

Identifikasi *Gain* dan *Bandwidth* Audio Amplifier Menggunakan MCS-51

Indar Sugiarto, Felix Pasila, Victor Christian

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Email: indi@petra.ac.id, felix@petra.ac.id

Abstrak

Sama seperti sistem kontrol pada umumnya, sistem *audio amplifier* juga memiliki karakteristik yang ditentukan oleh parameter-parameternya, diantaranya adalah *Gain* dan *Bandwidth*. Alat untuk mengukur *Gain* dan *Bandwidth* ini dapat dibuat dengan menggunakan mikrokontroler 89C51 dari keluarga MCS-51 dan memakai *software assembly* untuk membangkitkan frekuensinya (simulasi VCO secara *software*). Alat yang dirancang ini memakai *Digital to Analog Converter* (DAC) tipe 0808, *Analog to Digital Converter* (ADC) tipe 0804, *Peak Detector*, *Attenuator* dan penampil LCD.

Sistem yang dibuat dapat mengidentifikasi *gain* maksimal 40 X dengan kenaikan tiap kelipatan 4 dan *bandwidth* dengan batasan 10 Hz sampai 200 KHz. Pengujian sistem menunjukkan bahwa *error* rata-rata kurang dari 5 % untuk *Gain* dan sekitar 10% untuk *Bandwidth*.

Kata kunci : *audio-amplifier, gain, bandwidth, mikrokontroler.*

Abstract

Like another commonly control-systems, audio amplifiersystem also has characteristics which are defined by their parametrics. Two of them are Gain and Bandwidth. An instrument for measuring Gain and Bandwidth can be built using microcontroller 89C51 from MCS-51 family dan programmed in assembly to generate its frequency (i.e. simulating VCO via software). This instrument use Digital to Analog Converter (DAC) type 0808, Analog to Digital Converter (ADC) type 0804, a Peak Detector Circuit, an Attenuator Circuit and a LCD.

In this project, the constructed system can identify maximum Gain at 40 times with four-step increment and Bandwidth in the range from 10 Hz to 200 KHz. The system testing shows that the average error for Gain is less than 5% and approximately 10% for Bandwidth.

Keywords: *audio-amplifier, gain, bandwidth, microcontroller.*

1. Pendahuluan

Amplifier memegang peranan penting pada sistem audio video. Beraneka ragam jenis *amplifier* telah beredar di pasaran saat ini dimana masing-masing produsen *amplifier* mengklaim bahwa produknya adalah yang paling baik. Baik buruknya kualitas dari sebuah *amplifier* ditentukan oleh parameter-parameternya, biasanya para produsen *amplifier* sudah mencantumkan nilai dari beberapa parameter yang didapatkan dari hasil pengujian produk tersebut di laboratorium mereka. Yang menjadi masalahnya disini adalah apakah nilai-nilai parameter yang dicantumkan tersebut memang benar-benar sesuai dengan yang didapat dari hasil pengujian di laboratorium mereka.

Karena itu dalam proyek ini penulis mencoba membuat sebuah instrumen untuk mengukur beberapa parameter dari *amplifier*, yaitu *Bandwidth* dan *Gain* dari sebuah *audio amplifier* sehingga kita dapat mengetahui respon dari *amplifier* tersebut.

Dalam menyusun makalah ini penulis membagi pokok bahasan menjadi 4 (empat) bagian, dimulai dari latar belakang (tinjauan terhadap parameter *audio amplifier*), dilanjutkan dengan perencanaan sistem (rencanan perangkat keras maupun perangkat lunaknya), hasil pengujian dan diakhiri dengan kesimpulan.

2. Parameter Audio Amplifier

Sebuah *amplifier* adalah rangkaian yang berfungsi untuk memperkuat sinyal yang diterima pada bagian inputnya, sampai batas penguatan

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 4, nomor 2, September 2004.

dimana tidak terjadi distorsi pada outputnya. Parameter-parameter yang dimiliki amplifier antara lain: sensitivitas (*sensitivity*), impedansi input (*input impedance*), penguatan (*gain*), lebar pita (*bandwidth*) dan respon terhadap noise seperti THD (*total harmonic distortion*).

Lebar Pita (*Bandwidth*)

Bandwidth adalah jangkauan penguatan amplifier untuk suatu daerah frekuensi tertentu dimana penguatannya masih optimum. Misalnya suatu amplifier mempunyai tanggapan frekuensi dari 20 Hz sampai 20 kHz. Artinya amplifier tersebut mampu untuk memperkuat secara optimum sinyal-sinyal audio dengan frekuensi antara 20 Hz sampai 20 kHz. Sinyal-sinyal audio di luar daerah itu praktis tidak mengalami penguatan yang berarti dan cenderung dihilangkan.

Untuk mengetahui *bandwidth* dari suatu amplifier audio maka kita harus mengetahui respon frekuensi dari amplifier tersebut. Dengan mengetahui respon frekuensi tersebut maka kita juga dapat mengetahui frekuensi *cut-off* bawah dan frekuensi *cut-off* atas. Besarnya *bandwidth* dapat diperoleh dengan cara mengurangi frekuensi *cut-off* atas dengan frekuensi *cut-off* bawah. Sehingga diperoleh rumus:

$$BW = \text{Freq.cut off high} - \text{Freq.cut off low} \quad (1)$$

Penguatan (*Gain*)

Yang dimaksud dengan *gain* di sini adalah besarnya penguatan terhadap sinyal yang diinputkan ke sebuah amplifier sehingga diperoleh sinyal output yang telah diperbesar sekian kalinya.

$$Gain = V_{out} / V_{in} \quad (2)$$

Sensitivitas (*Sensitivity*)

Sensitivitas atau *sensitivity* suatu amplifier adalah nilai minimal besarnya sinyal input sehingga pada kedudukan volume penuh akan menghasilkan daya *output* yang optimum. Sensitivitas *input amplifier* harus disesuaikan dengan besar sinyal input pada setiap jenis transduser input. Dalam hal ini kalau sinyal input terlalu besar dan melampaui batas maksimalnya, maka walaupun volume dibuat minimal suara yang keluar akan distorsi atau cacat. Keadaan ini disebut pembebanan berlebihan (*overload*).

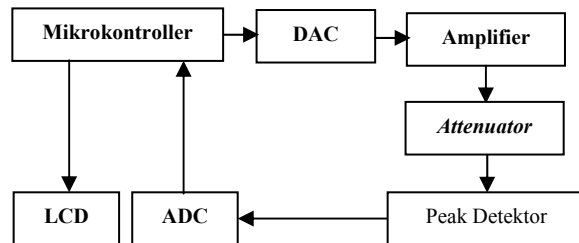
Impedansi Input (*Input Impedance*)

Impedansi input adalah “tahanan” dalam amplifier yang dirasakan oleh bagian output dari peralatan yang dihubungkan ke input amplifier tersebut. Peralatan tersebut juga mempunyai impedansi output yaitu “tahanan” yang dirasakan oleh input amplifier, yang umumnya relatif tinggi. Seandainya impedansi input amplifier relatif lebih rendah maka tegangan yang diterima bagian input semakin kecil. Berarti sensitivitas amplifier harus lebih kecil lagi. Tapi ini akan mengakibatkan noise semakin besar. Agar kepekaan tetap pada nilai yang sudah ditetapkan, maka tegangan harus diusahakan tetap atau walaupun berkurang hanya sedikit. Dan ini berarti bahwa impedansi input amplifier harus relatif tinggi. Suatu amplifier audio yang baik umumnya mempunyai impedansi input minimal 47 kOhm.

3. Rancangan Sistem

3.1 Diagram Blok

Berikut ini adalah diagram blok dari sistem yang dirancang untuk mengidentifikasi *gain* dan *bandwidth* dari sebuah amplifier.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Rangkaian mikrokontroller dengan IC 89C51 bertugas untuk menghasilkan pulsa *square waves* dengan frekuensi dari 200 KHz sampai dengan 10 Hz, dengan tegangan output *peak to peak* 500 mv. Frekuensi tersebut dikirimkan secara teratur mulai dari 200 KHz sampai 10 Hz dengan skala logaritmik. Output yang telah dihasilkan oleh rangkaian mikrokontroller tersebut berupa data digital yang berbentuk nilai biner. Dimana nilai biner itu untuk kasus ini adalah 25 biner. Untuk mendapatkan nilai itu dibahas secara spesifik pada bagian DAC dibawah. Output dari mikrokontroller ini akan masuk ke rangkaian DAC yang nantinya akan dikonversi menjadi sinyal analog. Sehingga secara otomatis output dari rangkaian DAC ini adalah sinyal analog dengan tegangan *output* 500 mv *peak to peak* dan

berupa *square wave*. Sinyal analog tersebut akan menjadi input bagi audio amplifier yang akan diuji. Sinyal hasil pembesaran tersebut akan masuk ke rangkaian *attenuator* untuk dilemahkan 1/2 kali. Sinyal yang telah dilemahkan tersebut akan dikirim ke rangkaian *peak detector* untuk dideteksi amplitudo dari sinyal tersebut.

Nilai atau sinyal yang telah dideteksi tersebut selanjutnya akan dimasukkan ke rangkaian analog to digital converter atau ADC untuk diubah bentuknya dari analog ke digital. Lalu mikrokontroler akan mulai mengambil data. Setelah data yang berbentuk nilai biner tersebut diterima oleh mikrokontroler maka data hasil output per frekuensi tersebut akan diletakkan secara berurutan di dalam memori 89C51. Data yang telah diletakkan di memori tersebut akan diseleksi oleh rangkaian mikrokontroler sesuai dengan aturan yang ditetapkan untuk ditampilkan ke layar LCD. Aturan tersebut adalah:

1. Diambil frekuensi referensi 1 KHz. Frekuensi 1 KHz ini merupakan *flat frequency* untuk audio dimana perhitungan *gain* maupun *bandwidth* akan direferensikan terhadap sinyal pada frekuensi ini. Flat frequency ini dikenal sebagai standard *middle frequency* bagi *sound* maupun *voice*.
2. Untuk *gain*, nilai output ADC dibagi dengan nilai output mikrokontroler pada frekuensi referensi.
3. Untuk *bandwidth*, nilai ADC pada 1 KHz dibagi dengan nilai ADC pada frekuensi yang dicek, lalu hasilnya dikali 10. Jika hasil perkalian itu lebih kecil dari 14 maka frekuensi yang pertama kali nilainya dicek yang lebih kecil dari 14 itulah yang ditampilkan pada LCD.

3.2 Rancangan Perangkat Keras

Mikrokontroler 89C51

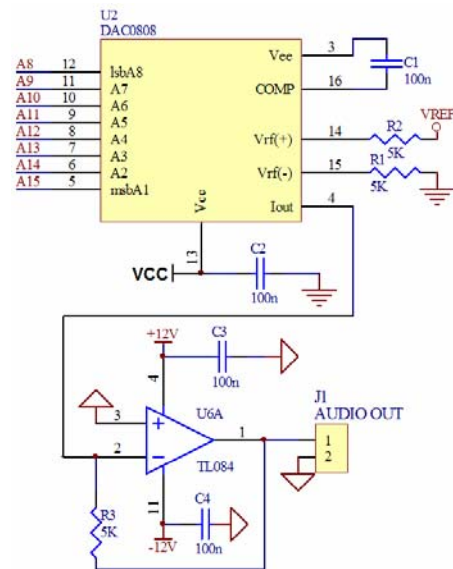
Sistem mikrokontroler menggunakan 89C51 yang dikonfigurasi sebagai *single chip controller*. Yang perlu disampaikan di sini adalah I/O map dari controller ini. Fungsi dari semua port pada rangkaian controller ini adalah sebagai berikut:

- Port 0 digunakan untuk menerima output data dari ADC yang sudah dikonversi ke bentuk digital oleh ADC.
- Port 1 digunakan untuk menampilkan hasil pengolahan data ke LCD, port yang dipakai hanya port 1.4 sampai dengan port 1.7.

- Port 2 digunakan untuk mengirim sinyal data digital yang telah dihasilkan oleh mikrokontroler ke DAC.

DAC (*Digital to Analog Converter*)

Dalam proyek ini dipakai IC DAC 8 bit *monolithic* tipe 0808. Dibawah ini adalah gambar rangkaian DAC yang akan dibuat.



Gambar 2. Rangkaian DAC

Pada rangkaian DAC ini dipakai tegangan referensi sebesar 5 volt sehingga sensitivitasnya sebesar:

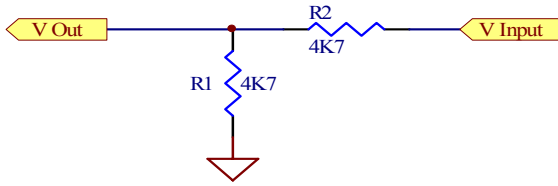
$$\text{Teg. ref.} / 255 = 5 \text{ volt} / 255 = 0,02 \text{ volt} \quad (3)$$

Sistem memerlukan tegangan output DAC sebesar 0,5 volt *peak to peak*. Jadi supaya output dari DAC ini berupa sinyal analog yang bernilai 0,5 volt *peak to peak*, maka harus diketahui nilai biner dari data digital itu sama dengan berapa volt. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nilai biner} &= V_{\text{out}} / V_{\text{perbit}} \\ &= 0,5 \text{ volt} / 0,02 \text{ volt} \\ &= 25 \end{aligned} \quad (4)$$

Attenuator

Rangkaian *attenuator* berfungsi untuk melemahkan sinyal output dari amplifier yang berbentuk sinyal AC sebelum masuk ke rangkaian *peak detector* menjadi setengah kalinya. Dibawah ini adalah gambar rangkaian *attenuator* yang dibuat.

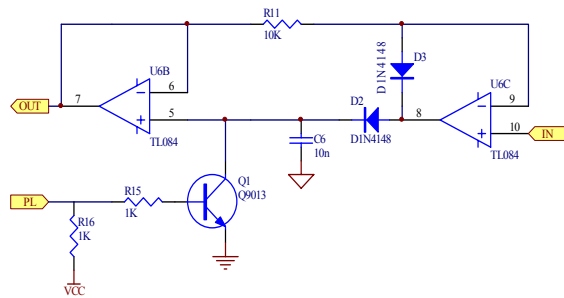


Gambar 3. Rangkaian *attenuator*

$$\begin{aligned} \text{Att} (X) &= R1 / (R1 + R2) & (5) \\ &= 4700 \Omega / (4700 \Omega + 4700 \Omega) \\ &= 1 / 2 \text{ kali } (X) \end{aligned}$$

Peak Detector

Peak detector berfungsi untuk mengetahui amplitudo tertinggi (tegangan puncak atau *peak voltage*) dari suatu sinyal. *Peak detector* di sini akan digunakan untuk mengetahui respon amplifier (berupa amplitudo sinyal hasil penguatannya) sebagai fungsi dari frekuensi sinyal input. Rangkaian yang dipakai adalah sebagai berikut.



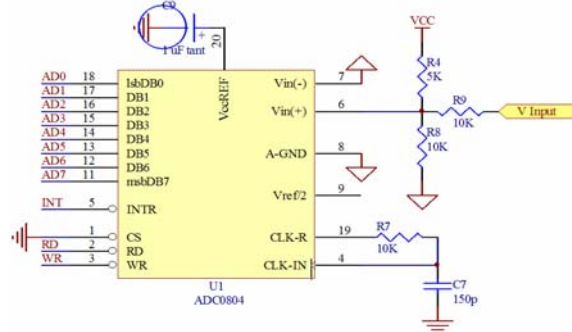
Gambar 4. Rangkaian *peak detector*

Cara kerja dari *peak detector* ini adalah sebagai berikut. Dioda D2 akan mengambil belahan positif dari sinyal input yang untuk selanjutnya akan mengisi kapasitor C6. Kapasitor C6 akan menyimpan dan menahan tegangan puncak dari sinyal. Untuk selanjutnya besar tegangan puncak ini akan dikirimkan ke ADC sehingga bisa segera dikonversikan oleh ADC. Setelah setiap satu konversi sinyal selesai, 89C51 akan memberikan sinyal *high* melalui PL sehingga transistor Q1 akan aktif dan menyebabkan kapasitor C6 membuang muatan melalui Q1 sehingga rangkaian siap menerima sinyal input berikutnya. Demikian proses ini diulang-ulang mulai dari frekuensi tertinggi sampai frekuensi terendah.

ADC (Analog to Digital Converter)

Rangkaian ADC digunakan untuk mengubah amplitudo analog yang dikeluarkan dari *peak*

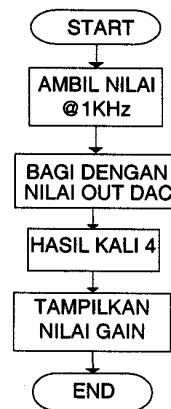
detector menjadi data digital. IC ADC yang digunakan adalah ADC0804 yang merupakan ADC 8 bit dengan waktu konversi 100 mikro detik. Gambar lengkap rangkaian ADC 0804 ini dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 5. Rangkaian ADC

3.3 Rancangan Perangkat Lunak

Flowchart dari program untuk menghitung *gain* ditunjukkan pada gambar 6 dan cara kerja sistem dapat dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 6. *Flowchart* perhitungan *gain*

Untuk menentukan *gain* dari amplifier yang diuji, dibuat program sebagai berikut. Pertama kali 89C51 akan membangkitkan kode digital dari pulsa *square* pada frekuensi 1 referensi KHz dengan tegangan output 500 mv *peak to peak*. Seperti dijelaskan di atas, frequency referensi 1 KHz ini dikenal sebagai *flatness standard (middle frequency)* bagi *sound* maupun *voice*. Data digital ini kemudian masuk ke DAC untuk dikonversi menjadi sinyal analog. Output dari DAC ini akan langsung diterima oleh rangkaian amplifier yang akan diuji. Dalam pengiriman sinyal ini, software diatur supaya ada *delay* untuk mengatur frekuensinya. Hal ini bertujuan untuk menstabilkan gelombang yang dihasilkan oleh DAC dan amplifier yang diuji.

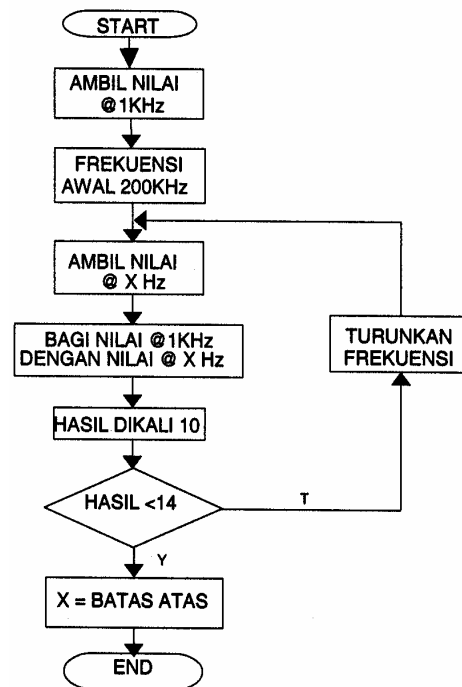
Sinyal keluaran dari amplifier akan masuk ke ADC untuk dikonversi menjadi data digital. Setelah proses konversi selesai, ADC akan memberikan *interrupt* kepada 89C51. Bersamaan dengan dikirimnya sinyal read ke ADC, 89C51 juga mengirimkan sinyal ke *peak detector* untuk mereset nilai tegangan yang tersimpan di dalamnya dan mempersiapkan rangkaian *peak detector* untuk menerima nilai tegangan output dari amplifier untuk frekuensi selanjutnya. Setelah nilai untuk frekuensi 1 KHz ini tersimpan di dalam memori dan rangkaian *peak detector* sudah siap maka software akan mulai proses penghitungan gain. Perhitungan gain dilakukan dengan membagi data biner hasil pembacaan ADC dengan data biner yang dikeluarkan ke DAC (V_{out}/V_{in}). Hasil pembagian ini selanjutnya akan dikalikan dengan 4 (empat) untuk mengkompensasi pelemahan akibat attenuator dan pergeseran offset akibat kopling ac dari amplifier.

Proses perhitungan *bandwidth* dimulai dengan menentukan frekuensi cut-off atas dan dilanjutkan dengan frekuensi cut-off bawah. *Bandwidth* dihitung dari selisih dua frekuensi cut-off ini. *Flowchart* dari program untuk menghitung cut-off frekuensi atas dan bawah ditunjukkan pada gambar 7 dan 8. Cara kerja sistem dapat dijelaskan sebagai berikut.

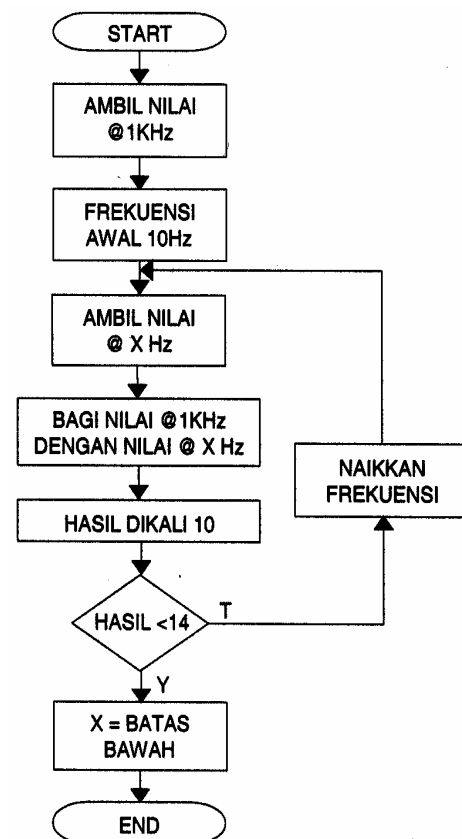
Pertama kali sistem akan mengambil amplitudo sinyal pada frekuensi referensi 1 KHz. Kemudian sistem akan melakukan *scanning* dengan membangkitkan sinyal dari frekuensi tertinggi (200 KHz) sampai frekuensi terendah (10 Hz) pada skala logaritmik. Pada proses *scanning* ini akan dicari frekuensi sinyal yang pertama kali menghasilkan amplitudo lebih dari atau sama dengan 0,7 kali amplitudo pada frekuensi referensi. Frekuensi ini adalah frekuensi cut-off atas. Untuk memudahkan pemrograman, digunakan metode: amplitudo sinyal dikalikan 10 kemudian di bagi dengan 14 (karena $0,7 = 1/1,4$).

Untuk memperoleh frekuensi cut-off bawah, proses yang dilakukan sama dengan di atas tetapi frekuensi dimulai dari 10 Hz dan dinaikkan secara logaritmik hingga 200 KHz. Frekuensi yang pertama kali menghasilkan amplitudo yang lebih dari atau sama dengan 0,7 kali amplitudo pada frekuensi referensi merupakan frekuensi cut-off bawahnya. *Bandwidth* dihitung sebagai selisih dari frekuensi cut-off atas dikurangi dengan frekuensi cut-off bawah.

Dibawah ini adalah *flowchart* dari proses penghitungan gain, perhitungan batas bawah dan perhitungan batas atas.



Gambar 7. Penentuan *cut-off* atas



Gambar 8. Penentuan *cut-off* bawah

4. Hasil Pengujian

Pengujian sistem untuk menentukan *gain* dan *bandwidth* dilakukan dengan cara sebagai berikut.

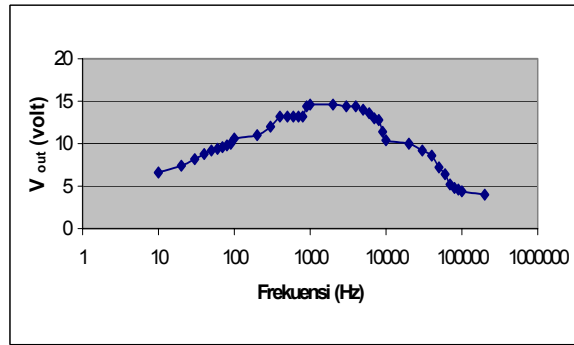
- Pengujian dengan osiloskop: input *power amplifier* dihubungkan dengan *function generator* dengan amplitudo 0,5 volt dan frekuensi yang diubah-ubah mulai dari 10 Hz sampai 200 KHz.
- Pengujian dengan alat yang dibuat: input dari *power amplifier* dihubungkan dengan pin output pada DAC. Jadi input sinyal disini dihasilkan oleh 89C51 yang sudah diprogram supaya membangkitkan frekuensi mulai dari 200 KHz sampai 10 Hz dan dengan tegangan output 0,5 volt *peak to peak*.

Secara teoritis, perhitungan *gain* maksimum oleh alat dapat dihitung sebagai berikut:

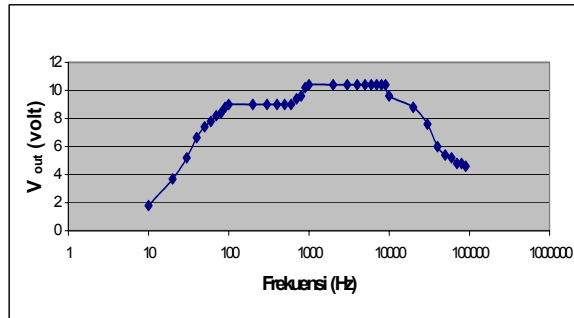
1. Sinyal yang dibangkitkan oleh 89C51 berupa pulsa dc dengan level antara 0 – 0,5v. Jika sinyal ini dimasukkan ke amplifier yang memiliki respon kopling ac, maka sinyal ini akan mengalami pergeseran dengan offset sebesar setengah dari level sinyalnya (dengan asumsi tidak ada pelemahan akibat kopling ac ini).
2. Penggunaan rangkaian pelemah (*attenuator*) digunakan untuk membatasi sinyal keluaran yang terlalu besar agar tetap bisa terbaca oleh ADC. Faktor pelemahan yang dibuat adalah sebesar setengah dari level sinyal.
3. Total pelemahan dari (1) dan (2) adalah 0,25 sehingga sistem harus mengkompensasinya dengan mengalikan hasil pembacaan ADC dengan angka 4 (empat).
4. *Gain* maksimum yang bisa dibaca dapat ditentukan dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 gain_{max} &= \frac{\text{Tegangan referensi ADC x total pelemahan}}{\text{Tegangan peak - to - peak dari sinyal maksimum}} \quad (6) \\
 &= \frac{5v \times 4}{0.5v} \\
 &= 40x
 \end{aligned}$$

Untuk pengujian, disediakan dua buah *power amplifier* dengan daya RMS 18 watt dan 60 watt. Hasil pembacaan osiloskop dari kedua *power amplifier* tersebut ditunjukkan oleh gambar berikut.



(a)



(b)

Gambar 9. Respon amplifer 18 watt (a) dan 60 watt (b)

Perbandingan hasil pengukuran langsung oleh osiloskop dengan hasil pengukuran oleh sistem yang dibuat ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 1. Perbandingan hasil pengujian

Parameter	Amplifier 18 watt			Amplifier 60 watt			% Error Rata-rata
	Osiloskop	Sistem	% Error	Osiloskop	Sistem	% Error	
Gain	29,2x	30x	2,74	21,6x	20x	7,41	5,08
Fr. Cutoff atas	9,2kHz	10kHz	8,69	11,2kHz	10kHz	10,71	9,70
Fr. Cutoff bawah	540Hz	400Hz	25,93	120Hz	100Hz	16,67	21,30
Bandwidth	8,66kHz	9,6kHz	10,85	11,08kHz	9,9kHz	10,65	10,75

5. Kesimpulan

Setelah melakukan percobaan pada 2 *power amplifier* maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

- Secara teoritis, alat ini dapat bekerja untuk mengidentifikasi *gain* maksimal 40 X. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perhitungan *gain* oleh sistem mendekati hasil perhitungan menggunakan osiloskop dengan error rata-rata sebesar 5,08% (perhitungan sistem relatif terhadap osiloskop). Error ini disebabkan karena untuk identifikasi *gain*, yang dapat ditampilkan di LCD adalah pembulatan kelipatan 4 sebagai konsekuensi dari penggunaan attenuator dan respon kopling ac dari amplifier.

- Alat ini didisain supaya mampu mendeteksi frekuensi cut-off antara 10Hz hingga 200KHz. *Bandwidth* dihitung dari selisih antara frekuensi cut-off atas dengan frekuensi cut-off bawah. Dari hasil pengujian didapatkan adanya error rata-rata 10,75%. Error ini disebabkan karena pembulatan hasil pengukuran pada skala logaritmik. Konsekuensi dari metode yang digunakan ini adalah, jika frekuensi cut-off semakin menjauhi frekuensi yang digunakan untuk mengambil data (mengikuti skala logaritmik), maka errornya juga akan semakin besar.

Daftar Pustaka

- [1] Hall, Douglas V., Microprocessor and Interfacing, Programming and Hardware. Gregg Division -McGraw Hill Co., 1988.
- [2] Malvino, Albert Paul, Electronic Principles, 6th Ed. McGraw Hill Co., 1999.
- [3] Coughlin, R.F., et.all, Operational Amplifier and Linear Integrated Circuit. Prentice Hall Inc., 1982.
- [4] Pratt, W. K., Digital Signal Processing, 2nd Ed. Wiley-Interscience Publication. USA: 1991.