

Pemanfaatan Port Audio Pada Smartphone Untuk Pembangkitan Catu Daya Bagi Perangkat Elektronik

Achmad Yani¹⁾, Muhammad Rusdi²⁾

¹⁾Dosen Jurusan Teknik Komputer dan Informatika,

²⁾Dosen Jurusan Teknik Elektro

^{1,2)}Politeknik Negeri Medan

achmadyani@polmed.ac.id; mrusdi@polmed.ac.id

Abstract

Tulisan ini memaparkan hasil Penelitian yang dimaksudkan untuk memberikan salah satu solusi terhadap masalah konsumsi energi listrik bagi perangkat elektronik berdaya kecil, misalnya sensor. Smartphone yang umumnya memiliki port audio dapat mengeluarkan sinyal audio. Dengan menggunakan perangkat lunak aplikasi pembangkit sinyal, maka dapat dihasilkan berbagai macam sinyal audio pada port audio. Keluaran sinyal audio, yang salah satunya berupa sinyal sinusoida yang merupakan bentuk tegangan AC (bolak-balik), dapat diubah besar tegangannya dan selanjutnya disearahkan sehingga menghasilkan tegangan DC (searah) dengan menggunakan rangkaian penaik tegangan (voltage multiplier) dan penyearah (rectifier). Hasil yang diharapkan adalah berupa tegangan DC 5 V yang dapat digunakan sebagai catu daya bagi berbagai perangkat elektronik berdaya kecil.

Kata Kunci: Port Audio, Smartphone, Pembangkitan Catu Daya, Perangkat Elektronik

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu hasil dari perkembangan teknologi informasi adalah diciptakannya *smartphone*. Saat ini *smartphone* tidak lagi menjadi benda yang aneh dan mewah, tetapi sudah menjadi kebutuhan untuk membantu pekerjaan manusia sehari-hari, terutama untuk alat bantu komunikasi. Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan *smartphone* bukan hanya untuk komunikasi, tetapi juga dilengkapi dengan kemampuan komputasi seperti halnya sebuah komputer.

Umumnya sebuah *smartphone* dilengkapi dengan port audio yang digunakan untuk mengeluarkan sinyal audio ke perangkat lain, misalnya speaker eksternal, atau *amplifier*, untuk dapat mendengarkan suara dengan volume yang dapat didengarkan dalam cakupan yang luas. Dengan kemampuan komputasi *smartphone* sehingga dapat dilakukan pemrograman, maka dapat dibuat aplikasi untuk menghasilkan sinyal keluaran audio melalui port audio. Sinyal audio yang dihasilkan bisa bermacam-macam sesuai dengan yang diprogram. Salah satunya adalah sinyal keluaran berbentuk sinusoida yang disebut juga tegangan AC (*Alternating Current*).

Secara teoritis, tegangan AC dapat diolah untuk menghasilkan tegangan DC (*Direct Current*) untuk kebutuhan catu daya bagi berbagai perangkat elektronika. Untuk keperluan ini, digunakan rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai penyearah (*rectifier*).

Penelitian ini akan membahas pembuatan rangkaian elektronika untuk memanfaatkan keluaran tegangan AC yang berasal dari port audio

smartphone untuk menghasilkan catu daya bertegangan DC 5 V bagi berbagai perangkat elektronika yang berdaya kecil dengan menggunakan standar tegangan logika TTL.

B. Masalah

Berdasarkan latar belakang yang mendasari pentingnya penelitian ini dilakukan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut.

- 1) Bagaimana menghasilkan tegangan keluaran AC yang berbentuk sinusoida melalui port audio pada *smartphone* melalui *software* aplikasi?
- 2) Bagaimana membuat rangkaian elektronika untuk mengkonversikan tegangan AC dari port audio *smartphone* menjadi tegangan DC sebesar 5 V untuk kebutuhan perangkat elektronika berstandar tegangan logika TTL?

C. Batasan Masalah

Adapun yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) *Smartphone* yang menjadi objek dalam penelitian ini diasumsikan memiliki port audio.
- 2) *Software* aplikasi yang digunakan dapat membangkitkan sinyal tegangan sinusoida dalam frekuensi audio.
- 3) Daya keluaran yang dihasilkan dari sistem cukup untuk memenuhi kebutuhan perangkat elektronika yang diuji coba.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan menghasilkan prototipe sistem pembangkit catu daya DC sebesar 5 V bagi perangkat elektronik berdaya kecil dengan memanfaatkan keluaran dari port audio pada *smartphone*.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat atau kontribusi dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Sebagai kontribusi bagi bidang energi, penelitian ini diharapkan memberikan solusi penyediaan catu daya DC secara mobile kepada perangkat elektronik berdaya kecil, seperti sensor.
- 2) Sebagai kontribusi bagi bidang teknologi informasi, perangkat *smartphone* diprogram sehingga menghasilkan aplikasi untuk membangkitkan sinyal keluaran audio berupa tegangan sinusoida yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, yang salah satunya adalah untuk menghasilkan tegangan DC bagi perangkat elektronik berdaya kecil.
- 3) Sebagai kontribusi bagi pembelajaran kepada mahasiswa, memberikan pengetahuan dan ide untuk penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi dari beberapa mata kuliah dasar yang terkait, antara lain elektronika dasar, rangkaian digital, dan pemrograman mobile.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Port Audio pada Smartphone

Pada umumnya, sebuah *smartphone* dilengkapi dengan port audio yang digunakan sebagai saluran untuk mengeluarkan suara audio ke perangkat lain, seperti speaker eksternal, *amplifier*, *earphone*, *headset*, atau *headphone*, dan untuk perangkat lain yang membutuhkan masukan audio. Di samping itu, port audio juga dapat menerima masukan audio dari *microphone*.

Ada beberapa tipe konektor yang digunakan untuk *smartphone*. Secara umum, hampir semua *smartphone* menggunakan jenis konektor (*audio jack*) untuk port audio yang berukuran 3,5 mm, meskipun ada juga yang memakai ukuran 2,5 mm. Ada tiga bagian utama pada *audio jack* 3,5 mm, yaitu Tip (S), Ring (R), dan Sleeve (S). Berdasarkan konstruksi T, R, dan S ini, ada tiga tipe *audio jack*, yaitu:

- a) Tipe Tip-Sleeve (TS),
- b) Tipe Tip-Ring-Sleeve (TRS), dan
- c) Tipe Tip-Ring-Ring-Sleeve (TRRS).

Adapun perbedaan di antara ketiga tipe ini dapat dilihat pada Gambar 1, 2, dan 3.



Gambar 1. *Audio jack* tipe TS



Gambar 2. *Audio jack* tipe TRS



Gambar 3. *Audio jack* tipe TRRS

Audio jack tipe TS hanya memiliki 2 bagian, yakni 1 Tip dan 1 Sleeve. Jadi, hanya terdapat 2 konduktor pada *audio jack* tipe TS. *Audio jack* 3.5 mm tipe TS hanya mendukung mode mono dan *microphone*. Bagian Tip untuk *audio mono*, dan Sleeve untuk *ground*. Ini berarti yang ada hanya mode mono, suara pada headphone sebelah kiri dan kanan sama saja.

Audio jack tipe TRS memiliki 3 bagian, yakni 1 Tip, 1 Ring, dan 1 Sleeve. Terdapat 3 konduktor dalam *audio jack* tipe ini. *Audio jack* 3.5 mm tipe TRS sudah mendukung mode stereo, namun belum mendukung *microphone*. Bagian Tip untuk headphone sebelah kiri, Ring untuk headphone sebelah kanan, dan Sleeve untuk *ground*. Dengan *audio jack* tipe ini, dapat didengarkan musik dengan mode stereo tapi tidak dapat dilakukan panggilan dengan menggunakan *microphone*.

Audio jack tipe TRRS merupakan yang paling lengkap. Jack tipe TRRS memiliki 4 bagian, 1 Tip, 2 Ring, dan 1 Sleeve. *Audio jack* 3.5 mm tipe TRRS mendukung mode stereo sekaligus *microphone*. Bagian Tip untuk headphone sebelah kiri, Ring atas untuk headphone sebelah kanan, Ring bawah untuk *ground*, dan Sleeve untuk *microphone*. Tiap vendor punya susunan sendiri untuk jack tipe TRRS ini. Dengan *audio jack* ini, dapat didengarkan musik mode stereo, dan komunikasi dengan menggunakan *microphone*.

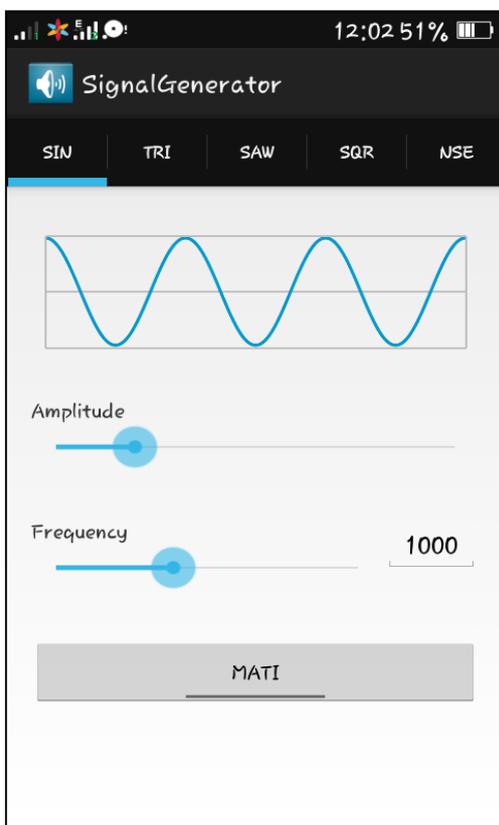
B. Aplikasi Pembangkit Sinyal

Pembangkit sinyal (*signal generator*) pada awalnya adalah berupa perangkat elektronik yang digunakan untuk membangkitkan berbagai macam sinyal listrik, baik dalam bentuk analog maupun digital. Umumnya pembangkit sinyal digunakan dalam perancangan, pengujian, pelacakan kesalahan, dan perbaikan perangkat elektronik.

Ada beberapa tipe pembangkit sinyal dengan fungsi yang berbeda pula. Di antaranya adalah *function generator*, *RF and microwave signal generators*, *pitch generators*, *arbitrary waveform generators*, *digital pattern generators*, dan *frequency generators*.

Dengan perkembangan komputer multimedia, maka fungsi-fungsi dari pembangkit sinyal dapat digantikan oleh perangkat lunak aplikasi pembangkit sinyal yang dapat diprogram pada komputer digital dan perangkat *smartphone*.

Untuk perangkat *smartphone* saat ini sudah banyak software aplikasi yang berperan sebagai *signal generator*. Di antaranya adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

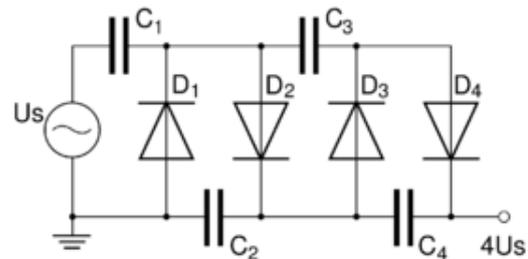


Gambar 4. Sebuah aplikasi pembangkit sinyal berbasis Android

C. Voltage Multiplier

Voltage multiplier (pelipat tegangan) adalah rangkaian listrik yang mengkonversikan daya listrik AC (bolak-balik) dari tegangan yang rendah ke tegangan DC (searah) yang lebih tinggi. Rangkaian ini biasanya menggunakan jaringan

kapasitor dan dioda. Gambar 5 menunjukkan contoh sebuah rangkaian voltage multiplier.

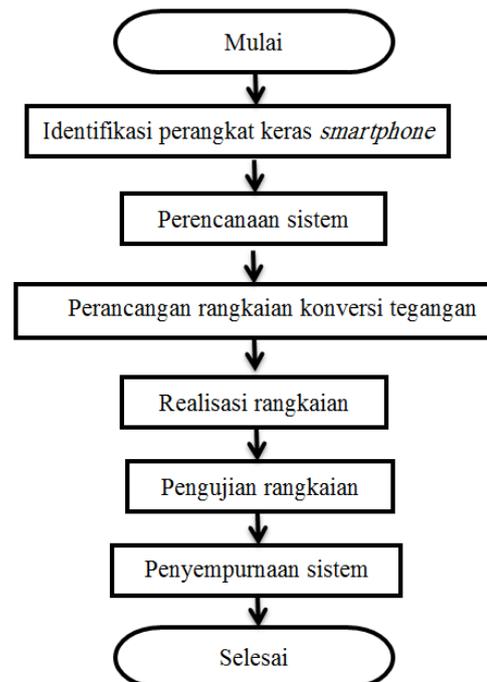


Gambar 5. Sebuah rangkaian voltage multiplier

III. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan-tahapan seperti dalam flowchart pada Gambar 6.



Gambar 6. Tahapan-tahapan dalam metode penelitian

Adapun penjelasan untuk masing-masing tahapan dalam metode penelitian adalah sebagai berikut:

- 1) **Identifikasi perangkat keras *smartphone***
Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap perangkat keras yang menjadi objek dalam penelitian ini, yaitu *smartphone*. Dalam hal ini, dilakukan pengumpulan data teknis spesifikasi port audio pada *smartphone*.
- 2) **Perencanaan sistem**
Pada tahap ini dilakukan perencanaan seluruh komponen yang diperlukan sistem untuk terbentuknya perangkat pembangkit catu daya DC 5 V dari port audio *smartphone*.

- 3) Perancangan rangkaian konversi tegangan
 Pada tahap ini dilakukan perancangan rangkaian elektronik yang diperlukan untuk mengkonversikan tegangan keluaran dari port audio yang berupa tegangan AC berbentuk sinusoida sehingga menjadi tegangan DC sebesar 5 V.
- 4) Realisasi rangkaian
 Pada tahap ini dilakukan pembuatan PCB (*printed circuit board*) yang berbentuk prototipe untuk merealisasikan rangkaian yang dibutuhkan.
- 5) Pengujian rangkaian
 Pada tahap ini dilakukan pengujian pada rangkaian yang telah direalisasikan dengan melakukan eksperimen dan pengukuran beberapa parameter listrik yang penting, antara lain tegangan, arus, daya, frekuensi, dan bentuk sinyal yang dihasilkan.
- 6) Penyempurnaan sistem
 Pada tahap ini dilakukan penyempurnaan yang diperlukan berdasarkan hasil pengujian rangkaian.

B. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputer, Jurusan Teknik Komputer dan Informatika, Politeknik Negeri Medan.

C. Parameter Pengukuran dan Pengamatan

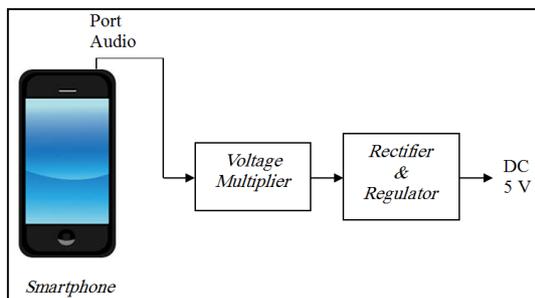
Karena objek penelitian menyangkut perangkat keras yang akan mengolah sinyal listrik, maka penelitian ini akan mengamati beberapa parameter pengukuran yang berkaitan, yaitu tegangan, arus, daya, frekuensi, dan bentuk sinyal. Juga akan diuji efisiensi penggunaan daya dalam sistem.

D. Model Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan langsung perangkat keras secara nyata, bukan simulasi. Dengan demikian, pengukuran terhadap objek yang diperlukan dalam hal ini menggunakan alat ukur berupa perangkat keras juga.

E. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini, sistem perangkat yang akan dirancang dan diimplementasikan dapat digambarkan dengan diagram blok seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram blok sistem

Pada Gambar 7, dengan menggunakan sebuah *software* aplikasi pada *smartphone*, dihasilkan sinyal audio berbentuk sinusoida (AC) pada port audio. Karena tegangan keluaran maksimum dari port audio pada *smartphone* sangat kecil, maka amplitudonya kemudian dinaikkan dengan menggunakan rangkaian *voltage multiplier* (rangkaiian pelipat tegangan). Selanjutnya, tegangan keluarannya disearahkan dan distabilkan dengan menggunakan rangkaian *rectifier* dan *regulator* untuk menghasilkan tegangan DC yang stabil sebesar 5 V yang akan digunakan sebagai catu daya bagi berbagai perangkat elektronik yang diuji coba.

F. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan melakukan eksperimen dengan mengukur beberapa parameter penting dalam perangkat yang diuji, antara lain besar tegangan, arus, daya, frekuensi, dan impedansi.

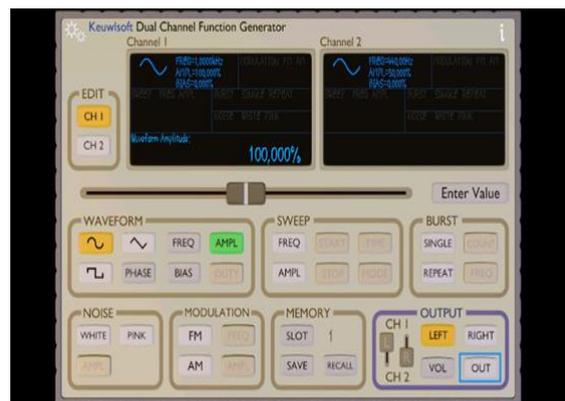
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Awal Keluaran Port Audio dari Smartphone

Sebelum dilakukan perancangan perangkat keras, dilakukan pengujian awal terhadap keluaran dari port audio dari *smartphone* yang digunakan dalam penelitian. Dengan menggunakan *smartphone* merk Oppo Neo 3 dalam penelitian ini sebagai objek penelitian, pertama sekali dilakukan pengukuran beberapa parameter sebagai berikut:

- a) besarnya tegangan keluaran yang dapat dihasilkan dari port audio, yang disebut sebagai tegangan sumber (VS,RMS) yang diukur dalam kondisi tanpa beban;
- b) impedansi keluaran (RS).

Untuk keperluan pengukuran nilai VS,RMS dan RS, dijalankan aplikasi pembangkit sinyal pada *smartphone*. Dalam hal ini, aplikasi yang digunakan adalah Keuwlsoft Dual Channel Function Generator versi 1.2 yang tampilannya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan aplikasi keuwlsoft dual channel function generator versi 1.2

Selanjutnya, dengan menggunakan bentuk sinyal sinusoida, amplitudo maksimum (100%), dan volume smartphone maksimum, dari hasil pengukuran nilai $V_{S,RMS}$ dan R_S untuk beberapa nilai frekuensi yang berbeda diperoleh data seperti dalam Tabel 1.

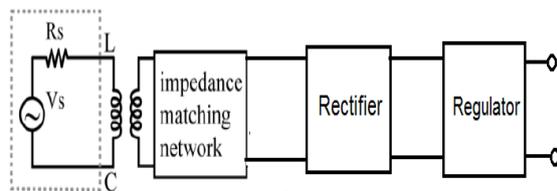
Tabel 1. Data pengukuran nilai $V_{S,RMS}$ dan R_S dari keluaran port audio smartphone

f (Hz)	$V_{S,RMS}$ (V)	R_S (Ω)
100	0,655	13,3
200	0,655	13,5
300	0,655	13,5
400	0,655	13,5
500	0,655	13,5
1000	0,647	13,5
1500	0,638	13,5
2000	0,622	13,5
5000	0,520	13,5
6000	0,472	13,5
10000	0,345	13,6
15000	0,238	13,8
20000	0,176	13,8
22000	0,075	13,8

Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa rata-rata impedansi keluaran dari port audio yang diuji adalah 13,5 Ω . Nilai R_S ini penting, karena nilai ini menjadi acuan untuk menentukan desain bagi rangkaian yang akan menghasilkan tegangan DC.

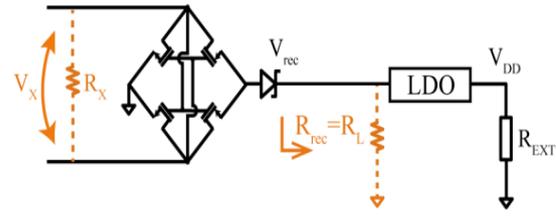
B. Desain Rangkaian Penghasil Tegangan DC

Port audio dari smartphone dapat dimodelkan sebagai sebuah sumber tegangan V_S dengan impedansi sumber R_S dengan menggunakan hasil yang telah diukur pada subbab. Untuk dapat mentransfer daya maksimum dari keluaran port audio, R_S harus sama dengan impedansi masukan dari rangkaian yang akan didesain, karena rangkaian ini akan menjadi beban bagi port audio. Dengan demikian, diperlukan rangkaian penyesuai impedansi (impedance matching network). Dengan menggunakan model ini, dapat dibuat model rangkaian ekuivalen dari sistem seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Model rangkaian ekuivalen sistem

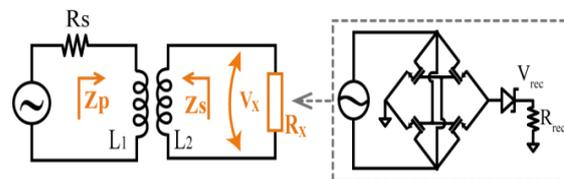
Dalam penelitian ini, rangkaian penghasil tegangan DC yang dirancang terdiri atas rangkaian penyesuai impedansi, penyearah (rectifier), dan regulator. Untuk merancang rangkaian penyesuai impedansi, dapat dibuat rangkaian ekuivalen dari hubungan rectifier dan regulator dalam Gambar 9 menjadi seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Rangkaian ekuivalen dari hubungan rectifier dan regulator

Dalam Gambar 10, rectifier adalah berupa jembatan FET dan sebuah dioda penyearah. LDO adalah sebuah *low dropout regulator*. R_{EXT} adalah beban dari rangkaian, misalnya berupa sebuah sensor dengan daya kecil. Beban yang dilihat oleh rectifier adalah R_{rec} . Jika LDO dan beban R_{EXT} dimodelkan sebagai sebuah beban R_L , maka dalam hal ini, $R_{rec} = R_L$.

Selanjutnya, impedansi rangkaian yang terdiri atas rectifier dan transformator harus diperhitungkan dalam mendesain *matching network* yang model rangkaian ekuivalennya dalam dilihat seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Model rangkaian ekuivalen dari active rectifier

Jika rugi-rugi daya pada rectifier diabaikan, maka diperoleh persamaan daya untuk menentukan impedansi dari rectifier:

$$P_{in} = \frac{V_x^2}{R_x} = P_{out} = \frac{V_{rec}^2}{R_{rec}} \tag{1}$$

dengan P_{out} adalah daya yang ditransfer ke R_{rec} dan P_{in} adalah daya yang memasuki rectifier. V_x adalah tegangan AC di antara dua terminal rectifier, dan R_x adalah impedansi ekuivalen rectifier yang dilihat oleh transformator. Jika tegangan drop pada rectifier diabaikan, maka impedansi masukan dari rectifier adalah

$$R_x = \frac{1}{2} R_{rec} \tag{2}$$

Impedansi yang terlihat dari sisi kumparan primer, Z_p , dan kumparan sekunder, Z_s , masing-masing adalah

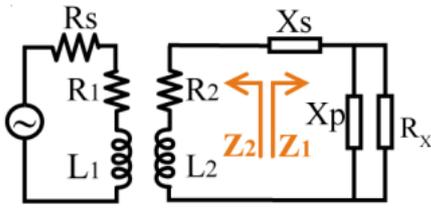
$$Z_p = j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_x + j\omega L_2} \tag{3}$$

$$Z_s = \frac{\omega^2 M^2}{R_s + j\omega L_1} + j\omega L_2 \tag{4}$$

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \tag{5}$$

dengan M adalah induktansi bersama dan k adalah koefisien kopling.

Adapun konfigurasi rangkaian penyesuai impedansi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Konfigurasi rangkaian penyesuaian impedansi

Dalam Gambar 12, R_1 dan R_2 adalah tahanan DC dari trafo yang tidak dapat diabaikan terhadap impedansi sumber yang berasal dari port audio. Z_1 dan Z_2 masing-masing adalah impedansi yang dilihat dari titik-titik yang digambar. X_s dan X_p adalah reaktansi yang ditambahkan ke rangkaian.

Untuk menyesuaikan beban dengan impedansi sumber, maka Z_1 harus sama dengan Z_2 , dan masing-masing adalah sebagai berikut:

$$Z_1 = jX_s + R_x \parallel jX_p$$

$$= \frac{R_x X_p^2}{X_p^2 + R_x^2} + j \left(\frac{R_x^2 X_p}{X_p^2 + R_x^2} + X_s \right) \quad (6)$$

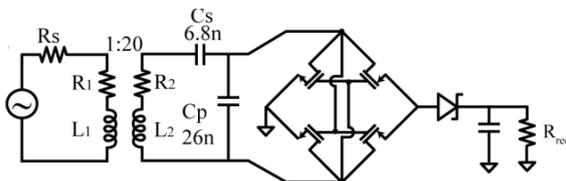
$$Z_2 = \frac{\omega^2 M^2}{R_s + R_1 + j\omega L_1} + j\omega L_2 + R_2$$

$$= \frac{\omega^2 M^2 (R_s + R_1)}{(R_s + R_1)^2 + \omega^2 L_1^2} - j \left(\frac{\omega^3 M^2 L_1}{(R_s + R_1)^2 + \omega^2 L_1^2} \right) \quad (7)$$

Dengan membuat $Z_1 = Z_2^*$, dari persamaan (6) dan (7) diperoleh solusi untuk X_p dan X_s , yang berupa beberapa pasangan nilai yang mungkin dan memenuhi. Komponen X_p dan X_s dapat berupa komponen LC (induktor dan kapasitor), dan dapat juga berupa dua buah kapasitor.

C. Pengujian Sistem

Dalam penelitian ini, untuk sampel beban yang diuji yang besarnya 1.2 kΩ, dipilih dua buah kapasitor yang masing-masing besarnya adalah $C_p = 26$ nF dan $C_s = 6.8$ nF. Trafo yang digunakan memiliki rasio lilitan 1:20. Diagram skematik rangkaian dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram skematik rangkaian penyesuaian impedansi

Dengan mengatur frekuensi keluaran port audio pada 15 kHz, setelah dilakukan pengujian, diperoleh hasil pengukuran dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian keluaran perangkat dengan beban

Parameter	Nilai
Tegangan sumber (rms)	0,647 V
Impedansi sumber	13,5 Ω
Daya Sumber	31 mW
Frekuensi	15 kHz
Tegangan output (rms)	5,07 V
Beban	1,2 kΩ
Daya output	21,42 mW
Efisiensi	69,1 %

Dari Tabel 2, diperoleh data bahwa efisiensi dari perangkat penghasil tegangan DC adalah sebesar 69.1 %.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari pembahasan di depan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Meskipun kegunaan utamanya untuk mengeluarkan sinyal audio, keluaran port audio dari smartphone dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan tegangan bolak-balik (AC) melalui pemrograman dengan besarnya frekuensi dalam jangkauan 10 Hz sampai 20 kHz, yaitu frekuensi audio.
- 2) Dengan menggunakan rangkaian penaik tegangan dan penyearah, serta disempurnakan dengan regulator, maka sinyal keluaran AC dari port audio smartphone dapat dikonversi menjadi tegangan searah (DC), yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai catu daya bagi berbagai perangkat elektronik yang berdaya kecil.
- 3) Untuk mendapatkan efisiensi yang optimal, maka diperlukan desain rangkaian penyesuaian impedansi yang tepat.

B. Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- 1) Rangkaian penghasil tegangan DC dari port audio smartphone yang diuji dalam penelitian ini masih merupakan bentuk prototipe sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut untuk memperoleh efisiensi yang lebih tinggi dan dimensi perangkat keras yang minimal.
- 2) Keberhasilan untuk memperoleh efisiensi yang lebih tinggi dan dimensi perangkat yang minimal akan memungkinkan prototipe ini untuk diproduksi secara massal di tingkat industri.
- 3) Karena dalam penelitian ini prototipe masih diterapkan untuk smartphone dari satu jenis, maka perlu dibuat penelitian lanjutan untuk menghasilkan sistem yang sama, tetapi adaptif untuk berbagai tipe smartphone yang digunakan.
- 4) Hendaknya untuk penelitian yang menghasilkan produk inovatif yang memiliki kontribusi positif bagi pengembangan ilmu

- pengetahuan dan teknologi, diberikan penghargaan untuk meningkatkan semangat peneliti dalam mengembangkan penelitiannya.
- 5) Hasil penelitian berupa prototipe perangkat keras yang berpotensi untuk diproduksi massal hendaknya didukung oleh institusi untuk pengembangannya dengan menyediakan perangkat keras instrumentasi yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wikipedia, 2017, (10 April 2017), *Phone connector (audio)*. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Phone_connector_\(audio\)&oldid=813923206](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Phone_connector_(audio)&oldid=813923206)
- [2] Wikipedia, 2017 (10 April 2017). *Signal generator*. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Signal_generator&oldid=809222871
- [3] Apkpure, 2017 (10 April 2017), *Signal Generator APK*. Available: <https://apkpure.com/signal-generator/com.xyz.signal>
- [4] Wikipedia, 2017 (12 April 2017), *Voltage multiplier*. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Voltage_multiplier&oldid=804664420
- [5] C. Yao, A. Sun, and D. A. Hall, 2015, *Efficient power harvesting from the mobile phone audio jack for mHealth peripherals*, in *Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2015 IEEE*, pp. 219-225.
- [6] Y.-S. Kuo, S. Verma, T. Schmid, and P. Dutta, 2010, *Hijacking power and bandwidth from the mobile phone's audio interface*, in *Proceedings of the First ACM Symposium on Computing for Development*, p. 24.