

DOI: doi.org/10.21009/03.1201.FA01

STUDI PENYIMPANAN ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN OLEH ALAT PEMANEN ENERGI AKUSTIK (*ACOUSTIC ENERGY HARVESTER*) KE DALAM SUPERKAPASITOR

Bagas Wahyu Wibowo^{a)}, Ikhsan Setiawan^{b)}

Departemen Fisika FMIPA Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara BLS 21 Yogyakarta 55281 Indonesia.

Email: ^{a)}bagas.wahyu.wibowo@mail.ugm.ac.id, ^{b)}ikhsan_s@ugm.ac.id

Abstrak

lingkungan dan mengkonversinya menjadi energi listrik. Penelitian ini mempelajari secara eksperimen penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh alat pemanen energi akustik ke dalam superkapasitor. Alat pemanen energi akustik pada penelitian ini menggunakan *loudspeaker* jenis *woofer* model W8347-B/H dengan diameter 10,2 cm yang difungsikan terbalik untuk mengubah energi gelombang bunyi yang diterimanya menjadi energi listrik. *Loudspeaker* dilengkapi dengan resonator akustik seperempat gelombang dan rumah yang berbentuk silinder. Sistem penyimpanan energi listrik terdiri dari transformator *step-up*, rangkaian penyearah arus listrik, dan superkapasitor 100F/2,7V. Eksperimen dilakukan dengan memberikan bunyi kebisingan berfrekuensi tunggal yang divariasi dari 51 Hz sampai 60 Hz, dengan tiga macam *sound pressure level (SPL)* yaitu 90 dB, 95 dB, dan 100 dB, kepada alat pemanen energi akustik selama 60 menit, dan mengukur tegangan superkapasitor seiring dengan waktu pengisian. Diperoleh bahwa terdapat frekuensi optimum pada 53 Hz yang menghasilkan laju pengisian maksimum. Selain itu, ditemukan bahwa kenaikan *SPL* dari 90 dB ke 100 dB menghasilkan kenaikan laju rata-rata pengisian kapasitor sekitar 4,6 kali lipat. Dengan frekuensi 53 Hz dan *SPL* 100 dB, pengisian selama 60 menit menghasilkan tegangan superkapasitor sebesar 294 mV.

Kata-kata kunci: Konversi energi, energi akustik, kebisingan lingkungan, energi listrik, superkapasitor

Abstract

An acoustic energy harvester is a device used to capture acoustic energy or noise from the environment and convert it into electrical energy. This research experimentally studied the storage of electrical energy generated by an acoustic energy harvester into a supercapacitor. The acoustic energy harvester in this study utilized an inverted woofer-type loudspeaker model W8347-B/H with a diameter of 10.2 cm to convert the received sound wave energy into electrical energy. The loudspeaker was equipped with a quarter-wave acoustic resonator and a cylindrical housing. The electrical energy storage system consisted of a step-up transformer, a rectifier circuit, and a 100F/2.7V supercapacitor. The experiment was conducted by subjecting the acoustic energy harvester to a single-frequency noise ranging from 51 Hz to 60 Hz, with three different sound pressure levels (SPL) of 90 dB, 95 dB, and 100 dB, for 60 minutes, while measuring the supercapacitor voltage during the charging process. It was found that there was an optimum frequency at 53 Hz that yielded the maximum charging rate. Additionally, it was discovered that increasing the SPL from 90 dB to 100 dB resulted in approximately a 4.6 times increase in the average charging rate of the capacitor. With a frequency of 53 Hz and an SPL of 100 dB, a 60-minute charging duration produces a supercapacitor voltage of 294 mV.

Keywords: Energy conversion, acoustic energy, environmental noise, electrical energy, supercapacitor.

PENDAHULUAN

Kehidupan zaman sekarang tidak terlepas dari kebisingan. Kebisingan yang berlebihan berdampak buruk bagi manusia karena dapat mengganggu kenyamanan bahkan sampai menimbulkan penyakit. Sumber kebisingan antara lain terdapat pada pesawat terbang, kereta api berkecepatan tinggi, pembangkit listrik, pengeras suara, mesin, dan kendaraan bermotor di jalan raya [1]. Untuk mengurangi dampak dari kebisingan berlebihan dari lingkungan, maka berbagai upaya telah dilakukan oleh banyak pihak, diantaranya penggunaan alat peredam suara, penempatan penghalang pada jalan transmisi, dan pemakaian sumbat atau tutup telinga. Selain beberapa contoh tersebut, salah satu upaya yang dilakukan adalah melalui pengembangan alat pemanen energi akustik (*acoustic energy harvester*). Alat pemanen energi akustik adalah alat untuk menangkap energi akustik atau kebisingan dari lingkungan dan mengkonversikannya menjadi energi listrik [2].

Alat pemanen energi akustik terdiri dari tiga komponen utama, yaitu resonator akustik, transduser akustik, dan unit penyimpan energi. Resonator akustik adalah komponen yang berfungsi sebagai penerima dan penguat gelombang bunyi dari lingkungan, sedangkan transduser akustik adalah komponen yang berfungsi sebagai pengubah getaran yang disebabkan suara menjadi energi listrik [2]. Jenis-jenis resonator akustik meliputi resonator Helmholtz dan resonator tabung lurus. Resonator tabung lurus terdiri dari dua macam, yaitu resonator setengah panjang gelombang dan resonator seperempat panjang gelombang [3]. Energi listrik yang telah dihasilkan kemudian disimpan ke dalam alat penyimpan energi listrik misalnya baterai sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi listrik berdaya rendah [2]. Aplikasi potensial dari alat pemanen energi akustik adalah untuk memberi daya pada jaringan sensor nirkabel dengan konsumsi energi rendah, penghalang kebisingan, penerangan jalan, dan alat pemantauan [4-5].

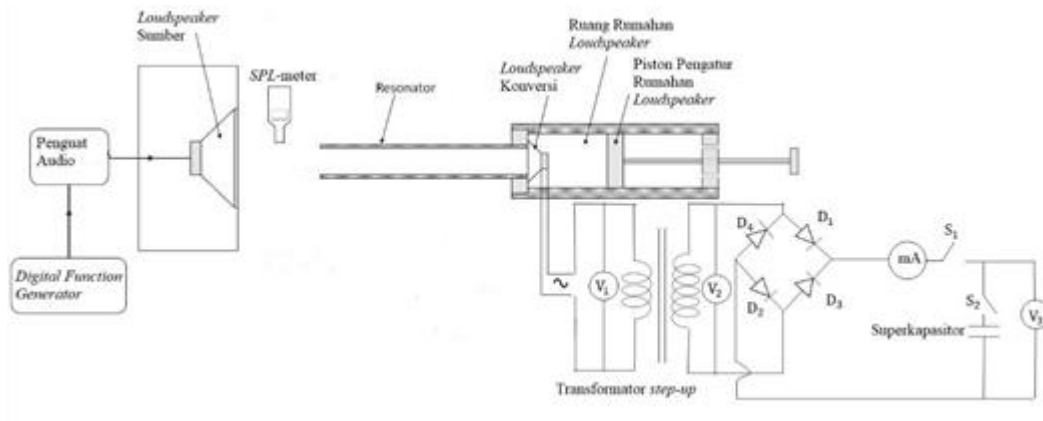
Penelitian tentang alat pemanen energi akustik yang terbaru diantaranya adalah penelitian pada tahun 2022 tentang peningkatan daya listrik keluaran dari alat pemanen energi akustik melalui optimasi panjang resonator dan panjang rumahan *loudspeaker* [6-7]. Pada penelitian tersebut transduser yang digunakan adalah *loudspeaker* karena energi listrik yang dihasilkan cukup besar jika dibandingkan dengan *piezoelektrik* [8]. Pada penelitian tersebut, studi awal penyimpanan energi listrik telah dilakukan namun tidak secara rinci. Oleh sebab hal tersebut, penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian tersebut dimana penelitian ini berupa studi yang lebih rinci tentang penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh alat pemanen energi akustik ke dalam superkapasitor. Pada penelitian ini alat pemanen energi akustik dikondisikan dalam keadaan optimum sebagaimana yang diperoleh pada penelitian sebelumnya. Akan diteliti pengaruh dua variabel penting terhadap laju penyimpanan energi listrik, yaitu frekuensi dan *SPL* yang diterima oleh alat pemanen energi akustik.

METODOLOGI

Dalam penelitian ini panjang resonator dan panjang rumahan *loudspeaker* dipasang dalam kondisi optimum yang diperoleh dari penelitian sebelumnya yaitu panjang resonator 136 cm dan panjang rumahan 16 cm (dengan diameter 13,4 cm). Unit *function generator* digunakan untuk membangkitkan sinyal listrik audio sinusoidal dengan frekuensi yang dapat diatur. Sinyal tersebut diperkuat oleh unit penguat audio kemudian diberikan kepada *loudspeaker* sumber bunyi untuk menghasilkan gelombang bunyi. Tingkat kekuatan bunyi diatur dengan unit penguat audio sedangkan nilai *SPL* pada jarak tertentu diamati dengan menggunakan *SPL*-meter (dalam satuan decibel (dB)).

Loudspeaker pengkonversi dan resonator akustik diletakkan menghadap *loudspeaker* sumber dengan ujung terbuka resonator diatur berada pada jarak sekitar 10 cm dari *loudspeaker* sumber. Sebuah *SPL*-meter diletakkan di dekat ujung terbuka resonator untuk mengukur besar tekanan gelombang bunyi (*SPL*) yang masuk ke dalam resonator dan menuju *loudspeaker* konversi. *Loudspeaker* pengkonversi mengubah gelombang-gelombang bunyi yang diterimanya menjadi tegangan dan arus listrik induksi bolak-balik. Kemudian arus bolak-balik ini dimasukkan ke transformator, lalu dari transformator dimasukkan ke unit penyearah (*rectifier*). Unit penyearah yang digunakan adalah rangkaian penyearah gelombang penuh dengan menggunakan empat buah dioda

sambungan p-n (D1, D2, D3, dan D4) yang disusun dengan rangkaian jembatan (*bridge rectifier*). Output dari unit penyearah berupa arus listrik searah diberikan kepada sebuah unit penyimpanan energi listrik berupa superkapasitor. Digunakan superkapasitor karena memiliki kapasitas berkisar dari beberapa farad hingga puluhan ribu farad dan memiliki kepadatan daya sepuluh kali lebih banyak dibandingkan baterai [9]. Selain itu, superkapasitor memiliki waktu pengisian yang cepat dan umur yang panjang jika dibandingkan dengan kapasitor biasa [10]. Superkapasitor yang digunakan memiliki spesifikasi 100 F 2,7 V. Dalam proses pengisian superkapasitor ini, tegangan superkapasitor bertambah seiring dengan waktu pengisian dan diukur dengan menggunakan voltmeter digital. Peralatan eksperimen disusun seperti susunan yang ditunjukkan oleh GAMBAR 1.



GAMBAR 1. Skema susunan peralatan eksperimen

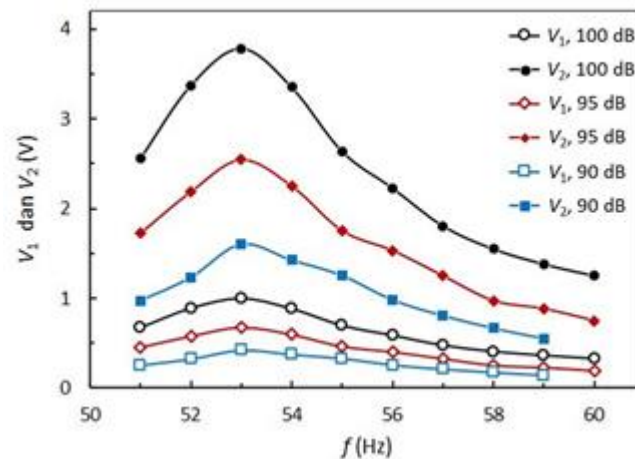
Pengambilan data eksperimen dilakukan dengan variasi frekuensi dari 51 Hz sampai 60 Hz, dimana pada setiap frekuensi terdapat tiga *SPL*, yaitu 90 dB, 95 dB, dan 100 dB. Dalam setiap variasi tersebut, dilakukan pengukuran lima buah besaran, yaitu:

1. tegangan keluaran alat pemanen energi akustik (tegangan sebelum melewati transformator),
2. tegangan setelah melewati transformator,
3. tegangan *DC* (setelah melewati unit penyearah),
4. arus *DC* (setelah melewati unit penyearah), dan tegangan superkapasitor seiring waktu pengisian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tegangan Sebelum Melewati Transformator dan Tegangan Sesudah Melewati Transformator

Tegangan keluaran dari loudspeaker konversi tidak mampu mengisi superkapasitor karena tegangannya terlalu kecil. Oleh karena itu tegangan keluaran ini diperkuat dengan menggunakan transformator *step-up* agar mampu mengisi superkapasitor. Hasil pengukuran tegangan sebelum melewati transformator V_1 dan sesudah melewati transformator V_2 ditunjukkan oleh GAMBAR 2.

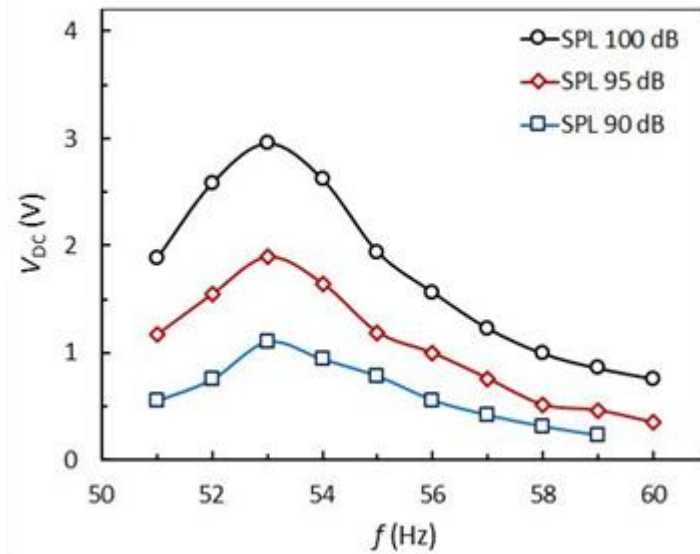


GAMBAR 2. Grafik tegangan V_1 dan V_2 untuk berbagai frekuensi bunyi dan SPL yang berbeda

Dari grafik pada gambar di atas, diketahui bahwa semua frekuensi yang menghasilkan tegangan sebelum melewati transformator tertinggi dan tegangan sesudah melewati transformator tertinggi (frekuensi puncak) pada berbagai SPL terjadi pada frekuensi 53 Hz. Pembahasan berikut ditujukan untuk frekuensi 53 Hz. Pada SPL 90 dB, tegangan sebelum melewati transformator dan sesudah melewati transformator masing-masing sebesar 0,42 V dan 1,6 V. Dalam hal ini setelah melewati transformator terdapat peningkatan tegangan sebesar 281%. Pada SPL 95 dB, tegangan sebelum melewati transformator dan sesudah melewati transformator masing-masing sebesar 0,67 V dan 2,6 V. Dalam hal ini setelah melewati transformator terdapat peningkatan tegangan sebesar 281%. Kemudian pada SPL 100 dB, tegangan sebelum melewati transformator dan sesudah melewati transformator masing-masing sebesar 1,0 V dan 3,8 V. Dalam hal ini setelah melewati transformator terdapat peningkatan tegangan sebesar 281%. Selain itu, dari nilai rasio tegangan V_2/V_1 dapat diketahui nilai faktor pelipat (penguat) tegangan transformator yang digunakan. Dalam hal ini, nilai V_2/V_1 pada SPL 90 dB, 95 dB, dan 100 dB berturut-turut bernilai 3,8, 3,9, dan 3,8. Berdasarkan nilai prosentase yang sama dan nilai faktor pelipat tegangan yang hampir sama pada semua variasi SPL, maka hal tersebut menunjukkan bahwa transformator bekerja dengan baik.

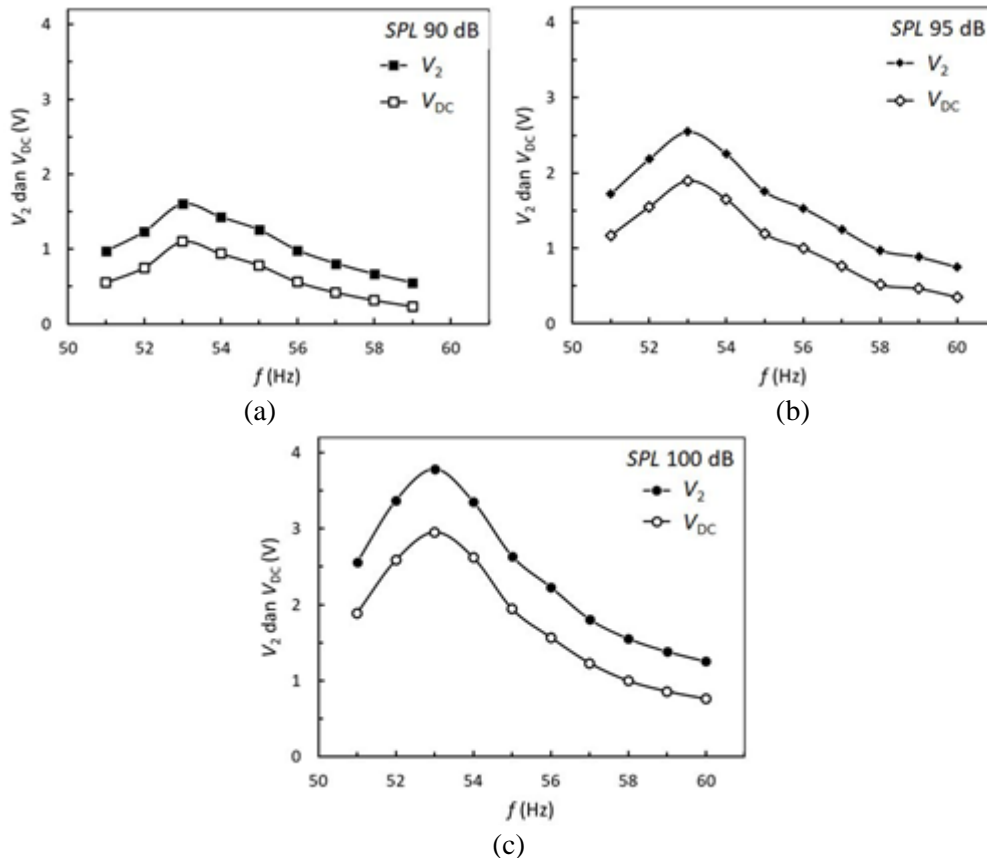
Tegangan DC

Tegangan DC (V_{DC}) dalam hal ini adalah tegangan keluaran dari unit penyearah. GAMBAR 3 menunjukkan hasil pengukuran tegangan DC pada berbagai frekuensi bunyi yang diterima oleh alat pemanen energi akustik dengan rentang frekuensi 51 Hz – 60 Hz pada SPL 90 dB, 95 dB, dan 100 dB. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa frekuensi 53 Hz adalah frekuensi puncak yang memberikan nilai tegangan DC maksimum. Pada frekuensi 53 Hz dengan nilai SPL 90 dB, 95 dB, dan 100 dB, masing-masing menghasilkan tegangan DC sebesar 1,1 V, 1,9 V, dan 3,0 V. Hal ini menunjukkan bahwa dalam frekuensi yang sama, seiring bertambahnya nilai SPL maka nilai tegangan DC juga semakin besar. Pada frekuensi 53 Hz, terdapat peningkatan nilai tegangan DC sebesar 73% ketika SPL meningkat dari 90 dB menjadi 95 dB, dan tegangan DC meningkat sebesar 58% ketika SPL meningkat dari 95 dB menjadi 100 dB. Terdapat peningkatan nilai tegangan DC sebesar 173% ketika SPL meningkat dari 90 dB menjadi 100 dB. Hal ini menunjukkan nilai tegangan DC dapat meningkat secara drastis jika alat pemanen energi akustik menerima kebisingan yang semakin besar dari lingkungan.



GAMBAR 3. Grafik hubungan antara frekuensi f dengan V_{DC}

Selain pengukuran tegangan DC pada berbagai frekuensi bunyi dan SPL, hal lain yang akan dibahas adalah penurunan nilai dari V_2 menuju V_{DC} pada berbagai frekuensi dan SPL. Pada GAMBAR 4 disajikan grafik nilai V_2 dan V_{DC} pada SPL 90 dB, 95 dB, dan 100 dB dan pada berbagai frekuensi bunyi.

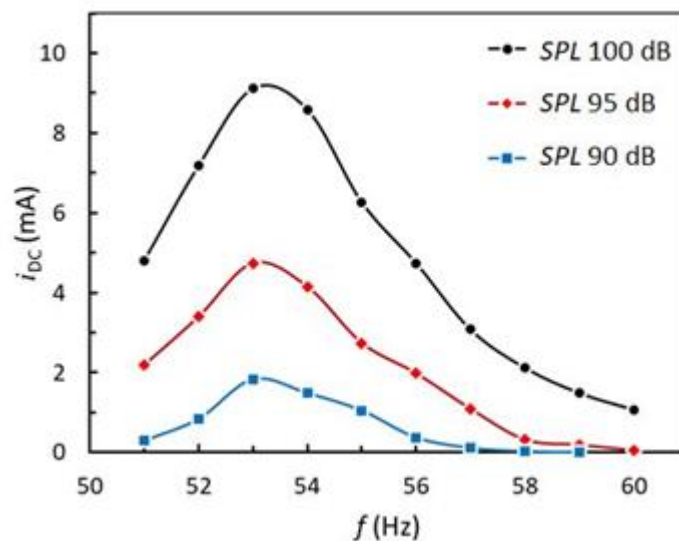


GAMBAR 4. Grafik perbandingan V_2 dan V_{DC} pada berbagai frekuensi dan variasi SPL: (a) 90 dB, (b) 95 dB, dan (c) 100 dB

Dari grafik pada Gambar 4, diketahui bahwa semua frekuensi puncak pada berbagai *SPL* terjadi pada frekuensi 53 Hz. Pembahasan berikut ditujukan untuk frekuensi 53 Hz. Pada *SPL* 90 dB, tegangan sesudah melewati transformator dan tegangan *DC* masing-masing sebesar 1,6 V dan 1,1 V. Dalam hal ini terdapat penurunan tegangan dari V_2 menuju V_{DC} sebesar 31%. Pada *SPL* 95 dB, tegangan sesudah melewati transformator dan tegangan *DC* masing-masing sebesar 2,6 V dan 1,9 V. Dalam hal ini terdapat penurunan tegangan dari V_2 menuju V_{DC} sebesar 27%. Kemudian pada *SPL* 100 dB, tegangan sesudah melewati transformator dan tegangan *DC* masing-masing sebesar 3,8 V dan 3,0 V. Dalam hal ini terdapat penurunan tegangan dari V_2 menuju V_{DC} sebesar 21%. Penurunan nilai tegangan dari V_2 menuju V_{DC} ini disebabkan karena tegangan melewati proses pengubahan dari *AC* menjadi *DC* atau yang dikenal dengan proses *rectification*. Selain itu, nilai perbandingan V_{DC}/V_2 pada *SPL* 90 dB, 95 dB, dan 100 dB masing-masing bernilai berturut-turut 0,69, 0,73, dan 0,79. Dapat disimpulkan bahwa pada frekuensi yang sama, nilai prosentase penurunan tegangan dari V_2 menuju V_{DC} akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai *SPL*. Selain itu, dari nilai perbandingan tegangan V_{DC}/V_2 , tampak bahwa nilai perbandingannya akan semakin besar seiring bertambahnya nilai *SPL* pada frekuensi yang sama.

Arus Searah Awal

GAMBAR 5 menunjukkan hubungan antara arus searah saat superkapasitor mulai diisi muatannya atau disebut arus searah awal dengan frekuensi bunyi yang diterima oleh alat pemanen energi akustik dengan rentang frekuensi 51 Hz – 60 Hz pada *SPL* 90 dB, 95 dB, dan 100 dB. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pola datanya hampir sama dengan pola data tegangan *DC* dengan frekuensi bunyi yang diterima alat pemanen energi akustik. Hal ini menunjukkan bahwa arus searah awal pada pengisian muatan superkapasitor sebanding dengan nilai tegangan *DC* yang dihasilkan oleh alat pemanen energi akustik. Pada frekuensi 53 Hz dengan nilai *SPL* 90 dB, 95 dB, dan 100 dB, masing-masing memiliki nilai arus searah awal sebesar 1,8 mA, 4,7 mA, dan 9,1 mA. Hal ini menunjukkan bahwa dalam frekuensi yang sama, dengan seiring bertambahnya *SPL* maka nilai arus searah awal pada pengisian muatan superkapasitor juga semakin besar. Pada frekuensi 53 Hz, terdapat peningkatan nilai arus searah awal sebesar 161% ketika *SPL* meningkat dari 90 dB menjadi 95 dB, dan meningkat sebesar 94% ketika *SPL* meningkat dari 95 dB menjadi 100 dB, serta meningkat sebesar 406% ketika *SPL* meningkat dari 90 dB menjadi 100 dB.

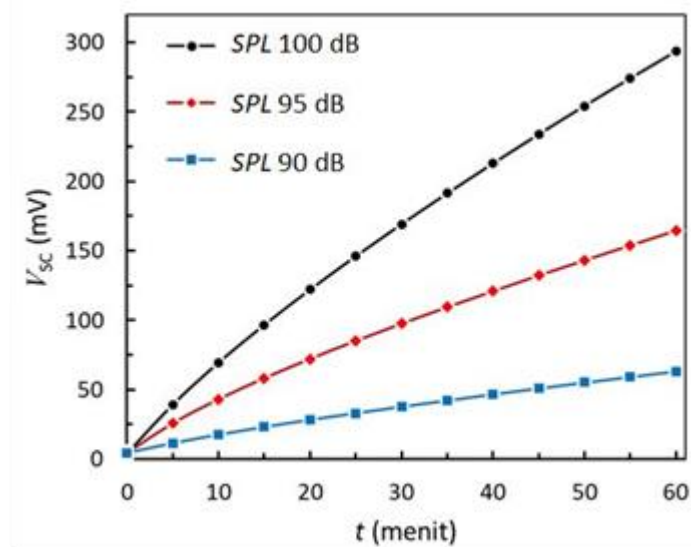


GAMBAR 5. Grafik hubungan antara frekuensi f dengan arus searah awal i_{DC} pada berbagai *SPL*

Tegangan Superkapasitor

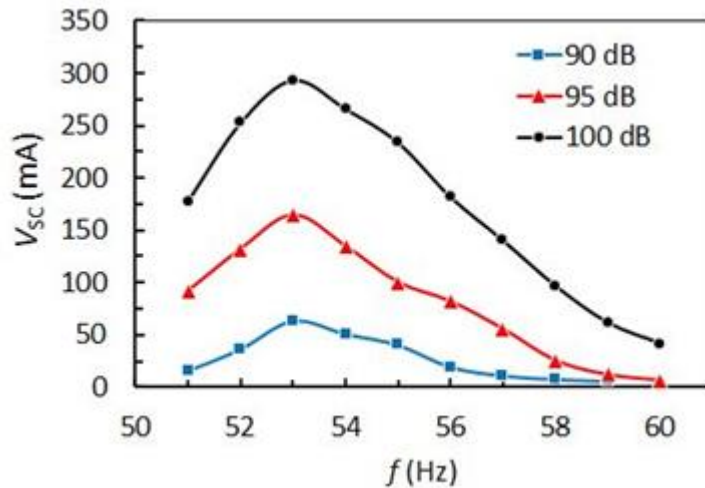
Pengambilan data eksperimen hanya dilakukan sampai 60 menit (1 jam). Hal tersebut dilakukan karena jika *loudspeaker* sumber digunakan dalam waktu yang lama maka akan cepat mengalami kerusakan berupa komponen koil yang putus. Selain itu, data yang harus diambil sangat banyak yaitu meliputi frekuensi 51 Hz sampai 60 Hz masing-masing pada *SPL* 90 dB, 95 dB, dan 100 dB sehingga untuk setiap data dibatasi sampai 60 menit.

GAMBAR 6 menunjukkan peningkatan tegangan superkapasitor V_{sc} selama 1 jam waktu pengisian dengan frekuensi bunyi 53 Hz dengan tiga *SPL* yang berbeda, yaitu 90 dB, 95 dB, dan 100 dB. Setelah 1 jam, tegangan superkapasitor V_{sc} untuk 90 dB, 95 dB, dan 100 dB masing-masing mencapai 63,4 mV, 164,6 mV, dan 293,6 mV. Jika dilihat dari kemiringan ketiga kurva, setelah 1 jam tegangan superkapasitor pada *SPL* 100 dB masih akan meningkat secara signifikan, sedangkan pada *SPL* 90 dB juga masih akan meningkat tetapi dengan lambat.



GAMBAR 6. Grafik hubungan antara waktu pengisian t dengan tegangan keluaran superkapasitor V_{sc} pada frekuensi 53 Hz

GAMBAR 7 menunjukkan tegangan maksimum yang dicapai superkapasitor setelah 1 jam pengisian untuk *SPL* 90 dB, 95 dB, dan 100 dB pada berbagai frekuensi bunyi. Untuk ketiga nilai *SPL*, pola ketergantungan tegangan superkapasitor terhadap frekuensi bunyi cenderung sama dan ketiganya memiliki puncak pada frekuensi 53 Hz. Pada Gambar 7 tampak pada frekuensi 53 Hz bahwa meningkatnya *SPL* dari 90 dB menjadi 95 dB, dan kemudian menjadi 100 dB menghasilkan peningkatan tegangan superkapasitor yang signifikan, yaitu dari 63,4 mV menjadi 164,6 mV (sebesar 160%), dan kemudian menjadi 293,6 mV (sebesar 78%). Hasil-hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa frekuensi bunyi dan *SPL* adalah faktor penting dalam proses pemanenan energi akustik.



GAMBAR 7. Grafik hubungan antara frekuensi f dengan tegangan superkapasitor setelah 1 jam diisi muatan V_{sc}

Pengaruh Frekuensi Bunyi dan SPL

Frekuensi bunyi sangat berpengaruh pada proses pengisian superkapasitor. Ditemukan bahwa terdapat frekuensi puncak (frekuensi optimum) pada 53 Hz yang menghasilkan tegangan AC, tegangan DC, dan arus DC awal yang paling besar, dan oleh karena itu menghasilkan laju pengisian superkapasitor yang terbesar. Selain frekuensi bunyi, SPL juga sangat berpengaruh pada proses pengisian superkapasitor. Semakin tinggi nilai SPL, maka tegangan AC dan tegangan DC semakin tinggi, arus DC awal semakin besar, waktu pengisian superkapasitor semakin singkat.

SIMPULAN

Dari hasil eksperimen dapat disimpulkan bahwa penyimpanan energi listrik dari alat pemanen energi akustik ke dalam superkapasitor berhasil dilakukan dengan menggunakan transformator *step-up* dan rangkaian penyearah. Frekuensi bunyi sangat berpengaruh pada proses pengisian superkapasitor dengan frekuensi puncak (frekuensi optimum) pada 53 Hz. Selain itu, SPL juga sangat berpengaruh pada proses pengisian superkapasitor. Dengan frekuensi 53 Hz dan SPL 100 dB, pengisian selama 60 menit menghasilkan tegangan superkapasitor sebesar 294 mV. Selain itu, kenaikan SPL dari 90 dB menjadi 100 dB pada frekuensi optimum (53 Hz) menghasilkan laju pengisian sekitar 4,6 kali lipat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tuliskan ucapan terimakasih, contoh penulisannya adalah: Terimakasih kepada pihak pemberi dana penelitian, kepada lembaga/ orang yang membantu penelitian, kepada orang yang membantu dalam diskusi, dll.

REFERENSI

- [1] Yuan *et al.*, "Recent Developments of Acoustic Energy Harvesting: A review," *Micromachines*, vol. 10, no. 1, p. 48, 2019.
- [2] Pillai, A. Minu, E. Deenadayalan, "A Review of Acoustic Energy Harvesting," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 15, no. 5, pp. 949-965, 2014.
- [3] H. Chae, Sohn, J. H. Park, "A comparative study on acoustic damping induced by half-wave, quarter-wave, and Helmholtz resonators.," *Aerospace Science and Technology*, vol. 15, no. 8, pp. 606-614, 2011.

- [4] Choi, Jaehoon, I. Jung, C. Y. Kang, "A brief review of sound energy harvesting," *Nano Energy*, vol. 56, pp 169-183, 2019.
- [5] Wang *et al.*, "A renewable low-frequency acoustic energy harvesting noise barrier for high-speed railways using a Helmholtz resonator and a PVDF film," *Applied Energy*, vol. 230, pp. 52-61, 2018.
- [6] H. Harindra, "Studi Eksperimental Peningkatan Daya Listrik Keluaran Dari Pemanen Energi Akustik Melalui Optimasi Panjang Resonator Dan Panjang Rumah Loudspeaker," *Tesis Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, Universitas Gadjah Mada, 2022.
- [7] H. Harindra, I. Setiawan, A. B. Setio Utomo, "Optimization of resonator length and loudspeaker's housing length of an acoustic energy harvester," *The 8th International Conference on Mathematic, Science, and Education (ICMSE)*, Semarang, Indonesia, 2023.
- [8] I. Setiawan, "Studi eksperimental penggunaan loudspeaker sebagai pengkonversi energi bunyi menjadi listrik dalam alat pemanen energi akustik (acoustic energy harvester)," *Jurnal Teknologi*, vol. 11, no. 1, pp. 9-16, 2019.
- [9] D. Santika, I. Wibawa, R. Priramadhi, "Desain Dan Implementasi Superkapasitor Sebagai Buffer Storage Baterai," *eProceedings of Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 18-25, 2020.
- [10] K. Subagiada, A. Inu Natalisanto, "Studi Penggunaan Superkapasitor Sebagai Media Penyimpan Energi," *Progressive Physics Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 79-88, 2021.

