

STUDI DAN EKSPERIMEN PERFORMANSI QOS PADA SISTEM “TWO SITES OF FREE SPACE OPTIC COMMUNICATION” MENGUNAKAN INFRA RED TRANCIEVER

BAMBANG SUPENO¹, TRI RAHAJOENINGROEM², JESSICA SIDAURUK¹

¹Jurusan Teknik Elektro– Universitas Jember

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Komputer Indonesia

Cara kerja *free space optic communication* (FSOC) adalah sistem yang memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media transmisi. *Range* panjang gelombang yang digunakan adalah daerah *infrared*, sehingga dapat menyesuaikan dengan perangkat optik yang digunakan untuk jaringan fiber. Teknologi ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya *Bandwidth* yang sangat lebar, sehingga dapat memenuhi kebutuhan data *rate* yang tinggi serta tidak memerlukan perizinan penggunaan frekuensi. Akan tetapi, propagasi gelombang optik melalui udara mengalami fluktuasi amplitude dan fasa karena turbulensi 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: *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 *throughput* saat siang dan malam hari hasil eksperimen, nilai *throughput* malam (20,196) lebih tinggi daripada nilai *throughput* saat siang hari (12,411).

Keywords : Komunikasi optik ruang bebas, Infrared, Bit Error Rate, Throughput

PENDAHULUAN

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).

Sistem *free space optic* (FSO) merupakan salah satu alternatif 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.

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*.

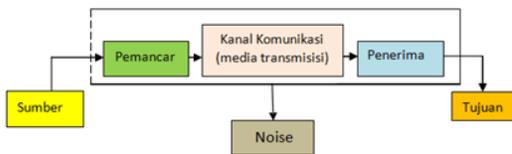
Kemudian *throughput* bertujuan untuk mengetahui kecepatan pengiriman dan penerimaan data yang dapat dilakukan antara *receiver* dan *transmitter* pada sistem komunikasi ruang bebas. Sehingga kedepannya sistem komunikasi ini dapat lebih dimanfaatkan untuk dapat mengatasi permasalahan telekomunikasi yang 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).

Permasalahan utama yang dihadapi pada penelitian ini adalah cara menganalisis performansi *Bit Error Rates* (BER) pada komunikasi optik ruang bebas *two sites*. Selain itu juga adalah cara mendapatkan besar nilai *throughput* yang dihasilkan antena *receiver* pada komunikasi optik ruang bebas *two sites*. Susunan makalah ini yaitu pada bagian 2, dijelaskan mengenai teori dasar komunikasi optik ruang bebas, teori matematika yang mendukung beserta *bit error rates* dan *throughput*. Pada bagian 3, dibahas blok diagram rangkaian yang dirancang agar dapat diaplikasikan untuk mendapatkan data BER dan *throughput*. Bagian 4 menyajikan hasil eksperimen dan pengujian data, dan bagian 5 adalah kesimpulan.

TEORI DASAR

1. Sistem Komunikasi

Sistem komunikasi secara umum dapat diartikan sebagai sebuah hubungan atau pertukaran informasi antara satu tempat dengan tempat yang lain. Informasi sendiri sebagai sesuatu 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 pra-sarana telekomunikasi, maupun penyelenggara telekomunikasi, sehingga penyenggara telekomunikasi jarak jauh dapat dilakukan. Secara sederhana istilah-istilah di atas dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 1. Sistem Telekomunikasi (Sumber : Komunikasi dan jaringan nirka-bel.william.2007)

Pada prinsipnya sebuah proses komunikasi melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Pesan awal

Proses komunikasi diawali dengan sebuah pesan atau informasi yang harus dikirimkan dari individu/perangkat satu ke perangkat lain. 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*.

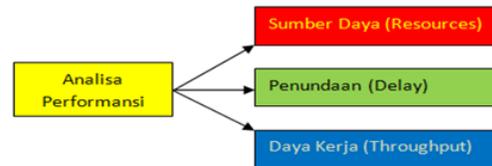
b. Transmitter

Sinyal tersebut kemudian oleh *transmitter* dikirimkan/dipancarkan melalui media yang telah dipilih. Dibutuhkan media transmisi (radio, optik, *coaxial*, tembaga) yang baik agar gangguan yang terjadi dapat dikurangi.

c. Receiver

Selanjutnya sinyal tersebut diterima oleh stasiun penerima. 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.

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.

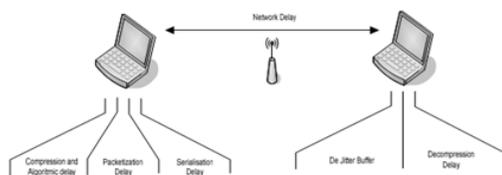


Gambar 2. Proses Analisa Performansi

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.

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. Ilustrasi Komponen *delay* (Sumber : Analisis QoS pada jaringan internet.Patrya,dkk.2012)

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 1 : Jitter

KATEGORIDEGRADASI	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)

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.

2. Blocking Probability

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:

$$CDR \% = \frac{Dropped\ Calls}{Call\ Attempt} \times 100\%.$$

(Sumber : Juma'inah:2012)

Packet Loss, *Packet Loss* 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 : Packet Loss

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

(Sumber : Patrya,dkk:2012)

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*.

$$\text{Bit Error Rates} = \frac{\text{Number of Error}}{\text{Total Number of bits sent}}$$

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

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:

$$\text{SNR} = P_r - N_o$$

(Sumber : Juma'inah:2012)

Dimana:

SNR : Signal to Noise Ratio (dB)

P_r : Daya yang diterima receiver (dBm)

N_o : Daya Noise Saluran Transmisi (dBm)

Secara matematis, enkripsi dengan mode CBC dinyatakan sebagai

$$C_i = E_x(P_i \oplus C_{i-1})$$

Dan dekripsi sebagai

$$P_i = D_x(C_i) \oplus C_{i-1}$$

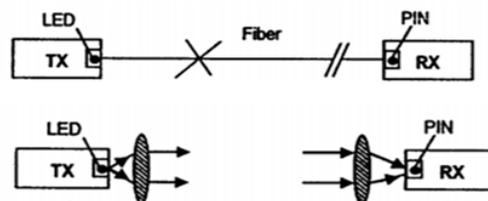
Dalam hal ini $C_0 = IV$ (*initialization vector*) dapat diberikan oleh pengguna atau dibang-

kitkan secara acak oleh program. IV tidak mempunyai makna, ia hanya digunakan untuk membuat tiap blok *ciphertext* menjadi unik.

METODOLOGI PENELITIAN

Free Space Optik (FSO) merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan sistem komunikasi *wireless* RF, jika kondisi propagasinya memungkinkan, serta 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 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 (T_x) dan penerima (R_x) dapat dianggap sama dan tidak memerlukan perubahan, yang berbeda adalah pada media transmisinya.

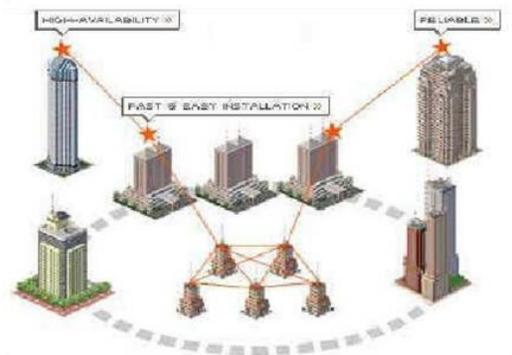


Gambar 3. Konsep FSO standar dan dengan lensa

(Sumber: KORUB, Widiyanto, 2012)

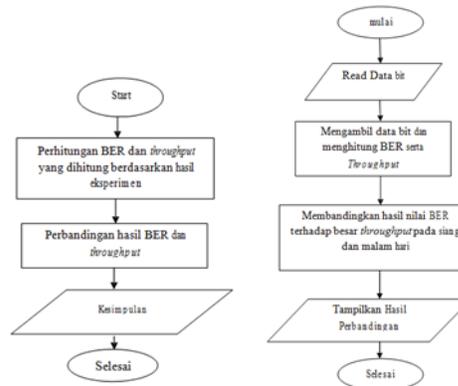
Pada sistem ini antara pemancar dan penerima harus benar-benar jarak pandang lurus (*Line Of Sight, LOS*). Demikian pula berkas cahaya yang terpancar dari pemancar harus dalam

posisi 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. 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.

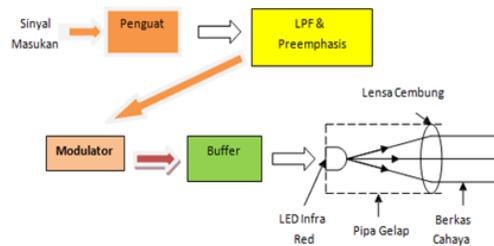


Gambar 4. Contoh jaringan WLAN menggunakan *optical wireless system* (Sumber: *Wireless Optical Communication*, Haryadi.2004)

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. Metode yang digunakan dalam pengambilan data adalah melakukan pengujian terhadap karakteristik *transmitter* dan *receiver*, melakukan pengukuran *Bit Error Rates* (BER) dan *throughput* dan analisis perhitungan data BER serta *throughput*.

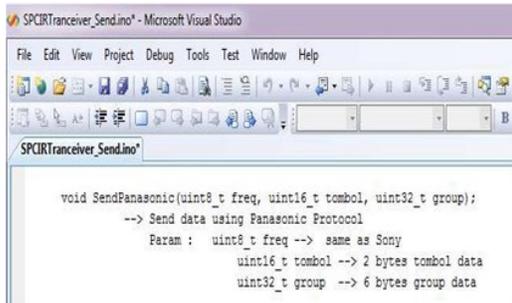


Gambar 5. Alur penelitian & pengambilan data



Gambar 6. Diagram blok pemancar KORUB

Sinyal masukan (input) akan dikuatkan oleh rangkaian penguat sinyal. Selanjutnya akan dilewatkan ke rangkaian tapis lulus bawah (Low Pass Filter). Hal ini 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



Gambar 10. Screenshot jumlah byte yang dikirim

Software yang digunakan adalah *Serial Receiving*, yang dibuat menggunakan bahasa c#. 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*.

PENGAMBILAN DATA EKSPERIMEN DAN ANALISA DATA

Pertama diambil data uji nilai throughput pada rangkaian spc infra red. Pengambilan data dimulai dari jarak terpendek sebesar 1 meter. Pengujian pertama yang dilakukan adalah pada saat malam hari yaitu pada waktu sekitar pukul 19.00 WIB – 23.00 WIB.



Gambar 11. Blok diagram pengambilan data

Berikut adalah data hasil pengujian rangkaian SPC Infrared serta lensa cembung dalam jarak 1m. Pengujian dilakukan malam hari untuk mengurangi adanya gangguan cahaya lain.

Misal data no 1, jumlah paket yang diterima sebanyak 24 data dalam waktu 1,2 detik. Maka nilai Throughputnya adalah 20. 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 adanya jarak jangkauan yang semakin jauh sehingga menyebabkan pengiriman data kurang akurat serta titik fokus lensa yang tidak saling mengena.

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

Tabel 3. Nilai throughput pada jarak 1 m

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

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.

Tabel 4 Nilai throughput pada jarak 6 m

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

Secara teknis, photodiode dan LED inframerah tidak terhalang oleh benda apapun dan masih dalam keadaan lurus. Yang membedakan adalah tidak mengenyanya 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 5. Nilai throughput pada jarak 20 m

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

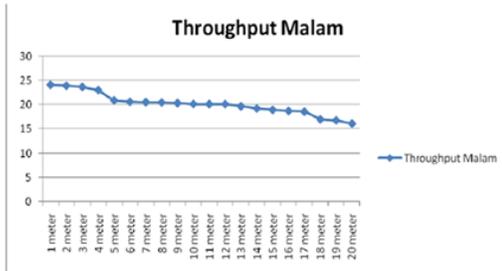
Dari hasil pengujian 6 meter - 20 meter ditemukan kesalahan pengiriman data yang semakin bertambah. Dari hasil data throughput pada saat malam hari, besarnya berbanding terbalik dengan pertambahan jarak pengiriman data. Semakin jauh jarak antara modul, maka semakin kecil nilai *throughput* yang dihasilkan.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

Tabel 6. Besar *Throughput* Keseluruhan Data

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

Dari data diatas, diketahui bahwa nilai *throughput* semakin kecil. Hal ini disebabkan karena berkas cahaya yang dihasilkan antara modul tidak saling bertemu, sehingga dibutuhkan pergerakan manual antara kedua modul agar saling bertemu dan mengena.

Selain faktor tersebut, terdapat faktor lain yang juga sangat mempengaruhi pengujian, yaitu kondisi angin.



Gambar 12. Kurva rata2 throughput malam

Pengujian kedua dilakukan pada siang hari, dengan kondisi bebas halangan. Pengujian dilakukan antara jam 12.00 WIB hingga jam 17.00 WIB. Perlakuan data pada siang hari sama dengan perlakuan data pada malam hari. Yaitu dengan jarak 1 sampai dengan 20 meter, dengan peng-ambilan data sampling sebesar 20 data tiap meternya.

Pada jarak 1 sampai dengan 3 meter, pengiriman data berlangsung dengan sempurna, tanpa ada kesalahan pada tiap datanya.

Tabel 7. Nilai throughput pada siang hari (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 8. Nilai throughput saat 4 meter (siang)

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

Dari data diatas terlihat adanya nilai throughput yang sangat rendah, yaitu pada data ke 1, 3, 5, 10 dan 11.

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 9. Pengujian throughput pada jarak 20 m

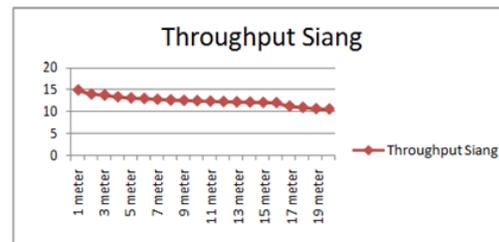
No	Waktu (s)	Banyak Data	Jumlah Bit	Throughput (bit/s)
1	6,1	7	56	9,180327869
2	4	8	64	16
3	5,8	8	64	11,03448276
4	11,8	8	64	5,423728814
5	6,4	9	72	11,25
6	7	9	72	10,28571429
7	5,8	9	72	12,4137931
8	14,4	10	80	5,555555556
9	10,3	12	96	9,32038835
10	12,1	13	104	8,595041322
11	14,3	13	104	7,272727273
12	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 di atas 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.

Tabel 10. Nilai rata-rata *throughput* siang

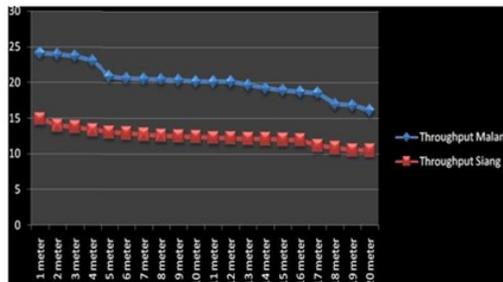
Jarak	Throughput Siang	Jumlah banyak Data	Jumlah Bits
1 meter	14,91314598	300	2400
2 meter	13,98331332	256	2048
3 meter	13,75513646	263	2104
4 meter	13,3455171	256	2048
5 meter	13,07470357	253	2024
6 meter	12,93322928	263	2104
7 meter	12,75027145	295	2360
8 meter	12,59452033	312	2496
9 meter	12,50519598	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	11,1775774	283	2264
18 meter	10,86670227	258	2064
19 meter	10,56921256	296	2368
20 meter	10,4992859	253	2024

Dari kedua pengujian tersebut, dapat diperoleh bahwa besarnya nilai *throughput* lebih kecil pada saat pengujian di siang hari atau pengujian kedua.

Gambar 13. Kurva rata2 *throughput* siang

Hal ini disebabkan karena adanya cahaya matahari yang mempengaruhi pengiriman data, hujan, angin dan faktor lainnya. Penjelasan adalah sebagai berikut, cahaya matahari memiliki elemen

spektrum infra merah. Sedangkan fotodiode sangat peka terhadap inframerah, sehingga berakibat nilai data yang dikirim pemancar tercampur dengan cahaya matahari, menjadi besaran nilai yang baru. Berikut hasil kurva atau grafik perbandingan besar throughput pada saat pengujian siang hari dan pengujian malam hari.



Gambar 14. Gambar 13. Kurva rata2 throughput malam

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.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai throughput saat malam hari lebih baik/tinggi dibanding saat siang hari. Hal ini dikarenakan, saat siang hari nilai throughput pada sensor fotodiode dipengaruhi oleh noise infra merah yang berasal dari spektrum sinar matahari.

1. Nilai throughput malam hari, rata-rata = 20,196
2. Nilai throughput siang hari, rata-rata = 12,411

Adapun saran yang bisa diberikan untuk perbaikan penulisan lebih lanjut adalah sebagai berikut.

1. Menambah daya pancar, sehingga alat dapat menjangkau area lebih jauh.
2. Menerapkan kendali otomatis pada sistem pencarian sinyal di antena optik untuk mendapatkan pancaran sinyal paling optimal

DAFTAR PUSTAKA

- Avrina dan Bambang Supeno, *Analisa Throughput Sistem Komunikasi Optik Ruang Bebas (KORUB) Two Sites* (2014),
- Alaydrus,Mudrik., *Saluran Transmisi Telekomunikasi* (2009),
- Haryadi, Sigit & Martinus Hadi Satria, *Wireless Optical Communication Untuk Penggunaan Luar Lapangan* (2004),
- Hayt, William H,JR, *Elektromagnetika Teknologi* (2007)