

ANALISA TEGANGAN DAN ARUS PADA SISTEM KONVERSI ENERGI SUARA MENJADI LISTRIK MENGGUNAKAN KOMPONEN PIEZOELEKTRIK

(VOLTAGE AND CURRENT ANALYSIS ON SOUND TO ELECTRICITY CONVERSION SYSTEM USING PIEZOELECTRIC COMPONENTS)

Imamul Khair¹, Sudarmono Sasmono², Cahyantari Ekaputri³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

imamulkhair@student.telkomuniversity.ac.id¹, ssasmono@telkomuniversity.ac.id²,
cahyantarie@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Energi fosil atau bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan tidak ramah lingkungan. Salah satu cara untuk mengurangi penggunaan energi fosil adalah dengan menggunakan energi terbarukan. Energi suara adalah energi yang berasal dari getaran suara yang memancarkan gelombang-gelombang longitudinal ke segala arah saat melakukan perjalanan melalui udara, air, atau ruang lainnya. Berdasarkan hukum kekekalan energi, energi suara juga dapat diubah bentuknya menjadi energi listrik. Lokasi-lokasi dengan tingkat kebisingan tinggi, seperti pabrik memiliki peluang sebagai sumber energi suara untuk dikonversi menjadi energi listrik. Maka dari itu peneliti merancang sistem konversi energi suara menjadi listrik menggunakan komponen piezoelektrik dan Resonator Helmholtz dengan Rongga berbentuk kubus berukuran 40 x 40 x 40 cm dan leher resonator berbentuk silinder dengan panjang 15 cm dengan tiga variasi diameter yaitu 7.5 cm, 9 cm, dan 11.5 cm. penelitian ini dilakukan dengan memberikan suara dari speaker dengan intensitas suara 70-110 dB yang diatur oleh *power amplifier* pada speaker. setelah melewati rangkaian penyearah gelombang penuh didapatkan tegangan yang dihasilkan piezoelektrik sebesar 1.211 VDC, kemudian saat pengisian pada kapasitor 22 μ F didapatkan tegangan yang terisi pada kapasitor sebesar 1.230 V selama satu menit dengan intensitas suara yang diberikan 100 – 110 dB.

Kata kunci: Piezoelektrik, Resonator Helmholtz, Energi suara, Tegangan, Arus

Abstract

Fossil energy or fossil fuels are non-renewable natural resources and are not environmentally friendly. One way to reduce the use of fossil energy is to use renewable energy. Sound energy is energy derived from sound vibrations that emit longitudinal waves in all directions as they travel through the air, water, or other space. According to the law of conservation of energy, sound energy can also be converted into electrical energy. Locations with high noise levels, such as factories, have the opportunity as a source of sound energy to be converted into electrical energy. Therefore, the researchers designed a system for converting sound energy into electricity using piezoelectric components and a Helmholtz resonator with a cuboid cavity measuring 40 x 40 x 40 cm and a cylindrical neck resonator with a length of 15 cm with three variations in diameter, namely 7.5 cm, 9 cm, and 11.5 cm. This research was conducted by providing sound from the speaker with a sound intensity of 70-110 dB which is regulated by the power amplifier on the speaker. after passing through the full-wave rectifier circuit, the resulting piezoelectric voltage is 1.211 VDC, then when charging the 22 F capacitor, the voltage charged to the capacitor is 1.230 V for one minute with a given sound intensity of 100 - 110 dB.

Keywords: Piezoelectric, Helmholtz Resonator, Sound energy, Voltage, Current

1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan primer dalam kehidupan manusia. Hampir semua aspek kehidupan memerlukan energi sebagai penggerak utama. Kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan dibidang teknologi, industri, dan informasi. Dari aspek penyediaan, Indonesia merupakan Negara yang kaya dengan sumber daya energi yang bersifat energi tidak terbarukan maupun yang bersifat energi terbarukan. Tetapi,

Indonesia lebih banyak memfokuskan dan mengonsumsi sumber energi fosil yang bersifat energi tidak terbarukan[1]. Penggunaan energi fosil berdampak pada persoalan lingkungan, karena energi fosil merupakan sumber pencemaran lingkungan[2]. Energi suara adalah energi yang berasal dari getaran suara yang memancarkan gelombang-gelombang longitudinal ke segala arah saat melakukan perjalanan melalui udara, air, atau ruang lainya. Berdasarkan hukum kekekalan energi, energi suara juga dapat diubah bentuknya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan manusia. Lokasi-lokasi dengan tingkat kebisingan tinggi, seperti pabrik memiliki peluang sebagai sumber energi suara untuk dikonversi menjadi energi listrik[3].

Berdasarkan permasalahan tersebut penulis akan merancang sistem konversi energi suara menjadi energi listrik menggunakan komponen piezoelektrik dan resonator Helmholtz. Intensitas suara yang akan digunakan pada penelitian ini sebesar 70 – 110 dB yang berasal dari suara speaker. Komponen lainnya yang digunakan adalah dioda *bridge* yang berfungsi untuk mengubah tegangan dan arus AC piezoelektrik menjadi tegangan dan arus DC. Kemudian tegangan dan arus DC yang dihasilkan akan disimpan sementara pada kapasitor.

2. Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

2.1 Energi Suara

Energi suara adalah energi yang berasal dari getaran suara yang memancarkan gelombang-gelombang longitudinal ke segala arah saat melakukan perjalanan melalui udara, air, atau ruang lainya. Suara merupakan gelombang mekanik yang dihasilkan dari osilasi melalui beberapa media. Suara yang dapat didengar oleh manusia memiliki frekuensi sekitar 20 Hz sampai 20.000 Hz[3].

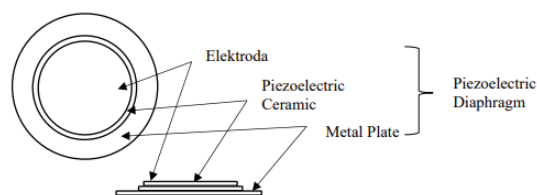
2.2 Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah getaran yang terjadi dalam satu detik[4]. Frekuensi dilambangkan dengan f dan memiliki satuan Hertz (Hz). Frekuensi dari sumber energi suara yang pertama adalah infrasonik. Infrasonik adalah suara yang sangat lemah karena jumlah getaran yang dihasilkan pada gelombang infrasonik kurang dari 20 getaran per detik oleh sebab itu, infrasonik merupakan suara dengan frekuensi terendah untuk dapat didengar oleh telinga manusia. Audiosonik adalah jenis suara yang dapat didengar oleh manusia. Gelombang Ultrasonik adalah gelombang dengan jumlah getaran suara lebih dari 20.000 getaran per detik, gelombang ini tidak dapat didengar manusia dan hanya beberapa jenis hewan yang dapat menggunakan gelombang jenis ini dalam kehidupannya[3].

2.3 Piezoelektrik

Piezoelektrik adalah material yang menghasilkan tegangan listrik apabila mengalami perubahan dimensi akibat gaya tekanan atau gaya Tarik yang dialaminya. Gaya tekan atau Tarik ini dapat disebabkan oleh tekanan atau tarikan langsung pada bahan, maupun dalam bentuk getaran yang diberikan kepada bahan piezoelektrik[5]. Bahan piezoelektrik terdiri dari material yang memproduksi medan listrik ketika dikenai regangan atau tekanan mekanis. Tekanan tersebut akan menyebabkan penyesuaian molekul sehingga molekul mengalami perubahan dimensi. Sebaliknya, ketika medan listrik diberikan maka material tersebut akan mengalami regangan atau tekanan mekanis. Kuarsa (Kuarsa, SiO_2), Berlinita, turmalin dan garam rossel merupakan bahan piezoelektrik alami, sedangkan Barium titanate (BaTiO_3), Timbal Zirkonium Titanate (PZT), Timbal titanat (PbTiO_3) merupakan bahan piezoelektrik buatan[6].

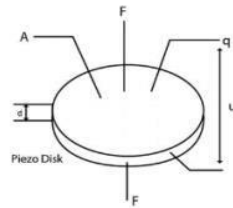
Elemen piezoelektrik terdiri dari elektroda yang terdapat pada lapisan atas, keramik piezoelektrik berada dilapisan tengah dan plat metal yang terdapat pada lapisan bawah[7]. Elemen-elemen piezoelektrik tersebut disusun seperti **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Susunan Elemen Piezoelektrik[7]

Satu keping piezoelektrik berkemampuan berkisar 5 μA untuk arus yang dikeluarkan dan 5 Vac untuk tegangan yang dikeluarkan. Namun, apabila piezoelektrik dirangkai dalam jumlah yang

banyak, maka energi listrik yang dihasilkan dapat diakumulasi dalam sebuah sistem permanen energi[5].



Gambar 2. 2 Persamaan Piezoelektrik[5]

$$u = \frac{d_{33} \times d}{e_{33} \times A} \times F \quad (2.1)$$

Dengan :

u : Voltage (V)
 F : Gaya/Gaya penumpukan (N)
 A : Luas elektroda/diameter (mm)
 d : Ketebalan elektroda piezo (mm)
 d_{33}, e_{33} : koefisien piezoelektrik dari bahan yang digunakan (Pc/N)

2.4 Resonator Helmholtz

Resonator Helmholtz adalah alat yang dapat membantu untuk terjadinya resonansi pada gelombang bunyi. Resonator secara alami beresonansi dengan amplitudo yang lebih besar pada beberapa frekuensi, yang disebut frekuensi resonansi. Resonator digunakan untuk menghasilkan gelombang frekuensi tertentu atau untuk memilih frekuensi tertentu dari sinyal[8]. Frekuensi resonansi dari resonator Helmholtz (f_{RH}) dirumuskan sebagai berikut[9].

$$f_{RH} = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V L_{eff}}} \quad (2.2)$$

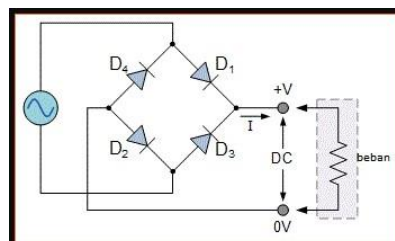
Dengan v adalah cepat rambat gelombang suara diudara yaitu 343 m/s, S adalah luas penampang leher resonator, V adalah volume rongga resonator, dan L_{eff} adalah panjang efektif leher resonator yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$L_{eff} = L_n + 1,7r_n \quad (2.3)$$

Dengan L_n dan r_n merupakan panjang dan jari-jari leher resonator.

2.5 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh (Full Wave Rectifier)

Pada penelitian ini, rangkaian penyearah gelombang penuh digunakan sebagai penyearah tegangan dan arus bolak balik (AC) yang dihasilkan piezoelektrik menjadi tegangan dan arus searah (DC). Rangkaian penyearah ini terdiri dari empat buah dioda yang dipasang seperti pada **Gambar 2.13**



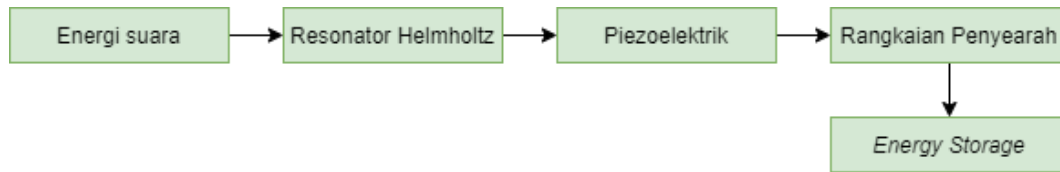
Gambar 2. 3 Full Wave Rectifier Circuit

Pada saat siklus positif, maka dioda D1 dan D2 berada dalam kondisi menghantarkan arus sedangkan D3 dan D4 diberi bias mundur. Pada saat siklus negatif dioda D3 dan D4 yang menghantarkan arus listrik, sedangkan dioda D1 dan D2 diberi bias mundur. Sehingga, setiap

setengah perioda tegangan bolak-balik terdapat dua dioda yang menghantar secara bersamaan dan dua dioda lainnya tidak menghantar sehingga menghasilkan gelombang penuh[10].

3. Pembahasan

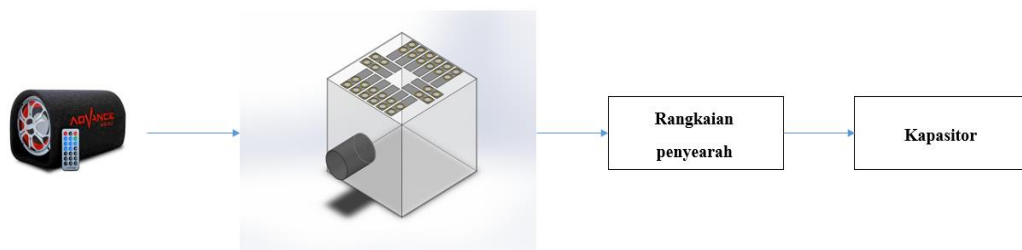
3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

Gambar 3.1 merupakan diagram blok perancangan prototipe sistem konversi energi suara menjadi listrik. input dari energi suara akan masuk kedalam Resonator Helmholtz yang berfungsi untuk mengubah energi suara menjadi energi getaran atau mekanis. getaran yang terjadi pada Resonator Helmholtz terjadi akibat adanya resonansi didalam resonator. Kemudian komponen piezoelektrik berfungsi untuk mengubah energi getaran dari Resonator Helmholtz menjadi listrik. *output* yang dihasilkan piezoelektrik masih berupa tegangan dan arus AC. penggunaan rangkaian penyearah pada sistem ini adalah untuk mengkonversi tegangan dan arus AC dari output piezoelektrik menjadi tegangan dan arus DC. hasil energi listrik dari piezoelektrik masih sangat kecil untuk dapat langsung digunakan. selanjutnya, proses akhir dari sistem ini adalah penyimpanan energi listrik yang dihasilkan ke dalam *energy storage* sebelum digunakan ke beban.

3.2 Design Perangkat Keras



Gambar 3. 2 Design Perangkat Keras

Gambar 3.2 merupakan design perangkat keras dari prototipe. Terdiri dari speaker yang berfungsi sebagai sumber suara, kemudian terdapat Resonator Helmholtz sebagai pemfokus suara yang masuk dari speaker. Pada sisi bagian atas Resonator Helmholtz terdapat piezoelektrik yang disusun dengan plat aluminium sebagai penyangga. Selanjutnya piezoelektrik dihubungkan dengan rangkaian penyearah gelombang penuh untuk dapat menghasilkan tegangan dan arus DC. Kapasitor berfungsi sebagai penyimpanan sementara energi listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik.

3.3 Perhitungan Frekuensi Resonator Helmholtz

Frekuensi resonator Helmholtz dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.2) dan (2.3). Pada penelitian ini leher resonator yang akan di uji terdapat tiga ukuran diameter, yaitu 7.5 cm, 9 cm, dan 11,5 cm. Berdasarkan perhitungan dengan rumus maka didapatkan frekuensi resonansi dari Resonator Helmholtz sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Frekuensi Resonansi Resonator Helmholtz

No.	Diameter Leher (cm)	Frekuensi Resonansi (Hz)
1	7.5	310
2	9	361
3	11.5	442

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran diameter leher maka semakin besar pula frekuensi resonansi Helmholtz.

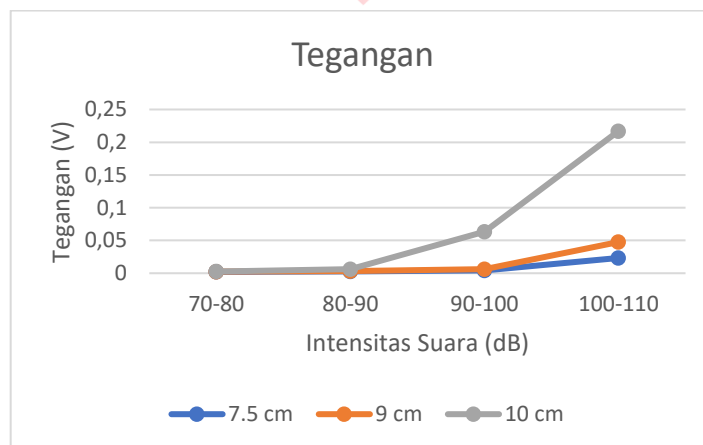
3.4 Pengujian Output Piezoelektrik dan Efektifitas Resonator Helmholtz

Skenario pengujian dilakukan dengan menggunakan 1 keping piezoelektrik yang dihubungkan dengan dioda *bridge* kemudian piezoelektrik diletakkan di sisi atas resonator Helmholtz. Selanjutnya, setiap resonator diuji dengan diameter leher yang berbeda yaitu 7.5 cm, 9 cm, dan 11,5 cm. resonator diberi input suara dari speaker dengan dengan *range* 70 – 80 dB, 80- 90 dB, 90-100 dB, dan 100-110dB yang diatur oleh *power amplifier* pada speaker. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali dengan cara mengukur tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* DC yang dihasilkan oleh komponen piezoelektrik setiap satu *range* suara selama 1 menit menggunakan multimeter digital.

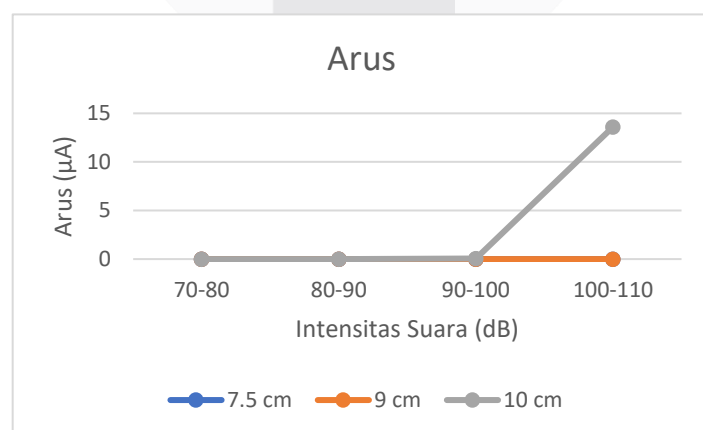
Tabel 3. 2 Rata-rata Tegangan dan Arus Piezoelektrik dari Tiga Diameter Resonator

Diameter leher (cm)	Intensitas Suara (dB) 70 – 80		Intensitas Suara (dB) 80 – 90		Intensitas Suara (dB) 90 – 100		Intensitas Suara (dB) 100 – 110	
	V	I	V	I	V	I	V	I
	(V)	(μ A)	(V)	(μ A)	(V)	(μ A)	(V)	(μ A)
7.5	0.0021	0	0.0029	0	0.0041	0	0.0233	0
9	0.0025	0	0.0032	0	0.0062	0	0.0476	0
11.5	0.0026	0	0.006	0	0.0635	0.06	0.2171	13.6

Dapat dilihat pada tabel rata-rata pengujian diatas, piezoelektrik menggunakan resonator dengan diameter leher 11.5 cm menghasilkan tegangan yang paling besar daripada resonator dengan diameter leher 7.5 cm dan 9 cm. oleh karena itu.



Gambar 3. 3 Grafik Tegangan Piezoelektrik dari Tiga Diameter Resonator



Gambar 3. 4 Grafik Tegangan Piezoelektrik dari Tiga Diameter Resonator

Berdasarkan grafik tegangan dan arus piezoelektrik, Semakin besar suara yang diberikan maka semakin besar getaran pada resonator dan semakin besar diameter leher resonator maka

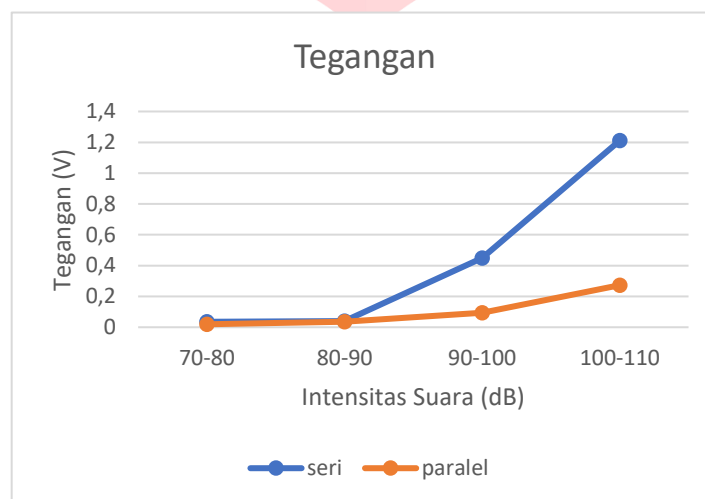
semakin besar pula getaran yang dihasilkan resonator sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan piezoelektrik juga semakin besar. Sehingga resonator dengan diameter leher 11.5 yang efektif untuk dapat digunakan pada prototipe.

3.5 Pengujian Rangkaian Seri dan Paralel pada Piezoelektrik

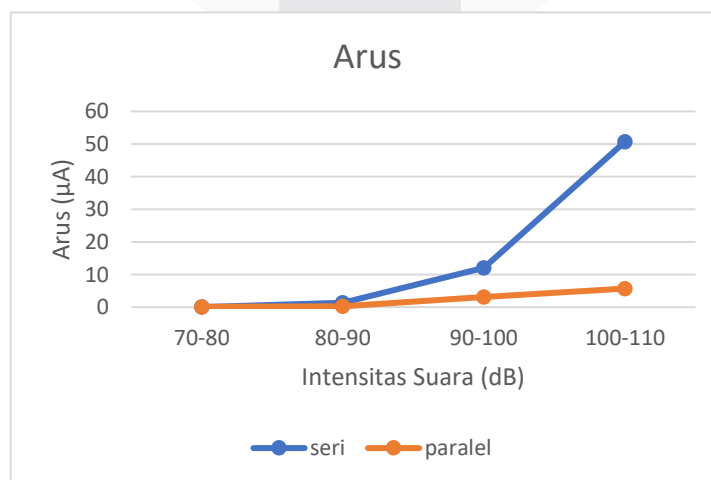
Pengujian dilakukan dengan menggunakan 32 piezoelektrik yang dirangkai setiap 2 piezoelektrik secara seri dan juga paralel. Rangkaian piezoelektrik tersebut dihubungkan dengan dioda *bridge* yang dirangkai secara paralel. Diameter leher resonator yang digunakan pada pengujian ini adalah 11.5 cm, kemudian intensitas suara yang diberikan sebesar 70 – 80 dB, 80- 90 dB, 90-100 dB, dan 100-110 dB. Selanjutnya, Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali selama 1 menit setiap satu kali percobaan dengan cara mengukur tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* DC yang dihasilkan oleh komponen piezoelektrik yang dirangkai secara seri dan secara paralel menggunakan multimeter digital.

Tabel 3. 3 Rata-rata Tegangan dan Arus Piezoelektrik Seri dan Paralel

Rangkaian	Intensitas Suara (dB)		Intensitas Suara (dB)		Intensitas Suara (dB)		Intensitas Suara (dB)	
	70 – 80		80 – 90 dB		90 – 100 dB		100 – 110 dB	
	V	I	V	I	V	I	V	I
	(V)	(μ A)	(V)	(μ A)	(V)	(μ A)	(V)	(μ A)
Seri	0.0355	0.1	0.0404	1.32	0.45	11.98	1.211	50.7
Paralel	0.0194	0.1	0.0351	0.3	0.0939	3.09	0.2729	5.68



Gambar 3. 5 Grafik Tegangan Piezoelektrik Seri dan Paralel



Gambar 3. 6 Grafik Arus Piezoelektrik Seri dan Paralel

Dapat dilihat pada tabel diatas, tegangan dan arus piezoelektrik yang dirangkai secara seri dan secara paralel meningkat seiring dengan bertambahnya *range* suara yang diberikan pada Resonator Helmholtz. Tetapi, piezoelektrik yang dirangkai seri memiliki tegangan dan arus yang lebih besar dibandingkan piezoelektrik yang dirangkai paralel, dapat diketahui piezoelektrik yang dirangkai seri dapat menghasilkan tegangan dan arus sebesar 1.211 V dan 50.7 μ A, sedangkan piezoelektrik yang dirangkai paralel hanya menghasilkan tegangan dan arus sebesar 0.2729 V dan 5.68 μ A pada *range* suara 100 – 110 dB. Hal ini dikarenakan penggunaan kawat penghantar pada rangkaian piezoelektrik seri lebih sedikit dibandingkan dengan rangkaian piezoelektrik paralel sehingga keluarannya lebih optimal. Berdasarkan hasil tersebut, piezoelektrik yang dirangkai seri lebih efektif daripada piezoelektrik yang dirangkai paralel untuk digunakan pada prototipe.

3.6 Pengujian Piezoelektrik dengan Beban

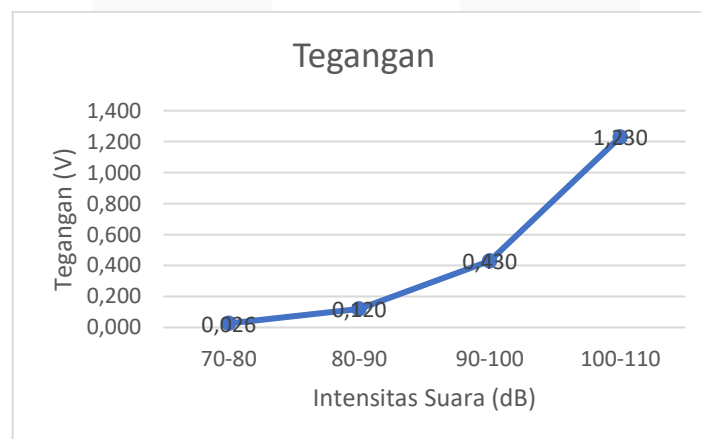
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 32 piezoelektrik yang dirangkai setiap 2 piezoelektrik secara seri. Rangkaian piezoelektrik tersebut dihubungkan dengan dioda *bridge* yang dirangkai secara paralel, kemudian dihubungkan dengan lampu Led. Diameter leher resonator yang digunakan pada pengujian ini adalah 11.5 cm, kemudian *intensitas suara* yang diberikan sebesar 100-110 dB. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui prototipe piezoelektrik dapat digunakan sebagai sumber listrik atau tidak.

Tabel 3. 4 Pengujian Piezoelektrik Dengan Beban

Uji ke-	Warna Lampu Led	Hasil
1.	Merah	Tidak nyala
2.	Kuning	Tidak nyala
3.	Hijau	Tidak nyala
4.	Putih	Tidak nyala

3.7 Pengukuran Tegangan *Open Circuit* pada Kapasitor Terhadap Waktu Pengisian

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran tegangan *open circuit* pada kapasitor selama 5 menit dengan menggunakan 32 piezoelektrik yang dirangkai setiap 2 piezoelektrik secara seri. Rangkaian piezoelektrik tersebut dihubungkan dengan dioda *bridge* yang dirangkai secara paralel. Diameter leher resonator yang digunakan pada pengujian ini adalah 11.5 cm, kemudian intensitas suara yang diberikan sebesar 70 – 80 dB, 80- 90 dB, 90-100 dB, dan 100-110 dB. Kapasitor yang digunakan pada pengujian ini adalah kapasitor 22 μ F 25 V.



Gambar 4. 1 Grafik Pengisian pada Kapasitor Selama 5 Menit

Pada pengambilan data tegangan yang terisi pada kapasitor 22 μ F 25 V selama 5 menit menggunakan intensitas suara yang bervariasi didapatkan tegangan pada kapasitor dengan diberikan intensitas suara 70-80 dB sebesar 0.026 V, dengan intensitas suara 80-90 dB sebesar 0.120 V, dengan intensitas suara 90-100 dB sebesar 0.430 V, dan dengan intensitas suara 100-110 dB sebesar 1.230 V. berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan pengaruh intensitas suara terhadap piezoelektrik menghasilkan tegangan keluaran yang terus bertambah apabila intensitas suara yang diberikan semakin besar.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Semakin besar suara yang diberikan maka semakin besar getaran pada resonator dan semakin besar diameter leher resonator maka semakin besar pula getaran yang dihasilkan resonator sehingga tegangan dan arus yang dihasilkan piezoelektrik juga semakin besar. Dapat diketahui tegangan yang dihasilkan 1 piezoelektrik menggunakan resonator dengan diameter leher 11.5 cm yang diberikan suara paling besar pada penelitian ini yaitu 100-110 dB dapat menghasilkan tegangan 0.2171 volt, Tegangan ini lebih besar dibandingkan menggunakan resonator Helmotz dengan diameter 7.5 cm dan 9 cm yang hanya menghasilkan tegangan 0.0233 V dan 0.0476 V.
2. Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh piezoelektrik menggunakan resonator dengan diameter leher 11.5 cm yang diberikan suara paling besar pada penelitian ini yaitu 100-110 dB dengan 32 keping piezoelektrik yang dirangkai secara seri sebesar 1.211 V dan 50.7 μ A, sedangkan dengan dirangkai secara paralel menghasilkan tegangan dan arus sebesar 0.2729 V dan 5.68 μ A. dari hasil pengukuran tersebut rangkaian piezoelektrik secara seri menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar daripada rangkaian piezoelektrik secara paralel
3. Pengujian piezoelektrik menggunakan beban yaitu lampu led dengan 4 variasi warna, merah, kuning, hijau dan putih dengan diberikan suara 100- 110 dB. Dari keempat led tersebut tidak ada satu pun lampu led yang menyala. Hal ini disebabkan karena tegangan yang dihasilkan terlalu kecil sehingga tidak mencapai tegangan *threshold* yang ada pada setiap led dengan warna yang berbeda.
4. Pada prototype ini tegangan yang dihasilkan piezoelektrik sangat kecil dan tidak tidak stabil. Pada pengisian kapasitor 22 μ F 25 V selama 5 menit dengan menggunakan suara 100 - 110 dB didapatkan tegangan yang terisi pada kapasitor sebesar 1.230 V.
5. berdasarkan pengujian keseluruhan, energi listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik pada penelitian ini masih sangat kecil untuk dapat digunakan sebagai energi listrik tambahan pada kawasan industri.

REFERENSI

- [1] Elinur, D.S.Priyarsono, M. Tambunan, and M. Firdaus, "Perkembangan Konsumsi Dan Penyediaan Energi Dalam Perekonomian Indonesia," *Indones. J. Agric. Econ.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–38, 2010.
- [2] A. I. Agung, "Potensi Sumber Energi Alternatif Dalam Mendukung Kelistrikan Nasional," *J. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 892–897, 2013.
- [3] E. Wijanto, B. Harsono, R. Renandy, A. Septian, and K. Sutanto, "Pengujian Sistem Konversi Energi Suara menjadi Energi Listrik menggunakan Piezoelektrik," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 17, no. 01, pp. 59–67, 2018, doi: 10.31358/techné.v17i01.172.
- [4] B. W. Prasetya, B. Susanto, and J. Purwadi, "Identifikasi Suara Pria dan Wanita Berdasarkan Frekuensi Suara," *J. Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 2–9, 2011, doi: 10.21460/inf.2008.41.13.
- [5] W. Hidayatullah, M. Syukri, and Syukriyadin, "Perancangan Prototype Penghasil Energi Listrik," *KITEKTRO J. Online Tek. Elektro*, vol. 1, no. 3, pp. 63–67, 2016.
- [6] A. Safari and E. K. Akdogan, *Piezoelectric and acoustic materials for transducer applications*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [7] M. Bäker, "Piezoelektrika," *Funktionswerkstoffe*, pp. 49–76, 2014, doi: 10.1007/978-3-658-02970-8_3.
- [8] A. Afif and I. Setiawan, "Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Corong Perbesaran pada Beberapa Variasi Panjang Resonator Akustik Terhadap Daya Listrik Output Alat Pemanen Energi Akustik (Acoustic Energy Harvester) Berbasis Loudspeaker," pp. 195–205, 2019.
- [9] L. Li, Y. Liu, F. Zhang, and Z. Sun, "Several explanations on the theoretical formula of Helmholtz resonator," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 114, pp. 361–371, 2017, doi: 10.1016/j.advengsoft.2017.08.004.
- [10] M. S. Drs. R. Wakhid Akhdinirwanto, "Seminar Nasional Sains Dan Pendidikan Sains 2," 2011.

