

Mono Amplifier Class D menggunakan Semikron SKHI 22B dan IGBT Module Semikron SKM75GB128DN

Ivan Christanto

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya

E-mail: m23408001@john.petra.ac.id

Abstrak— Dalam perkembangan *power amplifier*, MOSFET banyak digunakan dalam komposisi pembuatannya. Seperti diketahui, MOSFET memiliki kerugian waktu *on-off* yang lebih lama dibandingkan dengan IGBT. Kerugian waktu *on-off* tersebut berdampak pada panas yang ditimbulkan MOSFET. Selain IGBT memiliki waktu *on-off* yang lebih cepat, IGBT juga tidak membebani sumber *input*-nya.

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang *power amplifier class D* dengan menggunakan IGBT *driver* semikron SKHI 22B dan IGBT *module* SKM75GB128DN. *Power amplifier* ini berbasis *amplifier* digital yang menggunakan sistem *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk memproses sinyal audio. Sinyal audio yang masuk akan diproses menjadi sinyal digital yang kemudian akan diperkuat oleh transistor IGBT dan *output*-nya kembali di-filter menggunakan *low pass filter* sehingga dapat diterjemahkan ke *subwoofer*.

Power amplifier yang telah dirancang mampu menghasilkan daya maksimal 7.41 watt. Respon frekuensi yang dihasilkan oleh *power amplifier* 0-180Hz. Dari segi kualitas suara yang dihasilkan oleh *subwoofer* cenderung kasar karena proses perubahan sinyal digital menjadi sinyal analog tidak sempurna.

Kata Kunci— *Power Amplifier, Class D, IGBT, PWM.*

I. PENDAHULUAN

DALAM perkembangan *power amplifier car* audio maupun *home* audio banyak menggunakan MOSFET sebagai komposisinya. Seperti diketahui MOSFET memiliki kerugian waktu *on-off* yang lebih lama dibanding IGBT. Hal tersebut berdampak pada panas yang ditimbulkan MOSFET. Oleh karena itu MOSFET cenderung membutuhkan pendingin (*heat-sink*), sehingga membutuhkan ukuran yang lebih besar daripada IGBT.

IGBT bisa menjadi salah satu perangkat pengganti MOSFET, hal ini dipengaruhi oleh waktu perubahan *on-off* dan kemampuan daya yang lebih baik dibanding MOSFET.

Dari waktu perubahan *on-off* yang lebih cepat pada tiap-tiap IGBT yang digunakan akan menekan timbulnya panas yang dihasilkan oleh IGBT. Sehingga ukuran dari *power amplifier* juga menjadi lebih kecil karena tidak membutuhkan *heat-sink*.

II. DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Class D mono amplifier adalah perangkat elektronik digunakan dalam dunia audio. *Amplifier* kelas D ini memiliki

efisiensi daya hingga 100% karena minim menghasilkan panas sehingga tidak ada kerugian daya. Pada kenyataannya daya yang dihasilkan di atas 90%. Berbeda dengan jenis *amplifier* lainnya, seperti kelas A (daya yang dihasilkan <25%) dan kelas B (daya yang dihasilkan <78%).

Perangkat *amplifier* kelas D banyak digunakan sebagai penguat suara frekuensi rendah, biasa frekuensi rendah yang dihasilkan suatu musik disebut *bass*. Nantinya *power amplifier* ini bertugas menguatkan suara *bass* yang dihasilkan oleh musik *player*, sehingga mampu dikeluarkan ke *subwoofer* dengan suara lebih keras. Frekuensi yang akan di-drive oleh *power amplifier monoblock* antara 40Hz-160Hz. Frekuensi tersebut adalah frekuensi yang ideal bagi *subwoofer*.

Proses pengolahan sinyal audio pada *amplifier class D* ini mengubah sinyal audio (sinyal sinus) menjadi sinyal digital (*on-off*). Proses perubahan sinyal audio menjadi sinyal digital ini berbasis PWM. Hasil sinyal digital akan dirubah menjadi sinyal sinus untuk diterjemahkan ke *subwoofer*. Sistem PWM ini adalah karakteristik dari tipe *amplifier* kelas D.

Namun pada saat ini *amplifier* kelas D sudah banyak dikembangkan sebagai *amplifier fullrange*. *Amplifier* kelas D yang termasuk dalam *amplifier* digital ini banyak diaplikasikan di speaker *handphone* dan speaker *portable*. Hal ini dipengaruhi oleh daya yang dihasilkan oleh *amplifier* kelas D lebih kuat, efisiensi daya yang dihasilkan mendekati 100%. Oleh sebab itu, speaker yang menggunakan *amplifier* kelas D dapat menghasilkan suara keras meskipun input audio pelan.

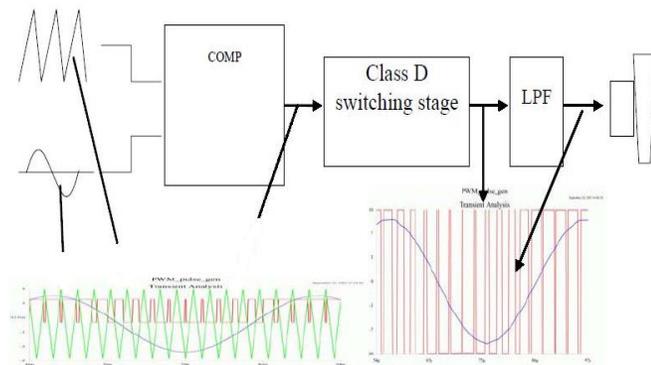
A. Design sistem

Class D mono amplifier (monoblock) menggunakan komponen *driver* IGBT semikron SKHI 22B dengan menggunakan *supply* V_{DC} 13,8 volt. Perangkat ini memanfaatkan sinyal PWM sebagai proses pengolahan sinyal audio (Sinyal audio dari musik *player*).

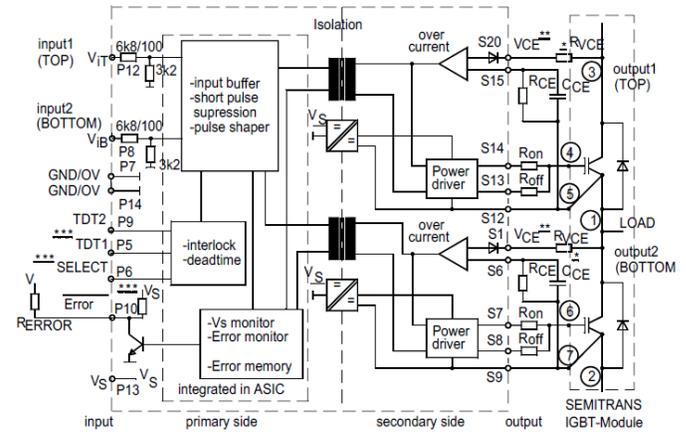


Gambar. 1. Semikron SKHI 22B.

Semikron SKHI 22B dapat digolongkan sebagai sebuah *Integrated Circuit* (IC) yang di dalamnya sudah tertanam sistem PWM. Dalam pembuatan *amplifier* kelas D, ini perubahan sinyal analog menjadi sinyal digital merupakan ciri-cirinya. Maka sistem PWM diusung untuk digunakan dalam pembuatan *amplifier* ini. Dalam *driver* IGBT semikron SKHI 22B terdapat *pulse shaper* sebagai pembangkit sinyal segitiga dan komparator sebagai pembanding sinyal *input* analog dengan sinyal segitiga. Hasil *output* dari komparator akan menghasilkan sinyal digital (sinyal kotak). Kemudian hasil sinyal digital akan diproses oleh *low pass filter* untuk diubah kembali menjadi sinyal analog agar dapat diterjemahkan ke *subwoofer*.

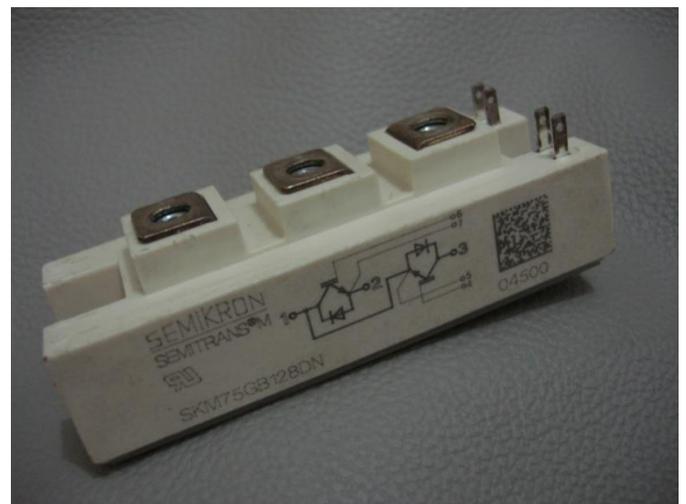


Gambar. 2. Diagram Sistem PWM Amplifier.



Gambar. 3. Diagram Blok Semikron SKHI 22B.

Sinyal suara merupakan sinyal analog (sinyal sinus), sehingga *amplifier* kelas D bertugas mengubah sinyal sinus menjadi pulsa-pulsa *on-off* dengan panjang periode yang dapat berubah-ubah. Dengan teknik mengubah sinyal suara yang berbentuk sinus menjadi pulsa-pulsa *on-off* ini, maka *amplifier* kelas D dinamakan juga *PWM amplifier*.



Gambar. 4. IGBT Module SKM75GB128DN.

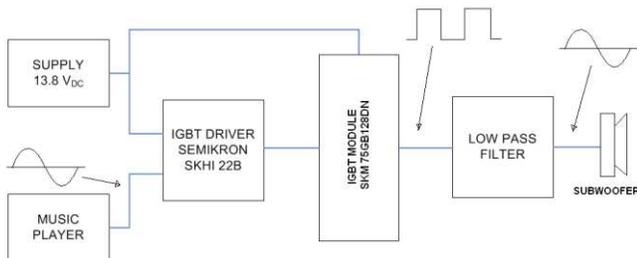
Sinyal PWM yang dihasilkan nantinya diperkuat menggunakan *gate driver amplifier* (sudah terdapat dalam semikron SKHI 22B) dan *output amplifier* yang menggunakan IGBT *module* SKM75GB128DN. IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) adalah perangkat semikonduktor yang menggabungkan sifat-sifat dari BJT dan MOSFET. Secara tidak langsung IGBT ini menggabungkan keunggulan dari BJT yang memiliki keunggulan R_{on} yang kecil dan MOSFET yang memiliki keunggulan kecepatan pensaklaran yang tinggi.

Input dari IGBT adalah terminal *gate* dari MOSFET, sedangkan sumber MOSFET terhubung ke basis dari BJT. Dengan demikian arus keluar dari MOSFET akan menjadi arus basis dari BJT. Karena resistansi masukan dari MOSFET besar, maka *input* IGBT hanya menarik arus yang kecil dari sumber dan arus keluaran dari MOSFET cukup besar untuk membuat BJT saturasi.

Pada sistem IGBT *module* bertugas sebagai penguat sinyal

digital dan di-drive dari *output* semikron SKHI 22B. *Gate driver* dari semikron SKHI 22B akan di-*input*-kan dalam kedua IGBT, *output* sinyal digital akan dikeluarkan pada *load* terhadap *ground*.

Sinyal *output* berupa pulsa-pulsa PWM kemudian diubah kembali menjadi sinyal sinus menggunakan *low pass filter* (rangkaiian LC) sebelum diteruskan ke *subwoofer*.



Gambar. 5. Blok Diagram Sistem.

Low Pass Filter berfungsi sebagai pengubah sinyal *square-wave* menjadi sinyal sinusoidal di *output* IGBT. Karena arus AC yang masuk ke dalam *low pass filter* maka filter yang digunakan adalah *low pass filter* orde dua (LC). Jika *low pass filter* yang digunakan menggunakan orde satu (RC) maka ukuran resistor yang digunakan terlalu besar. Pada sistem filter orde dua ini, rangkaian terdiri dari induktor dan kapasitor.

Cara kerja dari rangkaian filter ini seperti sebuah rangkaian pembagi tegangan (peredaman terhadap tegangan), pembagian tegangannya dipengaruhi oleh frekuensi yang masuk atau frekuensi input. Di saat frekuensi tinggi, *output voltage* yang dihasilkan oleh *low pass filter* kecil (diredam). Demikian sebaliknya, di saat frekuensi input rendah, rangkaian *low pass filter* melewati *voltage supply* yang digunakan sehingga amplitud sinyal penuh.

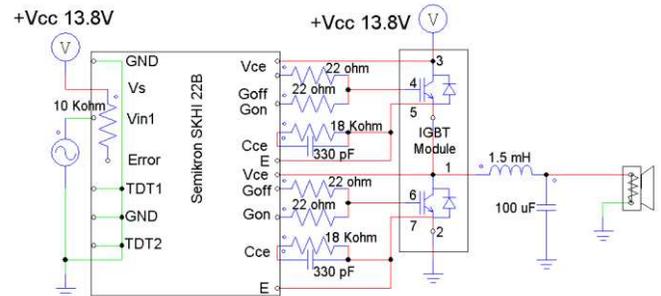
B. Desain Hardware

Dengan menggunakan semikron SKHI 22B dan IGBT module SKM75GB128DN, rangkaian penghubung sudah terdapat dalam *datasheet*. Tipe IGBT module yang digunakan mempengaruhi nilai resistor dan kapasitor yang digunakan.

SK-IGBT-Modul	R _{Gon} Ω	R _{Goff} Ω	C _{CE} pF	R _{CE} kΩ	R _{VCE} kΩ
SKM 50GB123D	22	22	330	18	0
SKM 75GB123D	22	22	330	18	0
SKM 100GB123D	15	15	330	18	0
SKM 145GB123D	12	12	330	18	0
SKM 150GB123D	12	12	330	18	0
SKM 200GB123D	10	10	330	18	0
SKM 300GB123D	8,2	8,2	330	18	0
SKM 400GA123D	6,8	6,8	330	18	0
SKM 75GB173D	15	15	470	36	1
SKM 100GB173D	12	12	470	36	1
SKM 150GB173D	10	10	470	36	1
SKM 200GB173D	8,2	8,2	470	36	1

Fig. 5 Typical values for external components

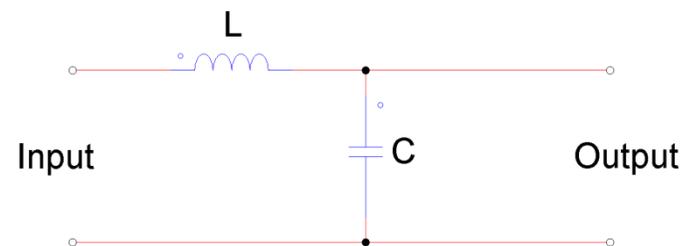
Gambar. 6. Tabel Nilai R dan C Semikron.



Gambar. 7. Rangkaian Antara Semikron SKHI 22B dan IGBT Module SKM75GB128DN.

Pada bagian L dan C yang ada pada gambar adalah bagian dari rangkaian *low pass filter*. *Low pass filter* ini yang bertugas mem-filter *input* sinyal digital menjadi sinyal analog.

Nilai dari induktor dan kapasitor mempengaruhi *cut-off* frekuensi terhadap suara yang dapat dihasilkan oleh *subwoofer*.



Gambar. 8. Rangkaian Low Pass Filter.

Pada *class D mono amplifier* ini bertugas untuk men-drive sebuah *subwoofer*, *subwoofer* biasa men-drive frekuensi rendah pada setiap lagu. Maka, *filter* pada *amplifier* ini memiliki *cut-off* pada frekuensi 160Hz. Nantinya *subwoofer* akan bekerja pada frekuensi 40Hz-160Hz. Frekuensi tersebut adalah frekuensi ideal bagi *subwoofer*.

Berikut rumus yang digunakan untuk menentukan nilai induktor dan kapasitor pada *low pass filter* orde 2.

$$f_c = \frac{1}{2\pi(\sqrt{LC})} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- f_c = *x-over* frekuensi(Hz)
- L = *coil inductance*(H)
- C = *capasitor capacitance*(F)

Nilai komponen induktor (L) yang digunakan 1 mH. Maka Perhitungan nilai C yang digunakan untuk *cut-off* di 160Hz :

$$f_c = \frac{1}{2\pi(\sqrt{LC})}$$

$$160 = \frac{1}{2\pi(\sqrt{LC})}$$

$$160 = \frac{1}{6.28\sqrt{(0.001 \cdot C)}}$$

$$1,004.8 \sqrt{(0.001 \cdot C)} = 1$$

$$\sqrt{(0.001 \cdot C)} = 0.000995223$$

$$0.001 \cdot C = 9.905 \times 10^{-7}$$

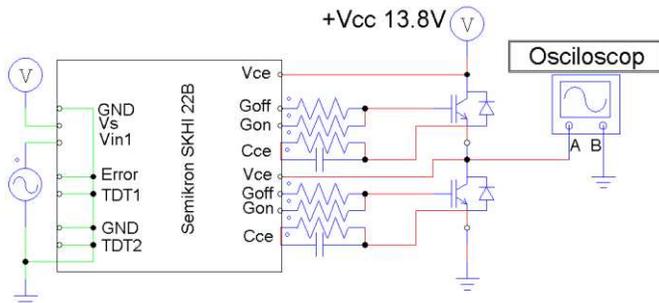
$$C = 0.0009905 \text{ F}$$

$$C = 990.5 \mu\text{F}$$

III. PENGUJIAN SISTEM

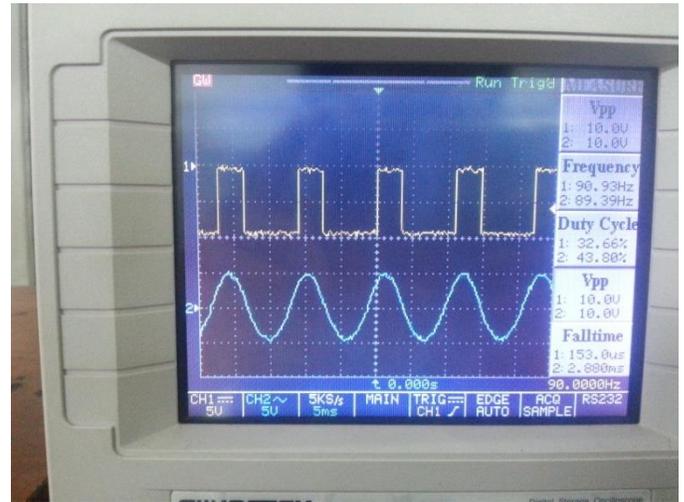
A. Pengujian Hasil Sinyal PWM

Pengujian *output* sinyal digital ini digunakan untuk mengetahui apakah rangkaian antara semikron SKHI 22B dan Semikron SKM75GB128DN ini sudah bekerja dengan baik. *Input* yang berupa siny analog yang kemudian *output*-nya berupa sinyal digital.



Gambar. 9. Konfigurasi Pengujian Sinyal Digital.

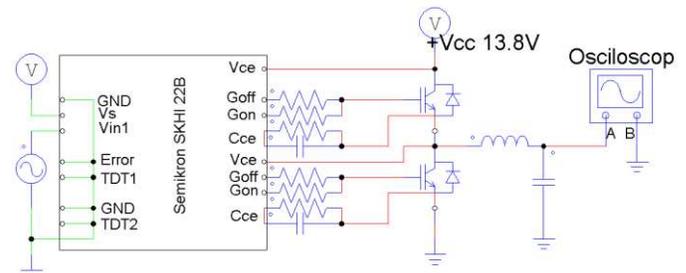
Pada gambar 7 tampak hasil pengujian siny digital dari *power amplifier* sebelum diproses oleh *filter*. Pengujian sinyal digital menggunakan siny analog pada frekuensi 90Hz, *output* sinyal digital sesuai dengan *input* sinyal analog dengan frekuensi 90Hz juga. Hal ini dapat dikatakan rangkaian semikron SKHI 22B dan Semikron SKM75GB128DN bekerja dengan baik, karena frekuensi yang dihasilkan *power amplifier* sesuai dengan frekuensi *input* sinyal analog.



Gambar. 10. Hasil Pengujian Sinyal Digital.

B. Pengujian Frekuensi Output Power Amplifier

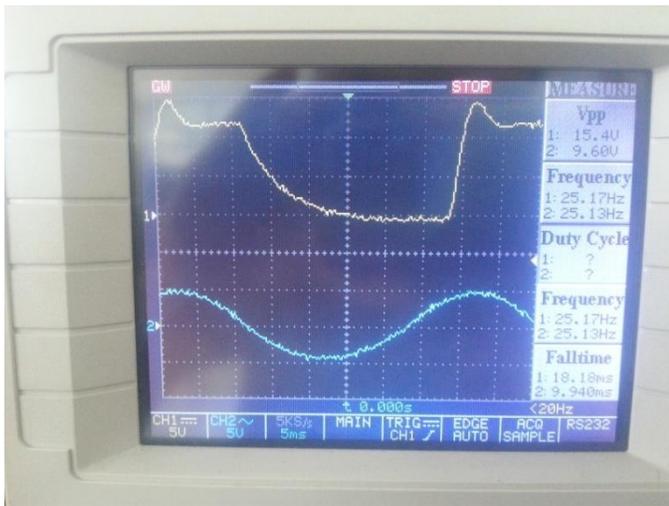
Pengujian frekuensi output dari power amplifier ini digunakan untuk mengetahui kualitas dari power amplifier. Pengujian ini menggunakan function generator sebagai sumber input-nya, agar sinyal input yang masuk dapat diposisikan pada frekuensi tertentu.



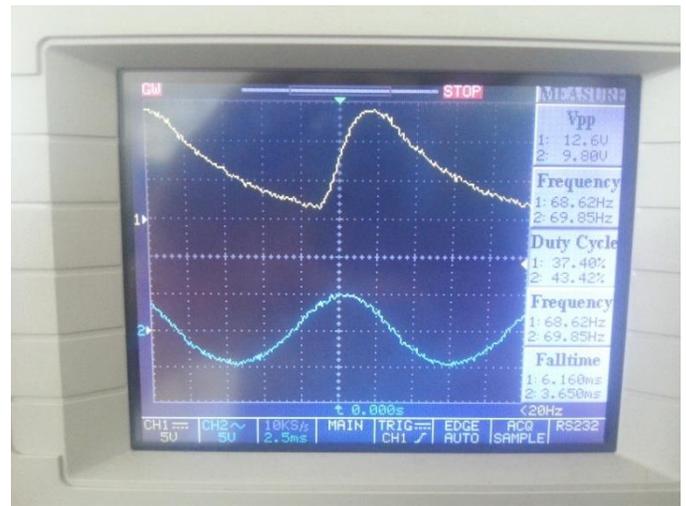
Gambar. 11. Konfigurasi Pengujian Frekuensi.

Tabel 1. Pengujian Frekuensi Yang Dihasilkan Power Amplifier

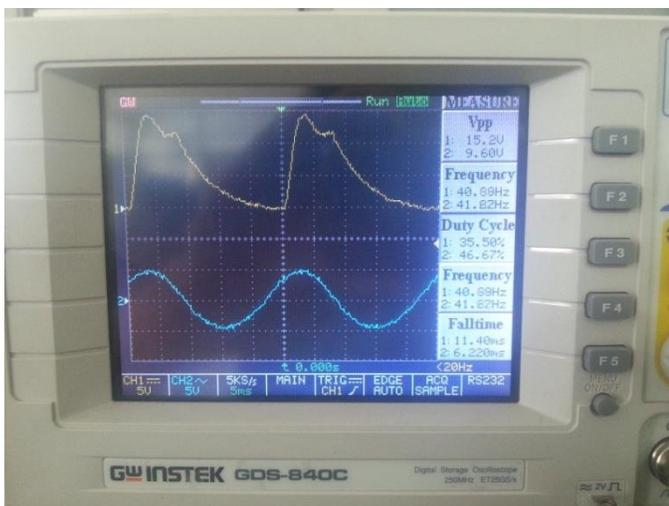
No.	Frekuensi Pengukuran	Frekuensi Terbaca Oscilloscop	Frekuensi Output Power Amplifier
1.	25 Hz	25,13 Hz	25,17 Hz
2.	40 Hz	41,82 Hz	40,89 Hz
3.	55 Hz	54,35 Hz	55,25 Hz
4.	70 Hz	69,85 Hz	68,62 Hz
5.	85 Hz	84,03 Hz	84,25 Hz
6.	100 Hz	100 Hz	99,42 Hz
7.	115 Hz	116 Hz	114,9 Hz
8.	130 Hz	127,4 Hz	130,7 Hz
9.	145 Hz	146 Hz	148,1 Hz
10.	160 Hz	159,1 Hz	156,2 Hz



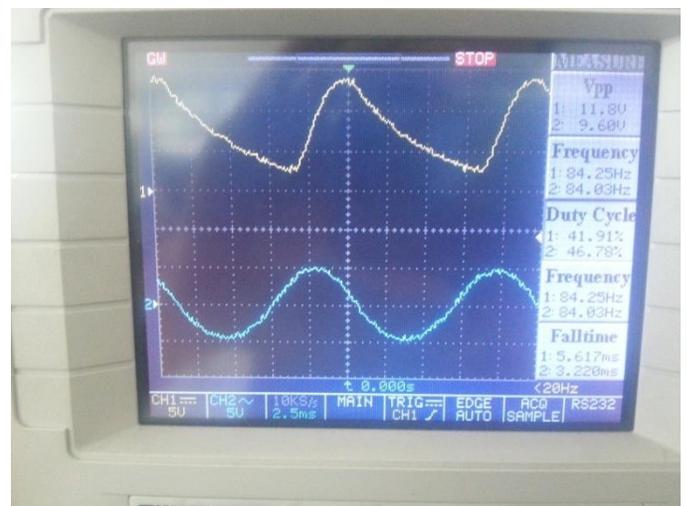
Gambar. 12. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 25Hz.



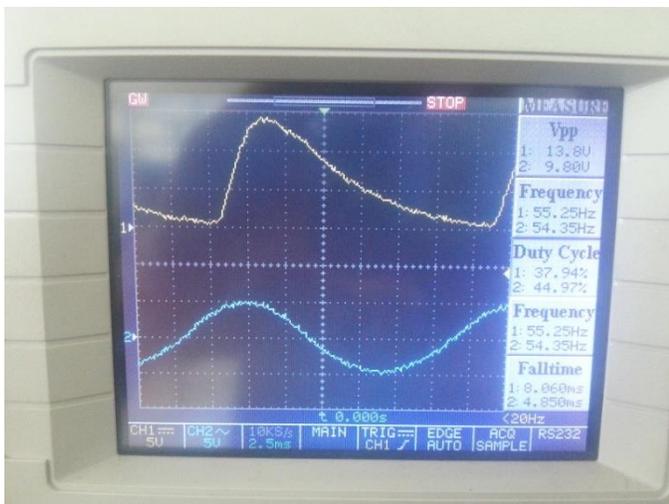
Gambar. 15. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 70Hz.



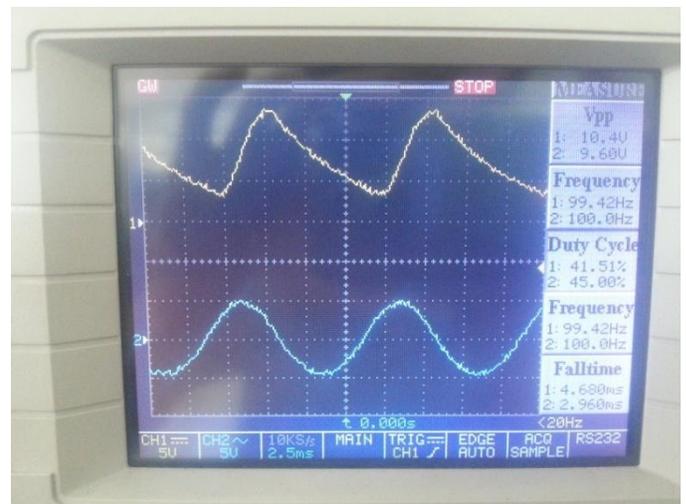
Gambar. 13. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 40Hz.



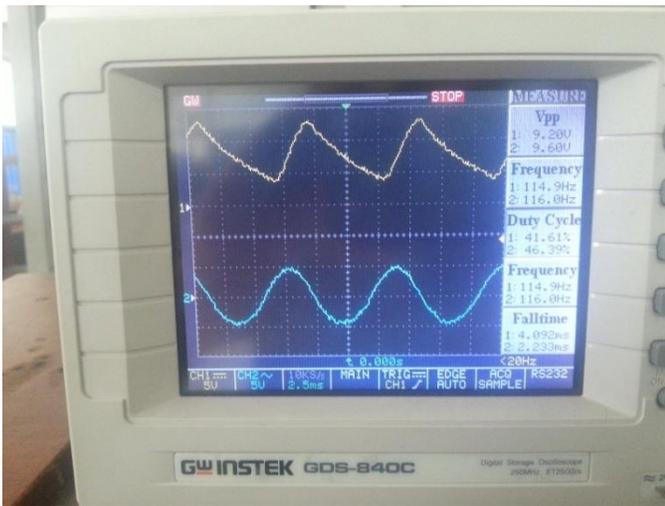
Gambar. 16. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 85Hz.



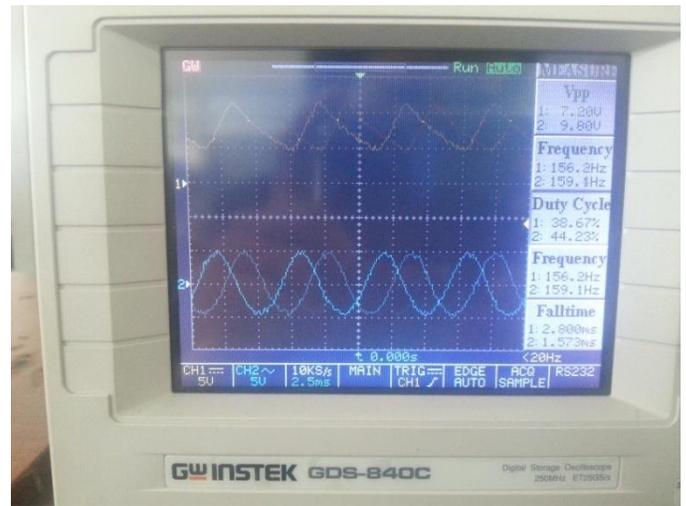
Gambar. 14. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 55Hz.



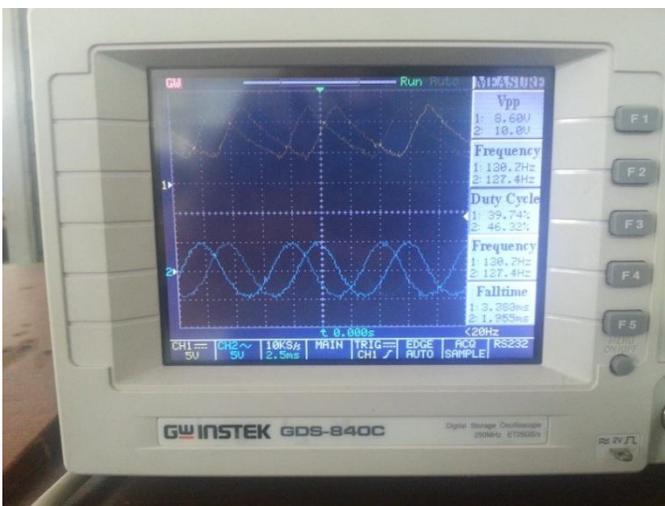
Gambar. 17. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 100Hz.



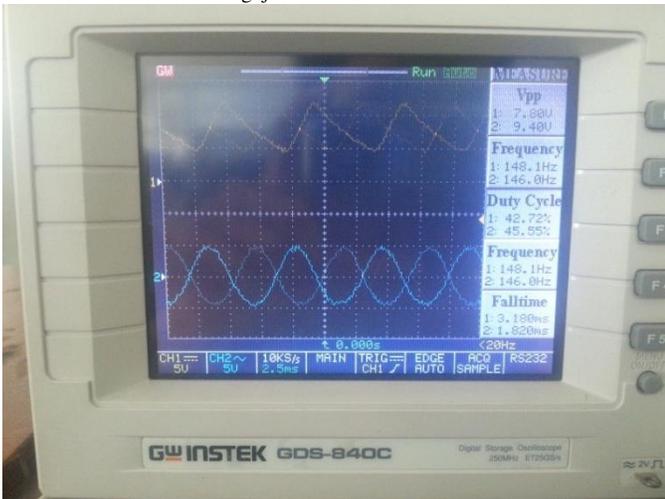
Gambar. 18. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 115Hz.



Gambar. 21. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 160Hz.



Gambar. 19. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 130Hz.



Gambar. 20. Foto Hasil Pengujian Frekuensi 145Hz.

Dari hasil pengujian dengan frekuensi konstan dari function generator, tampak efek dari threshold voltage yang dimiliki oleh semikon SKHI 22B. Dampak dari threshold voltage membuat sinyal output (sinyal warna kuning) mengalami pergeseran waktu on dan off. Di saat sinyal input analog masih di bawah 3,9 volt, sinyal tersebut belum dapat men-drive sinya on untuk diproses semikon SKHI 22B. demikian sebaliknya, di saat sinyal input analog sudah berada pada 1,5 volt, maka semikon SKHI 22B sudah memproses sinyal digital menjadi off.

C. Pengujian Respon Frekuensi

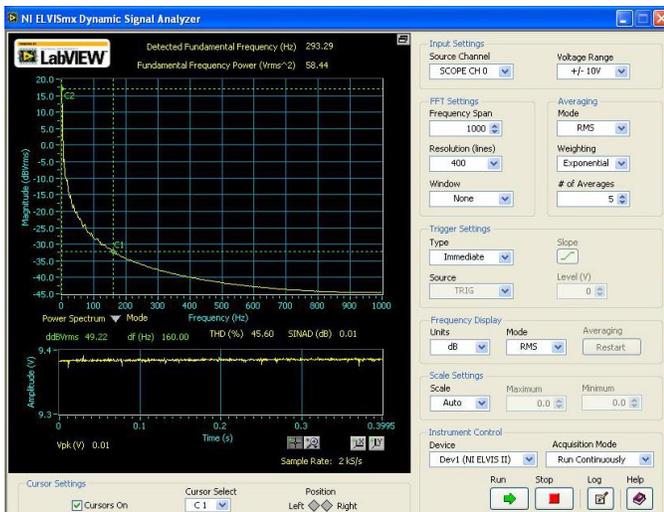
Pengujian dilakukan menggunakan *spectrum analyzer*, hal ini dilakukan untuk mengetahui respon frekuensi dari *power amplifier*. Frekuensi yang dikuatkan oleh *power amplifier* pada rentang 40-160Hz dan *cut-off low pass filter* yang telah dirancang berada pada 160Hz.

Pada pengukuran respon frekuensi, frekuensi *cut-off* dilihat pada gain -3dB (standart dari pengukuran respon frekuensi). Hasil pengujian menggunakan NI-ELVISmx ini, respon frekuensi dari *power amplifier* pada 0-180 Hz (nilai frekuensi di -3dB tidak bisa didapatkan secara pasti, hal ini dipengaruhi oleh keterbatasan alat).

Pada pengujian menggunakan *spectrum analyzer* NI-ELVISII ini, dapat pula didapatkan *total harmonic distortion* (THD). THD ini biasanya digunakan sebagai suatu standart ketentuan dari kualitas sebuah *power amplifier*, semakin kecil persentase THD maka kualitas yang dihasilkan semakin baik. Hasil dari pengujian menunjukkan persentase THD yang didapat sebesar 45.6%, distorsi yang dihasilkan cukup besar sehingga kualitas dari *power amplifier* kurang baik.

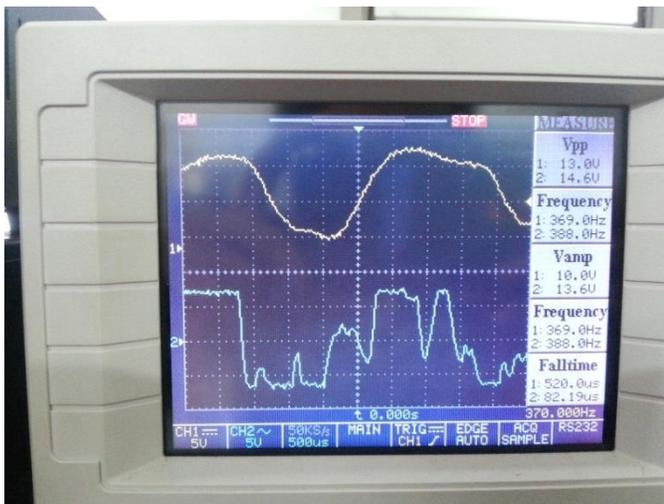


Gambar. 22. Hasil Pengujian frekuensi respon pada $-3\text{dB} \pm 180\text{Hz}$.



Gambar. 23. Hasil Pengujian THD.

D. Pengujian Hasil Output Sinyal Audio



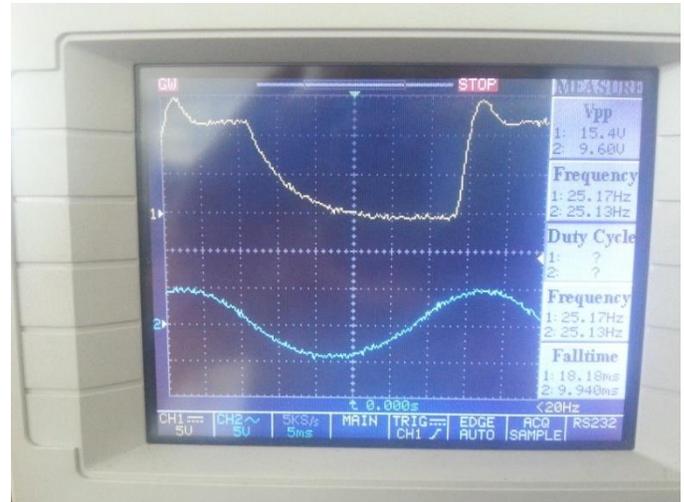
Gambar. 24. Hasil Pengujian Output Sinyal Audio.

Pada gambar 11 tampak hasil pengujian sinyal audio. Power amplifier ini digunakan untuk menguatkan frekuensi rendah

atau frekuensi yang biasa di-drive oleh subwoofer. Maka pada gambar terlihat hasil sinyal dari power amplifier (sinyal warna kuning) menghilangkan frekuensi diatas 160Hz. Frekuensi yang diterjemahkan sekaligus dikuatkan oleh power amplifier antara 25Hz-160Hz.

E. Gain Amplifier

Perhitungan gain ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar *power amplifier* menguatkan sinyal audio yang masuk. Perhitungan gain menggunakan V_{out} dan V_{in} yang dihasilkan pada frekuensi 25Hz.



Gambar. 25. Hasil Pengujian Pada 25Hz.

V_{out} dan V_{in} yang digunakan pada pengujian di frekuensi 25 Hz. Karena memiliki perbedaan antara V_{out} dan V_{in} yang paling besar. Semakin besarnya perbedaan V_{out} dan V_{in} maka suara yang dihasilkan semakin kuat. V_{out} 15.4V dan V_{in} 9.6V. Berikut perhitungan *gain* yang dihasilkan.

$$\begin{aligned} \text{Gain (dB)} &= 20 \log (V_{out} / V_{in}) \\ &= 20 \log (15.4 / 9.6) \\ &= 20 \log 1.6 \\ &= 20 \cdot 0.205 \\ &= 4.105 \text{ dB} \end{aligned}$$

F. Daya Amplifier

Perhitungan daya *power amplifier* ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar daya yang dapat dihasilkan oleh *power amplifier*. Nantinya daya yang dihasilkan *power amplifier* ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan speaker. Pada perhitungan daya *amplifier* dibutuhkan nilai impedansi dari speaker yang dipakai. Pada *subwoofer* yang dipakai memiliki impedansi 4Ω. Berikut perhitungan daya *power amplifier*.

$$\begin{aligned} V_{rms} &= V_{peak} / \sqrt{2} \\ &= (15.4 / 2) / \sqrt{2} \\ &= 7.7 / \sqrt{2} \\ &= 5,445 V_{rms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= (V_{\text{rms}})^2 / R \\
 &= (5.445)^2 / 4\Omega \\
 &= 29.645 / 4\Omega \\
 &= 7.41 \text{ watt}_{\text{rms}}
 \end{aligned}$$

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang didapat dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Driver semikron SKHI 22B yang dasarnya digunakan sebagai driver motor, tidak cocok digunakan sebagai audio power amplifier. Hal ini disebabkan adanya *input threshold voltage*.
- Respon frekuensi dari *power amplifier* antara 0-180 Hz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis I.C mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Petra, Bapak Limboto Limantara, Bapak Lauw Lim Un Tung, Bapak Murtiyanto Santoso, Keluarga dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas dukungan dan doanya dalam pengerjaan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Class D Audio Amplifiers-Theory and Design. sound.westhost.com. 16 Oktober 2012.
Available: <<http://sound.westhost.com/articles/pwm.htm>>.
- [2] Clayton,G. & Winder,S. (2004). Operational Amplifiers. (Wiwit Kastawan). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [3] Horowitz, M. (1997). Merancang dan Merakit Penguat Audio. (Irwan Widjaja). Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [4] Power Amplifier Class D. elektronika-dasar.com. 16 Oktober 2012.
Available: <<http://elektronika-dasar.com/teori-elektronika/power-amplifier-kelas-d/>>.
- [5] SEMIDRIVER-Hybrid Dual IGBT Driver. www.datasheetarchive.com. 9 Juli 2012.
Available: <<http://www.datasheetarchive.com/SKHI22B-datasheet.html#>>.
- [6] SKM75GB128DN. www.alldatasheet.com. 9 Juli 2012.
Available: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet.pdf/pdf/206260/SEMIKRON/SKM75GB128DN.html>>.