

Aplikasi *ired (infra red emitting diode)* pada *wireless headphone*

Janny Olmy Wuwung⁽¹⁾, Benefit S. Narasiang⁽²⁾

(1), (2), Staf Pengajar, e-mail: jannywuwung@gmail.com, benefitsamuel@gmail.com
Jurusan Teknik Elektro – FT UNSRAT Manado-95115

ABSTRAK

Untuk mendengarkan suatu sinyal informasi misalnya suara musik, agar tidak mengganggu orang – orang disekitar, kita akan menggunakan sepasang *headphone*. Untuk menghubungkan sumber sinyal dengan *headphone* biasanya dipakai kabel penghubung. Penggunaan kabel hanya praktis bila tidak terlalu panjang sebab kabel yang terlalu panjang menjadi tidak nyaman.

Alat *wireless headphone* dengan menggunakan *infra merah* bertujuan untuk memecahkan masalah tersebut. Sinyal audio yang berasal dari berbagai sumber dimodulasikan setelah itu dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnet dalam hal ini cahaya *infra merah*.

Rangkaian dari alat ini terdiri dari *Op-Amp*, *osilator*, *modulator*, *IREM (Infra Red Emitting Diode)*, *dioda foto*, *demodulator*, *headphone* dan sumber tegangan dalam hal ini menggunakan batu baterai.

Pengujian dilakukan pada sumber audio seperti *tape walkman*, *cd (compact disk) walkman* dan *tape compo*.

Alat *wireless headphone* yang menggunakan *infra merah* ini dapat meneruskan suara dari berbagai sumber audio dengan jarak antara pemancar dan penerima adalah sejauh 10 meter.

Kata Kunci: *Headphone, Infra Merah, Modem, Pemancar, Penerima, Penguat, Wireless.*

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini kemajuan teknologi yang sedemikian pesat hampir selalu dikaitkan dengan bidang elektronika. Kemajuan dibidang elektronika ini memungkinkan untuk terciptanya perangkat yang mendukung kinerja manusia agar menjadi lebih praktis dan efisien.

Teknologi di bidang elektronika bahkan telah mempengaruhi kebiasaan hidup sehari-hari dari sebagian besar umat manusia di bumi. Kita dapat membayangkan kefrustrasian orang banyak yang hidup setiap hari tanpa menggunakan perangkat komputer, mendengar musik melalui *tape recorder*, *CD (Compact Disk) player*, mendengar siaran radio atau menonton siaran televisi, film – film dari *DVD (Digital Versatile Disk) player* dan *VCD (Video Compact Disk) player*.

Setiap hari manusia disibukkan dengan berbagai macam aktifitas, tugas dan pekerjaan yang

banyak menyita tenaga dan waktu sehingga menyebabkan manusia mengalami tekanan dan rasa bosan. Oleh karena itu manusia membutuhkan hiburan. Peralatan elektronik dapat menjadi salah satu media hiburan. Misalnya dengan cara mendengar musik melalui *tape recorder*, *CD player* dan siaran radio.

Untuk mendengarkan suatu sinyal informasi misalnya suara musik, agar tidak mengganggu orang – orang disekitar, kita akan menggunakan sepasang *headphone*. Untuk menghubungkan sumber sinyal dengan *headphone* biasanya dipakai kabel penghubung. Penggunaan kabel hanya praktis bila tidak terlalu panjang sebab kabel yang terlalu panjang menjadi tidak nyaman.

Alat yang akan direalisasikan bertujuan untuk memecahkan masalah tersebut dengan cara mengganti penggunaan kabel penghubung antara sumber sinyal dan *headphone* dengan cahaya *infra merah*.

A. Spektrum Elektromagnetik

Semua gelombang elektromagnetik mempunyai sifat dasar yang sama dan laju yang sama dan bahwa gelombang-gelombang tersebut hanya memiliki perbedaan frekuensi, yang berarti akan mempunyai perbedaan panjang gelombang dan dirumuskan seperti pada persamaan (1):

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

dimana: f = Frekuensi (Hz)

c = Kecepatan cahaya, 3×10^8 m/detik

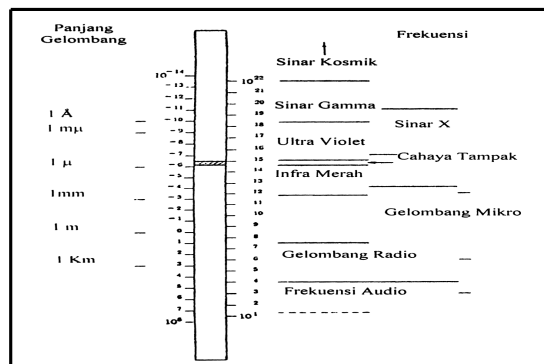
λ = Panjang gelombang (m)

Gelombang elektromagnetik mempunyai daerah frekuensi yang sangat besar, yaitu dari 10^1 sampai 10^{22} Hz. Dalam vakum, gelombang ini menjalar dengan laju sekitar 3×10^8 m/detik. Berbagai macam gelombang ini, yang masing – masing mempunyai daerah frekuensi tertentu, dikatakan membentuk spektrum elektromagnetik.

Spektrum gelombang elektromagnetik selengkapnya ditunjukkan pada gambar 1 dan pada Tabel I dapat dilihat spektrum gelombang

TABEL I. SPEKTRUM ELEKTROMAGNETIK BERDASARKAN URUTAN PANJANG GELOMBANG DAN FREKUENSI

Bagian	Panjang Gelombang (Å)	Frekuensi (Hz)
Gelombang radio	$> 10^9$	$< 3 \times 10^9$
Gelombang mikro	$10^9 - 10^7$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{11}$
Infra merah	$10^7 - 7.000$	$3 \times 10^{11} - 4.3 \times 10^{14}$
Cahaya tampak	$7.000 - 4.000$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$
Sinar ultraviolet	$4.000 - 10$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$
Sinar X	$10 - 0.1$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$
Sinar Gamma	< 0.1	$> 3 \times 10^{19}$

Ket: 1 Ångstrom = 10^{-8} cm

Gambar 1. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

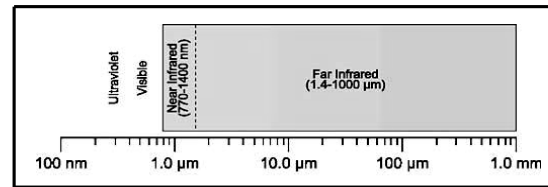
elektromagnetik berdasarkan urutan panjang gelombang dan frekuensinya.

II. PERANCANGAN SISTEM

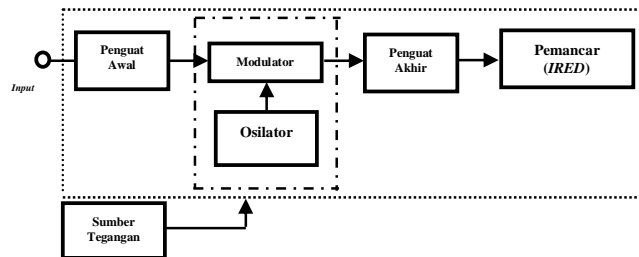
A. Infra Merah

Sejarah sinar infra merah sebetulnya sudah seabad lebih sejak ditemukannya radiasi "Dark Heat" oleh astronom Inggris Sir William Herschel tahun 1800. Sedangkan kata "infra red" dikenal sejak 1880.

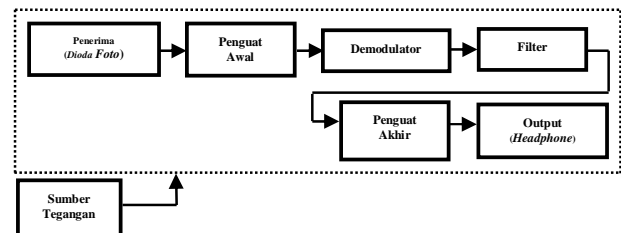
Infra merah merupakan cahaya yang tidak tampak dan memiliki panjang gelombang 770 – 1400 nm untuk *near infrared* dan 1,4 – 1000 μ m untuk *far infrared* yang diperlihatkan pada Gambar 1.2. Kalau kita lihat pada spektrum gelombang elektromagnetik, infra merah terletak di antara cahaya tampak (visible light) dan gelombang mikro. Cahaya infra merah dengan panjang gelombang di atas panjang gelombang cahaya tampak (visible light) maka cahaya infra merah ini akan tidak tampak oleh mata namun radiasi panas yang ditimbulkannya masih terasa/dideteksi.



Gambar 2. Spektrum Infra Merah



Gambar 3. Bagian-Bagian Perangkat Keras Pemancar (Transmitter)



Gambar 4. Bagian-Bagian Perangkat Keras Penerima (Receiver)

Pada dasarnya komponen yang menghasilkan panas juga menghasilkan radiasi infra merah termasuk tubuh manusia maupun tubuh binatang. Cahaya infra merah, dengan panjang gelombang yang sangat panjang tetap tidak dapat menembus bahan – bahan yang tidak dapat melewatkan cahaya yang nampak sehingga cahaya infra merah tetap mempunyai karakteristik seperti halnya cahaya yang nampak oleh mata.

Cahaya infra merah banyak digunakan untuk aplikasi dalam bidang komunikasi, industri audio – video, pemotretan bumi oleh satelit, penyiaran dan kontrol. Penggunaan infra merah sebagai media transmisi data mulai diaplikasikan pada berbagai peralatan elektronik seperti: televisi, VCD player, DVD player, tape recorder, handphone sampai pada transfer data pada PC (Personal Computer).

B. KONSEP DAN DESKRIPSI RANCANGAN

Untuk memudahkan perancangan dan pembuatan perangkat keras dari alat *wireless headphone* dengan menggunakan infra merah ini serta memudahkan dalam melakukan pengukuran pada rangkaian, maka perangkat keras dibagi dalam beberapa bagian seperti pada gambar 3 dan gambar 4.

1) Pemancar (Transmitter)

Bagian-bagian pemancar terdiri dari:

1. *Sumber Tegangan*, menggunakan batu baterai 9 Volt berfungsi sebagai pemberi daya (*power supply*) untuk peralatan rangkaian pemancar.
2. *Penguat Awal*, untuk memperkuat sinyal audio yang berasal dari input yaitu sumber audio seperti tape, radio dan *CD (Compact Disc)*.
3. *Osilator*, berfungsi untuk membangkitkan atau menghasilkan gelombang pembawa.
4. *Modulator*, berfungsi untuk mencampur atau menumpangkan sinyal audio dengan gelombang pembawa yang dihasilkan oleh osilator yang menghasilkan gelombang termodulasi.
5. *Penguat akhir*, untuk memperkuat gelombang termodulasi sebelum dipancarkan.
6. *Pemancar (IRED)*, memancarkan gelombang termodulasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik dalam hal ini infra merah.

2) Penerima (Receiver)

Bagian-bagian penerima terdiri dari:

1. *Sumber Tegangan*, menggunakan batu baterai 9 Volt berfungsi sebagai pemberi daya (*power supply*) untuk peralatan rangkaian penerima.
2. *Penerima (dioda foto)*, menangkap gelombang termodulasi.
3. *Penguat Awal*, memperkuat gelombang termodulasi yang diterima oleh penerima (*foto dioda*).
4. *Demodulator*, berfungsi untuk memisahkan gelombang audio dengan gelombang pembawa.
5. *Filter*, sebagai penyaring untuk menghilangkan derau (*noise*) pada gelombang audio.
6. *Penguat Akhir*, untuk memperkuat gelombang audio.
7. *Output*, mengkonversikan gelombang audio dalam bentuk getaran listrik menjadi getaran suara.

3) Konstruksi

Ada beberapa metode konstruksi yang dipakai. Dalam pembuatan alat wireless headphone dengan menggunakan infra merah ini, digunakan metode konstruksi dengan menggunakan papan rangkaian tercetak (*Printed Circuit Board, PCB*) dimana pembuatannya sangat sederhana.

Komponen-komponen yang akan dipakai, dirakit pada papan *PCB* berdasarkan blok diagram masing-masing. Perakitan dibuat berdasarkan gambar rangkaian yang sudah ada. Setelah seluruh pemasangan komponen selesai dan telah melalui proses pengukuran dan uji coba, papan rangkaian diletakkan dalam kotak dari bahan kaca untuk kemudahan penggunaan dan kerapiannya. Dipilih bahan kaca karena sifatnya yang mudah dibentuk dan ringan.

III. HASIL PENGUJIAN

Setelah tahap perancangan dan perakitan, dilanjutkan dengan tahap pengujian dan analisa. Pengujian diperlukan sebagai penilaian dalam keberhasilan prosedur perencanaan dan perakitan sistem yang dibuat. Analisa berdasarkan teori dasar akan menunjukkan tingkat keberhasilan yang dapat dicapai.

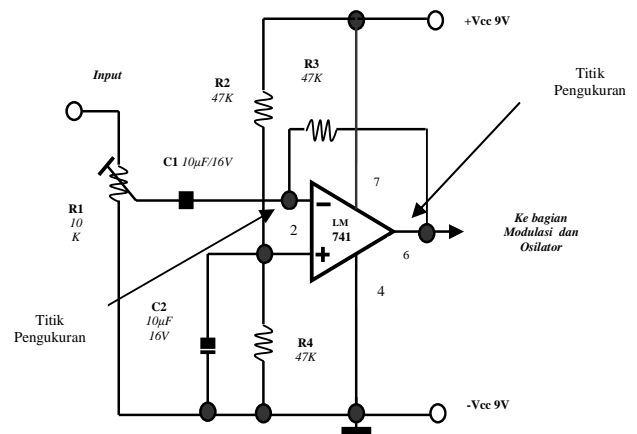
Pengujian perangkat keras ini dilakukan dengan menggunakan Multimeter Digital Series II Fluke 79 dan Osiloskop (*Oscilloscope*) Merk Tektronix tipe 2211 untuk mengukur besar tegangan yang mengalir dalam rangkaian dan menampilkan bentuk frekuensi audio yang belum termodulasi dan yang sudah termodulasi dengan frekuensi pembawa (*osilator*) yang melewati tiap blok rangkaian, baik pada pesawat pemancar (*transmitter*) dan pesawat penerima (*receiver*).

Pengukuran besar tegangan dan bentuk frekuensi pada rangkaian dilakukan dengan mengaktifkan pesawat pemancar (*transmitter*) dan pesawat penerima (*receiver*) yang sudah jadi pada kondisi maksimum.

A. Pengukuran Pada Rangkaian Pemancar (Transmitter)

1) Penguat Awal

Pengukuran pada penguat awal (gambar 5) pada pesawat pemancar dilakukan pada input (pin 2 IC LM741) dan output (pin 6 IC LM741) dengan menggunakan multimeter untuk mengukur tegangan dan osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang. Untuk pengukuran tegangan, pada input dihubungkan dengan generator function dengan frekuensi sebesar 1 kHz. Sedangkan pada penampilan bentuk gelombang dari frekuensi audio yang berasal dari *tape walkman*. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel II.

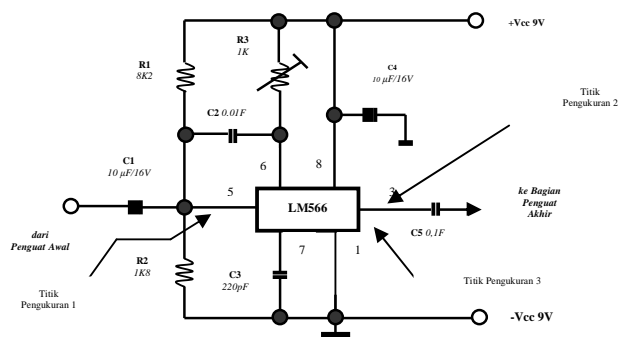


Gambar 5. Pengukuran Bagian Penguat Awal Pada Pesawat Pemancar

TABEL II. HASIL PENGUKURAN BAGIAN PENGUAT AWAL PADA PESAWAT PEMANCAR

Pengukuran	Vin (V)	Vout (V)	Av=Vout/Vin (kali)
1.	0,2	1,3	6,5
2.	0,4	2,5	6,25
3.	0,6	3,8	6,33
4.	0,8	5,1	6,38
5.	1	6,4	6,4
6.	1,2	7,7	6,42
7.	1,4	9	6,43
8.	1,6	10,1	6,31
9.	1,8	11,5	6,38
10.	2	12,7	6,35

$$\bar{A}_v = \frac{\sum A_n}{n} = \frac{63,75}{10} = 6,375$$



Gambar 6. Pengukuran Bagian Osilator Dan Modulator Pada Pesawat Pemancar

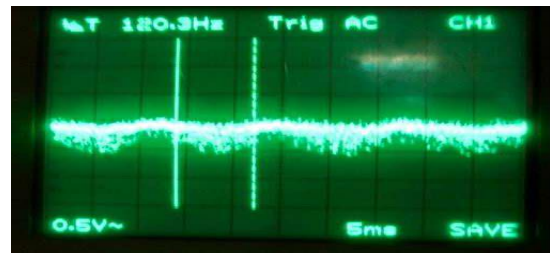
Analisa Hasil Pengukuran :

Dari data pengukuran pada Tabel II menunjukkan bahwa pada penguat awal terjadi penguatan rata – rata sebesar 6,375 kali.

2) Osilator dan Modulator

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang pada input dan output rangkaian modulator dan osilator. Pengukuran pada input (titik pengukuran 1) untuk bentuk gelombang frekuensi audio sebelum dimodulasi dengan frekuensi pembawa (*osilator*) dan pengukuran pada output (titik pengukuran 3) untuk bentuk gelombang frekuensi audio setelah dimodulasi dengan frekuensi pembawa (*osilator*) sedangkan pengukuran bentuk frekuensi pembawa (*osilator*) pada titik pengukuran 2.

Bentuk sinyal hasil pengukuran pada input dan output bagian osilator dan modulator pada pesawat pemancar, dimana titik pengukuran 1 pada input pada



Gambar 7. Bentuk Frekuensi Audio Pada Input Modulator Dan Osilator Sebelum Dimodulasi Dengan Frekuensi Pembawa (Osilator)



Gambar 8. Bentuk Frekuensi Audio Pada Output Modulator Dan Osilator Sesudah Dimodulasi Dengan Frekuensi Pembawa (Osilator)

kaki 5 IC LM566 dan titik pengukuran 3 output pada kaki 3 IC LM566, sedangkan titik pengukuran 2 adalah bentuk frekuensi pembawa (*osilator*) juga pada kaki 3 IC LM566.

Analisa Hasil Pengukuran :

Dari data pengukuran, memperlihatkan frekuensi audio yang belum dimodulasi dengan frekuensi pembawa (*osilator*) pada input bagian modulator dan osilator dan frekuensi audio yang sudah dimodulasi dengan frekuensi pembawa pada output bagian modulator dan osilator, serta bentuk frekuensi gelombang pembawa (*osilator*) sebesar 454,5 kHz.

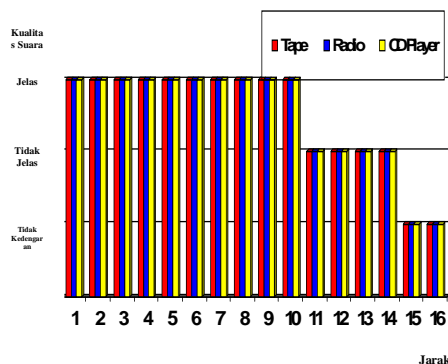
B. Pengujian Kinerja Alat

Pengujian kinerja dari alat *wireless headphone* dengan menggunakan infra merah ini menggunakan sinyal audio dari beberapa macam sumber audio. Antara lain *tape recorder*-radio-*CD (Compact Disc) compo*, *tape walkman*, *CD (Compact Disc) walkman*. Pengujian kinerja alat ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh jarak pancar gelombang audio antara pesawat pemancar dan pesawat penerima berdasarkan sumber-sumber sinyal audio.

Data hasil pengujian alat dapat dilihat pada tabel III dan grafik gambar 9 berdasarkan sumber audio.

TABEL III. DATA HASIL PENGUJIAN KINERJA ALAT PADA TAPE RECORDER-RADIO-CD PLAYER COMPO

Jarak (meter)	Kualitas Suara		
	CD Walkman	Tape Walkman	Tape-Radio-CD Compo
1	Jelas	Jelas	Jelas
2	Jelas	Jelas	Jelas
3	Jelas	Jelas	Jelas
4	Jelas	Jelas	Jelas
5	Jelas	Jelas	Jelas
6	Jelas	Jelas	Jelas
7	Jelas	Jelas	Jelas
8	Jelas	Jelas	Jelas
9	Jelas	Jelas	Jelas
10	Jelas	Tidak Jelas	Jelas
11	Tidak Jelas	Tidak Jelas	Tidak Jelas
12	Tidak Jelas	Tidak Jelas	Tidak Jelas
13	Tidak Jelas	Tidak Jelas	Tidak Jelas
14	Tidak Jelas	Tidak Kedengaran	Tidak Jelas
15	Tidak Kedengaran	Tidak Kedengaran	Tidak Kedengaran
16	Tidak Kedengaran	Tidak Kedengaran	Tidak Kedengaran



Gambar 9. Grafik Pengujian Kinerja Alat Pada Tape Recorder-Radio-CD Player Compo

Dari data pada tabel III yang diperoleh dapat dibuat grafik hasil pengamatan seperti yang diperlihatkan pada gambar 9

Analisa Hasil Pengujian :

Berdasarkan hasil pengujiannya (tabel III) dapat dilihat bahwa alat *wireless headphone* dengan menggunakan infra merah untuk masukannya berasal dari *tape compo* yang terdiri dari *tape recorder*, radio dan *CD player* memiliki jarak jangkauan maksimal antara penerima dan pemancarnya sejauh 10 meter untuk kualitas suaranya yang terdengar dengan jelas. Pada jarak 11 sampai 14 meter kualitas suaranya menjadi tidak jelas.

TABEL IV. DATA HASIL PENGUJIAN KINERJA ALAT PADA CD WALKMAN, TAPE WALKMAN DAN TAPE RECORDER-RADIO-CD PLAYER COMPO

Jarak (meter)	Kualitas Suara		
	Tape	Radio	CD
1	Jelas	Jelas	Jelas
2	Jelas	Jelas	Jelas
3	Jelas	Jelas	Jelas
4	Jelas	Jelas	Jelas
5	Jelas	Jelas	Jelas
6	Jelas	Jelas	Jelas
7	Jelas	Jelas	Jelas
8	Jelas	Jelas	Jelas
9	Jelas	Jelas	Jelas
10	Jelas	Jelas	Jelas
11	Tidak Jelas	Tidak Jelas	Tidak Jelas
12	Tidak Jelas	Tidak Jelas	Tidak Jelas
13	Tidak Jelas	Tidak Jelas	Tidak Jelas
14	Tidak Jelas	Tidak Jelas	Tidak Jelas
15	Tidak Kedengaran	Tidak Kedengaran	Tidak Kedengaran
16	Tidak Kedengaran	Tidak Kedengaran	Tidak Kedengaran

Pada jarak 15 meter sudah tidak terdengar suaranya lagi.

Analisa Hasil Pengujian :

Berdasarkan hasil pengujiannya (tabel IV) dapat dilihat bahwa alat *wireless headphone* dengan menggunakan infra merah untuk masukannya berasal dari *CD Walkman* dan *Tape Recorder-Radio-CD Compo* memiliki jarak jangkauan maksimal antara penerima dan pemancarnya sejauh 10 meter untuk kualitas suaranya yang terdengar dengan jelas. Pada jarak 11 meter kualitas suaranya menjadi tidak jelas. Pada jarak 15 meter sudah tidak terdengar suaranya lagi. Sedangkan untuk masukannya berasal dari *Tape Walkman* jarak jangkauan maksimalnya sejauh 9 meter. Mulai jarak 10 meter suaranya sudah tidak terdengar lagi.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

- Alat *wireless headphone* dengan menggunakan infra merah memiliki kemampuan untuk jarak jangkauan maksimal antara penerima dan pemancarnya adalah sejauh 10 m untuk kualitas suaranya yang terdengar dengan jelas, untuk sumber audio berupa *tape recorder-radio-cd player compo* dan *cd walkman*.

- Letak antara pemancar dan penerima harus saling berhadapan agar suaranya dapat kedengaran dengan jelas pada *headphone*.
- Sesuai dengan sifat dari infra merah, maka tidak boleh ada benda yang menghalangi antara pemancar dan penerima agar suaranya dapat kedengaran dengan jelas pada *headphone*.
- Infra merah dapat berfungsi sebagai pengganti kabel penghubung untuk mengirimkan sinyal informasi.

B. Saran

- Dengan menggunakan sensor infra merah yaitu *IREDA (Infra Red Emitting Diode)* dan dioda foto yang mempunyai daya pancar dan daya terima yang lebih kuat maka alat ini akan memiliki jangkauan jarak yang lebih jauh.
- Untuk mendapatkan kualitas suara yang lebih baik lagi, *headphone*-nya dapat diganti dengan speaker aktif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Malvino Ph.D, *Prinsip – Prinsip Elektronika Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1992.
- [2] A. Sugiharto, *Penerapan Dasar Transducer Dan Sensor*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius, 2002.
- [3] A.Karim, *Teknik Penerima Dan Pemancar Radio Jilid 1*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, 1991.
- [4] Anonim, *Elex Informasi Praktis Elektronika no. 1*. Jakarta: PT Multi Media Gramedia Grup, 1984.
- [5] Anonim. Infra Merah: Sebuah Media Komunikasi Menggunakan Media Cahaya. [online]. Tersedia di : <http://alds.stts.edu/analog/inframerah.html>.
- [6] Anonim. *Infrared Light*. [online]. Tersedia di: <http://www.theledlight.com/IR.html>.
- [7] Anonim. *The Electromagnetic Spectrum*. [online]. Tersedia di: <http://csep10.phys.uk.edu/astr162/lect/light/spectrum.htm>
- [8] Anonim. *The Knowledge of Infrared*. [online]. Tersedia di: <http://www.xs4all.nl/~sbp/knowledge/ir/ir.html>
- [9] B. Woollard, *Elektronika Praktis*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1999.
- [10] D. H. Horn, *Teknik Merancang Rangkaian Dengan Transistor*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, 1988.
- [11] D. Halliday, R. Resnick, *Fisika*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1990.
- [12] D.Roddy., J.Coolen., K. Idris, Ir. *Komunikasi Elektronika Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1993.
- [13] E. Gelder, R. Karl-Heinz. *Transistor*. Jakarta: Penerbit Katalis, 1990
- [14] F.W. Hughes, *Panduan Op-Amp*. Jakarta: Penerbit PT. Elex Media Komputindo, 1990 .
- [15] G.Saydam, Bc.TT, Drs., *Sistem Telekomunikasi 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1993.
- [16] K.F. Ibrahim, *Prinsip Dasar Elektronika*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 1987.
- [17] P. A. Tipler, *Fisika Untuk Sains Dan Teknik Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2001.
- [18] P.Horowitz, H.Winfield., *Seni dan Desain Elektronika 1*. Jakarta: PT Multi Media Gramedia Grup, 1982.
- [19] R. Blocher Dipl.Phys, *Dasar Elektronika*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2003.
- [20] R.M. Erwin, *Pengantar Telekomunikasi*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, 1988.
- [21] S. Wasito, *Kamus Ensiklopedi Elektronika Inggris – Indonesia*. Jakarta: Karya Utama, 1987.
- [22] S. Wasito, *Teknik Transmisi*. Jakarta: Karya Utama, 1982.
- [23] S.Wasito, *Vademekum Elektronika*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2001
- [24] Suhana, Ir., S. Shoji, *Buku Pegangan Teknik Telekomunikasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 1991.
- [25] Sutrisno, *Fisika Dasar*. Bandung: Penerbit ITB, 1984.
- [26] Th.S. Widodo, *Optoelektronika Komunikasi Serat Optik*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 1995.