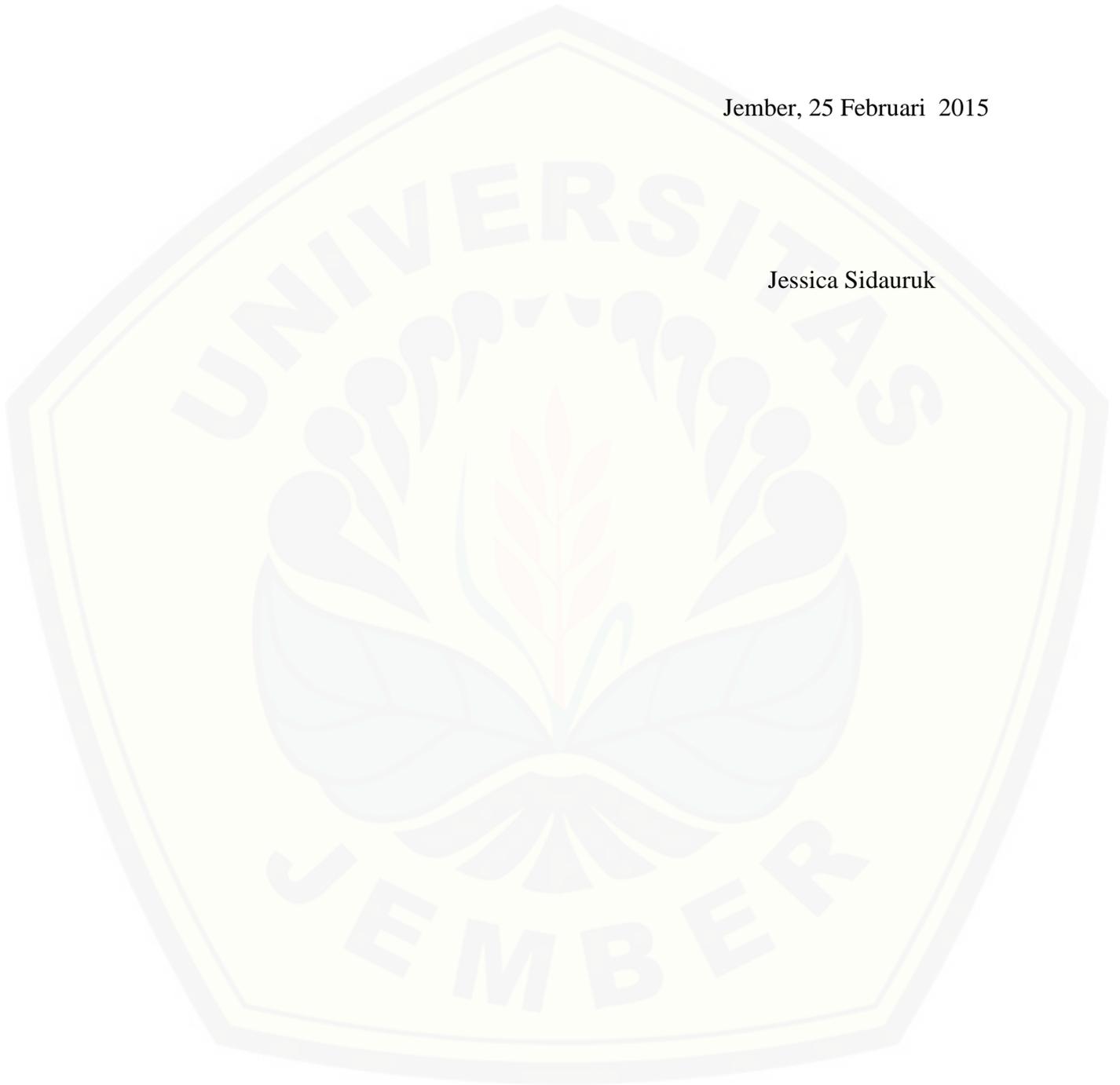
1. Tuhan Yesus atas berkat, pertolongan, dan karuniaNya yang tidak berkesudahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Bapakku Torop Sidauruk, S.Pd dan Mamaku Ester Francisca Sitohang, S.Pd tercinta, yang selalu membantu moril dan material, mendoakan, menginspirasi, serta mendidik yang tak pernah lelah. Saya mencintai kalian luar biasa;
3. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Bambang Supeno, S.T, M.T selaku Dosen pembimbing Utama yang sabar dan Ibu Ike Fibriani, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, serta perhatian yang tak henti untuk membantu menyelesaikan tugas akhir ini;
5. Bapak Catur Suko sarwono, S.T. dan Bapak Dodi Setiabudi, S.T., M.T. selaku tim penguji tugas akhir yang meluangkan waktu dan pikirannya dalam mengarahkan tugas akhir menjasi lebih baik;
6. Bapak Dr. Triwahju, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, dan bimbingan selama menjalani kegiatan akademik;
7. Dosen – dosen Teknik Elektro Universitas Jember, yang telah memberikan saya ilmu dan didikannya sampai saya mendapat gelar Sarjana;

8. Kakaku Eka Debora Sidauruk yang selalu mendoakan, memotivasi, memberikan dukungn dan bantuannya. Adik-adikku Yuli Septinsi Sidauruk dan Vando Sidauruk, yang selalu mendoakan dan memberi semangat;
9. OJAN (Ogta, Ave, Novita) serta Mat (Angga) terimakasih atas doa, motivasi, waktu, pengalaman – pengalaman yang tak terlupakan, bantuan dan kerjasamanya sampai aku bisa menyelesaikan tugas akhir ini, aku sayang kalian;
10. Tim Futsal Universitas Jember, JFCI, FFC dan Matador FC, terkhusus Firma, Winda, Fia, Iik, Tyara, Felomenaria, Indro, Lussy, Jaenuri, Risa, para Couch dan semua yang tak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas pelajaran, pengalaman, waktu, doa, bantuan dan motivasinya, kalian penghilang kegalauan juga sumber canda tawaku dan ingatlah aku dikala kalian bertanding nanti;
11. Alexander Surbakti yang telah mendampingi, mendoakan, meluangkan waktu dan pikiran, dan selalu memotivasiku selalu;
12. Teman seperjuangan yaitu Tito, Wayan, Vicky, Nurdin, Dwipa, Udin, Husin, Riddik, Alfian, Rian bay, Wian, Marsandi, dan seluruhnya yang telah membantuku, terimakasih telah membantu dari awal sampai akhir;
13. NHKBP dan HORAS, terimakasih atas doa, dukungan, dan telah menjadi penawar rindu akan kampung halaman;
14. Perkumpulan Anak Teknik Elektro (PATEK) UJ 2010, aku bangga menjadi bagian dari kalian. “Sing Penting Wani Disek”
15. Keluarga Besar Fakultas Teknik Elektro yang selalu membantu dalam hal akademik maupun non akademik. “Dulur Saklawase”
16. Teman-teman kost Kalimantan X/18 yaitu Dewi, Ita, Mbak Dayu, Amel, Pak Kost, dan seluruh penghuninya, terimakasih waktu, doa, semangat, dan canda tawa kalian, serta terimakasih telah menjadi tempatku berlindung dan menjadi teman berjuang diperantauan
17. Semua Pihak yang telah banyak membantu penulisan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, saya bangga mengenal kalian;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 25 Februari 2015

Jessica Sidauruk



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xx
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat</b> .....	3
<b>1.6 Sistematika Penulisan</b> .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSATAKA</b> .....	5
<b>2.1 Sistem Komunikasi</b> .....	5
2.1.1 Prinsip Kerja Komunikasi .....	6
<b>2.2 Analisa Performansi</b> .....	6
2.2.1 Parameter Performasi .....	7
2.2.2 Teknik – teknik Performansi .....	12

<b>2.3 Throughput</b> .....	13
2.3.1 <i>Throughput</i> Maksimum .....	14
2.3.2 Faktor yang mempengaruhi <i>Throughput</i> .....	16
<b>2.4 Gelombang Elektromagnetik</b> .....	19
<b>2.5 Inframerah</b> .....	22
2.5.1 Kegunaan Inframerah .....	23
2.5.2 Kelebihan dan kekurangan inframerah dalam pengiriman data .....	25
<b>2.6 Photodioda</b> .....	25
<b>2.7 Lensa Cembung</b> .....	28
<b>2.8 Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas</b> .....	29
2.8.1 Keuntungan dan kekurangan Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas .....	33
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	35
<b>3.1 Tahap Penelitian</b> .....	35
<b>3.2 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	39
3.2.1 Tempat Penelitian .....	39
3.2.2 Waktu Penelitian .....	39
<b>3.3 Hardware yang Dipakai</b> .....	39
3.3.1 Spesifikasi <i>Eksternal SPC Infrared Transceiver</i> .....	40
3.3.2 Spesifikasi <i>Internal Synchronous Serial SPC Infrared</i> .....	41
3.3.3 Spesifikasi <i>Internal UART SPC Infrared Tranceiver</i> .....	42
<b>3.4 Software yang Digunakan</b> .....	43
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	47
<b>4.1 Pengujian Komunikasi Optik Ruang Bebas <i>Two Sites</i></b> .....	47
<b>4.2 Proses Pengujian</b> .....	50
<b>4.3 Pengujian Hasil Komunikasi Optik Ruang Bebas</b> .....	52

4.3.1 Pengujian Besar <i>Throughput</i> .....	52
4.3.2 Pengujian <i>Bit Error Rates</i> (BER) .....	62
<b>4.4 Analisis Hasil Pengujian</b> .....	69
4.4.1 Analisis <i>Throughput</i> dan <i>Bit Error Rates</i> (BER) .....	69
4.4.2 Hubungan Antara <i>Throughput</i> dan <i>Bit Error Rates</i> (BER) .....	77
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	78
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran .....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	81
<b>LAMPIRAN</b> .....	83

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Jitter</i> .....	8
Tabel 2.2 <i>Loss Packet</i> .....	10
Tabel 4.1 Pengujian Dalam Jarak 1 Meter .....	53
Tabel 4.2 Pengujian pada Jarak 6 Meter .....	54
Tabel 4.3 Pengujian pada jarak 20 meter .....	55
Tabel 4.4 Besar Rata – Rata <i>Throughput</i> Keseluruhan Data .....	56
Tabel 4.5 Pengujian pada Jarak 1 Meter .....	57
Tabel 4.6 Pengujian pada jarak 4 Meter .....	58
Tabel 4.7 Pengujian pada Jarak 20 Meter .....	59
Tabel 4.8 Rata-rata <i>Throughput</i> dari Keseluruhan Data .....	60
Tabel 4.9 Data BER pada Jarak 16 Meter .....	62
Tabel 4.10 Total Nilai BER dalam 20 kali Pengambilan Data .....	63
Tabel 4.11 BER pada Jarak 20 Meter .....	65
Tabel 4.12 Rata-rata BER dalam 20 kali Pengambilan Data .....	65

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sistem Komunikasi .....	6
Gambar 2.2 Ilustrasi komponen <i>Delay</i> .....	8
Gambar 2.3 Spektrum Gelombang Elektromagnetik .....	21
Gambar 2.4 Inframerah .....	22
Gambar 2.5 Photodiode .....	26
Gambar 2.6 Pembiasan Cahaya Lensa Cembung .....	29
Gambar 2.7 Konsep Transisi dari Komunikasi serat optik ke Komunikasi Optik Ruangbebas .....	31
Gambar 2.8 Contoh Jaringan WLAN menggunakan <i>Optical wireless</i> <i>system</i> .....	32
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> alur penelitian .....	35
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> alur Pengambilan Data .....	36
Gambar 3.3 Diagram Blok Pemancar sistem KORUB .....	37
Gambar 3.4 Blok Diagram Penerima Sistem KORUB .....	38
Gambar 3.5 SPC <i>Infrared Tranceiver</i> .....	40
Gambar 3.6 <i>Screenshot</i> Jumlah Byte yang Dikirimkan .....	43
Gambar 3.7 <i>Screenshot</i> Bentuk Dta yang Dikirimkan <i>Software TestIR</i> .....	44
Gambar 3.8 Bentuk Data yang Diterima <i>Software Serial Receiving</i> .....	45
Gambar 3.9 <i>Source Code</i> Program <i>Timer</i> .....	45
Gambar 3.10 <i>Source Code</i> Program Tombol <i>Stop</i> .....	46
Gambar 4.1 Modul <i>Infrared Tranceiver</i> .....	47
Gambar 4.2 Software Pengirim Data .....	48
Gambar 4.3 Software Penerima Data .....	49
Gambar 4.4 Kabel USB <i>to Serial Adaptor</i> (a) dan Kabel Konektor (b) .....	49
Gambar 4.5 Blok Diagram Transfer Data .....	50

Gambar 4.6 Hasil Pengujian Data pada <i>Software</i> Penerima .....	51
Gambar 4.7 Pengujian Ketika Modul Sudah didalam Lensa .....	52
Gambar 4.8 Kurva Besar Rata-rata <i>Throughput</i> .....	56
Gambar 4.9 Kurva Rta-rata Besar <i>Throughput</i> .....	61
Gambar 4.10 perbandingan Grafik <i>Throughput</i> Siang Hari dan Malam Hari .	61
Gambar 4.11 Grafik BER malam Hari .....	64
Gambar 4.12 Grafik BER Siang Hari .....	66
Gambar 4.13 Kurva Perbandingan BER Siang dan Malam Hari .....	67
Gambar 4.14 Data Error .....	68
Gambar 4.15 Besarnya Intensitas Hujan pada Daerah Tropis .....	71
Gambar 4.16 Spektrum Elektromagnetik .....	73
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan BER dan <i>Throughput</i> Malam dan Siang Hari .....	76

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
I. Data Throughput .....	83
II. Data Bit Error Rates (BER) .....	111
III. Rata-rata Throughput .....	121
IV. Grafik Perbandingan Throughput Siang dan Malam Hari .....	123
V. Grafik Perbandingan BER Siang dan Malam Hari .....	123
VI. Rata-rata Bit Error Rates (BER) .....	124
VII. Grafik BER dan Throughput Siang dan Malam Hari .....	126

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang Masalah

Pada tahap awal perkembangan teknologi komunikasi, media transmisi yang paling umum digunakan adalah kabel tembaga. Namun karena kawat tembaga adalah *fixed line* (tidak *mobile*) dan *bandwidth* yang sempit (sekitar 4kHz) kemudian diganti oleh komunikasi *wireless* menggunakan *frequency*. Sistem *wireless*, sebagai salah satu alternatifnya, memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media transmisi. Daerah panjang gelombang yang digunakan adalah pada daerah *infrared* sehingga dapat menyesuaikan dengan perangkat optik yang dikembangkan untuk fiber dengan harga yang murah. Sistem tersebut disebut sistem komunikasi *optical wireless*. Sistem komunikasi *optical wireless* menawarkan beberapa kelebihan. Diantaranya adalah kapasitas yang sangat besar, lebih murah dibandingkan sistem *wireless* dengan *radio frequency*, dan karena menggunakan frekuensi cahaya, serta tidak perlu perizinan penggunaan frekuensi. Karena kelebihan tersebut, sistem ini sangat cocok untuk jaringan komunikasi privat (Haryadi:2004).

Daya tarik lain yang dimiliki oleh sistem komunikasi optik adalah kemampuannya untuk bekerja seperti pada sistem komunikasi terestrial yaitu mampu melintasi daerah perbukitan, sungai, lembah, lintasan kereta api juga jalanan yang sangat padat karena banyaknya gedung/bangunan tanpa harus melakukan penggalian kabel seperti pada sistem transmisi konvensional yang memakai kabel atau serat optik. Keuntungan terbesar yang dapat diambil dari sistem *optical wireless* adalah *beam* yang sangat tipis yang dapat digunakan. Beberapa vendor memanfaatkan hal ini dan menggunakan *beam* yang lebar untuk memastikan cukup sinyal yang diterima di *receiver*, bahkan ketika *pointing transceiver* menyimpang. Tantangan terbesar dari sistem *optical wireless* adalah atenuasi/redaman cuaca.

Sistem *free space optic* (FSO) merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi masalah ini. Sistem ini memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai

media transmisi. Panjang gelombang yang digunakan adalah daerah *infrared* sehingga dapat menyesuaikan dengan perangkat optik yang digunakan untuk jaringan serat. Teknologi ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya *bandwidth* yang sangat besar sehingga dapat memenuhi kebutuhan data *rate* yang tinggi dan tidak memerlukan perizinan menggunakan frekuensi. Akan tetapi, propagasi gelombang optik melalui udara mengalami fluktuasi *amplitude* dan fasa karena turbulensi atmosfer yang juga dikenal dengan *scintillation* (sintilasi) dan tetap ada dalam kondisi cuaca cerah. Turbulensi atmosfer dapat menyebabkan sintilasi yang mengakibatkan peningkatan *bit error rate* (BER) (Juma'inah,2012). Komunikasi yang diharapkan adalah adanya keberhasilan dari *transmitter* ke *receiver*. *Transmitter* akan mengirim data dan *receiver* siap menerima data yang dikirim, jika terjadi kesalahan dalam proses pengiriman maka nilai *bit error rates* (BER) dapat diperoleh. Keunggulan-keunggulan yang dimiliki sistem komunikasi ini diantaranya adalah bebas terhadap *interferensi* gelombang elektromagnetik, keamanannya yang tinggi, dimensi perangkat yang lebih kecil dan ringan, disamping *bandwidth*-nya yang lebar dan kecepatannya yang tinggi.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa performansi komunikasi ruang bebas *two sites* dengan menggunakan metode eksperimen terhadap parameternya yaitu: *Bit Error Rates* (BER) dan *throughput*. Jumlah *Bit Error* (kesalahan *bit*) adalah jumlah *bit* yang diterima dari aliran data melalui jalur komunikasi yang telah berubah karena gangguan derau (*noise*), *interferensi*, atau kesalahan sinkronisasi *bit*. Kemudian *throughput* bertujuan untuk mengetahui kecepatan pengiriman dan penerimaan data yang dapat dilakukan antara *receiver* dan *transmitter* pada sistem komunikasi ruang bebas. Sehingga kedepannya sistem komunikasi ini dapat lebih dimanfaatkan untuk dapat mengatasi permasalahan telekomunikasi yang ada saat ini. Pada penelitian sebelumnya hanya menghitung besar nilai *throughput* saja tanpa penutup atau tudung, sehingga peneliti menyarankan agar mengembangkan penelitian dengan menggunakan tudung dengan tujuan melindungi berkas cahaya

inframerah dalam pengiriman sinyal informasi dari sinar matahari. Nilai *throughput* pada penelitian sebelumnya masih tidak konstan atau acak. Sehingga pengembangan penelitian ini menggunakan teropong atau tudung gelap dengan lensa cembung. Lingkup kajian pada penelitian ini dibatasi pada sistem transmisi data dari *transmitter* dan *receiver*, perbandingan hasil parameter *throughput* dan *bit error rates* (BER) pada siang dan malam, dan analisis hasil *throughput* terhadap besar *bit error rates* (BER).

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisis performansi *Bit Error Rates* (BER) pada komunikasi optik ruang bebas *two sites* ?
2. Bagaimana mendapatkan besar nilai *throughput* yang dihasilkan antena *receiver* pada komunikasi optik ruang bebas *two sites* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah dalam skripsi ini tidak terlalu melebar maka perlu dibatasi oleh hal-hal berikut:

1. Teknologi yang diteliti merupakan sistem komunikasi optik ruang bebas
2. Penelitian hanya membahas parameter *Bit Error Rates* (BER) dan *throughput* pada hasil pengujian
3. Hanya membahas komunikasi ruang bebas dengan menggunakan lensa

## 1.4 Tujuan

1. Menganalisis performansi *Bit Error Rates* (BER) pada komunikasi optik ruang bebas *two sites*
2. Menganalisis besar nilai *throughput* yang dihasilkan oleh *receiver* pada komunikasi optik ruang bebas

## 1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan Skripsi dengan topik ini adalah:

1. Menjadi acuan dan masukan tentang solusi yang dapat diterapkan untuk menganalisis nilai *Bit Error Rates* (BER) dan *throughput* pada komunikasi optik ruang bebas *two sites*
2. Mengatasi persentase kesalahan hasil data pengiriman dengan menggunakan teknologi optik ruang bebas yang dihasilkan oleh *receiver*

### **1.6 Sistematika Pembahasan**

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

#### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Berisi tentang latarbelakang, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika pembahasan

#### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan masalah komunikasi optik ruang bebas dan perhitungan performansi *Bit Error Rates* (BER)

#### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

#### **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

#### **BAB 5. PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran penulis

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Komunikasi

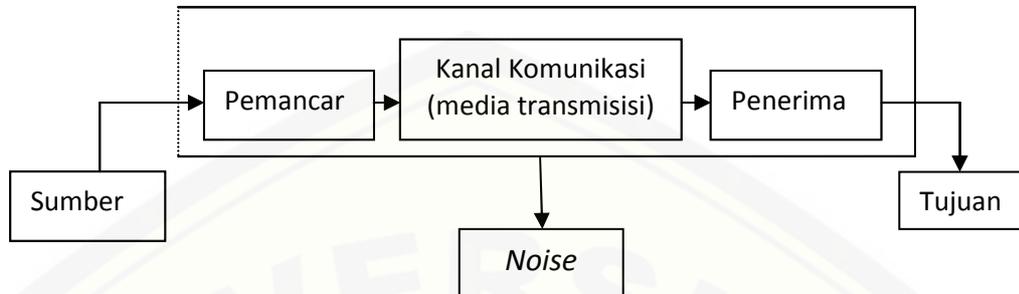
Komunikasi secara umum dapat diartikan sebagai hubungan atau pertukaran informasi. Informasi sendiri sebagai suatu yang akan disampaikan dapat berupa data, berita ataupun pesan yang dilambangkan dalam bentuk simbol/tanda, tulisan, gambar ataupun suara. Oleh karena itu dalam komunikasi ada tiga bagian pokok, yaitu sumber informasi sebagai pengirim; media transmisi sebagai pembawa informasi; dan tempat tujuan informasi sebagai penerima informasi. Sistem komunikasi meliputi seluruh elemen atau unsur baik infrastruktur telekomunikasi, perangkat telekomunikasi, sarana dan prasarana telekomunikasi, maupun penyelenggara telekomunikasi, sehingga telekomunikasi jarak jauh dapat dilakukan.

Proses komunikasi pada sistem komunikasi dapat dilakukan satu arah maupun dua arah tergantung dari perangkat dan teknologi yang digunakan.

1. *Simplex* (Komunikasi satu arah), dalam komunikasi ini, pengirim dan penerima informasi tidak dapat menjalani komunikasi yang berkesinambungan melalui media yang sama. Contohnya: *Pager*, televisi, dan radio.
2. *Half Duplex* (Komunikasi dua arah secara bergantian), dalam komunikasi ini, pengirim dan penerima informasi berkomunikasi secara bergantian namun tetap berkesinambungan. Contohnya: *Facimile, Chat Room, Handy Talkie*.
3. *Full Duplex* (Komunikasi dua arah secara bersamaan), dalam komunikasi ini pengirim dan penerima informasi dapat menjalain komunikasi yang berkesinambungan melalui media yang sama. Contohnya: Telepon dan VOIP.

### 2.1.1 Prinsip Kerja Komunikasi

Pada prinsipnya sebuah komunikasi melalui tahapan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Sistem Telekomunikasi  
(Sumber : Komunikasi dan jaringan nirkabel.william.2007)

1. Proses komunikasi diawali dengan sebuah pesan atau informasi yang harus dikirimkan dari individu/perangkat satu ke perangkat lain.
2. Pesan/informasi tersebut selanjutnya dikonversi ke dalam bentuk biner atau bit yang selanjutnya bit tersebut di-*encode* menjadi sinyal. Proses ini terjadi pada perangkat *encoder*.
3. Sinyal tersebut kemudian oleh *transmitter* dikirimkan/dipancarkan melalui media yang telah dipilih.
4. Dibutuhkan media transmisi (radio, optik, *coaxial*, tembaga) yang baik agar gangguan selama di saluran dapat dikurangi.
5. Selanjutnya sinyal tersebut diterima oleh stasiun penerima.
6. Sinyal tersebut di-*decode* ke dalam format *biner* atau *bit* yang selanjutnya diubah ke dalam pesan/informasi asli agar dapat dibaca/didengar oleh perangkat penerima.

### 2.2 Analisa Performansi

Pemodelan analisa performansi diawali oleh Erlang pada tahun 1917, yaitu mempelajari jaringan telepon *circuit switched* yang menentukan berapa banyak operator untuk menjaga *blocking* panggilan pada level yang *reasonable*. Kemudian Kleinrock pada tahun 60'an, mempelajari jaringan

data pada internet, yaitu parameter performansi *delay* pada Arpanet. Dan Candy Sauer, mempelajari performansi strategi *time sharing*.

Analisa performansi jaringan didefinisikan sebagai suatu proses untuk menentukan hubungan antara 3 konsep utama, yaitu sumber daya (*resources*), penundaan (*delay*) dan daya kerja (*throughput*). Obyektifitas analisa kinerja mencakup analisa sumber daya dan analisa daya kerja. Nilai keduanya ini kemudian digabung untuk dapat menentukan kinerja yang masih dapat ditangani oleh sistem.

Analisa performansi pada jaringan komputer membicarakan sifat dasar dan karakteristik aliran data, yaitu efisiensi daya kerja, penundaan dan parameter lainnya yang diukur untuk dapat mengetahui suatu pesan diproses di jaringan dan dikirim lengkap sesuai fungsinya. Analisa performansi jaringan komputer dapat didefinisikan sebagai penelitian kuantitatif yang terus menerus terhadap suatu jaringan komunikasi dalam urutan kerja yang tetap berada dalam fungsinya agar :

- a. Dapat menyempurnakan level layanan pemeliharaan.
- b. Dapat mengenali potensi kemacetan.
- c. Dapat mendukung pengendalian operasional jaringan, administrasi dan merencanakan kapasitas

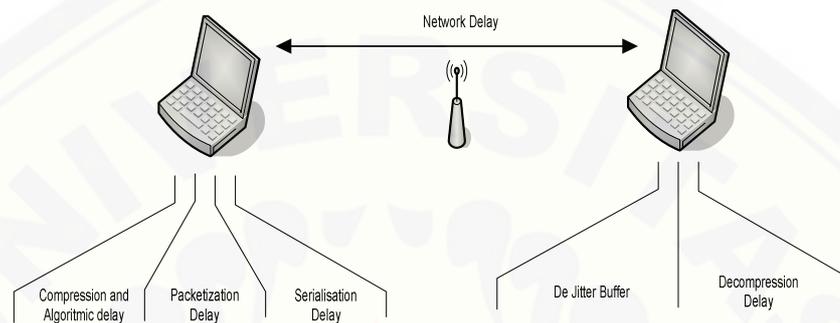
Administrasi jaringan membantu langkah analisa kinerja dalam usaha mengevaluasi kemampuan layanan pada konfigurasi tertentu. Selanjutnya akan mendefinisikan indikator kinerja yang penting, merekomendasikan prosedur pelaporan kinerja dan menentukan antarmuka manajemen basis data.

### 2.2.1 Parameter Performansi

Parameter-parameter performansi komunikasi optik ruang bebas adalah sebagai berikut:

#### 1. *Delay*

*Delay* adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari terminal sumber sampai terminal tujuan. Kualitas suara akan sangat tergantung dari waktu *delay*. ITU merekomendasikan untuk aplikasi suara, *delay* maksimum adalah 150 ms, sedangkan *delay* maksimum dengan kualitas suara yang masih dapat diterima oleh pengguna adalah 250 ms.



Gambar 2.2 Ilustrasi Komponen *delay*

(Sumber : Analisis QoS pada jaringan internet.Patrya,dkk.2012)

## 2. *Jitter*

*Jitter* merupakan variasi *delay* yang terjadi akibat adanya selisih waktu atau interval antar kedatangan paket di penerima. Untuk mengatasi *jitter* maka paket data yang datang dikumpulkan dulu dalam *jitter buffer* selama waktu yang telah ditentukan sampai paket dapat diterima pada sisi penerima dengan urutan yang benar.

Tabel 2.1 *Jitter*

KATEGORI DEGRADASI	PEAK JITTER
Sangat bagus	0 ms
Bagus	0 s/d 75 ms
Sedang	76 s/d 125 ms
Jelek	125 s/d 225 ms

(Sumber : Patrya,dkk:2012)

### 3. *Throughput*

*Throughput* adalah tingkat rata – rata pengiriman pesan *sukses* melalui saluran komunikasi. Data ini dapat disampaikan melalui *link* fisik atau logis, atau melewati tertentu simpul jaringan . *Throughput* biasanya diukur dalam *bit* per detik (*bit per second* atau bps), dan kadang-kadang dalam paket data per detik atau data paket per slot waktu.

### 4. *Blocking Probabilitas*

- a. ***Call Drop Rate***, Dalam telekomunikasi, CDR (*Call Drop Rate*) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas jaringan dengan mengukur banyaknya peristiwa *dropped calls* yang terjadi saat panggilan sedang berlangsung. Sebuah upaya panggilan (*Call Attempt*) akan memanggil prosedur *call setup*, dan jika berhasil, hasilnya panggilan akan terhubung. Tetapi dalam beberapa kasus, panggilan yang sudah terhubung tersebut terputus tiba-tiba sebelum kita atau pihak lain mengakhiri panggilan yang disebabkan oleh alasan - alasan teknis. Hal seperti ini dikenal sebagai *dropped call*.

Perhitungan CDR menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$\text{CDR \%} = \frac{\text{Dropped Calls}}{\text{Call Attempt}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

(Sumber : Juma' inah:2012)

- b. ***Loss packet***, *Loss packet* timbul ketika terjadi *peak load* dan *congestion* (kemacetan transmisi paket akibat padatnya *traffic* yang harus dilayani) dalam batas waktu tertentu, maka *frame* (gabungan data *payload* dan *header* yang di transmisikan) suara akan dibuang sebagaimana perlakuan terhadap *frame* data lainnya pada jaringan berbasis IP. Salah satu alternatif solusi permasalahan di atas adalah membangun *link* antar *node* pada jaringan.

Tabel 2.2 *Loss packet*

KATEGORI DEGRADASI	PACKET LOSS
Sangat bagus	0
Bagus	3 %
Sedang	15 %
Jelek	25 %

(Sumber : Patrya,dkk:2012)

- c. **Bit Error Rates (BER)**, merupakan sejumlah *bit* digital bernilai tinggi pada jaringan transmisi yang ditafsirkan sebagai keadaan rendah atau sebaliknya, kemudian dibagi dengan sejumlah *bit* yang diterima atau dikirim atau diproses selama beberapa periode yang telah ditetapkan. Jumlah *bit error* (kesalahan *bit*) adalah jumlah *bit* yang diterima dari suatu aliran data melalui jalur komunikasi yang telah berubah karena gangguan derau (*noise*), *interferensi*, *distorsi*, atau kesalahan sinkronisasi *bit*.

$$\text{Bit Error Rates} = \frac{\text{Number of Error}}{\text{Total Number of bits sent}} \dots\dots\dots (2.2)$$

(Sumber : Analisa performansi OFDMA sistem FSO.Juma' inah.2012)

Sebagai contoh, diasumsikan berikut ini urutan *bit* yang ditransmisikan:

0 1 1 0 0 0 1 0 1 1, dan pada alat penerima akan menterjemahkan urutan *bit* sebagai berikut: 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1, Maka BER pada kasus ini ada 3 kesalahan penafsiran *bit* (yang digaris bawah) kemudian sebagai nilai BER yang dihasilkan adalah nilai kesalahan ini dibagi dengan sejumlah *bit* yang kirim yaitu 10 *bit*, sehingga didapatkan 0.3 atau 30%. Perhitungan nilai BER sistem dipengaruhi oleh nilai  $E_b/N_o$ .  $E_b/N_o$  adalah suatu parameter yang berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk

menentukan laju data digital dan mutu standar kinerja sistem digital. Dari namanya,  $E_b/N_o$  dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise*.

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right) = SNR_{sistem} + 10 \log \frac{B_{sistem}}{R} \dots\dots\dots (2.3)$$

(Sumber : Juma'inah:2012)

dengan,

$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$  = rasio energi bit terhadap *noise* sistem (dB)

SNR = *signal to noise ratio* sistem (dB)

$B_{sistem}$  = *bandwidth* sistem (Hz)

R = laju data total (bps)

N = jumlah *subcarrier*

- 1) SNR (*Signal to Noise Ratio*), adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. SNR dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan:

$$SNR = P_r - N_o \dots\dots\dots (2.4)$$

(Sumber : Juma'inah:2012)

dengan,

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

$P_r$  = daya yang diterima oleh *receiver* (dBm)

$N_o$  = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

- 2) *Bandwidth*, merupakan lebar cakupan frekuensi yang digunakan oleh sinyal OFDMA (*Orthogonal Frequency Division multiple Access*) dalam media transmisi Untuk

menghitung nilai *bandwidth* sistem dari sejumlah *subcarrier* dapat digunakan Persamaan:

$$B_{sistem} = \frac{R(2(1-\alpha_{cp})+N-1)}{(1-\alpha_{cp})N\log_2 M} \dots\dots\dots (2.5)$$

(Sumber : Juma'inah:2012)

dengan,

$B_{sistem}$  = *bandwidth* sistem (Hz)

R = laju data total (bps)

M = jumlah kemungkinan sinyal

N = jumlah *subcarrier*

$\alpha_{cp}$  = faktor *cyclic prefix*

### 2.2.2 Teknik-teknik Performansi

Teknik dasar untuk analisa performansi adalah :

- a. Pengukuran, mengumpulkan data eksperimen dari *prototype* atau sistem eksisting.

Kelebihan :

- 1) Akurasi tinggi
- 2) Mencakup detail
- 3) *High saleability*

Kelemahan :

- 1) Harus punya peralatan
- 2) Sulit untuk mempertimbangkan semua kasus / nilai parameter
- 3) Diperlukan jumlah data yang besar yang harus disimpan
- 4) Perlu usaha untuk analisa statistik
- 5) Sulit untuk menentukan sensitivitas dan melakukan reproduksi

- b. Simulasi, melakukan eksperimen pada model komputer dari suatu sistem, dalam penelitian ini menggunakan *software*.

Kelebihan:

- 1) Memungkinkan detail dapat dicakup
- 2) Dapat membandingkan alternatif desain sistem
- 3) Dapat mengendalikan skala waktu

Kelemahan:

- 1) Sulit untuk menganalisis hasil
- 2) Sulit untuk mempertimbangkan semua nilai parameter
- 3) Perlu usaha untuk validasi model dan analisa data *output*
- 4) Perlu waktu untuk mengembangkan dan mengeksekusi simulasi

c. Analisa, teknik penganalisaan dari sistem yang ada.

Kelebihan:

- 1) Aplikasi untuk semua tingkat dari sitem
- 2) Cepat
- 3) Memungkinkan *tradeoffs* dan sensitivitas untuk dipelajari

Kelemahan:

- 1) Mungkin mencakup aproksimasi
- 2) Abstraksi detail
- 3) Perlu waktu untuk mengembangkan model

### 2.3 *Throughput*

*Throughput* adalah tingkat rata – rata pengiriman pesan *sukses* melalui saluran komunikasi. Data ini dapat disampaikan melalui *link* fisik atau logis, atau melewati tertentu simpul jaringan. *Throughput* biasanya diukur dalam *bit* per detik (bit / s atau bps), dan kadang-kadang dalam paket dataper detik atau data paket per slot waktu .

*Throughput* sistem atau *agregat throughput* adalah jumlah dari kecepatan data yang dikirim ke semua terminal dalam jaringan. *Throughput* dapat dianalisis secara matematis dengan cara teori antrian, di mana beban dalam paket per satuan waktu dinotasikan kedatangan  $\lambda$  rate, dan *throughput* paket per satuan waktu dinotasikan keberangkatan  $\mu$  tingkat. *Throughput* adalah pada dasarnya identik dengan konsumsi *bandwidth digital*.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Paket diterima}}{\text{Total waktu pengiriman}} \dots\dots\dots (2.6)$$

(sumber : Ikawati,dkk:2011)

### 2.3.1 *Throughput* Maksimum

Pengguna perangkat telekomunikasi, sistem desainer, dan peneliti dalam teori komunikasi sering tertarik untuk mengetahui kinerja yang diharapkan dari sebuah sistem. Maksimum *throughput* dasarnya identik dengan kapasitas *bandwidth* digital.

Membandingkan nilai *throughput* juga tergantung pada setiap *bit* membawa jumlah informasi yang sama. Kompresi data dapat perhitungan *throughput* yang signifikan miring, termasuk nilai-nilai menghasilkan lebih dari 100%. Jika komunikasi dimediasi oleh beberapa link secara seri dengan harga sedikit berbeda, *throughput* maksimum dari keseluruhan *link* yang lebih rendah atau sama dengan *bit rate* terendah. *Link* nilai terendah dalam seri ini disebut sebagai hambatan .

#### 1. *Throughput* teoritis maksimum

Jumlah ini terkait erat dengan kapasitas saluran dari sistem, dan kemungkinan jumlah maksimum data yang dapat dikirim dalam keadaan yang ideal. Dalam beberapa kasus nomor ini dilaporkan sebagai sama dengan kapasitas saluran, meskipun hal ini bisa menipu, karena hanya sistem *non-packetized (asynchronous)* teknologi dapat mencapai hal ini tanpa kompresi data. *Throughput* teoritis maksimum lebih akurat dilaporkan mengambil ke dalam format *account* dan spesifikasi atas dengan asumsi kasus terbaik. Jumlah ini, seperti istilah yang terkait erat “*throughput* yang dicapai maksimum” di bawah, terutama digunakan sebagai nilai yang dihitung kasar, seperti untuk menentukan batas pada kinerja mungkin awal dalam tahap desain sistem.

#### 2. *Throughput* puncak yang diukur

Nilai-nilai di atas adalah nilai-nilai teoritis atau dihitung. *Throughput* puncak yang diukur adalah *throughput* yang diukur dengan nyata, sistem yang diterapkan, atau sistem simulasi. Nilai adalah *throughput* diukur selama periode waktu yang singkat; matematis, ini adalah batas diambil sehubungan dengan *throughput* mendekati waktu nol. Istilah ini bersinonim dengan "*throughput* yang sesaat". Jumlah ini berguna untuk sistem yang bergantung pada transmisi data meledak, namun, untuk sistem dengan tinggi siklus ini cenderung menjadi ukuran yang berguna kinerja sistem.

### 3. *Throughput* maksimum yang berkelanjutan

Nilai ini adalah *throughput* rata-rata atau terintegrasi selama waktu yang lama (kadang-kadang dianggap tak terhingga). Untuk jaringan siklus tinggi ini mungkin menjadi indikator yang paling akurat dari kinerja sistem. *Throughput* maksimum didefinisikan sebagai *Throughput* yang asimtotik ketika beban (jumlah data masuk) sangat besar. Dalam *packet switched* sistem dimana beban dan *throughput* selalu sama (di mana *packet loss* tidak terjadi), *throughput* maksimum dapat didefinisikan sebagai beban minimum dalam bit/s yang menyebabkan waktu pengiriman (*latency*) menjadi tidak stabil dan meningkatkan menuju tak terhingga. Nilai ini juga dapat digunakan menipu dalam kaitannya dengan puncak *throughput* yang diukur untuk menyembunyikan *packet shaping*.

### 2.3.2 Faktor yang Mempengaruhi *Throughput*

*Throughput* sistem komunikasi akan dibatasi oleh sejumlah besar faktor. Beberapa di antaranya dijelaskan di bawah ini:

#### 1. Keterbatasan Analog

*Throughput* dicapai maksimum (kapasitas saluran) dipengaruhi oleh *bandwidth* dalam hertz dan rasio *signal-to-noise* dari medium fisik

analog. Meskipun kesederhanaan konseptual informasi digital, semua sinyal listrik bepergian melalui kabel yang analog. Keterbatasan analog kabel atau sistem nirkabel pasti memberikan batas atas jumlah informasi yang dapat dikirim. Persamaan yang dominan di sini adalah teorema Shannon-Hartley, dan keterbatasan analog jenis ini dapat dipahami sebagai faktor yang mempengaruhi baik *bandwidth* analog sinyal atau sebagai faktor yang mempengaruhi sinyal untuk rasio kebisingan. Perlu dicatat bahwa *bandwidth* sistem kabel dapat pada kenyataannya mengejutkan sempit, dengan *bandwidth* kawat *Ethernet* terbatas pada sekitar 1 GHz, dan PCB jejak dibatasi oleh jumlah yang sama.

Sistem digital mengacu pada 'frekuensi lutut', (jumlah waktu untuk tegangan digital meningkat dari 10% dari nominal digital '0' untuk nominal digital '1' atau sebaliknya). Frekuensi lutut berkaitan dengan *bandwidth* yang dibutuhkan dari sebuah saluran, dan dapat berhubungan dengan 3 db *bandwidth* dari suatu sistem dengan persamaan:

$$F_{3dB} \approx K/T_r \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$T_r$  adalah 10% sampai 90% *rise time*,

K adalah konstanta proporsionalitas yang terkait dengan bentuk pulsa, sama dengan 0,35 untuk kenaikan eksponensial, dan 0,338 untuk Gaussian meningkat.

- a. Kerugian RC: kabel memiliki ketahanan yang melekat, dan melekat kapasitansi bila diukur sehubungan dengan tanah. Hal ini menyebabkan efek yang disebut kapasitansi parasit, menyebabkan semua kabel dan kabel untuk bertindak sebagai *filterlowpass RC*.
- b. Efek kulit : Sebagai frekuensi meningkat, muatan listrik bermigrasi ke tepi kawat atau kabel. Hal ini mengurangi luas penampang efektif yang tersedia untuk membawa arus,

meningkatkan ketahanan dan mengurangi sinyal untuk rasio kebisingan. Untuk AWG 24 kawat (dari jenis yang biasa ditemukan di Cat 5e kabel), frekuensi efek kulit menjadi dominan atas resistivitas yang melekat pada kawat pada 100 kHz. Pada 1 GHz resistivitas telah meningkat menjadi 0,1 *ohm / inch*.

- c. Pemutusan dan dering: Untuk kabel panjang (kabel lebih lama dari 1/6 panjang gelombang dapat dianggap lama) harus dimodelkan sebagai jalur transmisi dan mengambil terminasi ke rekening. Kecuali ini dilakukan, sinyal yang dipantulkan akan melakukan perjalanan bolak-balik melintasi kawat, positif atau negatif mengganggu sinyal pembawa informasi.
- d. Efek Saluran *Wireless* : Untuk sistem nirkabel, semua efek yang berhubungan dengan batas transmisi nirkabel SNR dan *bandwidth* dari sinyal yang diterima, dan oleh karena itu jumlah maksimum *bit* yang dapat dikirim.

## 2. IC pertimbangan *hardware*

Sistem komputasi memiliki kekuatan pemrosesan yang terbatas, dan dapat mendorong arus terbatas. Terbatas kemampuan *drive* saat ini dapat membatasi sinyal yang efektif untuk rasio kebisingan untuk tinggi kapasitas *link*. Beban data besar yang memerlukan pengolahan memberlakukan persyaratan pengolahan data pada perangkat keras (seperti *router*). Sebagai contoh, sebuah *gateway router* mendukung penduduk *subnet* kelas B, penanganan 10 x 100 Mbit / s *Ethernet* saluran, harus memeriksa 16 *bit* alamat untuk menentukan port tujuan untuk setiap paket. Ini berarti 81.913 paket per detik (dengan asumsi *payload* data maksimum per paket) dengan tabel  $2^{16}$  alamat ini memerlukan *router* untuk dapat melakukan 536800000 operasi pencarian per detik. Dalam skenario kasus buruk, di mana muatan dari setiap paket *Ethernet* dikurangi menjadi 100 *byte*, ini jumlah operasi per

detik untuk melompat 520 milyar. *Router* ini akan memerlukan pengolahan inti *multi-teraflop* untuk dapat menangani beban seperti itu.

- a. CSMA / CD dan CSMA / CA "*backoff*" menunggu waktu dan bingkai transmisi ulang setelah terdeteksi tabrakan. Hal ini dapat terjadi dalam jaringan bus Ethernet dan jaringan hub, serta dalam jaringan nirkabel.
- b. Kontrol aliran, misalnya dalam *Transmission Control Protocol*(TCP), mempengaruhi *throughput* jika perkalian *bandwidth-delay* lebih besar daripada jendela TCP, yaitu ukuran *buffer*. Dalam hal komputer pengirim harus menunggu pengakuan dari paket data sebelum dapat mengirim paket lagi.
- c. TCP menghindari kemacetan mengontrol *data rate*. Jadi yang disebut "*slow start*" terjadi pada awal *transfer file*, dan setelah paket turun disebabkan oleh kemacetan *router* atau sedikit kesalahan dalam misalnya *link*

### 3. Pertimbangan *multi-user*

Memastikan bahwa beberapa pengguna harmonis dapat berbagi *link* komunikasi tunggal memerlukan beberapa jenis pembagian yang adil dari *link*. Jika leher botol *link* komunikasi yang menawarkan *data rate R* dibagi oleh "N" pengguna aktif (dengan setidaknya satu paket data dalam antrian), setiap pengguna biasanya mencapai *throughput* sekitar  $R/N$ , jika antrian wajar - upaya terbaik komunikasi diasumsikan.

- a. *Packet loss* akibat kemacetan jaringan. Paket mungkin jatuh di *switch* dan *router* ketika antrian paket penuh karena kongesti.
- b. *Packet loss* karena sedikit kesalahan .
- c. Penjadwalan algoritma di *router* dan *switch*. Jika antrian yang adil tidak diberikan, pengguna yang mengirim paket besar akan mendapatkan *bandwidth* yang lebih tinggi. Beberapa pengguna mungkin diprioritaskan dalam antrian wajar tertimbang (WFQ)

algoritma jika dibedakan atau jaminan kualitas layanan (QoS) disediakan.

Dalam beberapa sistem komunikasi, seperti jaringan satelit, hanya sejumlah terbatas saluran mungkin tersedia untuk pengguna tertentu pada waktu tertentu. Saluran ditugaskan baik melalui *preassignment* atau melalui Permintaan Ditugaskan *Multiple Access* (DAMA). Dalam kasus ini, *throughput* terkuantisasi per saluran, dan kapasitas yang tidak terpakai pada saluran sebagian dimanfaatkan akan hilang.

#### 2.4 Gelombang elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walau tidak ada medium. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terjadi akibat interaksi atau perpaduan antara medan magnet dan medan listrik. Medan magnet dan medan listrik merambat saling tegak lurus. Ciri-ciri gelombang elektromagnetik adalah :

1. Tidak membutuhkan medium dalam perambatannya
2. Merambat menurut garis lurus
3. Tidak menyimpang dalam medan magnet dan medan listrik
4. Merambat kesegala arah dengan kecepatan yang sama
5. Merupakan gelombang transversal, karena simpangannya tegak lurus arah rambatnya
6. Mengalami pemantulan (refleksi)
7. Mengalami pembiasan (refraksi)
8. Mengalami perpaduan (interferensi)
9. Mengalami lenturan (difraksi)
10. Mengalami pengkutuban (polarisasi)

Spektrum merupakan ragam dari tentang panjang dari suatu gelombang radiasi. Spektrum gelombang elektromagnetik adalah ragam gelombang elektromagnetik yang dikategorikan berdasarkan rentang frekuensinya. Spektrum gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh transisi electron

yaitu ketika suatu electron berpindah dari orbit satu ke orbit lainnya. Jenis – jenis spektrum gelombang elektromagnetik ada 7 macam. Jenis tersebut dikategorikan berdasarkan besar frekuensi gelombangnya. Jika diurutkan yang paling besar ke yang paling kecil adalah sebagai berikut :

1. Gelombang Radio

Gelombang ini memiliki panjang sekitar  $10^3\text{m}$  dengan frekuensi sekitar  $10^4$  Hertz. Sumber gelombang ini berasal dari rangkaian osilator elektronik yang bergetar. Rangkaian osilator tersebut terdiri dari komponen resistor, inductor, dan kapasitor. Spektrum gelombang radio ini dimanfaatkan manusia untuk teknologi radio, televise, dan telepon.

2. Gelombang Mikro

Gelombang ini memiliki panjang sekitar  $10^{-2}\text{m}$  dengan frekuensi sekitar  $10^8$  Hertz. Salah satu contoh penggunaan gelombang mikro yaitu pada oven microwave yang berupa efek panas untuk memasak. Gelombang mikro mudah diserap oleh suatu benda dan juga menimbulkan efek pemanasan pada benda tersebut. Selain itu, gelombang mikro juga dapat digunakan untuk mesin radar.

3. Gelombang Inframerah

Gelombang ini memiliki panjang sekitar  $10^{-5}\text{m}$  dengan frekuensi sekitar  $10^{12}$  Hertz. Gelombang ini dihasilkan ketika molekul electron bergetar karena panas, contohnya tubuh manusia dan bara api. Manfaat kegunaan lain yaitu untuk remote TV dan transfer data di ponsel.

4. Gelombang Cahaya Tampak

Spektrum ini berupa cahaya yang dapat ditangkap langsung oleh mata manusia. Gelombang ini memiliki panjang  $0.5 \times 10^{-6}\text{m}$  dengan frekuensi  $10^{15}$  Hertz. Gelombang ini terdiri dari 7 macam yang disebut warna yang jika diurutkan dari yang paling besar frekuensinya adalah merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu.

5. Gelombang Ultra Violet

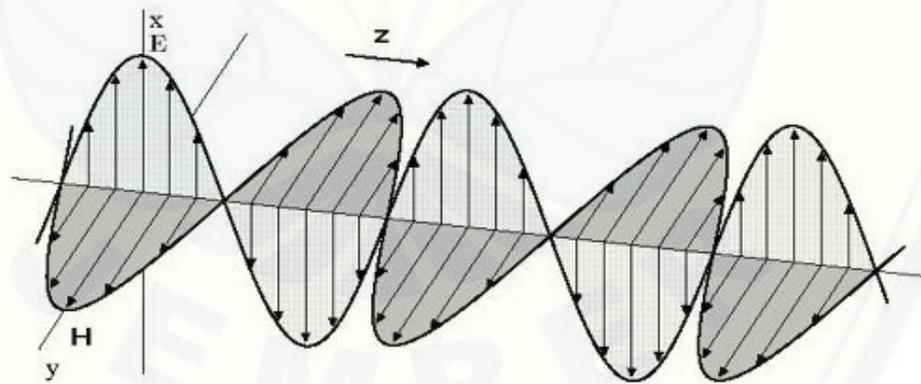
Gelombang UV memiliki panjang  $10^{-8}$ m dengan frekuensi  $10^{16}$ Hertz. Gelombang ini berasal dari matahari dan fungsi UV dapat bermanfaat dan berbahaya bagi manusia. Salah satu contoh fungsi sinar UV adalah untuk membedakan uang asli dan uang palsu.

#### 6. Gelombang Sinar X

Gelombang ini memiliki panjang  $10^{-10}$ m dan memiliki frekuensi  $10^{18}$ Hertz. Gelombang ini sering disebut sinar rontgen, karena gelombang ini banyak dimanfaatkan untuk kegiatan rontgen dirumah sakit.

#### 7. Gelombang Sinar Gamma

Gelombang ini memiliki panjang  $10^{-12}$ m dan frekuensi  $10^{20}$ Hertz. Dihasilkan dari peristiwa peluruhan radioaktif atau inti atom yang tidak stabil. Gelombang sinar gamma merupakan gelombang yang memiliki frekuensi paling besar dan serta panjang gelombang terkecil. Sehingga daya tembusnya sangat besar, bahkan bias menembus plat besi. Salah satu fungsi dari sinar gamma yaitu dapat digunakan dalam kedokteran sebagai pembunuh sel kanker dan sterilisasi alat-alat kedokteran.



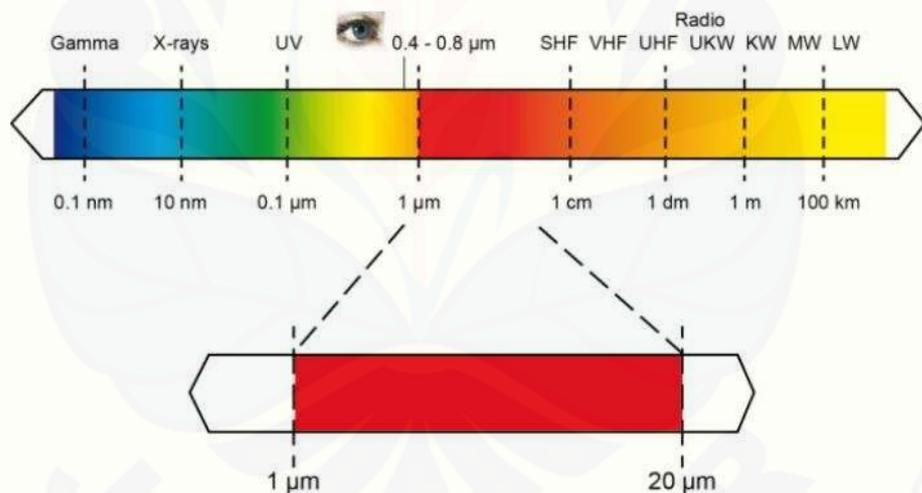
Gambar 2.3 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

(Sumber: Perambatan Gelombang Elektromagnetik, Supriyanto, 2009)

## 2.5 Inframerah

Inframerah adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang lebih dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio. Namanya berarti 'bawah merah' (dari bahasa latin infra, 'bawah'), merah merupakan warna dari cahaya tampak dengan gelombang terpanjang. Radiasi inframerah memiliki jangkauan tiga 'order' dan memiliki panjang gelombang antara 700nm dan 1mm. Karakteristik dari gelombang inframerah adalah sebagai berikut :

1. tidak dapat dilihat oleh manusia
2. tidak dapat menembus materi yang tidak tembus pandang
3. dapat ditimbulkan oleh komponen yang menghasilkan panas
4. Panjang gelombang pada inframerah memiliki hubungan yang berlawanan atau berbanding terbalik dengan suhu. Ketika suhu mengalami kenaikan, maka panjang gelombang mengalami penurunan.



Gambar 2.4 Inframerah

(Sumber: Teknologi pencahayaan.Muhaimin.2001)

Jenis-jenis inframerah berdasarkan panjang gelombangnya adalah sebagai berikut:

1. Inframerah jarak dekat dengan panjang gelombang 0.75 – 1.5 μm
2. Inframerah jarak menengah dengan panjang gelombang 1.50 – 10 μm
3. Inframerah jarak jauh dengan panjang gelombang 10 – 100 μm

### 2.5.1 Kegunaan Inframerah

#### a. Bidang Kesehatan

- 1) Mengaktifkan molekul air dalam tubuh. Hal ini disebabkan karena inframerah mempunyai getaran yang sama dengan molekul air. Sehingga, ketika molekul tersebut pecah maka akan terbentuk molekul tunggal yang dapat meningkatkan cairan tubuh.
- 2) Meningkatkan sirkulasi mikro. Bergetarnya molekul air dan pengaruh inframerah akan menghasilkan panas yang menyebabkan pembuluh kapiler membesar, dan meningkatkan suhu kulit, memperbaiki sirkulasi darah dan mengurangi tekanan jantung.
- 3) Meningkatkan metabolisme tubuh. Jika sirkulasi mikro dalam tubuh meningkat, racun dapat dibuang dari tubuh kita melalui metabolisme. Hal ini dapat mengurangi beban liver dan ginjal.
- 4) Mengembangkan Ph dalam tubuh. Sinar inframerah dapat membersihkan darah, memperbaiki tekstur kulit dan mencegah rematik karena asam urat yang tinggi.
- 5) Inframerah jarak jauh banyak digunakan pada alat-alat kesehatan. Pancaran panas yang berupa pancaran sinar inframerah dari organ-organ tubuh dapat dijadikan sebagai informasi kondisi kesehatan organ tersebut. Hal ini sangat bermanfaat bagi dokter dalam diagnosis kondisi pasien sehingga ia dapat membuat keputusan tindakan yang sesuai dengan kondisi pasien tersebut. Selain itu, pancaran panas dalam intensitas tertentu dipercaya dapat digunakan untuk proses penyembuhan penyakit seperti cacar. Contoh penggunaan inframerah yang menjadi trend saat ini adalah adanya gelang kesehatan. Dengan memanfaatkan inframerah jarak jauh, gelang tersebut dapat berperang dalam pembersihan dalam tubuh dan pembasmian kuman atau bakteri.

#### b. Bidang Komunikasi

- 1) Adanya sistem sensor inframerah. Sistem sensor ini pada dasarnya menggunakan inframerah sebagai media komunikasi yang

menghubungkan antara dua perangkat. Penerapan sistem sensor infra ini sangat bermanfaat sebagai pengendali jarak jauh, alarm keamanan, dan otomatisasi pada sistem. Adapun pemancar pada sistem ini terdiri atas sebuah LED inframerah yang telah dilengkapi dengan rangkaian yang mampu membangkitkan data untuk dikirimkan melalui sinar inframerah, sedangkan pada bagian penerima biasanya terdapat foto transistor, fotodiode, atau modulasi infra merah yang berfungsi untuk menerima sinar inframerah yang dikirimkan oleh pemancar.

- 2) Adanya kamera tembus pandang yang memanfaatkan sinar inframerah. Sinar inframerah memang tidak dapat ditangkap oleh mata telanjang manusia, namun sinar inframerah tersebut dapat ditangkap oleh kamera digital atau video handycam. Dengan adanya suatu teknologi yang berupa filter *iR PF* yang berfungsi sebagai penerus cahaya infra merah, maka kemampuan kamera atau video tersebut menjadi meningkat. Teknologi ini juga telah diaplikasikan ke kamera handphone
- 3) Untuk pencitraan pandangan seperti *nightscoop*
- 4) Inframerah digunakan untuk komunikasi jarak dekat, seperti pada remote TV. Gelombang inframerah itu mudah untuk dibuat, harganya relatif murah, tidak dapat menembus tembok atau benda gelap, serta memiliki fluktuasi daya tinggi dan dapat diinterferensi oleh cahaya matahari.
- 5) Sebagai alat komunikasi pengontrol jarak jauh. Inframerah dapat bekerja dengan jarak yang tidak terlalu jauh (kurang lebih 10 meter dan tidak ada penghalang)
- 6) Sebagai salah satu standardisasi komunikasi tanpa kabel. Jadi, inframerah dapat dikatakan sebagai salah satu konektivitas yang berupa perangkat nirkabel yang digunakan untuk menghubungkan atau transfer data dari suatu perangkat ke perangkat lain. Penggunaan inframerah yang seperti ini dapat kita lihat pada telepon

genggam dan laptop yang memiliki aplikasi inframerah. Ketika kita ingin mengirim berkas ke telepon genggam, maka bagian infra harus dihadapkan dengan modul inframerah pada PC. Selama proses pengiriman berlangsung, tidak boleh ada benda lain yang menghalangi. Fungsi inframerah pada telepon genggam dan laptop dijalankan melalui teknologi IrDA (Infra red Data Acquisition). IrDA dibentuk dengan tujuan untuk mengembangkan sistem komunikasi via inframerah.

### **2.5.2 Kelebihan dan Kekurangan Inframerah dalam pengiriman data**

#### **a. Kelebihan**

- 1) Pengiriman data dengan infra merah dapat dilakukan kapan saja, karena pengiriman dengan inframerah tidak membutuhkan sinyal.
- 2) Pengiriman data dengan infra merah dapat dikatakan mudah karena termasuk alat yang sederhana.
- 3) Pengiriman data dari ponsel tidak memakan biaya (gratis)

#### **b. Kekurangan**

- 1) Pada pengiriman data dengan inframerah, kedua lubang inframerah harus berhadapan satu sama lain. Hal ini agak menyulitkan kita dalam mentransfer data karena caranya yang merepotkan.
- 2) Inframerah sangat berbahaya bagi mata, sehingga jangan sekalipun sorotan inframerah mengenai mata
- 3) Pengiriman data dengan inframerah dapat dikatakan lebih lambat dibandingkan dengan rekannya Bluetooth.

## **2.6 Photodioda**

Photodioda adalah dioda yang bekerja berdasarkan intensitas cahaya, jika photodioda terkena cahaya maka photodioda bekerja seperti dioda pada umumnya. Tetapi jika tidak mendapat cahaya maka photodioda akan berperan seperti resistor dengan nilai tahanan yang besar sehingga arus

listrik tidak dapat mengalir. Photodiode merupakan sensor cahaya semikonduktor yang dapat mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Photodiode merupakan sebuah diode dengan sambungan p-n yang dipengaruhi cahaya dalam kerjanya. Cahaya yang dapat terdeteksi oleh photodiode ini dimulai dari cahaya inframerah, cahaya tampak, ultra violet sampai dengan sinar-X.



Gambar 2.5 Photodiode

(Sumber : Perancangan dan penggunaan photodiode. Johannes Pandiangan.2009)

Prinsip kerjanya adalah ketika sebuah photon (satu satuan energi dalam cahaya) dari sumber cahaya diserap, hal tersebut membangkitkan suatu elektron dan menghasilkan sepasang pembawa muatan tunggal, sebuah elektron dan sebuah hole, di mana suatu hole adalah bagian dari kisi-kisi semikonduktor yang kehilangan elektron. Arah arus yang melalui sebuah semikonduktor adalah kebalikan dengan gerak muatan pembawa. Cara tersebut di dalam sebuah photodiode digunakan untuk mengumpulkan *photon* menyebabkan pembawa muatan mengalir atau terbentuk di bagian-bagian elektroda. Photodiode dibuat dari semikonduktor dengan bahan yang populer adalah silicon ( Si) atau galium arsenida ( GaAs). Ketika sebuah photon (satu satuan energi dalam cahaya) dari sumber cahaya diserap, hal tersebut membangkitkan suatu elektron dan menghasilkan sepasang pembawa muatan tunggal, sebuah elektron dan sebuah hole, di mana suatu

hole adalah bagian dari kisi-kisi semikonduktor yang kehilangan elektron. Arah Arus yang melalui sebuah semikonduktor adalah kebalikan dengan gerak muatan pembawa. Cara tersebut didalam sebuah photodiode digunakan untuk mengumpulkan photon - menyebabkan pembawa muatan (seperti arus atau tegangan) mengalir/terbentuk di bagian-bagian elektroda. Photodiode digunakan sebagai penangkap gelombang cahaya yang dipancarkan oleh Infrared. Besarnya tegangan atau arus listrik yang dihasilkan oleh photodiode tergantung besar kecilnya radiasi yang dipancarkan oleh infrared.

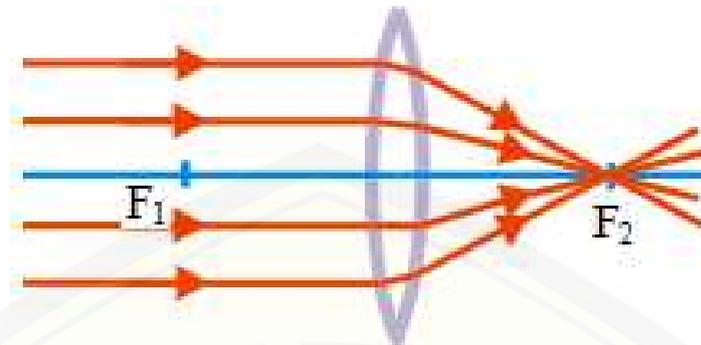
Sebuah photodiode, biasanya mempunyai karakteristik yang lebih baik daripada phototransistor dalam responya terhadap cahaya inframerah. Biasanya photodiode mempunyai respon 100 kali lebih cepat daripada *phototransistor*. Sebuah photodiode biasanya dikemas dengan plastik transparan yang juga berfungsi sebagai lensa fresnel. Lensa ini merupakan lensa cembung yang mempunyai sifat mengumpulkan cahaya. Lensa tersebut juga merupakan filter cahaya, lebih dikenal sebagai *optical filter*, yang hanya melewatkan cahaya inframerah saja. Walaupun demikian cahaya yang nampak pun masih bisa mengganggu kerja dari diode inframerah karena tidak semua cahaya nampak bisa difilter dengan baik. Faktor lain yang juga berpengaruh pada kemampuan penerima inframerah adalah *active area* dan *respond time*.

Semakin besar area penerimaan suatu diode infra merah maka semakin besar pula intensitas cahaya yang dikumpulkannya sehingga arus bocor yang diharapkan pada teknik *reversed bias* semakin besar. Selain itu semakin besar area penerimaan maka sudut penerimaannya juga semakin besar. Kelemahan area penerimaan yang semakin besar ini adalah *noise* yang dihasilkan juga semakin besar pula. Begitu juga dengan respon terhadap frekuensi, semakin besar area penerimaannya maka respon frekuensinya turun dan sebaliknya jika area penerimaannya kecil maka respon terhadap sinyal frekuensi tinggi cukup baik. *Respond time* dari suatu diode inframerah (penerima) mempunyai waktu respon yang biasanya dalam

satuan nano detik. *Respond time* ini mendefinisikan lama agar dioda penerima inframerah merespon cahaya inframerah yang datang pada area penerima. Sebuah dioda penerima inframerah yang baik paling tidak mempunyai *respond time* sebesar 500 nano detik atau kurang. Jika *respond time* terlalu besar maka dioda inframerah ini tidak dapat merespon sinyal cahaya yang dimodulasi dengan sinyal *carrier* frekuensi tinggi dengan baik. Hal ini akan mengakibatkan adanya data *loss*. Filter Optik Filter ini mempunyai dua fungsi yaitu sebagai lensa fresnel dan juga sebagai filter cahaya yang masuk ke area penerimaan dioda inframerah. Biasanya terbuat dari bahan *polycarbonate* berbentuk cembung dan transparan. Filter optikal ini akan membatasi cahaya-cahaya yang tidak diinginkan kecuali cahaya inframerah sehingga tidak mengganggu sinyal cahaya inframerah yang diterima oleh detektor/area penerima. *Current to Voltage Converter* Arus bocor yang dihasilkan oleh detektor photodioda besarnya linier terhadap intensitas cahaya infra merah yang dimasukkan ke dalam area penerimaan. Oleh sebab itu arus ini harus dirubah ke tegangan agar dapat didapatkan sinyalnya kembali.

## 2.7 Lensa Cembung

Lensa cembung bersifat membiaskan cahaya. Lensa cembung memiliki ciri bagian tengah lebih tebal daripada bagian tepi. Sinar-sinar cahaya yang datang sejajar sumbu lensa dibiaskan menuju titik focus. Sinar-sinar itu membentuk bayangan nyata yang dapat diproyeksikan pada layar dan bernilai positif. Pada lensa cembung, sinar dapat datang dari dua arah, sehingga pada lensa terdapat dua titik fokus. Kita tetapkan bagian lensa cembung tempat datangnya sinar sebagai bagian depan, dan bagian lensa cembung tempat sinar dibiaskan sebagai bagian belakang.



Gambar 2.6 pembiasan cahaya lensa cembung

(Sumber : Fisika Teknik.Daryanto.2003)

Titik fokus yang berada di depan lensa cembung disebut titik fokus maya, sedangkan titik fokus yang berada di belakang lensa cembung disebut titik fokus sejati. Kita tetapkan juga bahwa titik fokus tempat sinar – sinar dibiaskan sebagai fokus aktif (diberi lambang  $F_1$ ) dan titik fokus lainnya ditetapkan sebagai fokus pasif (diberi lambang  $F_2$ ). Pada lensa cembung, seperti terlihat pada , sinar – sinar datang yang sejajar sumbu utama dibiaskan menuju satu titik pada sumbu utama yang disebut titik fokus. Karena sinar – sinar yang datang melalui lensa cembung selalu dibiaskan menuju ke satu titik maka lensa cembung disebut lensa konvergen (lensa yang bersifat mengumpulkan). Selain itu, titik fokus tempat berpotongnya sinar – sinar bias selalu berada di bagian belakang lensa cembung maka fokus lensa cembung adalah fokus sejati, sehingga jarak fokus lensa cembung selalu bertanda positif. Oleh karena itu lensa cembung disebut juga lensa positif.

## 2.8 Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas

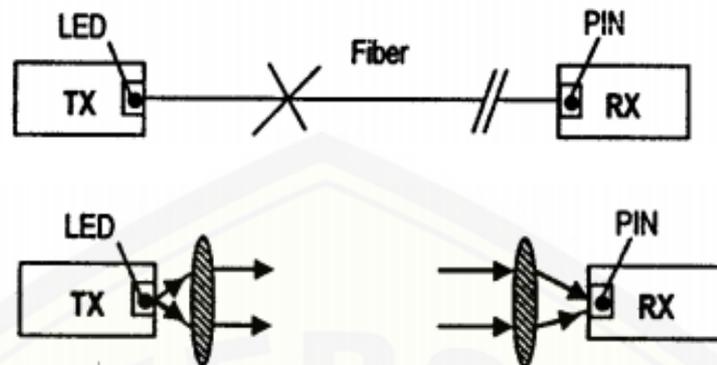
*Free Space Optik* (FSO) merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan sistem komunikasi *wireless* RF, jika kondisi propagasinya memungkinkan, dan bila masalah isu lisensi frekuensi dan masalah interferensi gelombang, membatasi perkembangan RF. Teknologi *optical wireless* memberikan penawaran yang cukup baik. Pada kondisi propagasi yang baik, teknologi ini menawarkan *bandwidth* yang sangat besar yang

bisa mencapai lebih dari 1 Gbps , maka teknologi ini dikembangkan untuk kepentingan kebutuhan data rate yang sangat tinggi. Seperti halnya fiber optik, *optical wireless* juga menawarkan kapasitas data yang sangat besar. Pada tulisan ini akan dikaji beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja sistem *optical wireless*.

Hal-hal tersebut meliputi kajian mengenai jarak transmisi, redaman cuaca, *beam divergence* dan beberapa faktor lainnya. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa :

1. Pengaruh kondisi atmosfer dan besar sudut divergensi transmitter terhadap jarak transmisi sistem komunikasi *wireless optic* adalah besar.
2. Pengaruh panjang gelombang yang digunakan terhadap jarak transmisi sistem komunikasi *wireless optic* juga signifikan namun kondisi atmosfer dan sudut *divergensi* pancaran lebih dominan.
3. *Beam* yang lebih sempit memberikan keuntungan *link margin* yang dapat digunakan untuk mengatasi redaman cuaca yang lebih besar.
4. Jika suatu *tracking system* dapat memberikan toleransi yang lebih besar terhadap perubahan sudut, hal ini mengakibatkan *transceiver* tidak perlu lagi diarahkan secara periodik, sehingga mengurangi biaya perawatan.

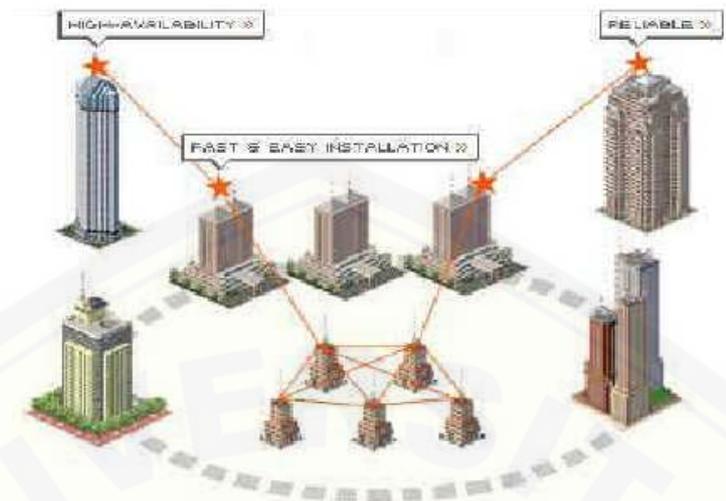
Pada prinsipnya sistem ini mirip dengan sistem komunikasi optik yang memakai serat optik yakni memakai sumber cahaya (laser) pada sisi pemancar dan menggunakan detektor foto pada sisi penerima. Demikian pula modulasi, pengendalian (*driving*), demodulasi dan penguatan pada bagian pemancar (Tx) dan penerima (Rx) dapat dianggap sama dan tidak memerlukan perubahan, yang berbeda adalah pada media transmisinya.



Gambar 2.7 Konsep Transisi dari komunikasi serat *optic* ke komunikasi *optic* ruang bebas

(Sumber : KORUB.Widyanto,2012)

Pada sistem ini antara pemancar dan penerima harus benar-benar pandang lurus (*Line Of Sight, LOS*). Demikian pula berkas cahaya yang terpancar dari pemancar harus sejajar mungkin. Sehingga, sebagian besar berkas dapat diterima oleh antena penerima untuk menghindari kehilangan daya akibat adanya berkas yang tak dapat tertangkap oleh antena penerima. Dengan menerapkan sistem komunikasi ini, dimungkinkan untuk membangun jaringan komunikasi tanpa perlu menarik kabel atau serat *optic*, karena selain kurang efektif juga memerlukan banyak biaya. Salah satu keunggulan aplikasi komunikasi optik ruang bebas adalah berkurangnya kepadatan pemakaian frekuensi radio seiring dengan tersedianya jenis transmisi baru. Sehingga, dapat melayani jasa layanan berkapasitas besar serta berkecepatan tinggi.



Gambar 2.8 Contoh jaringan WLAN menggunakan *optical wireless system*  
(Sumber : *Wireless Optical Communication*, Haryadi, 2004)

Komunikasi Optik Ruang Bebas (KORUB) merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan sistem komunikasi *wireless* RF. Jika kondisi propagasinya memungkinkan, dan bila masalah isu lisensi frekuensi dan masalah interferensi gelombang, membatasi perkembangan RF. Teknologi *optical wireless* memberikan penawaran yang cukup baik. Pada kondisi propagasi yang baik, teknologi ini menawarkan *bandwidth* yang sangat besar yang bisa mencapai lebih dari 1 Gbps, maka teknologi ini dikembangkan untuk kepentingan kebutuhan *data rate* yang sangat tinggi. Seperti halnya fiber optik, *optical wireless* juga menawarkan kapasitas data yang sangat besar. Sistem *wireless*, sebagai salah satu alternatifnya, memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media transmisi. Daerah panjang gelombang yang digunakan adalah pada daerah *infrared* sehingga dapat menyesuaikan dengan perangkat optik yang dikembangkan untuk *fiber* dengan harga yang murah. Sistem tersebut disebut sistem komunikasi *wireless optic*.

Keuntungan terbesar yang dapat diambil dari sistem *optical wireless* adalah *beam* yang sangat tipis yang dapat digunakan. Sebagai hasilnya, redaman lintasan secara virtual dapat diabaikan (10dB). Beberapa *vendor*

memanfaatkan hal ini dan menggunakan *beam* yang lebar untuk memastikan cukup sinyal yang diterima di *receiver*, bahkan ketika *pointing transceiver* menyimpang. Skema ini dapat diterima untuk keperluan *data rate* yang kecil, tetapi menjadi suatu tantangan pada *data rate* yang lebih tinggi. Untuk mengatasi masalah ini dilakukan suatu pendekatan, menggunakan *tracking system* yang akan menjaga penyimpangan arah *pointing* kurang dari 100 $\mu$ rad. Dengan kemampuan seperti itu *beam* dengan lebar dalam kisaran miliradian dapat digunakan.

### 2.8.1 Keuntungan dan Kekurangan Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas

#### a. Keuntungan

- 1) Rugi-Rugi Rendah, Distribusi elektrik sinyal gelombang mikro dengan frekuensi tinggi dalam ruang bebas mengalami rugi-rugi akibat penyerapan, pemantulan, dan memiliki nilai impedansi saluran yang nilainya berbanding lurus dengan frekuensi. Sehingga pengiriman sinyal radio frekuensi tinggi secara elektrik untuk jarak yang jauh membutuhkan peralatan regenerasi. Solusi alternatif untuk masalah ini adalah mendistribusikan sinyal *baseband* atau *Intermediate Frequencies* (IF) dari *Switching Center* (SC) menuju *Base Stations* (BS). Sinyal tersebut kemudian dikonversi untuk memenuhi frekuensi gelombang mikro atau milimeter pada setiap BS, dikuatkan, kemudian diradiasikan. Sistem ini memiliki persyaratan khusus untuk penguat, *repeater*, *equalizers*, serta osilator lokal yang digunakan. Solusi alternatifnya adalah menggunakan serat optik, yang menawarkan rugi-rugi yang lebih rendah. Salah satu jenis serat optik adalah *single mode*. Serat optik *single mode* yang terbuat dari kaca memiliki rugi-rugi di bawah 0.2 dB/km dan 0.5 dB/km pada panjang gelombang 1.5  $\mu$ m dan 1.3  $\mu$ m. Sedangkan serat optik yang terbuat dari polimer memiliki *attenuasi* yang lebih tinggi, antara 10-40 dB/km pada daerah panjang gelombang 500-1300 nm. Rugi-rugi ini lebih rendah daripada

propagasi ruang bebas dan transmisi kabel tembaga untuk gelombang mikro frekuensi tinggi, sehingga jarak transmisi dapat dinaikkan dan mengurangi daya transmisi yang dibutuhkan

- 2) *Bandwidth* yang Lebar, optik memiliki *bandwidth* yang lebih lebar, saat ini *bandwidth* yang dapat disediakan oleh serat optik mencapai 1.6 THz.
- 3) Tahan Terhadap Interferensi Radio Frekuensi, Komunikasi optik memiliki imunitas terhadap interferensi elektromagnetik karena sinyal ditransmisikan dalam bentuk cahaya melalui optik, bukan dalam bentuk gelombang elektromagnetik.
- 4) Instalasi dan Perawatan yang Mudah, RoF menghilangkan kebutuhan akan osilator lokal dan peralatan lain pada *remote stations* (RS) karena peralatan modulasi dan *switching* disimpan di SC.
- 5) Dari sisi mobilitas, *Wireless* lebih mudah digunakan dimana saja tanpa perlu harus mengulur kabel maupun mencari kabel untuk menyambungkan ke jaringan. Cukup cari sinyal lalu koneksikan ke *Access Point* yang diinginkan.

#### **b. Kekurangan**

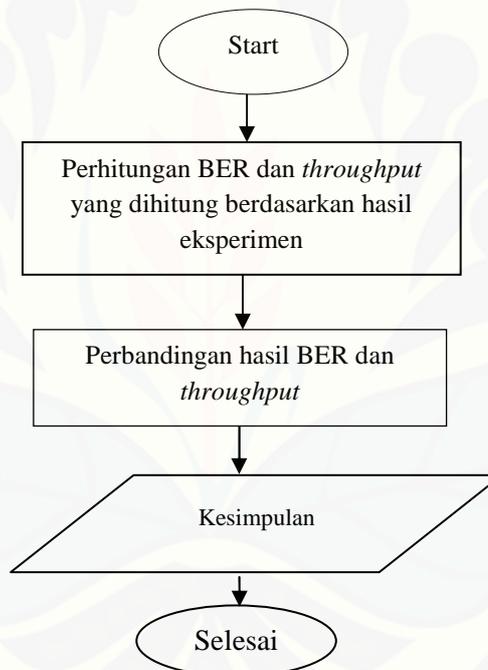
- 1) Mempunyai kelemahan pada sisi penyaluran gelombang ketika terjadi cuaca buruk
- 2) Mudah terkena interferensi gelombang antar pemakai lainnya.
- 3) Sistem keamanannya pun kadang-kadang kurang *secure*.
- 4) Transmisi data sangat kecil dibanding memakai kabel.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

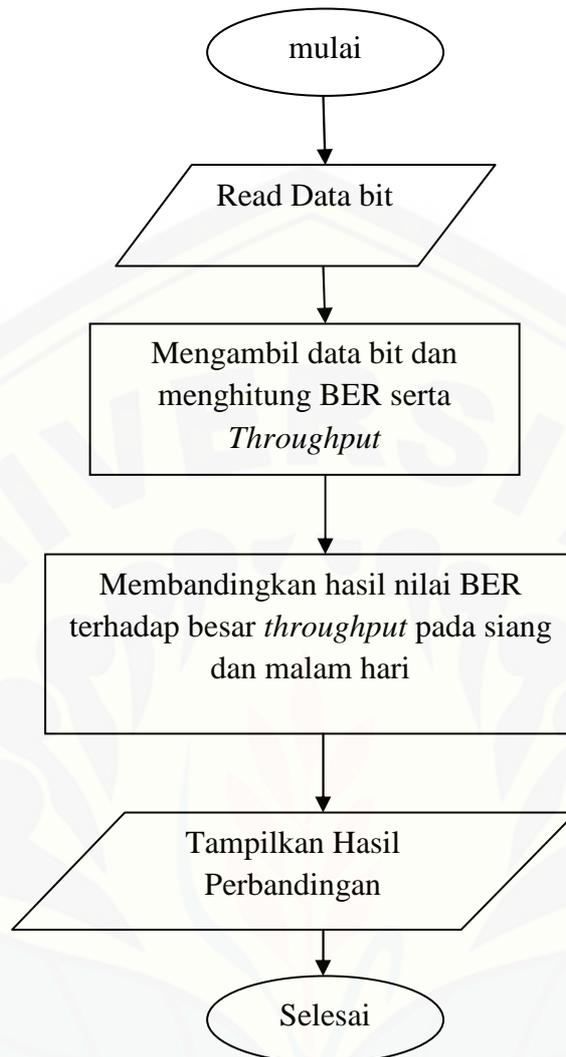
#### 3.1 Tahap Penelitian

Dalam penyusunan laporan ini penulis menggunakan beberapa metode untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan. Adapun metode pengumpulan data yang digunakan adalah:

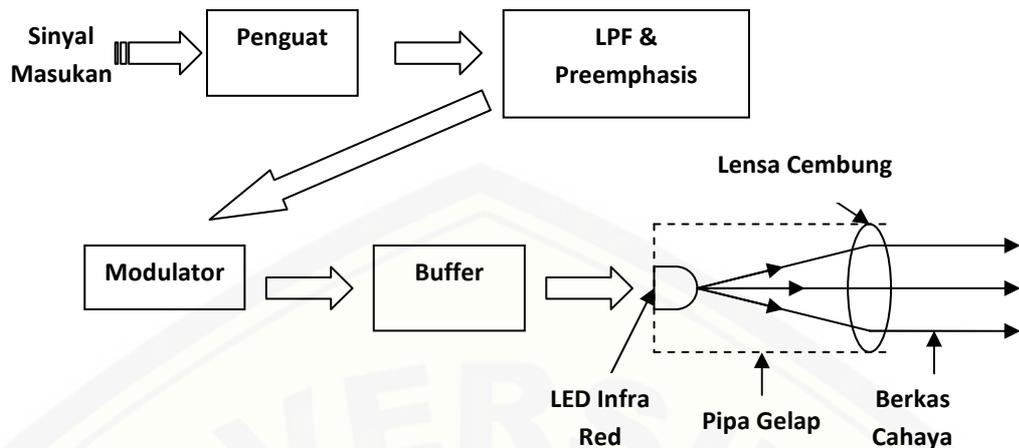
- a. Melakukan pengujian terhadap karakteristik *transmitter* dan *receiver*
- b. Melakukan pengukuran *Bit Error Rates* (BER) dan *throughput*
- c. Melakukan analisis data secara perhitungan dengan performansi *Bit Error Rates* (BER) dan *throughput*



**Gambar 3.1** Flowchart alur penelitian

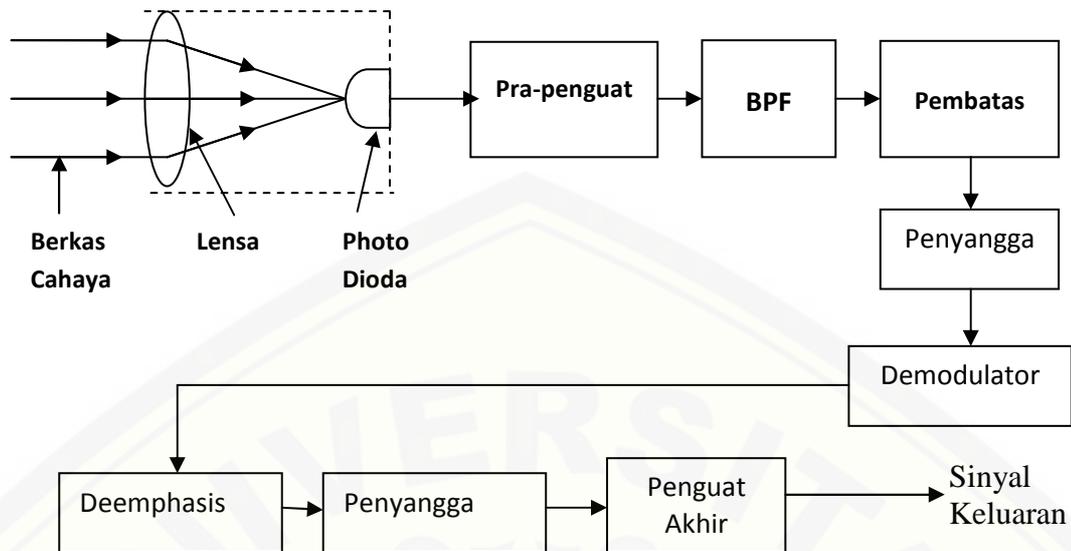


**Gambar 3.2** Flowchart alur pengambilan data



**Gambar 3.3** Diagram blok Pemancar sistem KORUB  
(Sumber : KORUB, Widyanto.2012)

Sinyal masukan (input) akan dikuatkan oleh rangkaian penguat sinyal, yang selanjutnya akan dilewatkan ke rangkaian tapis lulus bawah (Low Pass Filter) yang bertujuan agar hanya sinyal informasi saja yang akan diteruskan ke rangkaian berikutnya. Sinyal keluaran filter dilewatkan ke rangkaian pre-emphasis, yang selanjutnya oleh rangkaian modulator FM akan dimodulasi. Keluaran modulator FM dilewatkan pada rangkaian penyangga yang kemudian akan dipergunakan untuk memodulasi intensitas cahaya LED inframerah. Melalui antena optik berkas cahaya inframerah tersebut diarahkan ke penerima dengan menggunakan lensa, agar berkas cahaya dapat diterima sebanyak mungkin. Pada penerima berkas sinar yang didapat akan diubah kembali menjadi besaran listrik lalu didemodulasikan untuk mendapatkan sinyal informasi kembali.



**Gambar 3.4** Blok Diagram Penerima sistem KORUB  
(Sumber : KORUB, Widyanto.2012)

Sinyal optik yang dipancarkan oleh rangkaian pemancar melalui antena pemancar akan diterima oleh detektor foto dioda. Besaran cahaya akan diubah menjadi arus listrik yang sangat kecil dan yang perlu dikuatkan oleh pre-penguat kurang 7500 kali. Setelah dikuatkan, sinyal termodulasi FM tersebut akan dilewatkan pada penapis untuk membatasi lebar jalur frekuensi yang akan diproses. Selanjtnya akan dilewatkan pada rangkaian pembatas untuk menghilangkan derau amplitudo. Sinyal yang dikeluarkan dari pembatas akan diteruskan pada rangkaian demodulator FM yang berfungsi memisahkan sinyal informasi dari sinyal pembawanya. Sinyal informasi yang didapat akan ditapis kembali dengan rangkaian deemphasis dari rangkaian pemancar. Akhirnya sinyal informasi akan dikuatkan kembali dengan penguat akhir (amplifier).

## 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

### 3.2.1 Tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kampus Patrang Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No.62 , Jember setelah pelaksanaan seminar proposal.

### 3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu Penelitian dilaksanakan selama 6 bulan. Pada bulan Mei 2014 sampai bulan Oktober 2014.

## 3.3 Hardware yang Dipakai

SPC *Infrared Transceiver* merupakan alat pengirim dan penerima data melalui media sinar *infrared* yang mendukung 4 protokol komunikasi, yaitu sony, panasonic, philips, dan *raw data*. SPC *Infrared Transceiver* ini dapat digunakan dalam aplikasi komunikasi data nirkabel, *remote transmitter*, *remote receiver*, pembacadata *remote control*, dan sebagainya.

1. Mendukung 4 jenis protokol komunikasi, yaitu sony, panasonic, philips, dan *raw data*.
2. Mendukung komunikasi nirkabel 2 arah *half duplex (transmitter - receiver)*, dengan jangkauan maksimum pada sudut 0° (*line of sight*) adalah 35 m menurut *datasheet (indoor)*.
3. *Transmitter* bekerja pada frekuensi *carrier* 36 kHz, 38 kHz, atau 41 kHz.
4. *Receiver* dapat menerima sinyal *infrared* dengan frekuensi *carrier* 32 kHz - 42 kHz.
5. Memiliki 3 pilihan antarmuka, yaitu *Synchronous Serial TTL*, *UART TTL*, dan *UART RS-232*.
6. Memerlukan catu daya tunggal +5V DC.
7. Dapat dihubungkan ke COM port komputer secara langsung melalui antarmuka *UART RS-232*.

8. Dilengkapi rutin-rutin siap pakai dalam bahasa *assembly* MCS-51® sehingga mempermudah penggunaan *SPC Infrared Transceiver* ini.
9. Kompatibel dengan DT-51™ *Minimum System*, DT-51™ *Low Cost Micro System / Low Cost Nano System* dan mendukung sistem mikrokontroler atau mikroprosesor lainnya.



**.Gambar 3.5** *SPC Infrared Transceiver*

(Sumber : *SPC Infrared Transceiver*)

### **3.3.1** Spesifikasi Eksternal *SPC Infrared Transceiver*

1. Kompatibel penuh dengan DT-51 *Minimum System* Ver 3.
2. Mengenali 4 macam protokol data *infrared* yang umum digunakan yaitu:
  - a. Sony (*Pulse Modulation*)
  - b. Panasonic (*Space Modulation*)
  - c. Philips (*Rc5 / Biphase Modulation*)
  - d. *Raw Data*
3. Memiliki 3 buah antarmuka yaitu:
  - a. *Synchronous Serial TTL*
  - b. *Serial UART TTL*
  - c. *Serial UART RS-232*
4. Dapat berfungsi sebagai *transmitter – receiver (half duplex)*.
5. *Transmitter* bekerja pada frekuensi 36 kHz, 38 kHz, atau 41 kHz.
6. *Receiver* menerima sinyal *infrared* dengan frekuensi *carrier* 32 kHz sehingga 42 kHz.
7. *Single supply* 5 VDC.

### 3.3.2 Spesifikasi *Internal Synchronous Serial SPC Infrared*

Dalam penggunaan dari *Synchronous Serial SPC Infrared Transceiver* akan dikenal adanya tiga *layer* (lapisan) penggunaan:

Pertama : *Synchronous Serial Engine Layer*

Kedua : *Synchronous Serial Protocol Layer*

Ketiga : *Synchronous Serial Application Layer*

#### 1. *Synchronous Serial Engine Layer*

Lapisan yang mengurus semua kegiatan dari tiap bit yang akan diterima atau yang akan dikirim. Bagian ini tidak perlu diubah kecuali untuk keperluan khusus. Bagi pengguna yang belum mahir dan berpengalaman tidak dianjurkan untuk mengubah bagian ini.

#### 2. *Synchronous Serial Protocol Layer*

Lapisan yang dipergunakan untuk mengatur semua lalu lintas data dan sudah tersusun sesuai dengan kegunaan menjadi paket Sub-rutin. Bagian ini tidak perlu diubah kecuali untuk keperluan khusus. Bagi pengguna yang belum mahir dan berpengalaman tidak dianjurkan untuk mengubah bagian ini.

#### 3. *Synchronous Serial Application Layer*

Lapisan terluar yang dipergunakan untuk berinteraksi secara langsung dengan pengguna. Bagian ini tidak perlu diubah kecuali untuk keperluan khusus. Bagi pengguna yang belum mahir dan berpengalaman tidak dianjurkan untuk mengubah bagian ini.

Penggunaan jalur komunikasi antara *Synchronous Serial* dan UART tidak bisa dilakukan bersamaan. Pemilihan antara jalur komunikasi *Synchronous Serial* atau UART diatur dengan cara mengganti pengaturan *jumper*

### 3.3.3 Spesifikasi *Internal UART SPC Infrared Transceiver*

Dalam penggunaan dari *UART SPC Infrared Transceiver* dikenal adanya tiga *layer* (lapisan) penggunaan:

Pertama : *UART Engine Layer*

Kedua : *UART Protocol Layer*

Ketiga : *UART Application Layer*

#### 1. *UART Engine Layer*

Lapisan yang mengurus semua kegiatan dari tiapbit yang akan diterima atau yang akan dikirim. Bagian ini tidak perlu diubah kecuali untuk keperluan khusus. Bagi penggunayang belum mahir dan berpengalaman tidak dianjurkan untuk mengubah bagian ini.

#### 2. *UART Protocol Layer*

Lapisan yang dipergunakan untuk mengatur semua lalu lintas data dan sudah tersusun sesuai dengan kegunaan menjadipaket Sub-rutin. Bagian ini tidak perlu diubah kecuali untuk keperluan khusus. Bagi penggunayang belum mahir dan berpengalaman tidak dianjurkan untuk mengubah bagian ini.

#### 3. *UART Application Layer*

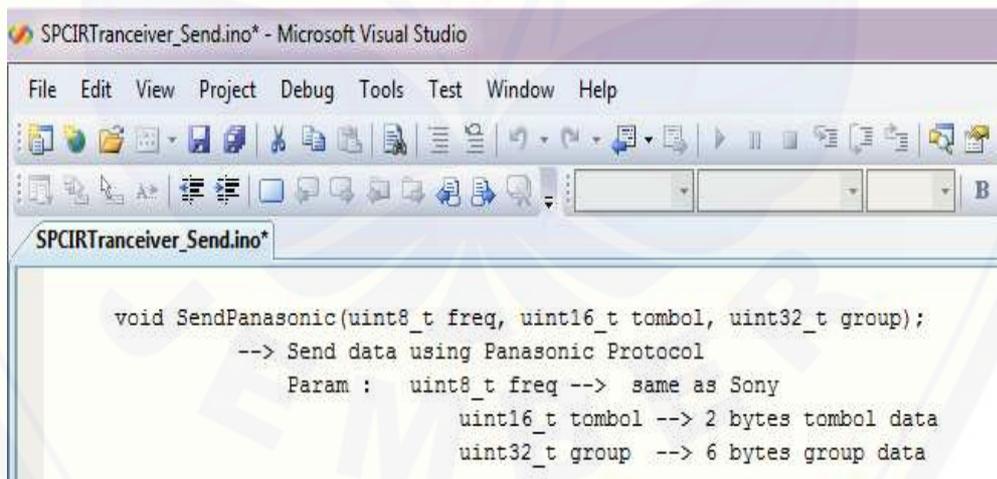
Lapisan terluar yang dipergunakan untuk berinteraksi secara langsung dengan pengguna. Bagian ini tidak perlu diubah kecuali untuk keperluan khusus. Bagi penggunayang belum mahir dan berpengalaman tidak dianjurkan untuk mengubah bagian ini.

Untuk hubungan dengan komputer secara langsung, hanya ada *UART Protocol Layer* berupa *API Command* yang berisi tentang protokol komunikasi antara komputer dan *SPC Infrared Transceiver*. Penggunaan jalur komunikasi antara *Synchronous Serial* dan *UART* tidak

bisadilakukan bersamaan. Pemilihan antara jalur komunikasi *Synchronous Serial* atau UART diatur dengan cara mengganti pengaturan *jumper*.

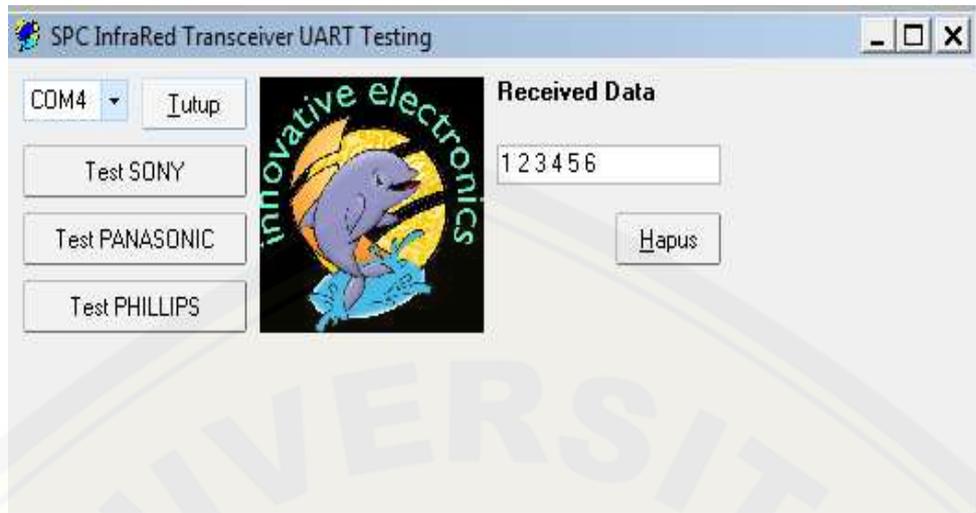
### 3.4 Software yang Digunakan

Modul yang dipakai pada penelitian ini menggunakan tiga buah protokol, yaitu protokol sony, panasonic, dan philips. Untuk dapat mengirimkan dan menerima data yang sesuai dengan protokol – protokol tersebut, digunakan *software* TestIR. Namun, pada penelitian ini *software* tersebut hanya digunakan untuk pengiriman data saja, dan protokol data yang digunakan adalah protokol panasonic. Dalam setiap pengiriman data yang menggunakan protokol ini, *software* akan mengirimkan data sebanyak 48bit yang setara dengan 6 *byte*. Hal ini terdapat pada keterangan *filessoftware* yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Dalam setiap kali pengiriman *software* ini akan mengirimkan bentuk data berupa karakter angka 1 sampai 6, yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Jadi setiap karakter akan mewakili 1 *byte*, yang jika dirubah dalam bentuk bit akan memiliki nilai sebesar 8 *bit*.



```
SPCIRTranceiver_Send.ino* - Microsoft Visual Studio
File Edit View Project Debug Tools Test Window Help
void SendPanasonic(uint8_t freq, uint16_t tombol, uint32_t group);
--> Send data using Panasonic Protocol
Param : uint8_t freq --> same as Sony
        uint16_t tombol --> 2 bytes tombol data
        uint32_t group --> 6 bytes group data
```

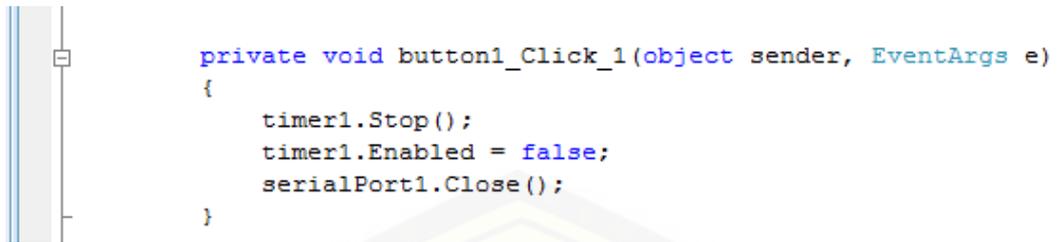
**Gambar 3.6** Screenshot Jumlah *Byte* yang Dikirimkan



**Gambar 3.7** Screenshot Bentuk Data yang Dikirimkan *Software* TestIR

Dalam perhitungan *throughput* dibutuhkan lama waktu pengiriman data yang nantinya akan digunakan untuk penentuan besar kecilnya *throughput* itu sendiri. Sedangkan pada *software* TestIR tidak terdapat menu yang berguna untuk mengetahui lama waktu pengiriman data. Oleh karena itu diperlukan *software* lain yang bisa menerima data dan menghitung waktu pengiriman. *Software* yang digunakan adalah *Serial Receiving*, yang dibuat menggunakan bahasa *c#*. Perbedaan *software* ini dengan *software* sebelumnya adalah, jika *software* TestIR bisa menerima dan mengirim data, *software* *Serial Receiving* hanya dapat menerima data. Dari penjelasan sebelumnya diketahui bahwa *software* TestIR dapat menerima dan mengirim data berupa karakter angka. Lain halnya dengan *software* *Serial Receiving* yang menerima data berupa karakter acak, dapat dilihat pada Gambar 3.7. Untuk perhitungan waktu pengiriman datanya harus dimulai secara manual dengan cara mengklik tombol *start* pada kotak *timer*. Dan agar dapat menghentikan aliran data dan perhitungan waktu menggunakan tombol *stop*. Lebih jelasnya *source code* program dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9.



The image shows a snippet of C# code from a Visual Studio IDE. On the left, a vertical scrollbar is visible. The code is as follows:

```
private void button1_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    timer1.Stop();
    timer1.Enabled = false;
    serialPort1.Close();
}
```

**Gambar 3.10** *Source Code* Program Tombol *Stop*

Data yang di sajikan sebenarnya bisa disesuaikan menurut kebutuhan pengiriman data. Hanya saja diperlukan komponen – komponen tambahan seperti program mikrokontroler, sehingga alat dapat mengolah data lebih tepat lagi. Hal tersebut telah dibuktikan oleh perangkat Komunikasi Optik Ruang Bebas yang lebih canggih dari alat yang digunakan pada penelitian ini. Pada perangkat – perangkat tersebut, sistem komunikasi optik ruang bebas telah dapat mengirimkan data – data multimedia.

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Komunikasi Optik Ruang Bebas Two Sites

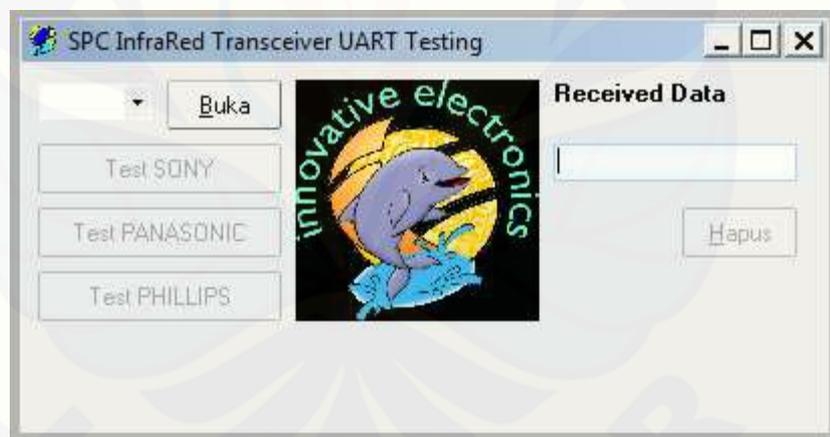
Pada penelitian ini terdapat dua modul yang digunakan, yang keduanya adalah modul *infrared tranceiver*. Modul ini dapat menerima maupun mengirim data, karena berupa *tranceiver* yang di dalamnya terdapat  $R_x$  dan  $T_x$  rangkaian. Daya yang digunakan adalah sebesar 5 volt, yang diperoleh dari baterai 9 volt dan menggunakan regulator 5 volt agar modul mendapatkan daya yang sesuai dengan kapasitasnya. Modul ini dilengkapi dengan teropong dengan lensa berdiameter 6 cm. Modul ini juga ditambahkan 2 buah LED super bright sebagai indikator cahaya dalam pengiriman datanya. Gambar 4.1 menunjukkan modul yang akan dipasang kedalam teropong yang berfungsi untuk menjaga sinyal informasi yang akan dikirim. Pada penelitian sebelumnya, menganalisis besar throughput tanpa menggunakan tudung, dimana hasil throughputnya tidak beraturan, sehingga penelitian ini menggunakan tudung gelap dan lensa cembung.



**Gambar 4.1** Modul *Infrared Tranceiver*

Pada penelitian ini, pertama-tama kedua teropong atau lensa disiapkan kemudian modul dimasukkan kedalam teropong hitam. Letak modul

disesuaikan dengan titik api lensa sehingga ketika pengiriman data, kedua lensa dapat saling mengirim dan menerima data. Setelah posisi modul benar, modul dihubungkan dengan kabel USB *to serial adaptor* dan kabel konektor ke laptop. Setelah itu, hubungkan modul dengan sumber tegangan. Dalam keadaan ini, laptop sudah dalam keadaan hidup dan *software* yang digunakan sudah dalam keadaan aktif. Langkah terakhir adalah proses pengiriman dan mencatat hasil penelitian. Penelitian ini dilakukan percobaan sebanyak 20 kali yaitu 1 meter sampai 20 meter dan dalam setiap meter pengambilan data sebanyak 20 kali percobaan. Terdapat dua *software* yang digunakan, *softwarena* ialah TestIR (sebagai *software* pengirim data), dan *Serial Receiving* (sebagai *software* penerima data dan stopwatch). Sebelum modul dapat di sambungkan dengan laptop, dibutuhkan kabel *USB to Serial Adaptor* DB9. Berikut adalah gambar *software* dan kabel yang digunakan.



**Gambar 4.2** *Software* Pengirim Data



**Gambar 4.3** Software Penerima Data



(a)

(b)

**Gambar 4.4** Kabel *USB to Serial Adaptor*(a) dan Kabel Konektor (b)

Pengujian merupakan suatu proses membandingkan suatu besaran yang belum diketahui dengan suatu besaran standar yang baku. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data dari alat yang dibuat, sehingga data dijadikan dasar untuk menganalisa serta menentukan kesalahan jika suatu saat terjadi ketidakcocokan antara data percobaan dengan data pembanding. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat melakukan

pengujian diantaranya besaran yang diukur, alat ukur yang digunakan, dan ketelitian dalam membaca data. Sedangkan metode pengujian yang digunakan adalah dengan cara mengukur tiap bagian yang telah direalisasikan, selanjutnya mengamati dari hasil pengukuran, kemudian menganalisisnya dan menetapkan apakah proses pengujian telah berhasil atau sebaliknya. Pengujian dilakukan untuk menentukan keberadaan, kualitas, dan kemurnian dari atribut-atribut sistem aplikasi. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan *tools* dan teknik. Semakin baik struktur dari Proses pengujian, semakin baik hasil pengujiannya.

#### 4.2 Proses pengujian

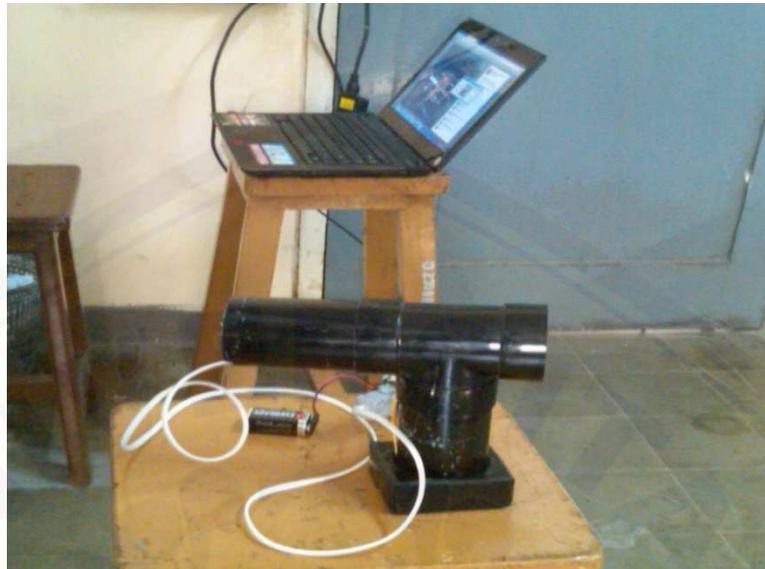
Proses pengujian dalam penelitian ini dimulai dengan memasang semua modul dan menyambungkan dengan laptop yang telah diinstal *software* sebelumnya. Kemudian laptop diletakkan di atas bangku yang terpisah, dan diberikan jarak sepanjang 1 meter yang selanjutnya akan bertambah sampai 20 meter. Selain itu dalam setiap pengujian tidak terdapat benda atau penghalang antara dua buah modul penerima dan pengirim.



**Gambar 4.5** Blok Diagram *Transfer Data*

Banyaknya pengujian yang dilakukan tiap meternya adalah sebanyak 20 kali. Perhitungan waktu pengiriman data dilakukan ketika tombol *Test Panasonic* yang terdapat di dalam *software TestIR* diklik. Pada proses ini diperlukan peringatan dari *user* yang akan mengirimkan data kepada *user* yang akan menerima data tersebut. Pada *software Serial Receiving* terdapat tombol *Stop* yang gunanya ialah untuk menghentikan perhitungan waktu





**Gambar 4.7** Pengujian ketika modul sudah didalam lensa

### **4.3 Pengujian Hasil Komunikasi Optik Ruang Bebas**

#### **4.3.1 Pengujian Besar *Throughput***

Kecepatan cahaya dalam ruang vakum adalah sebesar  $3.10^8$  m/s. Kecepatan ini merupakan kecepatan maksimum yang dapat dilalui oleh segala bentuk energi, materi, dan informasi dalam alam semesta. Kecepatan cahaya yang merambat melalui bahan – bahan transparan seperti gelas ataupun udara lebih lambat dari kecepatan cahaya pada ruang vakum. Sedangkan radiasi inframerah memiliki jangkauan tiga order dan memiliki panjang gelombang antara 700 nm dan 1 mm. Dan besar data maksimum yang dapat dikirimkan oleh inframerah adalah sebesar 4 Mbps. Penelitian ini menggunakan inframerah, yang rambatan radiasi inframerah atau kecepatan cahayanya melalui udara.

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pada saat malam hari yaitu pada waktu sekitar pukul 19.00 WIB – 23.00 WIB, dan dilakukan pada jarak 1 meter – 20 meter.

Tabel 4.1 Pengujian Dalam Jarak 1 Meter

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,2	3	24	20
2	1,6	5	40	25,000000000
3	2,4	6	48	20,000000000
4	2,7	7	56	20,740740741
5	2,8	8	64	22,857142857
6	2,5	8	64	25,600000000
7	2,9	8	64	22,068965517
8	3,0	8	64	21,333333333
9	3,2	8	64	20,000000000
10	2,8	9	72	25,714285714
11	3,2	10	80	25,000000000
12	3,8	11	88	23,157894737
13	3,7	11	88	23,783783784
14	3,9	11	88	22,564102564
15	3,0	12	96	32,000000000
16	3,6	12	96	26,666666667
17	4,0	13	104	26,000000000
18	3,8	13	104	27,368421053
19	4,2	14	112	26,666666667
20	4,8	16	128	26,666666667
Total rata - rata				24,159433515

Pada pengiriman dengan jarak 1 meter, data terkirim sempurna tanpa ada data yang salah, begitu juga ketika jarak ditambahkan sampai 5 meter. Kemudian pada jarak 6 meter, mulai terdapat kesalahan dalam pengiriman data. Hal ini disebabkan oleh jarak jangkauan yang semakin jauh menyebabkan pengiriman data kurang akurat serta titik fokus lensa yang tidak saling mengena. Berikut tabel *throughput* pada saat pengiriman terjadi kesalahan. Besar nilai *throughput* dapat diperoleh dari persamaan (2.6), yaitu:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{paket diterima}}{\text{total waktu pengiriman}}$$

Misalkan,

- $\text{Throughput} = \frac{24}{1.2} = 20 \text{ bps}$
- $\text{Throughput} = \frac{40}{1.6} = 25 \text{ bps}$

Tabel 4.2 Pengujian pada jarak 6 Meter

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,6	4	32	20
2	2,7	5	40	14,81481481
3	2,8	5	40	14,28571429
4	3,2	7	56	17,5
5	2,5	8	64	25,6
6	4,4	9	72	16,36363636
7	3,5	9	72	20,57142857
8	3,3	9	72	21,81818182
9	3,8	10	80	21,05263158
10	3,5	10	80	22,85714286
11	4,6	11	88	19,13043478
12	3,7	11	88	23,78378378
13	4,7	12	96	20,42553191
14	4,4	12	96	21,81818182
15	4,2	12	96	22,85714286
16	5,1	13	104	20,39215686
17	4,4	14	112	25,45454545
18	4,8	14	112	23,33333333
19	6,5	15	120	18,46153846
20	5,3	15	120	22,64150943
Total rata - rata				20,65808545

Pengujian pada jarak 6 meter ini adalah awal terdapatnya kesalahan pengiriman data. Hal ini disebabkan karena jarak antar modul semakin jauh membuat suhu modul menjadi panas. Selain itu, modul menggunakan penutup yaitu lensa, dimana sinar yang dipantulkan antar modul yang satu dan yang lain tidak tepat di titik fokus lensa. Secara teknis, photodiode dan LED inframerah tidak terhalang oleh benda apapun dan masih dalam keadaan lurus. Yang membedakan adalah tidak mengenanya titik fokus antara kedua modul, sehingga secara manual harus menggeser dan menggerakkan kedua modul secara bersamaan untuk dapat saling mengirim dan menerima data. Demikian seterusnya sampai pengujian data ke – 20. Berikut adalah data hasil pengujian data ke – 20.

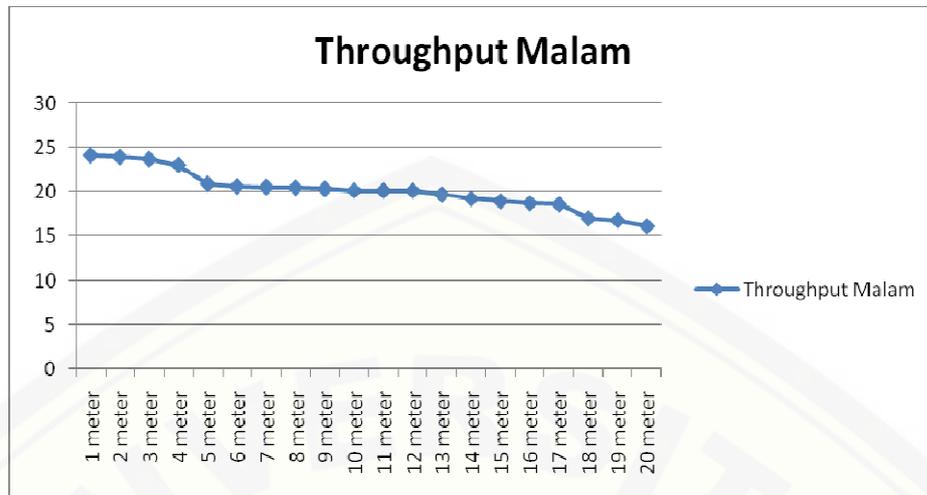
Tabel 4.3 Pengujian pada Jarak 20 Meter

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,8	4	32	17,77777778
2	2,4	4	32	13,33333333
3	1,8	4	32	17,77777778
4	2,8	6	48	17,14285714
5	3,7	7	56	15,13513514
6	3,8	8	64	16,84210526
7	5	8	64	12,8
8	4,2	8	64	15,23809524
9	4,6	9	72	15,65217391
10	6	9	72	12
11	3,8	9	72	18,94736842
12	4,8	9	72	15
13	3,6	9	72	20
14	4,5	9	72	16
15	4,6	10	80	17,39130435
16	5,5	10	80	14,54545455
17	5,9	11	88	14,91525424
18	5,6	11	88	15,71428571
19	6,3	14	112	17,77777778
20	6,8	16	128	18,82352941
Total rata - rata				16,1407115

Dari hasil pengujian 6 meter – 20 meter ditemukan kesalahan pengiriman data yang semakin bertambah. Dari hasil data throughput pada saat malam hari, besarnya berbanding terbalik dengan pertambahan jarak pengiriman data. Semakin jauh jarak antara modul, maka semakin kecil nilai *throughput* yang dihasilkan. Hal ini dapat dibuktikan dari tabel hasil rata – rata keseluruhan *throughput* dari jarak 1 meter sampai dengan 20 meter.

Tabel 4.4 Besar Rata – Rata *Throughput* Keseluruhan Data

Jarak	Throughput Malam	Jumlah banyak Data	Jumlah Bits
1 meter	24,15943352	193	1544
2 meter	23,97512802	215	1720
3 meter	23,72929162	231	1848
4 meter	23,08258222	211	1688
5 meter	20,94104814	178,5	1428
6 meter	20,65808545	205	1640
7 meter	20,58598242	190	1520
8 meter	20,50903805	194	1552
9 meter	20,38825762	213	1704
10 meter	20,20251401	201	1608
11 meter	20,18032954	207	1656
12 meter	20,17467418	227	1818
13 meter	19,71799117	210	1680
14 meter	19,26979269	199	1592
15 meter	18,97869883	200	1600
16 meter	18,76007767	211	1688
17 meter	18,61813174	163,6	1308,8
18 meter	17,0230303	174	1392
19 meter	16,82625577	188	1504
20 meter	16,1407115	175	1400



**Gambar 4.8** Kurva Besar Rata – Rata *Throughput*

Dari data diatas, diketahui bahwa nilai *throughput* semakin kecil. Seperti yang sudah dijelaskan, modul menggunakan lensa penutup untuk melindungi pengiriman data, tetapi tingkat keberhasilannya masih sedikit. Hal ini disebabkan karena berkas cahaya yang di hasilkan antara modul tidak saling bertemu, sehingga dibutuhkan pergerakan manual antara kedua modul agar saling bertemu dan mengena. Walaupun demikian, pada saat pergeseran secara manual hasil pengiriman masih belum akurat, sehingga masih terdapat kesalahan pengiriman data yang mempengaruhi besar *throughput* yang stabil. Selain faktor tersebut, faktor lain yang mempengaruhi adalah kondisi angin pada saat pengujian. Angin adalah salah satu faktor penghambat dari pengiriman data melalui LED inframerah.

Pengujian kedua dilakukan pada saat siang hari dengan kondisi bebas halangan. Pengujian dilakukan sekitar pukul 12.30 WIB – 17.00 WIB. Perlakuan pengujian pada saat siang hari sama dengan pengujian malam hari yaitu jarak 1 meter – 20 meter masing – masing 20 kali pengambilan data tiap meternya. Pada jarak 1 meter – 3 meter pengiriman data terkirim sempurna, tanpa ada kesalahan pada tiap datanya. Berikut hasil *throughput* pada saat pengujian 1 meter.

Tabel 4.5 Pengujian pada jarak 1 meter

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5	9	72	14
2	5,1	10	80	15,686274510
3	6,3	10	80	12,698412698
4	7,3	11	88	12,054794521
5	6,8	12	96	14,117647059
6	5,4	12	96	17,777777778
7	7,3	13	104	14,246575342
8	6,4	13	104	16,250000000
9	8,3	14	112	13,493975904
10	7,7	15	120	15,584415584
11	8,5	15	120	14,117647059
12	9,5	16	128	13,473684211
13	8,4	17	136	16,190476190
14	10,2	18	144	14,117647059
15	9,5	18	144	15,157894737
16	9,3	18	144	15,483870968
17	10,3	19	152	14,757281553
18	9,7	19	152	15,670103093
19	10,1	20	160	15,841584158
20	9,8	21	168	17,142857143
Total rata - rata			2400	14,913145978

Pada saat pengujian 4 meter adalah awal terjadinya kesalahan pengiriman data. Begitu seterusnya sampai pengujian pada jarak 20 meter. Kesalahan disebabkan lebih awal disebabkan karena kondisi pengiriman data pada saat siang hari. Kondisi dalam keadaan panas terik, matahari bersinar dengan terang dan langit cerah berawan. Berikut tabel hasil *throughput* pada saat pengujian 4 meter.

Tabel 4.6 Pengujian pada jarak 4 meter

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,7	8	64	11,22807018
2	5,2	8	64	12,30769231
3	6,3	9	72	11,42857143
4	7,3	9	72	9,863013699
5	6,8	10	80	11,76470588
6	5,4	10	80	14,81481481
7	7,3	11	88	12,05479452
8	6,4	11	88	13,75

9	6,9	11	88	12,75362319
10	7,7	11	88	11,42857143
11	8,5	12	96	11,29411765
12	8,2	13	104	12,68292683
13	8,4	13	104	12,38095238
14	7,6	13	104	13,68421053
15	8,6	15	120	13,95348837
16	9,3	15	120	12,90322581
17	8,3	16	128	15,42168675
18	9,7	16	128	13,19587629
19	9,8	21	168	17,14285714
20	8,4	24	192	22,85714286
Total rata - rata			2048	13,3455171

Tidak berbeda jauh dengan hasil pengujian throughput jarak 5 meter – 20 meter. Besar nilai *throughput* semakin kecil dan semakin banyak kesalahan dalam pengiriman datanya. Hasil throughput pada saat jarak 20 meter semakin kecil dan berbeda lumayan jauh dari hasil *throughput* jarak 20 meter pada saat malam hari. Berikut data keberhasilan pengiriman data pada jarak 20 meter.

Tabel 4.7 Pengujian pada jarak 20 meter

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	6,1	7	56	9,180327869
2	4	8	64	16
3	5,8	8	64	11,03448276
4	11,8	8	64	5,423728814
5	6,4	9	72	11,25
6	7	9	72	10,28571429
7	5,8	9	72	12,4137931
8	14,4	10	80	5,555555556
9	10,3	12	96	9,32038835
10	12,1	13	104	8,595041322
11	14,3	13	104	7,272727273
12	9,8	13	104	10,6122449
13	10,5	14	112	10,66666667
14	10,3	15	120	11,65048544
15	11,1	15	120	10,81081081
16	9,3	16	128	13,76344086

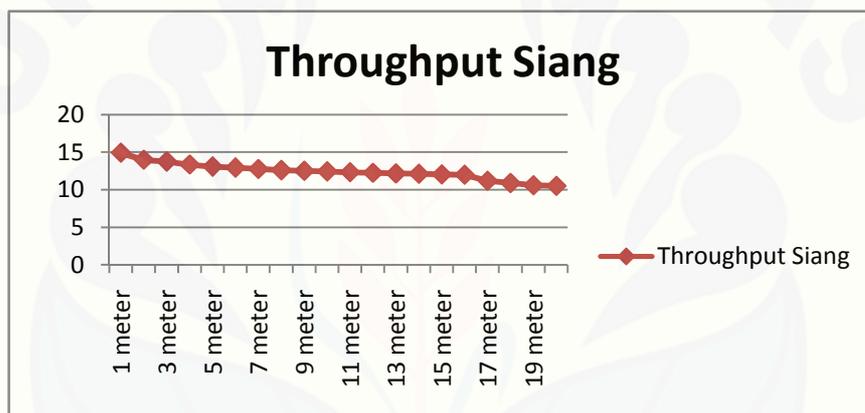
17	11,6	16	128	11,03448276
18	12,8	18	144	11,25
19	13,1	19	152	11,60305344
20	13,7	21	168	12,26277372
Total rata - rata			2024	10,4992859

Tabel diatas menunjukkan nilai *throughput* yang semakin rendah dibandingkan hasil *throughput* pada saat pengujian pertama (malam hari). Hal ini disebabkan karena adanya interferensi cahaya pada saat pengiriman data. LED inframerah sangat dipengaruhi oleh sinar – sinar seperti sinar tampak, ultraviolet, dan lain sebagainya. Begitu juga dengan sinar matahari, pengiriman data sangat berpengaruh walaupun modul sudah berada didalam lensa, tetapi berkas sinar yang dikirim dan diterima terkena interferensi cahaya matahari, sehingga pengiriman data tidak sepenuhnya berhasil. Selain itu, sekitar pukul 15.30 WIB – 16.30 WIB terdapat hujan. Sebelum hujan turun, kondisi pada saat pengujian berangin sedikit kencang dan disusul kemudian dengan hujan. Secara teknis, pengujian masih sama seperti pengujian pertama. Modul dalam lensa masih digeser – geser manual untuk menemukan titik fokus dalam pengiriman data walaupun secara kasatmata sudah lurus, tetapi masih terdapat kesalahan dalam beberapa datanya. Berikut adalah tabel dan laju kurva yang menunjukkan rata – rata *throughput* dan waktu pengujian dari jarak 1 meter – 20 meter.

Tabel 4.8 Rata – Rata *throughput* dari keseluruhan data

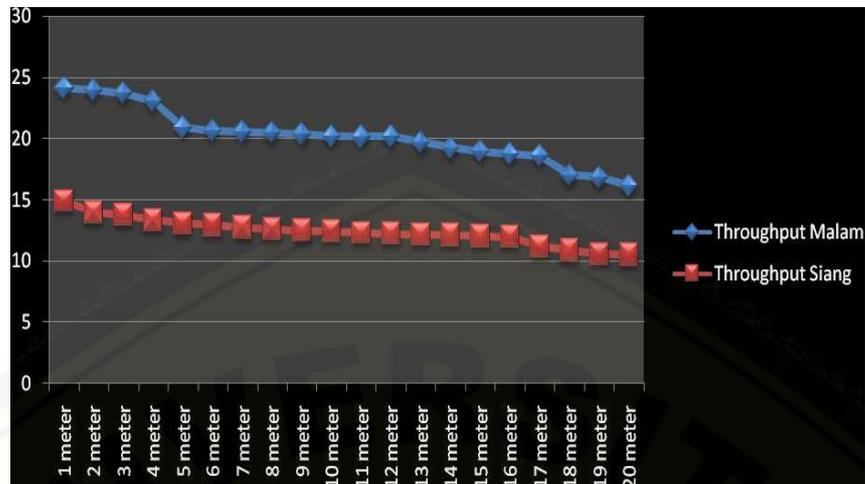
Jarak	Throughput Siang	Jumlah banyak Data	Jumlah Bits
1 meter	14,91314598	300	2400
2 meter	13,98331332	256	2048
3 meter	13,75513646	263	2104
4 meter	13,3455171	256	2048
5 meter	13,07470357	253	2024
6 meter	12,93322928	263	2104
7 meter	12,75027145	295	2360

8 meter	12,59452033	312	2496
9 meter	12,50519598	307	2456
10 meter	12,43238173	295,6	2364,8
11 meter	12,32048987	285	2280
12 meter	12,23812741	300	2400
13 meter	12,15099302	312	2496
14 meter	12,11298259	300	2400
15 meter	12,03001998	307	2456
16 meter	11,97510715	285	2280
17 meter	11,17775774	283	2264
18 meter	10,86670227	258	2064
19 meter	10,56921256	296	2368
20 meter	10,4992859	253	2024



**Gambar 4.9** Kurva Rata – Rata Besar *Throughput*

Dari kedua pengujian tersebut, dapat diperoleh bahwa besarnya nilai throughput lebih kecil pada saat pengujian di siang hari atau pengujian kedua. Hal ini disebabkan karena adanya cahaya matahari yang mempengaruhi pengiriman data, hujan, angin dan faktor lainnya. Untuk lebih jelasnya, terlihat pada gambar 4.10 hasil Kurva atau grafik perbandingan besar throughput pada saat pengujian siang hari dan pengujian malam hari.



**Gambar 4.10** Perbandingan grafik *throughput* siang hari dan malam hari

Dari hasil perbandingan ini, ada baiknya bahwa lensa pada penutup lebih besar lagi, sehingga sinar yang dikirim penyebarannya makin luar dan titik fokusnya makin lebar. Selain itu, alat dapat dikembangkan lagi dengan menambah sistem kendali pada teropong atau penutup untuk pergeseran pencarian berkas sinar pengiriman secara otomatis tidak manual lagi.

#### 4.3.2 Pengujian *Bit Error Rates* (BER)

*Bit Error Rates* merupakan sejumlah *bit* digital bernilai tinggi pada jaringan transmisi yang ditafsirkan sebagai keadaan rendah atau sebaliknya, kemudian dibagi dengan sejumlah *bit* yang diterima atau dikirim atau diproses selama beberapa periode yang telah ditetapkan. Sama halnya dengan *throughput*, *Bit Error rates* adalah besar nilai kesalahan sedangkan *throughput* adalah besar keberhasilan pengiriman data. Pada pengujian ini, dilakukan 2 pengujian, yaitu pada saat malam hari dan siang hari. Perlakuan pada tiap pengujian sama yaitu pengiriman data terhadap jarak 1 meter sampai 20 meter dengan tiap meternya pengujian sebanyak 20 kali. Nilai BER dapat diperoleh dari persamaan (2.2), yaitu

$$\text{Bit Error Rates} = \frac{\text{Number of Error}}{\text{Total number of bits sent}} \times 100\%$$

Misalkan,

Number of error = 2

Total bit = 56

$$\text{BER} = \frac{2}{56} \times 100\% = 3.571429 \%$$

Pada pengujian pertama yaitu pada saat malam hari jam dan tempat sama dengan data *throughput*, yang membedakan adalah hasil nilai *error* yang diterima dalam pengujian 1 meter sampai 20 meter. Pada pengujian ini besar nilai *error* pada jarak 1 meter – 5 meter tidak ada, dapat dikatakan pengiriman data jarak 1 meter – 5 meter adalah sukses. Kemudian pada jarak 6 meter – 20 meter terdapat beberapa data yg *error*. Berikut salah satu tabel *error* pengiriman data.

Tabel 4.9 Data BER pada jarak 16 meter

No.	Waktu	Banyak Data	Jumlah bit	Jumlah Data Error	BER	% BER
1	2.5	7	56	2	0,035714	3,571429
2	3.1	8	64	1	0,015625	1,5625
3	5.3	9	72	6	0,083333	8,333333
4	4.4	9	72	2	0,027778	2,777778
5	4.5	10	80	2	0,025	2,5
Total Rata-Rata					0,03749	3,749008

Dari hasil data tersebut terdapat ada 5 data salah dari 20 kali pengambilan data, yaitu data keempat, kelima, keenam, kesembilan, dan kesebelas. Pengujian BER ini, dilakukan untuk dapat menganalisis tingkat persentase kesalahan tiap pengiriman data sesuai modul yang digunakan. Dari pengujian ini di dapatkan bahwa dalam tiap pengambilan data sampai 20 kali terhadap jarak 1meter – 20 meter tingkat kesalahan semakin bertambah tiap pertambahan jarak pengiriman.

Tabel 4.10 total nilai BER dalam 20 kali pengambilan data

Jarak	Jumlah Data	Jumlah Data Error	BER	% BER
1 meter	20	0	0	0%
2 meter	20	0	0	0%
3 meter	20	0	0	0%
4 meter	20	0	0	0%
5 meter	20	0	0	0%
6 meter	20	1	0,05	5%
7 meter	20	1	0,05	5%
8 meter	20	1	0,05	5%
9 meter	20	1	0,05	5%
10 meter	20	1	0,05	5%
11 meter	20	1	0,05	5%
12 meter	20	2	0,1	10%
13 meter	20	2	0,1	10%
14 meter	20	2	0,1	10%
15 meter	20	3	0,15	15%
16 meter	20	5	0,25	25%
17 meter	20	5	0,25	25%
18 meter	20	4	0,2	20%
19 meter	20	6	0,3	30%
20 meter	20	6	0,3	30%

Dari keseluruhan data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak pengiriman maka semakin besar tingkat persentase kesalahan penerimaan data. Lebih jelasnya dapat digambarkan pada kurva atau grafik berikut.



**Gambar 4.11** Grafik BER malam hari

Terlihat jelas bahwa grafik menaik keatas, hal itu berarti *Bit Error Rates* berbanding lurus dengan pertambahan jauh jarak pengiriman data. Hal ini disebabkan karena tingkat penyebaran cahaya melalui lensa masih dalam pencarian manual. Jadi data yang terkirim melalui LED inframerah tidak seutuhnya terkirim semua. Hal ini juga dapat disebabkan karena adanya derau, *interferensi*, dan kesalahan sinkronisasi *bit*.

Demikian halnya dengan pengujian kedua, yaitu pada saat siang hari. Hasil perlakuan pengambilan data sama dengan pengambilan data sebelumnya. Dari pengujian tersebut diperoleh bahwa besar *Bit Error Rates* yang dihasilkan lebih besar dari *Bit Error Rates* (BER) pengujian pertama. Hal ini disebabkan karena kondisi pengambilan data pada saat matahari tepat diatas kepala langit cerah berawan dan sinar matahari begitu terik. Kemudian disusul hembusan angin dan langit masih cerah. Tidak lama kemudian hujan turun sedikit deras tapi tidak berlangsung lama. Berikut adalah salah satu tabel *Bit Error Rates* pada jarak 20 meter.

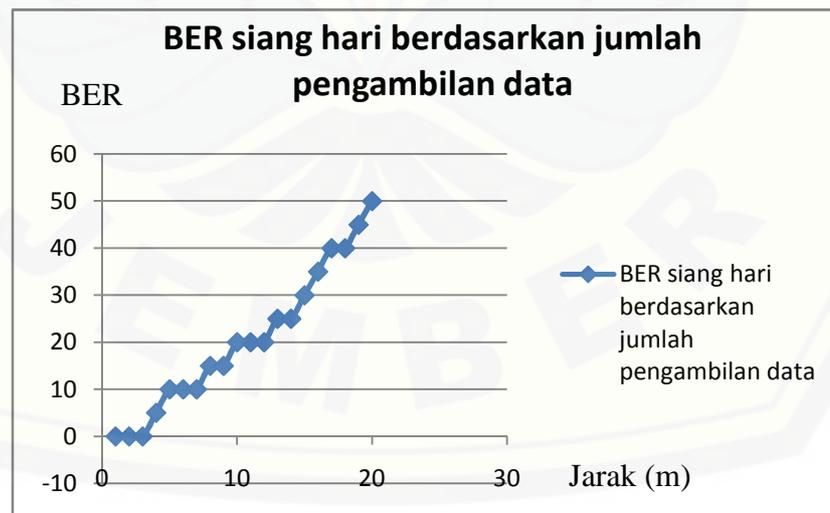
Tabel 4.11 BER pada jarak 20 meter

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
3	5,8	8	64	1	0,015625	1,5625
4	11,8	8	64	2	0,03125	3,125
7	5,8	9	72	2	0,0277778	2,77778
8	14,4	10	80	6	0,075	7,5
10	12,1	13	104	6	0,0576923	5,769231
11	14,3	13	104	8	0,0769231	7,692308
12	9,8	13	104	1	0,0096154	0,961538
15	11,1	15	120	2	0,0166667	1,666667
18	12,8	18	144	1	0,0069444	0,694444
19	13,1	19	152	2	0,0131579	1,315789
Total Rata-Rata				31	0,0330653	3,306526

Dari hasil tabel diatas, dapat diketahui bahwa jumlah data yang salah semakin banyak yaitu terdapat 10 kesalahan dari 20 kali pengambilan data. Data yang salah adalah data ke – 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 15, 18, dan 19 dengan rata – rata besar kesalahan 3%. Untuk lebih jelasnya besar keseluruhan *bit Error Rates* pada pengujian kedua ini, berikut tabel dan kurva hasil pengujian.

Tabel 4.12 Rata – Rata BER dalam 20 pengambilan Data

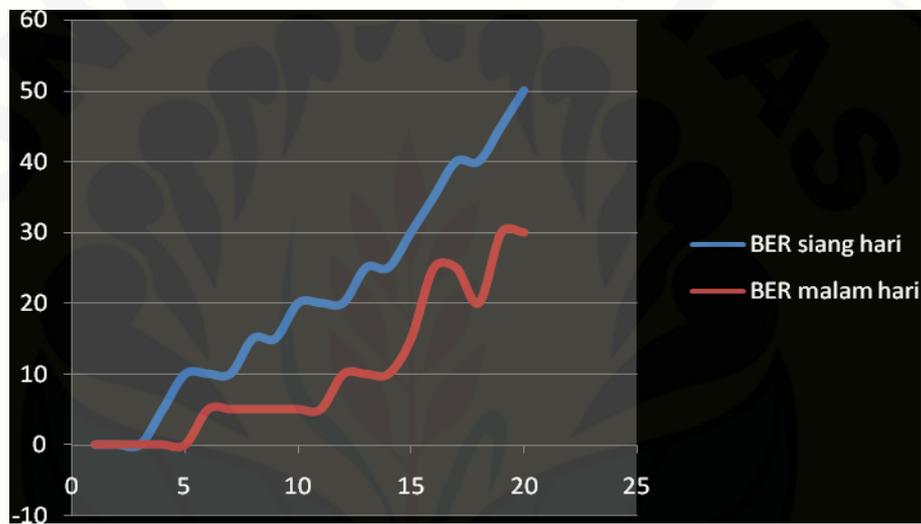
Jarak	Jumlah Data	Jumlah Data Error	BER	%BER
1 meter	20	0	0	0%
2 meter	20	0	0	0%
3 meter	20	0	0	0%
4 meter	20	1	0,05	5%
5 meter	20	2	0,1	10%
6 meter	20	2	0,1	10%
7 meter	20	2	0,1	10%
8 meter	20	3	0,15	15%
9 meter	20	3	0,15	15%
10 meter	20	4	0,2	20%
11 meter	20	4	0,2	20%
12 meter	20	4	0,2	20%
13 meter	20	5	0,25	25%
14 meter	20	5	0,25	25%
15 meter	20	6	0,3	30%
16 meter	20	7	0,35	35%
17 meter	20	8	0,4	40%
18 meter	20	8	0,4	40%
19 meter	20	9	0,45	45%
20 meter	20	10	0,5	50%



Gambar 4.12 Grafik BER Siang Hari

Dari hasil pengujian sesuai tabel dan kurva, pada pengiriman data siang hari data ke empat sudah terjadi *error* dan demikian seterusnya. Begitu juga dengan jumlah *Bit Error Rates* semakin banyak data yang salah. Seperti yang sudah dijelaskan, kesalahan bisa terjadi karena adanya derau, interferensi, distorsi dan segala jenis gangguan cuaca. Secara teknis, pengiriman data juga masih manual. Jika dalam jarak 6 meter modul tidak bisa mengirim dan menerima maka secara manual lensa akan saling di geser untuk menemukan titik fokus tepat pengiriman data dapat berjalan.

Hasil kedua pengujian tersebut dapat disimpulkan melalui grafik berikut.



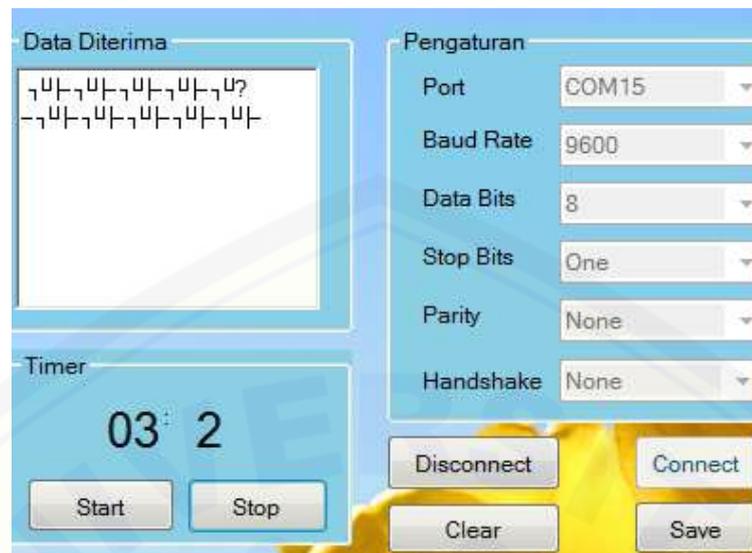
**Gambar 4.13** Kurva perbandingan BER siang dan malam hari

Terlihat jelas bahwa tingkat kesalahan atau persentase kesalahan pada malam hari lebih kecil dibandingkan dengan persentase kesalahan pada siang hari. Hal ini dapat disebabkan karena interferensi, noise, dan pergeseran antar lensa yang kurang tepat. Pengaruh tersebut bisa diperkecil dengan cara membesarkan diameter lensa sehingga cahaya dari LED inframerah lebih luas penyebarannya, membuat pengendali otomatis untuk pencarian berkas sinar ketika proses pengiriman data, serta penambahan sumber tegangan untuk penambahan tegangan LED inframerah.

#### 4.4 Analisis Hasil Pengujian

##### 4.4.1 Analisis *Throughput* dan *Bit Error Rates* (BER)

Sistem komunikasi optik ruang bebas (KORUB) atau bisa disebut sebagai *free space optics* (FSO), merupakan suatu sistem telekomunikasi yang dalam pengiriman dan penerimaan datanya bergantung dengan cepat rambat cahaya. *Throughput* dan BER merupakan parameter yang dapat digunakan sebagai acuan besar kecilnya data yang dapat dikirimkan per satuan waktu (*bit/s*). Namun selain bergantung pada cepat rambat cahaya juga ada beberapa faktor yang mempengaruhi besar kecilnya data yang dapat dikirimkan. Pada pengujian *throughput* dan *Bit Error Rates* (BER) ini, terjadi perbedaan waktu pengambilan, hal ini guna untuk membandingkan tingkat keberhasilan pengiriman data. Pengujian pertama dilakukan pada malam hari pada pukul 19.00 WIB – 23.00 WIB dengan jarak 1 meter – 20 meter. Pada jarak 1 meter – 5 meter data terkirim sukses tanpa ada kesalahan pada data penerima. Kemudian pada 6 meter – 20 meter pengiriman data sudah tidak terkirim sempurna, terdapat beberapa data yang salah. Pada pengujian kedua dilakukan pada siang hari pada pukul 12.30 WIB – 17.00 WIB dengan perlakuan sama dengan pengujian pertama. Pada pengujian kedua ini, nilai *throughput* yang dihasilkan jauh lebih kecil dari hasil *throughput* pada pengujian pertama. Hal ini disebabkan karena kondisi cuaca pada pengujian kedua, yaitu cuaca cerah dengan intensitas sinar matahari yang cukup baik, disusul dengan angin bertip kencang dan akhirnya diakhiri oleh hujan. Selain itu disebabkan oleh pengeseran manual lensa untuk mencari titik dimana pemancar dan penerima bisa saling mengirim dan menerima data.



**Gambar 4.14** Data Error

Pada lampiran hasil pengujian data dapat dilihat secara keseluruhan besar *throughput* yang diperoleh semakin menurun, dimana semakin jauh jarak pengambilan data maka besar *throughput* semakin buruk. Hasil pengujian *throughput* ini memiliki sifat yang sama saat siang hari maupun malam hari, tetapi nilai *throughput* terbaik adalah ketika malam hari. Selain hal – hal yang bersifat *noise* seperti yang dijabarkan tadi, juga keterbatasan teknis yang mempengaruhi hasil *throughput*. Proses pengiriman yang masih bersifat manual, yaitu mengandalkan oleh kecepatan *user* mengklik tombol pengiriman dalam *software* TestIR. Selain itu, ketepatan waktu *user* penerima saat mengklik tombol *start* dan *stop* pada *software* juga dapat mempengaruhi besar kecilnya *throughput*. Sebab seperti yang telah kita ketahui bahwa besarnya *throughput* bergantung pada kecepatan pengiriman data.

Dari hasil data yang diperoleh dan kenyataan di lapangan ketika pengambilan data. Dapat diketahui bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi besar kecilnya *throughput* data. Faktor – faktor tersebut adalah (Avrina,2014):

### 1. Jenis inframerah yang digunakan

Inframerah adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio. Sedangkan radiasi inframerah memiliki jangkauan tiga order dan memiliki panjang gelombang antara 700 nm dan 1 mm. Panjang gelombang inframerah dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

- a. Inframerah jarak dekat dengan panjang gelombang 0.75 – 1.5  $\mu\text{m}$
- b. Inframerah jarak menengah dengan panjang gelombang 1.50 – 10  $\mu\text{m}$
- c. Inframerah jarak jauh dengan panjang gelombang 10 – 100  $\mu\text{m}$

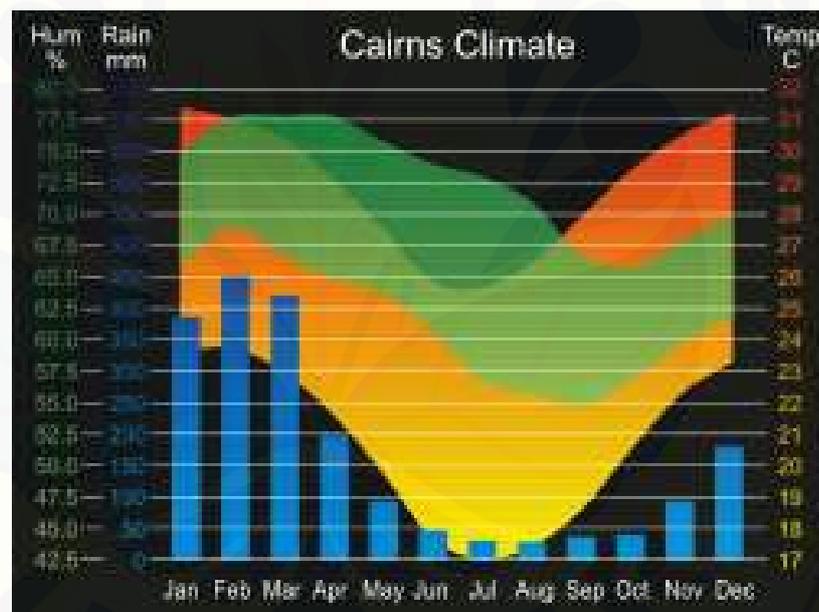
Karakteristik lain dari inframerah adalah :

- a. Tidak dapat dilihat oleh manusia
- b. Tidak dapat menembus materi yang tidak tembus pandang
- c. Dapat ditimbulkan oleh komponen yang menghasilkan panas
- d. Panjang gelombang pada inframerah memiliki hubungan yang berlawanan atau berbanding terbalik dengan suhu. Ketika suhu mengalami kenaikan, maka panjang gelombang mengalami penurunan.

### 2. Hujan

Hujan adalah proses kondensasi uap air di atmosfer menjadi butiran air yang cukup berat untuk jatuh dan tiba di daratan. Dengan kata lain hujan berisi oleh partikel – partikel air, dimana partikel ini tembus pandang, sehingga masih bisa ditembus oleh sinar inframerah. Namun hal itu serta merta menyebabkan keterlambatan dan gangguan. Seperti yang kita ketahui bahwa kecepatan cahaya yang merambat melalui bahan – bahan transparan seperti gelas ataupun udara lebih lambat dari kecepatan cahaya pada ruang *vakum*. Sebagai contohnya, indeks refraksi gelas (bahan yang tembus pandang) umumnya berkisar sekitar 1,5, berarti bahwa cahaya dalam gelas bergerak pada kelajuan  $1,5 \approx 200.000 \text{ km/s}$ ; indeks refraksi udara untuk cahaya tampak adalah

sekitar 1,0003, sehingga kelajuan cahaya dalam udara adalah sekitar 90 km/s lebih lambat daripada kelajuan cahaya sebenarnya. Selain itu tinggi rendahnya curah hujan suatu daerah juga sangat mempengaruhi. Indonesia merupakan negara yang memiliki iklim tropis, sehingga tinggi curah hujannya lebih tinggi dibandingkan negara – negara lain. Intensitas dan kecepatan curah hujan juga sangat diperhitungkan dalam hal ini. Sebab semakin deras hujan yang turun, maka semakin besar redaman hujanya dan *throughput* akan semakin kecil. Di permukaan laut tanpa angin, gerimis 05 millimeter (0.20 in) jatuh dengan kecepatan 2 meter per detik (4.5 mph), sementara butiran besar 5 millimeter (0.20 in) jatuh pada kecepatan 9 meter per detik (20 mph).



**Gambar 4.15** Besarnya Intensitas Hujan pada Daerah Tropis

Sumber : *Rain Fade Analysis for Practical Free Space Optic Link in Tropical Region*

### 3. Interferensi dari sumber cahaya yang lain (Termasuk Matahari)

Matahari adalah bintang di pusat Tata Surya. Bentuknya nyaris bulat dan terdiri dari plasma panas bercampur medan magnet. Diameternya sekitar 1.392.684 km, kira-kira 109 kali diameter Bumi,

dan massanya (sekitar  $2 \times 10^{30}$  kilogram, 330.000 kali massa Bumi) mewakili kurang lebih 99,86% massa total Tata Surya.

Matahari berperan sebagai sumber energi sekaligus sumber gangguan. Fenomena – fenomenayang terjadi pada permukaan matahari seperti *Flare* (ledakan di matahari) dan *Coronal Mass Ejection* (CME) atau pelontaran partikel dari matahari akan berpengaruh terhadap teknologi di bumi. *Flare* besar yang mencapai lapisan *ionosfer* akan dapat mengganggu operasional komunikasi yang menggunakan gelombang sebagai medianya. Sementara CME melalui gelombang kejutnya (*shock wave*) dapat memicu terjadinya badai geomagnet yang pada gilirannya juga akan mempengaruhi kondisi lapisan *ionosfer*.

Sebagai sumber panas utama Bumi, Matahari menimbulkan radiasi. Radiasi matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses thermonuklir yang terjadi di Matahari. Energi radiasi Matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik. Spektrum radiasi Matahari sendiri terdiri dari dua yaitu, sinar bergelombang pendek dan sinar bergelombang panjang. Sinar yang termasuk gelombang pendek adalah sinar x, sinar gamma, sinar ultra violet, sedangkan sinar gelombang panjang adalah sinar infra merah. Dikarenakan teknologi *free space optics* ini dilakukan pada ruang bebas yang terpapar sinar Matahari, tentunya akan terjadi benturan antar gelombang yang dihasilkan oleh piranti FSO dengan gelombang yang dihasilkan oleh sinar Matahari.

Panjang gelombang ( $\lambda$ ) merupakan jarak antara dua gunung/ lembah yang berdampingan dari gelombang itu. Banyaknya gelombang lengkap yang melewati suatu fisik yang diam persatuan waktu diberi istilah frekuensi ( $\nu$ ).

Panjang gelombang cahaya elektromagnetik bervariasi dari beberapa Å sampai beberapa meter. Unit-unit yang digunakan untuk melukiskan panjang gelombang adalah sebagai berikut :

$$\text{\AA} = \text{Angstrom} = 10^{-10} \text{ meter} = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-4} \text{ mikrometer}$$

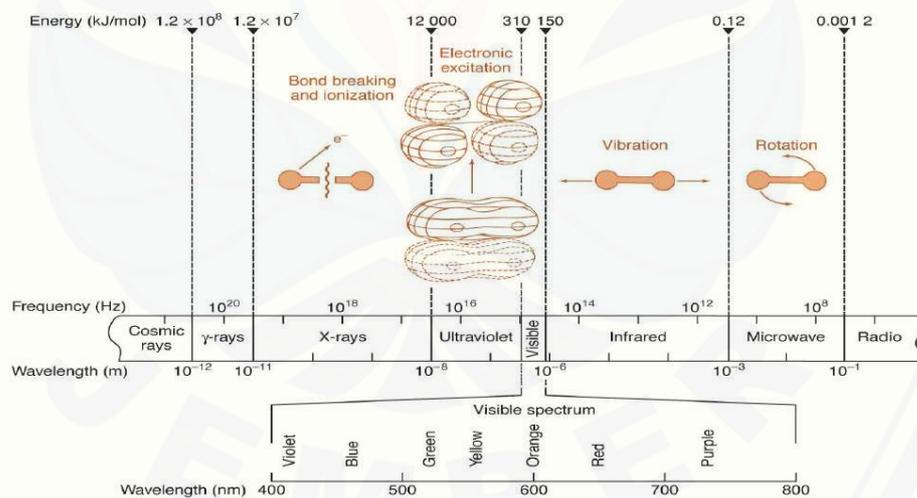
$$\text{nm} = \text{nanometer} = 10^{-9} \text{ meter} = 10 \text{ angstrom} = 10^{-3} \text{ mikrometer}$$

$$\mu\text{m} = \text{mikrometer} = 10^{-6} \text{ meter} = 10^4 \text{ angstrom}$$

Untuk radiasi UV dan tampak (*visible*) digunakan satuan angstrom dan nanometer. Sedangkan mikrometer digunakan untuk daerah IR (inframerah). Hubungan antara energi dan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dituliskan sebagai :

$$E = h c / \lambda \dots\dots\dots(4.3)$$

Dengan E = energi cahaya (erg), h = konstanta Planck ( $6,62 \times 10^{-27}$  erg det),  $\nu$  = frekuensi ( $\text{dt}^{-1}$ ) herzt (Hz), c = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^{10}$  cm dt-1), dan  $\lambda$  = panjang gelombang (cm). Spektrum elektromagnetik menyeluruh dikelompokkan seperti Gambar 4.14.



**Gambar 4.16** Spektrum Elektromagnetik

Sumber : Handout Spektroskopi Ultra Violet Dan Sinar Tampak (Spektroskopi UV – VIS) - Susila Kristianingrum

#### 4. Stabilitas Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah.

- a. Angin laut adalah angin yang bertiup dari arah laut ke arah darat yang umumnya terjadi pada siang hari dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00 di daerah pesisir pantai. Angin ini biasa dimanfaatkan para nelayan untuk pulang dari menangkap ikan di laut. Angin laut ini terjadi pada siang hari. Karena air mempunyai kapasitas panas yang lebih besar daripada daratan, sinar matahari memanasi laut lebih lambat daripada daratan. Ketika suhu permukaan daratan meningkat pada siang hari, udara di atas permukaan darat meningkat pula akibat konduksi. Tekanan udara di atas daratan menjadi lebih rendah karena panas, sedangkan tekanan udara di lautan cenderung masih lebih tinggi karena lebih dingin. Akibatnya terjadi gradien tekanan dari lautan yang lebih tinggi ke daratan yang lebih rendah, sehingga menyebabkan terjadinya angin laut, dimana kekuatannya sebanding dengan perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Namun, jika ada angin lepas pantai yang lebih kencang dari 8 km/jam, maka angin laut tidak terjadi.
- b. Angin darat adalah angin yang bertiup dari arah darat ke arah laut yang umumnya terjadi pada saat malam hari dari jam 20.00 sampai dengan jam 06.00 di daerah pesisir pantai. Angin jenis ini bermanfaat bagi para nelayan untuk berangkat mencari ikan dengan perahu bertenaga angin sederhana. Pada malam hari daratan menjadi dingin lebih cepat daripada lautan, karena kapasitas panas tanah lebih rendah daripada air. Akibatnya perbedaan suhu yang menyebabkan terjadinya angin laut lambat laun hilang dan

sebaliknya muncul perbedaan tekanan yang berlawanan karena tekanan udara di atas lautan yang lebih panas itu menjadi lebih rendah daripada daratan, sehingga terjadilah angin darat, khususnya bila angin pantai tidak cukup kuat untuk melawannya.

Teknologi yang diujicobakan pada penelitian ini merupakan teknologi yang berada di ruang bebas, maka kecepatan angin tidak dapat disesuaikan atau selalu dalam kondisi sama di setiap waktunya. Jika kita bandingkan dengan pernyataan sebelumnya yang menyatakan bahwa, kecepatan cahaya yang merambat melalui bahan – bahan transparan seperti gelas ataupun udara lebih lambat dari kecepatan cahaya pada ruang vakum. Dapat di simpulkan bahwa besar kecilnya intensitas kecepatan angin sangat mempengaruhi kecepatan cahaya. Dan hal tersebut jelas akan mempengaruhi hasil dari besar *throughput*.

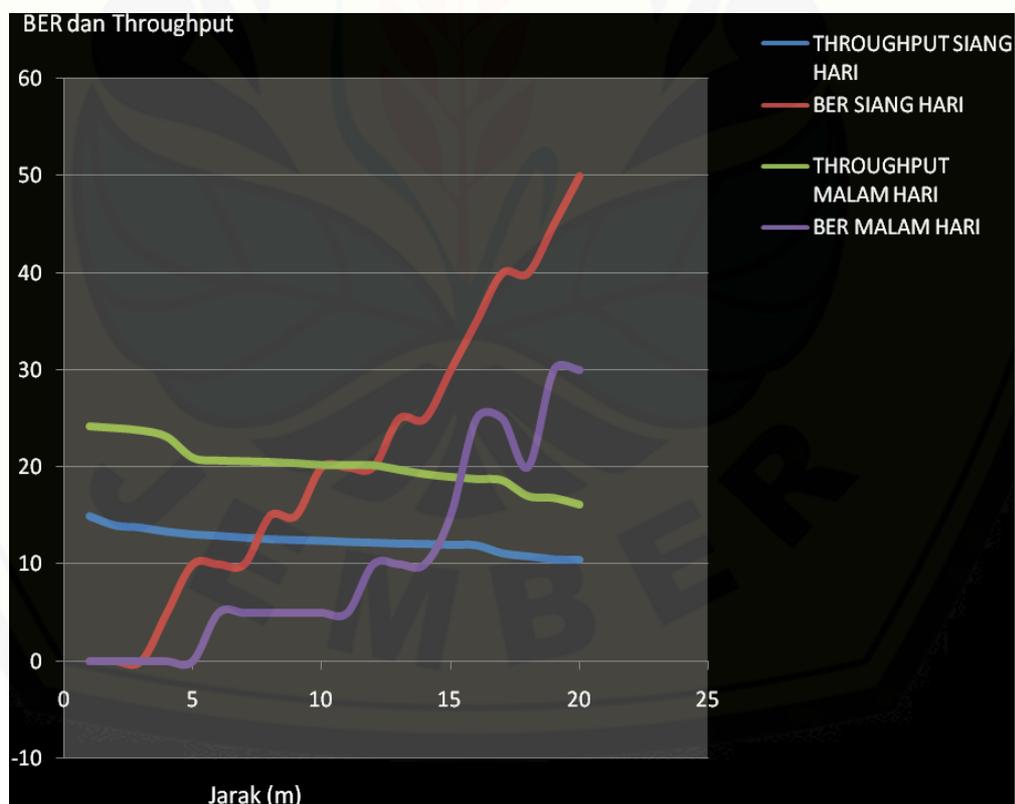
#### 5. Daya yang dibutuhkan oleh piranti

Besar kecilnya daya yang dibutuhkan oleh suatu pemancar, jelas akan mempengaruhi sejauh mana pemancar tersebut akan sanggup mengirimkan data. Namun, tidak berarti bahwa daya yang diberikan kepada piranti tersebut dapat dinaikkan sesuai dengan keinginan. Sebab, setiap piranti memiliki standard daya yang berbeda – beda. Jika dibandingkan antara suatu pemancar yang membutuhkan daya sebesar 5 volt dengan piranti lain yang membutuhkan daya sebesar 20 volt, maka piranti yang membutuhkan daya yang lebih besar akan dapat mengirimkan data ketempat yang lebih jauh dibandingkan dengan piranti yang membutuhkan daya lebih kecil.

#### 4.4.2 Hubungan Antara *Throughput* dan *Bit Error Rates* (BER)

Pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah *throughput* dan *Bit Error Rates* (BER). Dari hasil pengujian kedua parameter ini memiliki hubungan satu sama lain. *Throughput* adalah tingkat kesuksekan pengiriman data persatuan waktu, sedangkan *Bit Error Rates* (BER) adalah persentase kesalahan pengiriman data per tiap bit yang dikirim. Hasil pengujian *throughput* dan *Bit Error Rates* (BER) ini dilakukan pada dua keadaan yaitu pada malam hari dan siang hari. Pengujian malam hari dilakukan pada pukul 19.00 WIB – 23.00 WIB dalam keadaan bebas halangan. Pengujian siang hari dilakukan pada pukul 13.00 WIB – 17.00 WIB dalam keadaan bebas halangan tetapi kondisi cuaca cerah berangin dan kemudian turun hujan.

Pengujian *throughput* dan *Bit Error Rates* ini dapat kita perhatikan pada grafik gambar 4. 17 sebagai berikut.



**Gambar 4. 17** Grafik perbandingan BER dan *Throughput* Malam dan Siang hari

Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai BER dan *throughput* berbanding terbalik. Hal ini dikarenakan tingkat kesalahan atau *error* pengiriman data mempengaruhi tingkat keberhasilan pengiriman data per satuan waktu. Secara manual, titik optimal antara BER dan *throughput* pada siang hari yaitu pada titik 12,6 dengan perkiraan jarak 7,4 meter. Sedangkan pada malam hari yaitu pada titik 18,8 dengan jarak 15,3 meter. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi malam hari lebih baik untuk pengiriman data, hal ini dikarenakan lebih sedikitnya interferensi gelombang cahaya pada pengiriman data. Melihat hasil dari pengujian ini, dapat dikembangkan lagi pada kondisi siang hari agar pengiriman data sama baiknya dengan malam hari.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain :

1. Besar nilai *throughput* berbanding terbalik dengan pertambahan jarak, semakin besar jarak pengiriman data maka semakin kecil pula nilai *throughput* yang dihasilkan, sebaliknya besar nilai *Bit Error Rates* berbanding lurus dengan pertambahan jarak semakin jauh jarak pengiriman data maka semakin besar nilai *Bit Error Rates* (BER). (Tabel 4.4 halaman 56, Tabel 4.8 Halaman 60)
2. Persentase kesalahan dari 20 kali pengambilan data mencapai 50% di siang hari dan 30% di malam hari. (Tabel 4.10 Halaman 63, Tabel 4.12 Halaman 65)
3. Nilai *Bit Error Rates* (BER) pada siang hari semakin buruk, begitu juga dengan besar *throughput* semakin menurun.
4. Besar *throughput* berbanding terbalik dengan besar *Bit Error Rates*, semakin besar persentase kesalahan pengiriman data maka semakin kecil pula tingkat keberhasilan penerimaan data. (Gambar 4.17 Halaman 76)

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang “Analisis Performansi QoS Pada Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas (KORUB) untuk *Two Sites*”, penulis memberikan beberapa saran untuk penyempurnaan karya ilmiah ini dan lebih memberikan manfaat yang lebih baik di masa mendatang.

1. Alat yang digunakan dapat dikembangkan sehingga daya listrik yang digunakan bisa ditambah, serta kekuatan pancaran dan penerimaan dapat menjangkau lebih jauh.

2. Memberikan sistem kendali pada lensa agar pencarian titik fokus pemancar dan penerima secara otomatis.
3. Mengembangkan analisis pengiriman data disiang hari akibat pengaruh cahaya matahari.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alaydrus,Mudrik. 2009. Saluran Transmisi Telekomunikasi. Yogyakarta. Graha Ilmu
- Avrina. 2014. Analisis *Throughput* Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas (KORUB) Untuk *Two Sites*.
- Daryanto. 2003. Fisika Teknik. Jakarta. PT. Asdi Mahasatya  
[dukasielektro.blogspot.com/2013/02/photo-dioda.html](http://dukasielektro.blogspot.com/2013/02/photo-dioda.html)
- Haryadi, Sigit & Martinus Hadi Satria . 2004. *Wireless Optical Comunication* untuk penggunaan Luar Ruangan
- Hayt, William H,JR. 2007. Elektromagnetika Teknologi. Erlangga.
- Ikawati,Yunia, Nur Adi & Okkie Pusitarini. 2011. Analisa Interferensi Elektromagnetik pada Propagasi Wi-Fi Indor
- Innovative Electronics.*SPC Infrared Tranceiver*.Innovative Electronics.
- Juma'inah, Erfan Achmad Dahlan & Onny Setyawati. 2012. Analisis Performansi *Orthogonal Frequency Devision Multiple Access (OFDMA) Sistem Free Space Optic (FSO)* dalam Kondisi Cuaca Cerah Menurut Standar ITU-R P.1817.
- Muhaimin,M.T. 2001. Teknologi Pencahayaan. Bandung. Refika Aditama
- Pandianga, Johannes. 2009. Perancangan dan penggunaan Photodioda sebagai Sensor Penghindar Dinding pada Robot Forklift
- Patrya,Wahyu, Novi Safriadi & M.Azhar. 2012. Analisis Quality of service (QoS) pada Jaringan Internet (Studi Kasus : Fakultas Kedokteran Universitas Tanjungpura)
- Stallings, William. 2007. Komunikasi dan Jaringan Nirkabel. Jakarta. Erlangga

Supriyanto. 2007. Perambatan Gelombang Elektromagnetik

Widyanto. 2012. *Pengontrol Elektronik untuk Pengendali Arah Antena pada Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas (KORUB)*  
.([Bloberg.binadarma.ac.id/widyanto](http://bloberg.binadarma.ac.id/widyanto) Diakses 20 Oktober 2013)



## LAMPIRAN

## I. DATA THROUGHPUT

## 1. Malam hari

*Throughput 1 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,2	3	24	20
2	1,6	5	40	25,000000000
3	2,4	6	48	20,000000000
4	2,7	7	56	20,740740741
5	2,8	8	64	22,857142857
6	2,5	8	64	25,600000000
7	2,9	8	64	22,068965517
8	3,0	8	64	21,333333333
9	3,2	8	64	20,000000000
10	2,8	9	72	25,714285714
11	3,2	10	80	25,000000000
12	3,8	11	88	23,157894737
13	3,7	11	88	23,783783784
14	3,9	11	88	22,564102564
15	3,0	12	96	32,000000000
16	3,6	12	96	26,666666667
17	4,0	13	104	26,000000000
18	3,8	13	104	27,368421053
19	4,2	14	112	26,666666667
20	4,8	16	128	26,666666667
Total rata - rata				24,159433515

*Throughput 2 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,9	6	48	25,26315789
2	2	7	56	28
3	2,1	8	64	30,47619048
4	3	8	64	21,333333333
5	2,4	8	64	26,666666667

6	3,2	9	72	22,5
7	3,9	9	72	18,46153846
8	3,7	10	80	21,62162162
9	3,1	10	80	25,80645161
10	3,2	11	88	27,5
11	3,1	11	88	28,38709677
12	3,5	11	88	25,14285714
13	4,1	12	96	23,41463415
14	5,3	12	96	18,11320755
15	4,3	12	96	22,3255814
16	4,2	13	104	24,76190476
17	4,6	14	112	24,34782609
18	5	14	112	22,4
19	5,9	15	120	20,33898305
20	5,3	15	120	22,64150943
Total rata - rata				23,97512802

### *Throughput 3 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,9	5	40	21,05263158
2	3,2	7	56	17,5
3	2,8	8	64	22,85714286
4	2,5	9	72	28,8
5	3,9	9	72	18,46153846
6	3,6	9	72	20
7	4,1	9	72	17,56097561
8	3,9	9	72	18,46153846
9	2,7	10	80	29,62962963
10	3,1	10	80	25,80645161
11	4,4	11	88	20
12	3,4	12	96	28,23529412
13	4,2	13	104	24,76190476
14	4,7	13	104	22,12765957
15	4,5	13	104	23,11111111
16	5	15	120	24
17	4,9	15	120	24,48979592
18	4,5	16	128	28,44444444
19	5,6	17	136	24,28571429
20	4,8	21	168	35
Total rata - rata				23,72929162

**Throughput 4 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,8	5	40	6,896551724
2	2,3	6	48	20,86956522
3	3,8	6	48	12,63157895
4	1,9	8	64	33,68421053
5	3,2	8	64	20
6	2,8	9	72	25,71428571
7	2,5	9	72	28,8
8	3,1	9	72	23,22580645
9	3,2	10	80	25
10	3,9	10	80	20,51282051
11	3,5	11	88	25,14285714
12	4,3	11	88	20,46511628
13	4	11	88	22
14	4,8	12	96	20
15	3,3	13	104	31,51515152
16	3,5	13	104	29,71428571
17	3,7	14	112	30,27027027
18	5,4	14	112	20,74074074
19	5,3	16	128	24,1509434
20	6,3	16	128	20,31746032
Total rata - rata				23,08258222

**Throughput 5 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,3	3	24	18,46153846
2	1,9	4	32	16,84210526
3	1,7	5	40	23,52941176
4	2,4	5	40	16,66666667
5	2,2	6	48	21,81818182
6	2,9	7	56	19,31034483
7	3	7	56	18,66666667
8	3,5	8	64	18,28571429
9	3,7	9	72	19,45945946
10	3,3	9	72	21,81818182
11	3,8	10	80	21,05263158
12	4,7	10	80	17,0212766

13	3,3	11	88	26,66666667
14	3,7	11	88	23,78378378
15	3,6	11	88	24,44444444
16	4,2	11,5	92	21,9047619
17	4,6	12	96	20,86956522
18	4,3	12	96	22,3255814
19	4,2	13	104	24,76190476
20	5,3	14	112	21,13207547
Total rata - rata				20,94104814

### *Throughput 6 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,6	4	32	20
2	2,7	5	40	14,81481481
3	2,8	5	40	14,28571429
4	3,2	7	56	17,5
5	2,5	8	64	25,6
6	4,4	9	72	16,36363636
7	3,5	9	72	20,57142857
8	3,3	9	72	21,81818182
9	3,8	10	80	21,05263158
10	3,5	10	80	22,85714286
11	4,6	11	88	19,13043478
12	3,7	11	88	23,78378378
13	4,7	12	96	20,42553191
14	4,4	12	96	21,81818182
15	4,2	12	96	22,85714286
16	5,1	13	104	20,39215686
17	4,4	14	112	25,45454545
18	4,8	14	112	23,33333333
19	6,5	15	120	18,46153846
20	5,3	15	120	22,64150943
Total rata - rata				20,65808545

**Throughput 7 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,3	3	24	18,46153846
2	1,8	4	32	17,77777778
3	1,7	6	48	28,23529412
4	3,1	6	48	15,48387097
5	3,4	7	56	16,47058824
6	3,2	7	56	17,5
7	3,1	8	64	20,64516129
8	3,5	8	64	18,28571429
9	3,2	8	64	20
10	3,1	9	72	23,22580645
11	4,2	10	80	19,04761905
12	4,4	10	80	18,18181818
13	4,6	11	88	19,13043478
14	4,0	12	96	24
15	4,2	12	96	22,85714286
16	5,4	13	104	19,25925926
17	5,2	13	104	20
18	4,3	14	112	26,04651163
19	4,5	14	112	24,88888889
20	5,4	15	120	22,22222222
Total rata - rata				20,58598242

**Throughput 8 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	2,0	4	32	16
2	2,3	5	40	17,39130435
3	2,4	6	48	20
4	2,8	7	56	20
5	2,5	7	56	22,4
6	3,1	8	64	20,64516129
7	2,3	8	64	27,82608696
8	5,3	9	72	13,58490566
9	4,4	9	72	16,36363636
10	4,5	10	80	17,77777778
11	5,0	10	80	16
12	3,3	10	80	24,24242424
13	3,7	11	88	23,78378378
14	3,7	11	88	23,78378378
15	4,3	12	96	22,3255814
16	3,8	12	96	25,26315789
17	4,3	13	104	24,18604651
18	5,6	13	104	18,57142857
19	5,9	14	112	18,98305085
20	5,7	15	120	21,05263158
Total rata - rata				20,50903805

**Throughput 9 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	2,4	4	32	13,33333333
2	2,3	5	40	17,39130435
3	2,4	7	56	23,33333333
4	3	7	56	18,66666667
5	3,2	9	72	22,5
6	3,4	9	72	21,17647059
7	3,5	9	72	20,57142857
8	3,4	9	72	21,17647059
9	3,9	10	80	20,51282051
10	4,4	10	80	18,18181818

11	4,1	11	88	21,46341463
12	4,6	12	96	20,86956522
13	4,5	12	96	21,33333333
14	5,1	13	104	20,39215686
15	5,4	13	104	19,25925926
16	4,8	13	104	21,66666667
17	5,1	14	112	21,96078431
18	5,3	15	120	22,64150943
19	5,8	15	120	20,68965517
20	6,2	16	128	20,64516129
Total rata - rata				20,38825762

### *Throughput 10 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,0	4	32	32
2	2,5	5	40	16
3	2,2	5	40	18,18181818
4	2,9	6	48	16,55172414
5	3,6	7	56	15,55555556
6	3,6	7	56	15,55555556
7	2,8	8	64	22,85714286
8	3,2	9	72	22,5
9	3,6	10	80	22,22222222
10	4,2	10	80	19,04761905
11	4,4	11	88	20
12	4,3	11	88	20,46511628
13	4,1	12	96	23,41463415
14	5,0	12	96	19,2
15	6,2	12	96	15,48387097
16	4,9	13	104	21,2244898
17	4,7	13	104	22,12765957
18	5,4	14	112	20,74074074
19	6,1	15	120	19,67213115
20	6,4	17	136	21,25
Total rata - rata				20,20251401

**Throughput 11 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,7	4	32	18,82352941
2	2,4	5	40	16,66666667
3	1,6	7	56	35
4	3,6	7	56	15,55555556
5	3,3	8	64	19,39393939
6	4,2	9	72	17,14285714
7	4,0	9	72	18
8	3,6	10	80	22,22222222
9	4,1	10	80	19,51219512
10	3,4	10	80	23,52941176
11	4,7	11	88	18,72340426
12	3,8	11	88	23,15789474
13	4,9	12	96	19,59183673
14	4,8	12	96	20
15	4,6	12	96	20,86956522
16	5,5	13	104	18,90909091
17	6,1	13	104	17,04918033
18	5,9	14	112	18,98305085
19	6,3	15	120	19,04761905
20	5,6	15	120	21,42857143
Total rata - rata				20,18032954

**Throughput 12 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	2,4	5	40	16,66666667
2	2,3	6	48	20,86956522
3	2,5	7	56	22,4
4	3,3	7	56	16,96969697
5	2,8	8	64	22,85714286
6	4,5	9	72	16
7	2,9	9	72	24,82758621
8	4,1	10	80	19,51219512
9	3,9	11	88	22,56410256
10	5,7	11	88	15,43859649

11	4,2	11	88	20,95238095
12	5,7	12	96	16,84210526
13	5,3	13	104	19,62264151
14	4,4	13	104	23,63636364
15	5,5	14	112	20,36363636
16	6,3	15	120	19,04761905
17	5,2	15	120	23,07692308
18	6,7	16	128	19,10447761
19	6,0	16	128	21,33333333
20	7,1	19	152	21,4084507
Total rata – rata				20,17467418

### *Throughput 13 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,5	5	40	26,66666667
2	2,6	6	48	18,46153846
3	2,5	7	56	22,4
4	3,3	7	56	16,96969697
5	3,5	8	64	18,28571429
6	3,4	8	64	18,82352941
7	3,4	9	72	21,17647059
8	4,1	10	80	19,51219512
9	4,5	10	80	17,77777778
10	4,9	11	88	17,95918367
11	4,6	11	88	19,13043478
12	4,4	11	88	20
13	5,7	12	96	16,84210526
14	4,5	12	96	21,33333333
15	4,7	12	96	20,42553191
16	4,4	13	104	23,63636364
17	5,4	13	104	19,25925926
18	6,1	14	112	18,36065574
19	6,8	15	120	17,64705882
20	6,5	16	128	19,69230769
Total rata - rata				19,71799117

**Throughput 14 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,6	4	32	20
2	2,1	5	40	19,04761905
3	2,5	6	48	19,2
4	3,2	7	56	17,5
5	2,9	7	56	19,31034483
6	3,0	7	56	18,66666667
7	3,0	7	56	18,66666667
8	3,8	8	64	16,84210526
9	4,1	9	72	17,56097561
10	5,6	10	80	14,28571429
11	4,8	10	80	16,66666667
12	3,2	10	80	25
13	4,8	11	88	18,33333333
14	5,0	12	96	19,2
15	5,5	13	104	18,90909091
16	4,7	13	104	22,12765957
17	5,1	14	112	21,96078431
18	5,8	15	120	20,68965517
19	5,6	15	120	21,42857143
20	6,4	16	128	20
Total rata - rata				19,26979269

**Throughput 15 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,5	4	32	21,33333333
2	4,7	5	40	8,510638298
3	2,8	6	48	17,14285714
4	3,0	6	48	16
5	2,6	7	56	21,53846154
6	4,1	8	64	15,6097561
7	3,2	8	64	20
8	3,4	8	64	18,82352941
9	3,2	9	72	22,5
10	5,0	10	80	16

11	4,6	10	80	17,39130435
12	3,8	11	88	23,15789474
13	5,2	12	96	18,46153846
14	4,9	12	96	19,59183673
15	5,9	12	96	16,27118644
16	4,9	13	104	21,2244898
17	5,2	13	104	20
18	4,3	14	112	26,04651163
19	6,1	15	120	19,67213115
20	6,7	17	136	20,29850746
Total rata - rata				18,97869883

### *Throughput 16 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	2,3	5	40	17,39130435
2	2,9	5	40	13,79310345
3	4	5	40	10
4	3,6	6	48	13,33333333
5	4,2	8	64	15,23809524
6	5,9	9	72	12,20338983
7	5,4	9	72	13,33333333
8	3,4	9	72	21,17647059
9	3,4	9	72	21,17647059
10	5,6	10	80	14,28571429
11	3,8	10	80	21,05263158
12	3,9	10	80	20,51282051
13	6,9	11	88	12,75362319
14	4,6	12	96	20,86956522
15	4,7	12	96	20,42553191
16	4,5	13	104	23,11111111
17	5	15	120	24
18	5	16	128	25,6
19	5,6	18	144	25,71428571
20	5,2	19	152	29,23076923
Total rata - rata				18,76007767

**Throughput 17 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,8	3	24	13,33333333
2	2,0	4,6	36,8	18,4
3	3,9	7	56	14,35897436
4	2,9	7	56	19,31034483
5	3,1	7	56	18,06451613
6	3,6	7	56	15,55555556
7	2,9	7	56	19,31034483
8	3,2	7	56	17,5
9	3,6	7	56	15,55555556
10	2,2	7	56	25,45454545
11	2,1	8	64	30,47619048
12	5,2	8	64	12,30769231
13	3,6	8	64	17,77777778
14	2,9	8	64	22,06896552
15	3,8	9	72	18,94736842
16	4,6	11	88	19,13043478
17	4,8	11	88	18,33333333
18	4,9	11	88	17,95918367
19	5,4	12	96	17,77777778
20	5,4	14	112	20,74074074
Total rata - rata				18,61813174

**Throughput 18 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	2,1	4	32	15,23809524
2	3,2	6	48	15
3	3,1	7	56	18,06451613
4	2,8	7	56	20
5	3,2	7	56	17,5
6	4,3	8	64	14,88372093
7	3,7	8	64	17,2972973
8	4	8	64	16
9	3,8	8	64	16,84210526
10	3,6	8	64	17,77777778
11	3,9	8	64	16,41025641

12	3,4	9	72	21,17647059
13	3,8	9	72	18,94736842
14	4,6	9	72	15,65217391
15	4,5	10	80	17,77777778
16	4,8	10	80	16,66666667
17	4,5	11	88	19,55555556
18	5,5	11	88	16
19	6,7	12	96	14,32835821
20	7,3	14	112	15,34246575
Total rata - rata				17,0230303

### *Throughput 19 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	2,1	3	24	11,42857143
2	3	6	48	16
3	3,7	6	48	12,97297297
4	2,2	6	48	21,81818182
5	4	8	64	16
6	5,6	8	64	11,42857143
7	4,9	9	72	14,69387755
8	4,2	9	72	17,14285714
9	4,6	9	72	15,65217391
10	3,9	10	80	20,51282051
11	3,4	10	80	23,52941176
12	3,9	10	80	20,51282051
13	4,9	10	80	16,32653061
14	4,5	11	88	19,55555556
15	5	11	88	17,6
16	7,1	12	96	13,52112676
17	5,5	12	96	17,45454545
18	5,8	12	96	16,55172414
19	6,1	13	104	17,04918033
20	6,2	13	104	16,77419355
Total rata - rata				16,82625577

**Throughput 20 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	1,8	4	32	17,77777778
2	2,4	4	32	13,33333333
3	1,8	4	32	17,77777778
4	2,8	6	48	17,14285714
5	3,7	7	56	15,13513514
6	3,8	8	64	16,84210526
7	5	8	64	12,8
8	4,2	8	64	15,23809524
9	4,6	9	72	15,65217391
10	6	9	72	12
11	3,8	9	72	18,94736842
12	4,8	9	72	15
13	3,6	9	72	20
14	4,5	9	72	16
15	4,6	10	80	17,39130435
16	5,5	10	80	14,54545455
17	5,9	11	88	14,91525424
18	5,6	11	88	15,71428571
19	6,3	14	112	17,77777778
20	6,8	16	128	18,82352941
Total rata - rata				16,1407115

## 2. Siang hari

### *Throughput 1 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5	9	72	14
2	5,1	10	80	15,686274510
3	6,3	10	80	12,698412698
4	7,3	11	88	12,054794521
5	6,8	12	96	14,117647059
6	5,4	12	96	17,777777778
7	7,3	13	104	14,246575342
8	6,4	13	104	16,250000000
9	8,3	14	112	13,493975904
10	7,7	15	120	15,584415584
11	8,5	15	120	14,117647059
12	9,5	16	128	13,473684211
13	8,4	17	136	16,190476190
14	10,2	18	144	14,117647059
15	9,5	18	144	15,157894737
16	9,3	18	144	15,483870968
17	10,3	19	152	14,757281553
18	9,7	19	152	15,670103093
19	10,1	20	160	15,841584158
20	9,8	21	168	17,142857143
Total rata - rata			2400	14,913145978

### *Throughput 2 meter*

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	4,3	8	64	14,88372093
2	5,2	8	64	12,30769231
3	6,2	9	72	11,61290323
4	5,3	9	72	13,58490566
5	4,9	10	80	16,32653061
6	5,4	10	80	14,81481481
7	6,4	11	88	13,75
8	7,7	11	88	11,42857143

9	8,5	11	88	10,35294118
10	6,8	11	88	12,94117647
11	8,7	12	96	11,03448276
12	7,2	13	104	14,44444444
13	9,7	13	104	10,72164948
14	8,3	13	104	12,53012048
15	7,5	15	120	16
16	8,5	15	120	14,11764706
17	8,4	16	128	15,23809524
18	7,5	16	128	17,06666667
19	9,6	21	168	17,5
20	10,1	24	192	19,00990099
Total rata - rata			2048	13,98331319

**Throughput 3 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	4,3	8	64	14,88372093
2	7,4	9	72	9,72972973
3	5,9	9	72	12,20338983
4	4,9	10	80	16,32653061
5	6,1	10	80	13,1147541
6	6,9	10	80	11,5942029
7	6,8	11	88	12,94117647
8	8,7	11	88	10,11494253
9	8,2	12	96	11,70731707
10	6,4	13	104	16,25
11	7,7	13	104	13,50649351
12	9,1	14	112	12,30769231
13	8,1	14	112	13,82716049
14	8	15	120	15
15	7,7	15	120	15,58441558
16	9,3	16	128	13,76344086
17	9,5	17	136	14,31578947
18	8	18	144	18
19	9,8	18	144	14,69387755
20	10,5	20	160	15,23809524
Total rata - rata			2104	13,75513646

**Throughput 4 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,7	8	64	11,22807018
2	5,2	8	64	12,30769231
3	6,3	9	72	11,42857143
4	7,3	9	72	9,863013699
5	6,8	10	80	11,76470588
6	5,4	10	80	14,81481481
7	7,3	11	88	12,05479452
8	6,4	11	88	13,75
9	6,9	11	88	12,75362319
10	7,7	11	88	11,42857143
11	8,5	12	96	11,29411765
12	8,2	13	104	12,68292683
13	8,4	13	104	12,38095238
14	7,6	13	104	13,68421053
15	8,6	15	120	13,95348837
16	9,3	15	120	12,90322581
17	8,3	16	128	15,42168675
18	9,7	16	128	13,19587629
19	9,8	21	168	17,14285714
20	8,4	24	192	22,85714286
Total rata - rata			2048	13,3455171

**Throughput 5 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	2,8	6	48	17,14285714
2	7,4	8	64	8,648648649
3	5,9	9	72	12,20338983
4	4,9	9	72	14,69387755
5	6,1	9	72	11,80327869
6	6,9	10	80	11,5942029
7	6,8	11	88	12,94117647
8	8,7	11	88	10,11494253
9	7	11	88	12,57142857
10	6,4	11	88	13,75
11	7,7	12	96	12,46753247
12	9,1	13	104	11,42857143
13	8,1	13	104	12,83950617

14	8	13	104	13
15	7,7	15	120	15,58441558
16	9,3	15	120	12,90322581
17	9,5	16	128	13,47368421
18	10,5	16	128	12,19047619
19	9,8	21	168	17,14285714
20	12,8	24	192	15
Total rata - rata			2024	13,07470357

### Throughput 6 meter

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,7	8	64	11,22807018
2	8,1	9	72	8,888888889
3	6,3	9	72	11,42857143
4	7,3	10	80	10,95890411
5	6,8	10	80	11,76470588
6	5,4	10	80	14,81481481
7	9,5	11	88	9,263157895
8	6,4	11	88	13,75
9	8,3	12	96	11,56626506
10	7,7	13	104	13,50649351
11	8,5	13	104	12,23529412
12	9,5	14	112	11,78947368
13	8,4	14	112	13,33333333
14	8,6	15	120	13,95348837
15	8,6	15	120	13,95348837
16	9,3	16	128	13,76344086
17	9,5	17	136	14,31578947
18	9,7	18	144	14,84536082
19	10,1	18	144	14,25742574
20	8,4	20	160	19,04761905
Total rata – rata			2104	12,93322928

**Throughput 7 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	6,3	9	72	11,42857143
2	6,6	9	72	10,90909091
3	5,9	11	88	14,91525424
4	6,5	11	88	13,53846154
5	7,9	11	88	11,13924051
6	9,2	12	96	10,43478261
7	8,5	13	104	12,23529412
8	9,3	13	104	11,1827957
9	10,7	14	112	10,46728972
10	9,7	15	120	12,37113402
11	9,8	15	120	12,24489796
12	10,5	15	120	11,42857143
13	9,7	17	136	14,02061856
14	8,9	17	136	15,28089888
15	9,5	18	144	15,15789474
16	11,7	18	144	12,30769231
17	10,2	18	144	14,11764706
18	11,8	19	152	12,88135593
19	10,4	20	160	15,38461538
20	11,8	20	160	13,55932203
Total rata - rata			2360	12,75027145

**Throughput 8 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	7,3	10	80	10,95890411
2	6,8	10	80	11,76470588
3	6,5	10	80	12,30769231
4	8,6	11	88	10,23255814
5	7,9	12	96	12,15189873
6	8,4	12	96	11,42857143
7	9,5	13	104	10,94736842
8	8,9	14	112	12,58426966
9	9,4	14	112	11,91489362
10	10,4	15	120	11,53846154
11	11,6	16	128	11,03448276

12	10,3	18	144	13,98058252
13	10,8	18	144	13,33333333
14	12,1	18	144	11,90082645
15	11,8	19	152	12,88135593
16	10,5	19	152	14,47619048
17	12,4	19	152	12,25806452
18	10,3	20	160	15,53398058
19	10,1	23	184	18,21782178
20	13,5	21	168	12,44444444
Total rata - rata			2496	12,59452033

**Throughput 9 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,7	9	72	12,63157895
2	8,9	10	80	8,988764045
3	6,9	11	88	12,75362319
4	7,4	11	88	11,89189189
5	8,3	11	88	10,60240964
6	8,5	12	96	11,29411765
7	9,8	13	104	10,6122449
8	9,3	13	104	11,1827957
9	10,4	14	112	10,76923077
10	10,6	15	120	11,32075472
11	10,8	15	120	11,11111111
12	11,5	17	136	11,82608696
13	9,5	17	136	14,31578947
14	11,4	18	144	12,63157895
15	10,2	18	144	14,11764706
16	12,1	18	144	11,90082645
17	10,5	18	144	13,71428571
18	11,8	19	152	12,88135593
19	11,4	23	184	16,14035088
20	10,3	25	200	19,41747573
Total rata - rata			2456	12,50519598

**Throughput 10 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	6,3	8	64	10,15873016
2	5,9	10	80	13,55932203
3	7,6	10	80	10,52631579
4	6,6	12	96	14,54545455
5	8,1	12	96	11,85185185
6	9,2	12	96	10,43478261
7	7,9	13	104	13,16455696
8	8,5	14	112	13,17647059
9	10,5	14	112	10,66666667
10	8,1	15	120	14,81481481
11	9,8	15	120	12,24489796
12	10,8	15	120	11,11111111
13	11,3	16	128	11,32743363
14	9,2	17	136	14,7826087
15	11,0	17	136	12,36363636
16	10,8	17	136	12,59259259
17	11,8	17	136	11,52542373
18	11,3	17,6	140,8	12,46017699
19	12,1	20	160	13,2231405
20	13,6	24	192	14,11764706
Total rata - rata			2364,8	12,43238173

**Throughput 11 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	6	9	72	12
2	5,9	9	72	12,20338983
3	7,2	10	80	11,11111111
4	8,6	10	80	9,302325581
5	7,9	11	88	11,13924051
6	8,4	11	88	10,47619048
7	9,5	12	96	10,10526316
8	8,9	12	96	10,78651685
9	9,4	13	104	11,06382979
10	8,5	13	104	12,23529412
11	9,6	14	112	11,66666667

12	10,3	15	120	11,65048544
13	10,8	15	120	11,11111111
14	9,8	16	128	13,06122449
15	9,9	16	128	12,92929293
16	10,5	18	144	13,71428571
17	10,7	18	144	13,45794393
18	10,3	19	152	14,75728155
19	10,8	20	160	14,81481481
20	10,2	24	192	18,82352941
Total rata - rata			2280	12,32048987

**Throughput 12 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,7	9	72	12,63157895
2	8,9	10	80	8,988764045
3	6,9	10	80	11,5942029
4	7,4	11	88	11,89189189
5	8,3	12	96	11,56626506
6	8,5	12	96	11,29411765
7	9,8	13	104	10,6122449
8	9,3	13	104	11,1827957
9	10,4	14	112	10,76923077
10	10,6	15	120	11,32075472
11	10,8	15	120	11,11111111
12	11,5	16	128	11,13043478
13	9,5	17	136	14,31578947
14	11,4	18	144	12,63157895
15	10,2	18	144	14,11764706
16	12,1	18	144	11,90082645
17	10,5	19	152	14,47619048
18	11,8	19	152	12,88135593
19	11,4	20	160	14,03508772
20	10,3	21	168	16,31067961
Total rata - rata			2400	12,23812741

**Throughput 13 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,8	10	80	13,79310345
2	6,7	10	80	11,94029851
3	8,5	10	80	9,411764706
4	8,9	11	88	9,887640449
5	7,8	12	96	12,30769231
6	9,2	12	96	10,43478261
7	10,7	13	104	9,719626168
8	9,5	14	112	11,78947368
9	9,6	14	112	11,666666667
10	10,6	15	120	11,32075472
11	10,1	16	128	12,67326733
12	11,8	18	144	12,20338983
13	11,5	18	144	12,52173913
14	12,3	18	144	11,70731707
15	10,5	19	152	14,47619048
16	11,3	19	152	13,45132743
17	11,8	19	152	12,88135593
18	11,8	20	160	13,55932203
20	12,7	21	168	13,22834646
19	13,1	23	184	14,04580153
Total rata - rata			2496	12,15099302

**Throughput 14 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,8	9	72	12,4137931
2	6,7	10	80	11,94029851
3	8,5	10	80	9,411764706
4	8,9	11	88	9,887640449
5	7,2	12	96	13,33333333
6	9,2	12	96	10,43478261
7	8,3	13	104	12,53012048
8	8,5	13	104	12,23529412
9	9,6	14	112	11,666666667
10	10,6	15	120	11,32075472
11	9,0	15	120	13,33333333
12	10,6	16	128	12,0754717

13	11,5	17	136	11,82608696
14	11,4	18	144	12,63157895
15	12,3	18	144	11,70731707
16	11,3	18	144	12,74336283
17	10,6	19	152	14,33962264
18	11,8	19	152	12,88135593
19	13,1	20	160	12,21374046
20	12,6	21	168	13,33333333
Total rata - rata			2400	12,11298259

**Throughput 15 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	11,8	9	72	6,101694915
2	6,7	10	80	11,94029851
3	8,5	11	88	10,35294118
4	8,9	11	88	9,887640449
5	7,2	11	88	12,22222222
6	9,2	12	96	10,43478261
7	7,0	13	104	14,85714286
8	8,5	13	104	12,23529412
9	9,6	14	112	11,66666667
10	10,9	15	120	11,00917431
11	9,0	15	120	13,33333333
12	10,6	17	136	12,83018868
13	15,1	17	136	9,006622517
14	11,4	18	144	12,63157895
15	11,6	18	144	12,4137931
16	10,5	18	144	13,71428571
17	10,6	18	144	13,58490566
18	12,2	19	152	12,45901639
19	13,1	23	184	14,04580153
20	12,6	25	200	15,87301587
Total rata - rata			2456	12,03001998

**Throughput 16 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,4	9	72	13,33333333
2	6,3	9	72	11,42857143
3	6,5	10	80	12,30769231
4	7,4	10	80	10,81081081
5	8,3	11	88	10,60240964
6	8,1	11	88	10,86419753
7	9,8	12	96	9,795918367
8	9,2	12	96	10,43478261
9	9,8	13	104	10,6122449
10	10,7	13	104	9,719626168
11	10,3	14	112	10,87378641
12	11,5	15	120	10,43478261
13	10,3	15	120	11,65048544
14	11,4	16	128	11,22807018
15	10,2	16	128	12,54901961
16	10,6	18	144	13,58490566
17	10,5	18	144	13,71428571
18	11,8	19	152	12,88135593
19	11,4	20	160	14,03508772
20	10,3	24	192	18,6407767
Total rata - rata			2280	11,97510715

**Throughput 17 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	7,6	8	64	8,421052632
2	6,9	9	72	10,43478261
3	7,0	9	72	10,28571429
4	8,9	10	80	8,988764045
5	9,5	10	80	8,421052632
6	8,6	11	88	10,23255814
7	9,8	11	88	8,979591837
8	9,7	12	96	9,896907216
9	11,4	12	96	8,421052632
10	10,7	13	104	9,719626168
11	10,5	13	104	9,904761905
12	10,8	15	120	11,11111111

13	9,8	15	120	12,24489796
14	12,4	17	136	10,96774194
15	11,1	18	144	12,97297297
16	10,8	19	152	14,07407407
17	9,6	19	152	15,83333333
18	10,4	20	160	15,38461538
19	11,8	21	168	14,23728814
20	12,9	21	168	13,02325581
Total rata - rata			2264	11,17775774

**Throughput 18 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	5,3	8	64	12,0754717
2	5,9	8	64	10,84745763
3	7,2	8	64	8,888888889
4	8,6	9	72	8,372093023
5	7,9	9	72	9,113924051
6	8,4	10	80	9,523809524
7	9,5	10	80	8,421052632
8	8,9	10	80	8,988764045
9	9,4	11	88	9,361702128
10	10,1	11	88	8,712871287
11	9,6	11	88	9,166666667
12	10,3	12	96	9,32038835
13	10,8	13	104	9,62962963
14	9,8	13	104	10,6122449
15	9,9	15	120	12,12121212
16	10,5	18	144	13,71428571
17	11,3	19	152	13,45132743
18	10,3	19	152	14,75728155
19	11,8	20	160	13,55932203
20	11,5	24	192	16,69565217
Total rata - rata			2064	10,86670227

**Throughput 19 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	6,3	8	64	10,15873016
2	7,3	8	64	8,767123288
3	6,8	9	72	10,58823529
4	7,9	10	80	10,12658228
5	8,1	10	80	9,87654321
6	11,5	11	88	7,652173913
7	10,5	11	88	8,380952381
8	12,6	12	96	7,619047619
9	10,8	15	120	11,111111111
10	11,4	15	120	10,52631579
11	9,8	16	128	13,06122449
12	10,8	16	128	11,85185185
13	13,6	17	136	10
14	14,5	18	144	9,931034483
15	10,3	18	144	13,98058252
16	11,7	19	152	12,99145299
17	14	19	152	10,85714286
18	15,8	20	160	10,12658228
19	14,7	21	168	11,42857143
20	14,9	23	184	12,34899329
Total rata - rata			2368	10,56921256

**Throughput 20 meter**

No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	6,1	7	56	9,180327869
2	4	8	64	16
3	5,8	8	64	11,03448276
4	11,8	8	64	5,423728814
5	6,4	9	72	11,25
6	7	9	72	10,28571429
7	5,8	9	72	12,4137931
8	14,4	10	80	5,555555556
9	10,3	12	96	9,32038835
10	12,1	13	104	8,595041322

11	14,3	13	104	7,272727273
12	9,8	13	104	10,6122449
13	10,5	14	112	10,66666667
14	10,3	15	120	11,65048544
15	11,1	15	120	10,81081081
16	9,3	16	128	13,76344086
17	11,6	16	128	11,03448276
18	12,8	18	144	11,25
19	13,1	19	152	11,60305344
20	13,7	21	168	12,26277372
Total rata - rata			2024	10,4992859

## II. DATA Bit Error Rates (BER)

### 1. BER MALAM HARI

#### 6 meter

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
20	4.1	15	120	1	0,008333	0,833333

#### 7 meter

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
16	4.5	13	104	1	0,009615	0,961538

#### 8 meter

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
15	5.3	12	96	1	0,010417	1,041667

#### 9 meter

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
16	4.7	13	104	2	0,019231	1,923077

#### 10 meter

Data ke-	Waktu	Banyak Data	data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
15	5.8	12	96	2	0,020833	2,083333

**11 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
8	3.6	10	80	2	0,025	2,5

**12 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
7	2.2	9	72	2	0,027778	2,777778
9	2.9	11	88	2	0,022727	2,272727
Total Rata-Rata					0,025253	2,525253

**13 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
5	2.5	8	64	2	0,03125	3,125
8	2.9	10	80	2	0,025	2,5
Total Rata-Rata					0,028125	2,8125

**14 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
8	3.2	8	64	2	0,03125	3,125
9	3.4	8	64	2	0,03125	3,125
Total Rata-Rata					0,03125	3,125

**15 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bits	h Data Jumla Error	BER	% BER
----------	-------	-------------	-----------	--------------------	-----	-------

11	4.1	10	80	2	0,025	2,5
19	5.2	15	120	2	0,016667	1,666667
20	7.1	18	144	8	0,055556	5,555556
Total Rata-Rata					0,032407	3,240741

**16 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
4	2.5	7	56	2	0,035714	3,571429
5	3.1	8	64	1	0,015625	1,5625
6	5.3	9	72	6	0,083333	8,333333
9	4.4	9	72	2	0,027778	2,777778
11	4.5	10	80	2	0,025	2,5
Total Rata-Rata					0,03749	3,749008

**17 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	data bits	Jumlah Data Error	BER	% BER
13	3.5	8	64	2	0,03125	3,125
15	4.4	9	72	8	0,111111	11,11111
16	3.2	9	72	2	0,027778	2,777778
18	4.5	11	88	1	0,011364	1,136364
19	5.5	12	96	2	0,020833	2,083333
Total Rata-Rata					0,040467	4,046717

**18 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	data bit	Jumlah Data Error	BER	% BER
13	4.1	8	64	6	0,09375	9,375
15	3.9	9	72	2	0,027778	2,777778
16	4.2	9	72	2	0,027778	2,777778

18	4.8	10	80	2	0,025	2,5
Total Rata-Rata					0,043576	4,357639

**19 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Data bit	Jumlah Data Error	BER	% BER
8	3.2	9	72	6	0,083333	8,333333
7	6.8	9	72	2	0,027778	2,777778
12	3.9	10	80	8	0,1	10
17	4.6	12	96	2	0,020833	2,083333
19	5.1	13	104	2	0,019231	1,923077
20	6.2	16	128	2	0,015625	1,5625
Total Rata-Rata					0,044467	4,44667

**20 meter**

Data ke-	Waktu	Banyak Data	Jumlah	Jumlah Data Error	BER	% BER
7	5.1	8	64	1	0,015625	1,5625
8	4.4	8	64	2	0,03125	3,125
18	5.6	11	88	8	0,090909	9,090909
17	5.8	11	88	6	0,068182	6,818182
19	8.0	12	96	2	0,020833	2,083333
20	6.9	13	104	6	0,057692	5,769231
Total Rata-Rata					0,047415	4,741526

**2. BER SIANG HARI****4 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
11	8,5	12	96	1	0,010417	1,041667

**5 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
3	5,9	9	72	1	0,013889	1,388889
15	7,7	15	120	1	0,008333	0,833333
Total Rata-Rata				2	0,011111	1,111111

**6 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
10	7,7	13	104	1	0,009615	0,961538
14	8,6	15	120	1	0,008333	0,833333
Total Rata-Rata				2	0,008974	0,897436

**7 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
15	9,5	18	144	1	0,006944	0,694444
19	10,4	20	160	2	0,0125	1,25
Total Rata-Rata				3	0,009722	0,972222

**8 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
5	7,9	12	96	1	0,010417	1,041667

7	9,5	13	104	1	0,009615	0,961538
16	10,5	19	152	2	0,013158	1,315789
Total Rata-Rata				4	0,011063	1,106332

**9 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
3	6,9	11	88	1	0,011364	1,136364
12	11,5	17	136	2	0,014706	1,470588
13	9,5	17	136	2	0,014706	1,470588
			360	5	0,013592	1,35918

**10 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
4	6,6	12	96	1	0,010417	1,041667
5	8,1	12	96	2	0,020833	2,083333
13	11,3	16	128	2	0,015625	1,5625
15	11	17	136	2	0,014706	1,470588
Total Rata-Rata				7	0,015395	1,539522

**11 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
8	8,9	12	96	2	0,020833	2,083333
10	8,5	13	104	2	0,019231	1,923077
15	9,9	16	128	2	0,015625	1,5625
16	10,5	18	144	2	0,013889	1,388889
Total Rata-Rata				8	0,017394	1,73945

**12 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
10	10,6	15	120	1	0,008333	0,833333
11	11,5	16	128	2	0,015625	1,5625
19	11,4	20	160	6	0,0375	3,75
20	10,3	21	168	2	0,011905	1,190476
Total Rata-Rata				11	0,018341	1,834077

**13 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
6	9,2	12	96	1	0,010417	1,041667
8	9,5	14	112	2	0,017857	1,785714
9	9,6	14	112	2	0,017857	1,785714
19	12,7	21	168	2	0,011905	1,190476
20	13,1	23	184	6	0,032609	3,26087
Total Rata-Rata				13	0,018129	1,812888

**14 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
3	8,5	10	80	1	0,0125	1,25
5	7,2	12	96	2	0,020833	2,083333
11	9	15	120	1	0,008333	0,833333
13	11,5	17	136	8	0,058824	5,882353
17	10,6	19	152	1	0,006579	0,657895
Total Rata-Rata				13	0,021414	2,141383

**15 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
4	8,9	11	88	2	0,0227273	2,272727
6	9,2	12	96	2	0,0208333	2,083333
9	9,6	14	112	6	0,0535714	5,357143
16	10,5	18	144	2	0,0138889	1,388889
17	10,6	18	144	6	0,0416667	4,166667
20	12,6	25	200	1	0,005	0,5
Total Rata-Rata				19	0,0262813	2,628127

**16 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
2	6,3	9	72	1	0,0138889	1,388889
7	9,8	12	96	2	0,0208333	2,083333
8	9,2	12	96	6	0,0625	6,25
15	10,2	16	128	2	0,015625	1,5625
18	11,8	19	152	2	0,0131579	1,315789
19	11,4	20	160	6	0,0375	3,75
20	10,3	24	192	2	0,0104167	1,041667
Total Rata-Rata				21	0,024846	2,484597

**17 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
2	6,9	9	72	1	0,0138889	1,388889
7	9,8	11	88	6	0,0681818	6,818182
8	9,7	12	96	2	0,0208333	2,083333
11	10,5	13	104	2	0,0192308	1,923077
15	11,1	18	144	8	0,0555556	5,555556
16	10,8	19	152	1	0,0065789	0,657895

18	10,4	20	160	2	0,0125	1,25
19	11,8	21	168	1	0,0059524	0,595238
Total Rata-Rata				23	0,0253402	2,534021

**18 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
3	7,2	8	64	1	0,015625	1,5625
5	7,9	9	72	2	0,0277778	2,777778
7	9,5	10	80	2	0,025	2,5
8	8,9	10	80	8	0,1	10
15	9,9	15	120	1	0,0083333	0,833333
18	10,3	19	152	6	0,0394737	3,947368
19	11,8	20	160	1	0,00625	0,625
20	11,5	24	192	1	0,0052083	0,520833
Total Rata-Rata				22	0,0284585	2,845852

**19 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
2	7,3	8	64	2	0,03125	3,125
5	8,1	10	80	1	0,0125	1,25
6	11,5	11	88	8	0,0909091	9,090909
8	12,6	12	96	2	0,0208333	2,083333
9	10,8	15	120	2	0,0166667	1,666667
13	13,6	17	136	6	0,0441176	4,411765
15	10,3	18	144	6	0,0416667	4,166667
18	15,8	20	160	1	0,00625	0,625
20	14,9	23	184	2	0,0108696	1,086957
Total Rata-Rata				30	0,0305626	3,056255

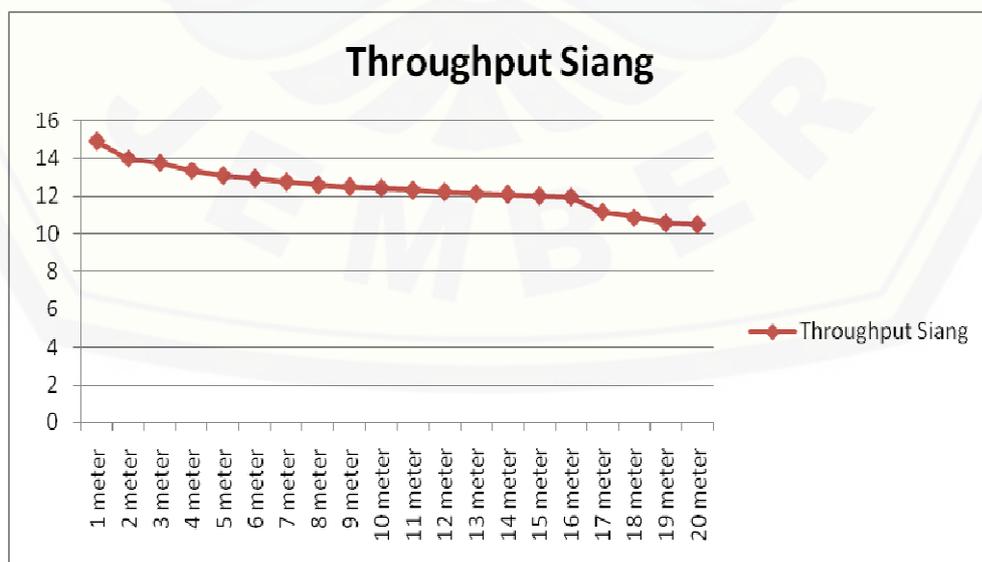
**20 meter**

Data Ke-	Waktu	Banyak Data	Banyak Bit	Jumlah Bit Error	BER	% BER
3	5,8	8	64	1	0,015625	1,5625
4	11,8	8	64	2	0,03125	3,125
7	5,8	9	72	2	0,0277778	2,777778
8	14,4	10	80	6	0,075	7,5
10	12,1	13	104	6	0,0576923	5,769231
11	14,3	13	104	8	0,0769231	7,692308
12	9,8	13	104	1	0,0096154	0,961538
15	11,1	15	120	2	0,0166667	1,666667
18	12,8	18	144	1	0,0069444	0,694444
19	13,1	19	152	2	0,0131579	1,315789
Total Rata-Rata				31	0,0330653	3,306526

### III. RATA-RATA THROUGHPUT

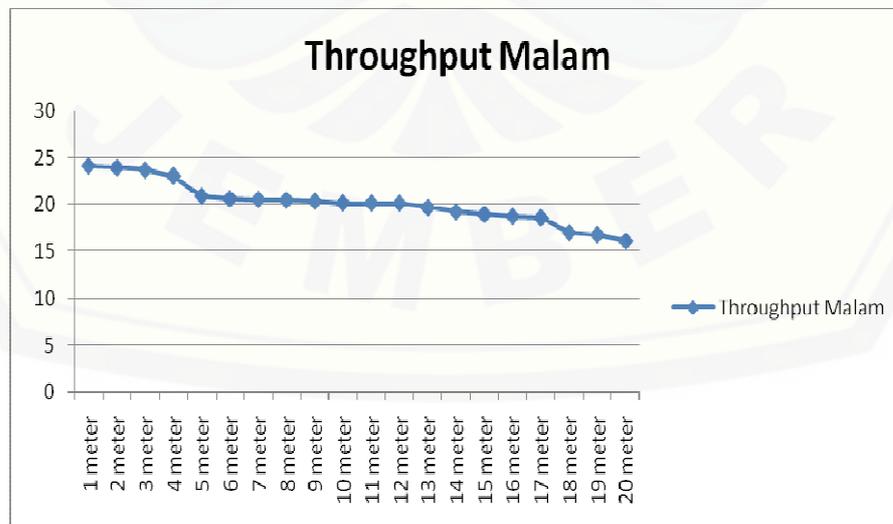
#### 1. SIANG HARI

Jarak	Throughput Siang	Jumlah Data	Jumlah Bits
1 meter	14,91314598	300	2400
2 meter	13,98331332	256	2048
3 meter	13,75513646	263	2104
4 meter	13,3455171	256	2048
5 meter	13,07470357	253	2024
6 meter	12,93322928	263	2104
7 meter	12,75027145	295	2360
8 meter	12,59452033	312	2496
9 meter	12,50519598	307	2456
10 meter	12,43238173	295,6	2364,8
11 meter	12,32048987	285	2280
12 meter	12,23812741	300	2400
13 meter	12,15099302	312	2496
14 meter	12,11298259	300	2400
15 meter	12,03001998	307	2456
16 meter	11,97510715	285	2280
17 meter	11,17775774	283	2264
18 meter	10,86670227	258	2064
19 meter	10,56921256	296	2368
20 meter	10,4992859	253	2024

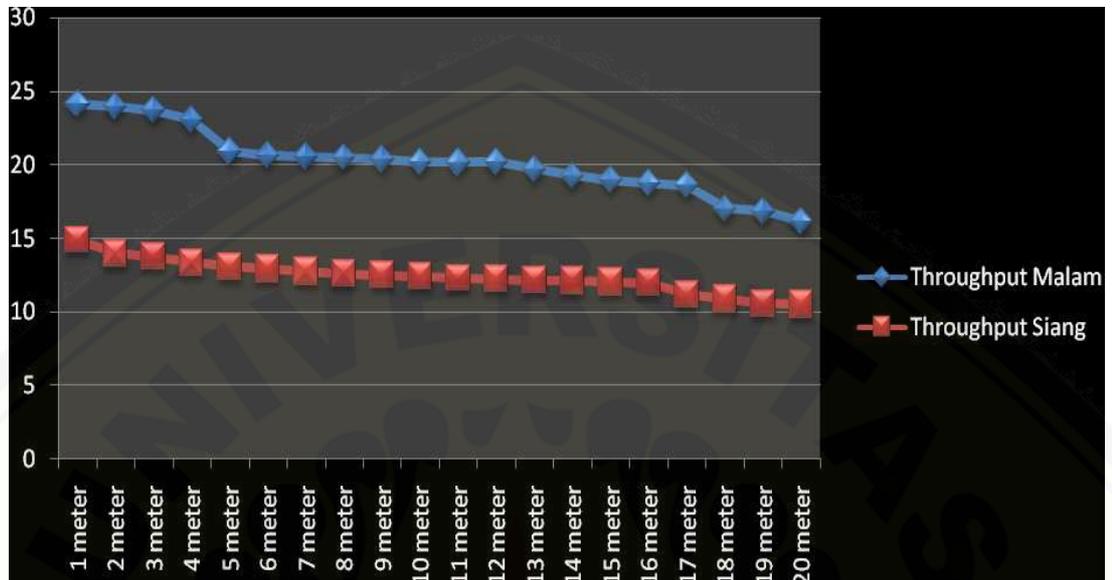


## 2. MALAM HARI

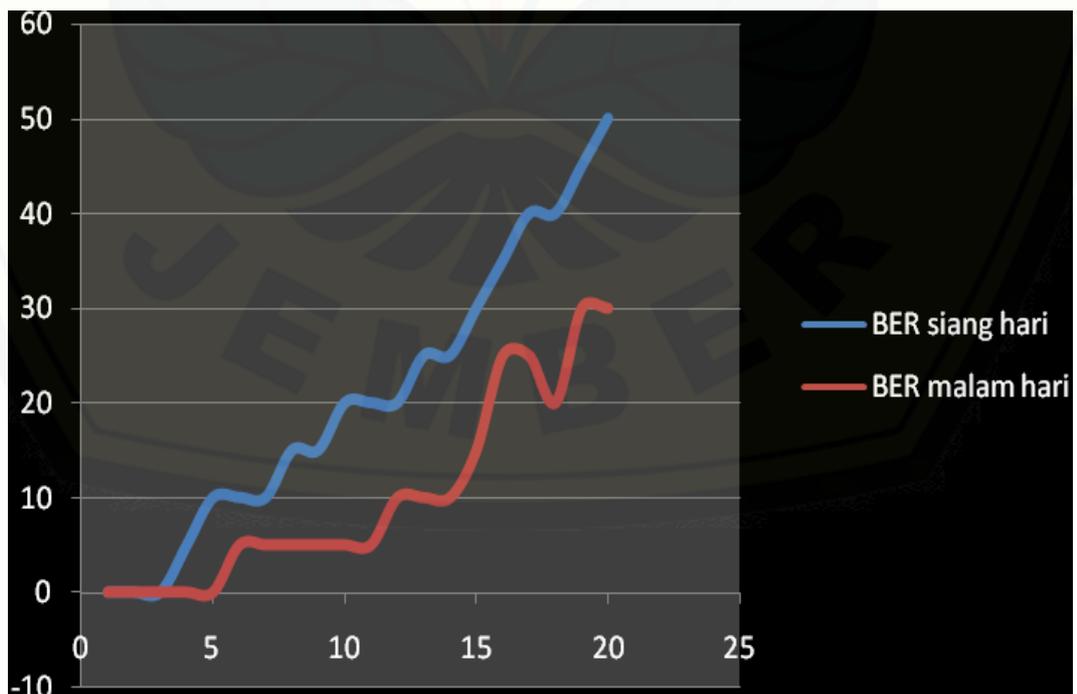
Jarak	Throughput Malam	Jumlah banyak Data	Jumlah Bits
1 meter	24,15943352	193	1544
2 meter	23,97512802	215	1720
3 meter	23,72929162	231	1848
4 meter	23,08258222	211	1688
5 meter	20,94104814	178,5	1428
6 meter	20,65808545	205	1640
7 meter	20,58598242	190	1520
8 meter	20,50903805	194	1552
9 meter	20,38825762	213	1704
10 meter	20,20251401	201	1608
11 meter	20,18032954	207	1656
12 meter	20,17467418	227	1818
13 meter	19,71799117	210	1680
14 meter	19,26979269	199	1592
15 meter	18,97869883	200	1600
16 meter	18,76007767	211	1688
17 meter	18,61813174	163,6	1308,8
18 meter	17,0230303	174	1392
19 meter	16,82625577	188	1504
20 meter	16,1407115	175	1400



**IV. GRAFIK PERBANDINGAN *THROUGHPUT* SIANG DAN MALAM HARI**



**V. GRAFIK PERBANDINGAN BER SIANG HARI DAN MALAM HARI**



## VI. RATA-RATA *BIT ERROR RATES* (BER)

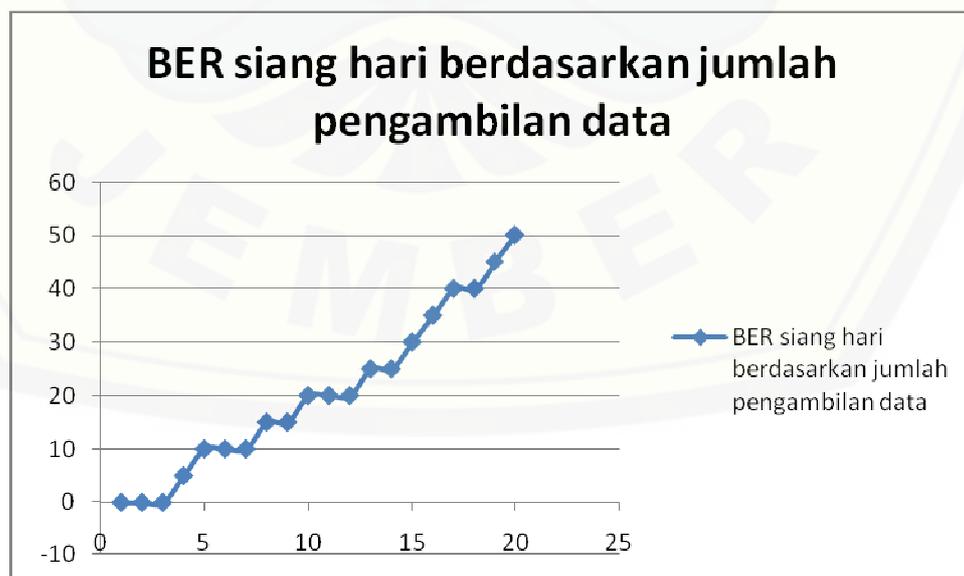
### 1. MALAM HARI

Jarak	Jumlah Data	Jumlah Data Error	BER	%BER
1 meter	20	0	0	0
2 meter	20	0	0	0
3 meter	20	0	0	0
4 meter	20	0	0	0
5 meter	20	0	0	0
6 meter	20	1	0,05	5
7 meter	20	1	0,05	5
8 meter	20	1	0,05	5
9 meter	20	1	0,05	5
10 meter	20	1	0,05	5
11 meter	20	1	0,05	5
12 meter	20	2	0,1	10
13 meter	20	2	0,1	10
14 meter	20	2	0,1	10
15 meter	20	3	0,15	15
16 meter	20	5	0,25	25
17 meter	20	5	0,25	25
18 meter	20	4	0,2	20
19 meter	20	6	0,3	30
20 meter	20	6	0,3	30



## 2. SIANG HARI

Jarak	Jumlah Data	Jumlah Data Error	BER	%BER
1 meter	20	0	0	0
2 meter	20	0	0	0
3 meter	20	0	0	0
4 meter	20	1	0,05	5
5 meter	20	2	0,1	10
6 meter	20	2	0,1	10
7 meter	20	2	0,1	10
8 meter	20	3	0,15	15
9 meter	20	3	0,15	15
10 meter	20	4	0,2	20
11 meter	20	4	0,2	20
12 meter	20	4	0,2	20
13 meter	20	5	0,25	25
14 meter	20	5	0,25	25
15 meter	20	6	0,3	30
16 meter	20	7	0,35	35
17 meter	20	8	0,4	40
18 meter	20	8	0,4	40
19 meter	20	9	0,45	45
20 meter	20	10	0,5	50



**VII. GRAFIK BER DAN THROUGHPUT SIANG DAN MALAM**

