

STUDI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN *LOUDSPEAKER* SEBAGAI PENGONVERSI ENERGI BUNYI MENJADI LISTRIK DALAM ALAT PEMANEN ENERGI AKUSTIK (*ACOUSTIC ENERGY HARVESTER*)

Ikhsan Setiawan^{1,*}

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada
Sekip Utara BLS 21 Yogyakarta 33281 Indonesia

*E-mail: ikhsan_s@ugm.ac.id

Diterima: 3 Juli 2018

Direvisi: 10 September 2018

Disetujui: 16 Nopember 2018

ABSTRAK

Kebisingan di sekitar kita merupakan satu bentuk energi yang terbuang. Energi bunyi (akustik) tersebut sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Makalah ini memaparkan tentang eksperimen menggunakan loudspeaker sebagai komponen pengkonversi energi bunyi menjadi energi listrik dalam alat pemanen energi akustik (acoustic energy harvester), baik tanpa tabung resonator maupun dengan tabung resonator. *Loudspeaker* pengkonversi yang digunakan berjenis *woofer* dan memiliki diameter nominal 6 inci. Sumber bunyi yang digunakan adalah *loudspeaker* berdiameter 15 inci yang diberi sinyal oleh sebuah pembangkit sinyal audio yang diperkuat oleh sebuah penguat audio. Tingkat tekanan bunyi (*sound pressure level, SPL*) maksimum dalam penelitian ini adalah 105 dB. Tegangan listrik rms (V_{rms}) keluaran dari *loudspeaker* pengkonversi diukur pada resistor beban dengan resistansi 100 Ω , sehingga daya listrik rms (P_{rms}) yang dihasilkan dapat dihitung. Hasil eksperimen pada *loudspeaker* pengkonversi tanpa resonator menunjukkan bahwa *loudspeaker* tersebut memiliki frekuensi kerja optimum sebesar 62 Hz yang menghasilkan P_{rms} sebesar 0,78 mW dari bunyi dengan SPL 105 dB. Selanjutnya, hasil eksperimen dengan menggunakan resonator sepanjang 133 cm memperlihatkan bahwa P_{rms} maksimum sebesar 20,7 mW diperoleh dari bunyi berfrekuensi 92 Hz dan SPL 105 dB. Hasil ini sangat baik apabila dibandingkan dengan hasil yang ditemukan oleh para peneliti lainnya yang memperoleh daya listrik 20 mW- 30 mW dari bunyi dengan SPL sebesar 151 dB (Pillai & Deenadayalan, 2014). Selain itu, hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan tabung resonator dapat meningkatkan daya listrik yang dapat diperoleh.

Kata kunci: Pemanen energi akustik, *loudspeaker*, konversi energi, energi bunyi, energi listrik

ABSTRACT

Noise around us is a form of wasted energy. The sound (acoustic) energy can actually be harnessed to generate electricity. This paper describes an experiment on the use of a loudspeaker to convert sound energy into electrical energy in an acoustic energy harvester, either with or without a resonator tube. The converting loudspeaker used is a subwoofer type and has a nominal diameter of 6 inches. The sound source is a 15-inch loudspeaker with input signal is provided by an audio signal generator which is amplified by an audio amplifier. The maximum sound pressure level (SPL) in this study is 105 dB. The rms value of the output electric voltage is measured at 100 Ω load resistor, and hence the output rms electric power (P_{rms}) can be calculated. Experimental results without resonator tube show that the converting loudspeaker has an optimum working frequency of 62 Hz that produces P_{rms} of 0.78 mW from sound with SPL of 105 dB. Furthermore, the experimental results using a 133 cm long resonator tube show that a maximum P_{rms} of 20.7 mW is obtained from sound with frequency of 92

Hz and SPL of 105 dB. This result is very good compared to the results founded by other researchers that obtained 20 mW-30mW electric power from 151 dB sound (Pillai & Deenadayalan, 2014). In addition, these results indicate that the use of resonator tube can increase the output electric power.

Keywords: Acoustic energy harvester, loudspeaker, energi conversion, sound energy, electrical energy

PENDAHULUAN

Beberapa tahun belakangan ini, minat para peneliti untuk melakukan penelitian dan pengembangan kemampuan pemanenan energi (*energy harvesting*) dari lingkungan semakin meningkat (Pillai & Deenadayalan, 2014). Salah satu bentuk energi yang dapat dipanen dari lingkungan adalah energi akustik (bunyi) yang biasanya berupa kebisingan. Pemanenan energi akustik dapat digambarkan sebagai proses mengkonversi gelombang-gelombang bunyi yang kuat dan sinambung dari lingkungan menjadi energi listrik dengan menggunakan transduser akustik dan resonator (Serrit, 2008; Dornfeld, 2012). Energi listrik yang diperoleh selanjutnya disimpan dalam baterai atau superkapasitor untuk nantinya digunakan saat diperlukan.

Di kota-kota besar biasanya terdapat berbagai macam energi bunyi yang terbuang dengan taraf kekuatan yang cukup besar. Sebagai contoh, kebisingan di jalan raya saat ramai pada jarak 10 m memiliki tingkat tekanan bunyi (*sound pressure level, SPL*) sekitar 80 dB – 90 dB (dengan nilai tekanan acuan sebesar 20 μ Pa), alat bor genggam menghasilkan bunyi dengan SPL 98 dB, dan mesin jet pesawat menghasilkan bunyi dengan SPL sekitar 140 dB pada jarak 100 m (Pillai & Deenadayalan, 2014). Contoh lainnya, kebisingan di lokasi beberapa jenis pabrik industri memiliki SPL sekitar 100 dB hingga 136 dB (Khan dan Izhar, 2015), di lokasi industri permesinan sekitar 97 dB dan di industri pengolahan biji plastik sekitar 92 db (Rimantho dan Cahyadi, 2015) Hal ini menunjukkan adanya potensi untuk memanfaatkan energi yang terbuang dan bersifat mengganggu ini sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Meskipun hingga saat ini energi listrik yang diperoleh dalam hal ini relatif kecil, yaitu maksimum berorde puluhan miliwatt (Li, 2015; Pillai & Deenadayalan, 2014, Khan dan Izhar, 2015), energi listrik tersebut dapat diakumulasikan dalam unit penyimpanan dan digunakan khususnya untuk

menghidupkan alat-alat elektronik berdaya rendah (Nechibvute dkk., 2012).

Dalam prakteknya, sebagian besar trans-duser akustik (yaitu komponen yang meng-konversi energi bunyi menjadi energi listrik) yang digunakan dalam alat pemanen energi akustik (*acoustic energy harvester*) adalah material piezoelektrik, sedangkan yang lainnya menggunakan magnet yang dipasang pada sebuah membran yang akan bergetar di sekitar sebuah koil ketika dikenai oleh gelombang bunyi (Pillai & Deenadayalan, 2014; Nechibvute dkk., 2012; Khan dan Izhar, 2015). Material piezoelektrik banyak digunakan dalam hal ini karena harganya murah, dapat menghasilkan energi listrik dengan rapat energi yang besar, dan ukurannya kecil sehingga mudah untuk diintegrasikan dengan sistem yang akan diberi daya listrik (Li dkk, 2015). Di sisi lain, *loudspeaker* juga dapat mengkonversi energi bunyi menjadi energi listrik. Namun sejauh ini *loudspeaker* baru digunakan dalam alat-alat pembangkit listrik termoakustik, yaitu alat yang menghasilkan energi listrik dari energi bunyi yang dibangkitkan dari energi termal melalui efek termoakustik (Yu dkk., 2010; Yu dkk., 2011; Jaworski dan Mao, 2013, Kang dkk, 2015).

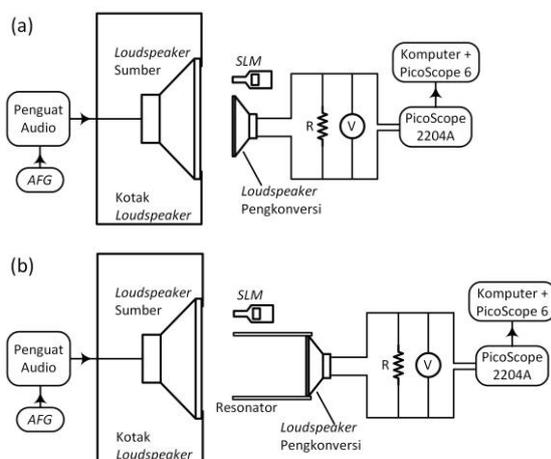
Transduser akustik dalam alat pemanen energi akustik biasanya dilengkapi dengan resonator akustik yang berfungsi sebagai pengumpul energi akustik dan berguna untuk meningkatkan amplitudo tekanan gelombang bunyi pada frekuensi tertentu yang akan diterima oleh transduser akustik tersebut. Bentuk resonator yang digunakan dapat berupa resonator lurus seperempat panjang gelombang, resonator lurus setengah panjang gelombang, ataupun resonator Helmholtz (Sohn dan Park, 2011).

Makalah ini memaparkan tentang studi eksperimental penggunaan *loudspeaker* sebagai transduser akustik yang mengkonversi energi bunyi menjadi energi listrik, baik tanpa

tabung resonator maupun dengan tabung resonator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *loudspeaker* dalam menghasilkan energi listrik dari gelombang-gelombang bunyi yang diterimanya, dan untuk mengetahui pengaruh penggunaan resonator terhadap besar daya listrik yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di laboratorium. Skema susunan peralatan eksperimen tanpa resonator ditunjukkan oleh Gambar 1(a), sedangkan dengan resonator ditunjukkan oleh Gambar 1(b). Sumber bunyi yang digunakan adalah sebuah *loudspeaker* sumber dengan diameter nominal 15 inci yang dilengkapi dengan kotak-nya. *Loudspeaker* ini diberi sinyal audio oleh sebuah pembangkit sinyal audio (*audio function genertor, AFG*) GW-Instek model GFG-8250A yang diperkuat oleh sebuah unit penguat audio (*audio amplifier*).



Gambar 1. Skema susunan peralatan eksperimen: (a) tanpa resonator, (b) dengan resonator. *AFG* adalah *audio function generator*, *SLM* adalah *sound level meter*, *R* adalah resistor beban, dan *V* adalah volt-meter.

Tingkat kenyaringan bunyi yang diwakili oleh tingkat tekanan gelombang bunyi (*sound pressure level, SPL*) diukur dengan menggunakan sebuah *sound level meter (SLM)* digital Lutron model SL-40, dinyatakan dalam satuan decibel (dB) dengan nilai acuan 20 μ Pa. Pada jarak 20 cm dari *loudspeaker* sumber,

SPL maksimum yang dapat dihasilkan oleh *loudspeaker* sumber yang digunakan dalam eksperimen ini adalah 105 dB.

Loudspeaker pengkonversi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah *loudspeaker* ACR jenis *woofer* model C-630 WH dengan diameter nominal 6 inci. Pada eksperimen tanpa resonator, *loudspeaker* ini diletakkan pada jarak 20 cm dari *loudspeaker* sumber, dan *SLM* ditempatkan berdampingan dengan *loudspeaker* pengkonversi, seperti tampak dalam skema pada Gambar 1(a).

Pada eksperimen dengan resonator, resonator yang digunakan adalah resonator seper-empat panjang gelombang. Resonator ini dibuat dari bahan soket pipa *PVC (polyvinyl chlo-ride)* dengan diameter nominal 6 inci, dikerjakan dibengkel sedemikian sehingga *loudspeaker* pengkonversi dapat tepat masuk ke salah satu ujung resonator sehingga ujung resonator tersebut tertutup sempurna, seperti diilustrasikan oleh Gambar 1(b). Ujung lainnya dari resonator tersebut dibuat terbuka dan dihadapkan pada *loudspeaker* sumber pada jarak 20 cm. Dalam hal ini, *SLM* ditempatkan berdampingan dengan ujung terbuka resonator. Panjang resonator dipilih sebesar 133 cm agar frekuensi resonansi resonator berada dalam daerah operasi *loudspeaker* pengkonversi, sebagaimana akan dibicarakan secara lebih rinci dalam bagian hasil dan pembahasan.

Dalam eksperimen ini, bunyi dari *loudspeaker* sumber diterima oleh *loudspeaker* pengkonversi yang mengubahnya menjadi arus listrik bolak-balik yang dilewatkan pada sebuah resistor beban dengan resistansi (*R*) 100 ohm. Tegangan akar rerata kuadrat (*root-mean-square, rms*) V_{rms} antara ujung-ujung resistor beban diukur dengan menggunakan sebuah multi-meter digital Sanwa model RD700.

Bentuk gelombang (*wave form*) tegangan antara kedua ujung resistor dipantau secara langsung (*real time*) dengan menggunakan perangkat keras PicoScope model 2204A dan komputer dengan perangkat lunak PicoScope 6. Perangkat ini menyediakan informasi baik nilai V_{rms} maupun nilai tegangan maksimum (amplitudo tegangan) V_{maks} .

Eksperimen ini dilakukan dengan mengukur V_{rms} pada resistor beban untuk berbagai frekuensi bunyi dan berbagai nilai SPL , baik pada keadaan tanpa resonator maupun pada keadaan dengan resonator. Frekuensi bunyi diatur dengan menggunakan AFG , sedangkan SPL diatur dengan menggunakan unit penguat audio dan dengan mengamati nilai SPL pada *sound level meter (SLM)*.

Daya listrik rms yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi dihitung dengan menggunakan rumus

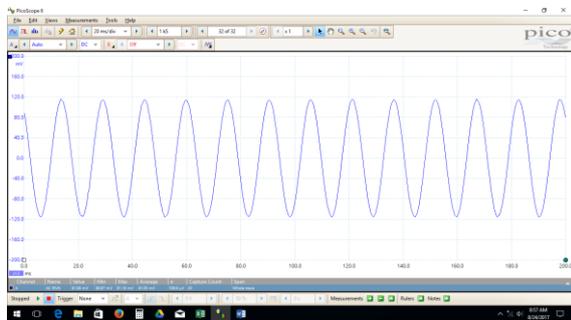
$$P_{rms} = V_{rms}^2 / R \quad (1)$$

Daya listrik maksimum (P_{maks}) dapat diperoleh melalui hubungan $P_{maks} = \sqrt{2} P_{rms}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk Gelombang Tegangan Keluaran

Loudspeaker sumber diberi sinyal audio sinusoidal oleh AFG , sehingga gelombang bunyi yang dihasilkannya dan juga bentuk gelombang tegangan listrik yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi diharapkan juga berbentuk sinusoidal. Gambar 2 memperlihatkan bentuk gelombang tegangan listrik pada layar komputer (antarmuka perangkat lunak PicoScope 6) yang dihasilkan dari gelombang bunyi berfrekuensi 65 Hz dan SPL 85 dB. Tampak jelas bahwa bentuk gelombang tegangan listrik yang dihasilkan berbentuk sinusoid, yaitu berosilasi secara sinusoidal terhadap waktu. Hal ini dapat dikatakan bahwa tidak ada distorsi yang terjadi dan *loudspeaker* pengkonversi dapat bekerja dengan baik dalam menghasilkan arus listrik ketika digetarkan oleh gelombang bunyi.

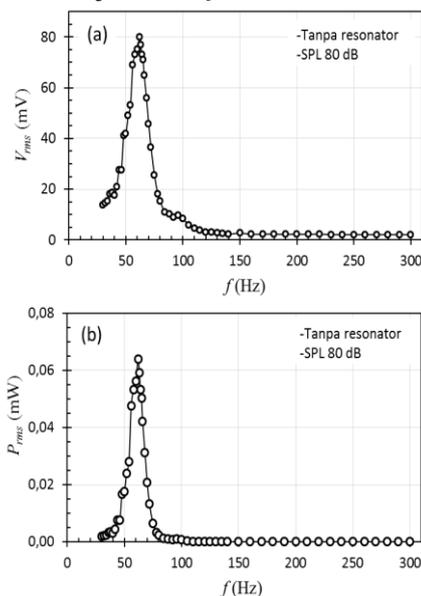


Gambar 2. Bentuk gelombang tegangan listrik pada resistor 100Ω yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi ketika dikenai gelombang bunyi berfrekuensi 65 Hz dan SPL 85 dB.

Di bagian bawah antarmuka PicoScope 6 dalam Gambar 2 terdapat informasi nilai rms sesaat maupun nilai rms rerata dari tegangan listrik yang berosilasi. Dalam hal ini ditampilkan informasi bahwa nilai tegangan rms rerata adalah 81,05 mV. Hasil ini sama dengan hasil pengukuran tegangan dengan menggunakan volt-meter Sanwa RD700 sebesar 81 mV. Dengan demikian, nilai tegangan maksimum (amplitudo tegangan) dalam hal ini adalah 114,6 mV.

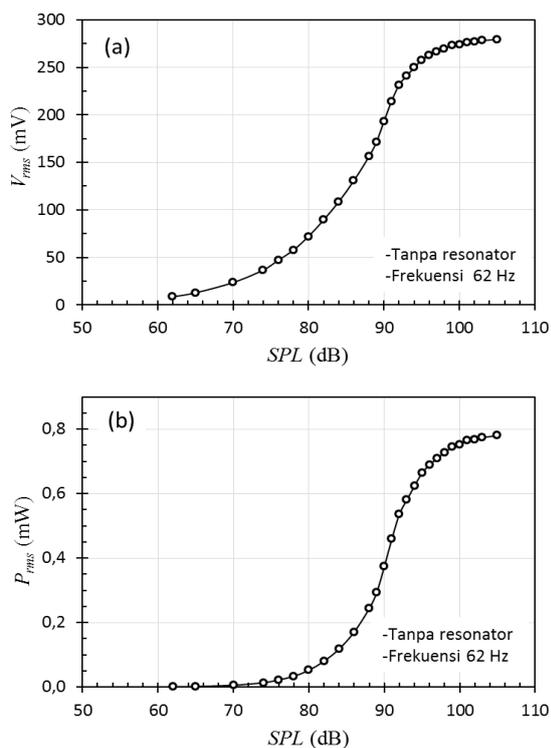
Loudspeaker Tanpa Resonator

Hasil pengukuran tegangan rms (V_{rms}) pada resistor beban yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi tanpa resonator yang dikenai oleh gelombang bunyi dengan SPL 80 dB pada berbagai frekuensi dalam rentang 30 Hz – 300 Hz diperlihatkan oleh Gambar 3(a), sedangkan hasil perhitungan daya listrik rms (P_{rms}) yang dihasilkan ditunjukkan oleh Gambar 3(b). Pada kedua gambar tersebut tampak bahwa nilai maksimum V_{rms} dan nilai maksimum P_{rms} diperoleh dari bunyi yang berfrekuensi 62 Hz, yaitu masing-masing 80 mV dan 0,064 mW. Frekuensi optimum sebesar 62 Hz ini dapat dikatakan sebagai frekuensi resonansi *loudspeaker* pengkonversi, dan hal ini dapat dipahami mengingat bahwa *loudspeaker* tersebut termasuk jenis *woofer*.



Gambar 3. (a) Tegangan rms dan (b) daya listrik rms yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi yang dikenai oleh bunyi dengan SPL 80 dB pada frekuensi bunyi dalam rentang 30 Hz – 300 Hz.

Selanjutnya, eksperimen dilakukan dengan memvariasikan SPL bunyi pada frekuensi tetap 62 Hz. Dalam hal ini, hasil pengukuran V_{rms} ditunjukkan oleh Gambar 4(a), sedangkan hasil perhitungan P_{rms} ditampilkan oleh Gambar 4(b). Terlihat bahwa ketika SPL dinaikkan dari 62 dB sampai 92 dB, bagi V_{rms} maupun P_{rms} meningkat secara hampir eksponensial, yaitu V_{rms} naik dari 8,5 mV menjadi 231,5 mV, dan P_{rms} bertambah besar dari 0,72 μ W menjadi 0,54 mW. Setelah itu, laju kenaikan V_{rms} dan P_{rms} terhadap pertambahan SPL mulai berkurang ketika SPL dinaikkan dari 92 dB dan selanjutnya V_{rms} dan P_{rms} cenderung konstan setelah SPL melewati nilai 103 dB. Pada nilai SPL maksimum yang dapat digunakan dalam penelitian ini, diperoleh V_{rms} sebesar 279,3 mV P_{rms} sebesar 0,78 mW.



Gambar 4. (a) Tegangan rms dan (b) daya listrik rms pada resistor beban yang dihasilkan oleh loudspeaker konversi yang dikenai oleh bunyi berfrekuensi 62 Hz pada berbagai nilai SPL dalam rentang 62 dB – 105 dB.

Loudspeaker Dengan Resonator

Resonator yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dari beberapa buah soket pipa PVC

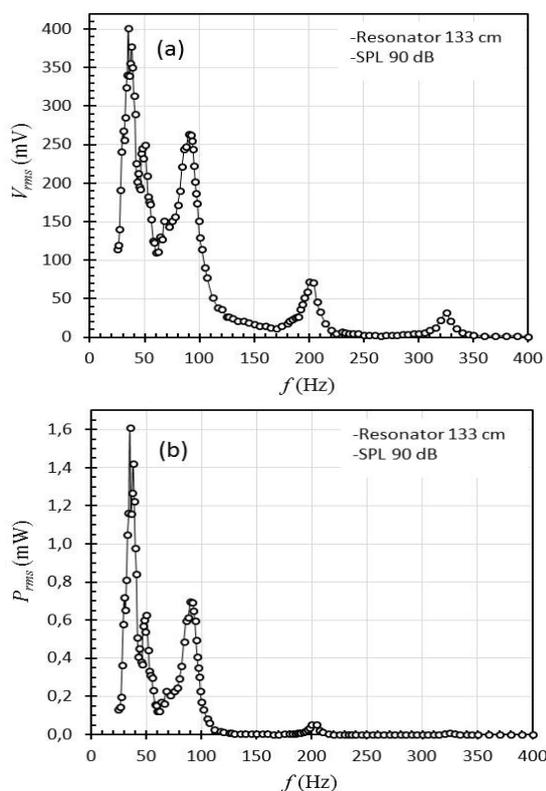
yang memiliki diameter nominal 6 inci. Benjolan yang terdapat di tengah bagian dalam soket dihilangkan. Pada ujung soket-soket yang perlu saling disambung dibuat drat agar dapat disambung secara kuat dan rapat. Loudspeaker pengkonversi dimasukkan ke dalam salah satu ujung pipa resonator, seperti tampak dalam Gambar 5. Jarak dari muka loudspeaker ini sampai ke ujung terbuka resonator adalah 133 cm. Gabungan loudspeaker tersebut bersama tabung resonator dianggap sebagai resonator seperempat panjang gelombang, sehingga frekuensi resonansi orde pertama (nada dasar) resonator tersebut diperkirakan sekitar 64 Hz. Hal inilah yang menjadi alasan pemilihan panjang resonator 133 cm, yaitu diharapkan agar frekuensi resonansi resonator mendekati frekuensi resonansi loudspeaker pengkonversi sebesar 62 Hz, seperti telah ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 5. Loudspeaker pengkonversi 6 inci dimasukkan pada salah satu ujung resonator.

Hasil pengukuran V_{rms} yang dihasilkan oleh loudspeaker pengkonversi yang dilengkapi dengan resonator sepanjang 133 cm dan diberi paparan gelombang bunyi dengan SPL 90 dB dalam daerah frekuensi 25 Hz – 400 Hz ditunjukkan oleh Gambar 6(a), sedangkan hasil perhitungan P_{rms} dari hasil pengukuran tersebut ditampilkan oleh Gambar 6(b). Dari Gambar 6(a) dapat dikatakan bahwa terdapat 5 buah puncak nilai V_{rms} yang muncul pada frekuensi yang berbeda-beda seperti tercantum dalam Tabel 1. Namun, pada Gambar 6(b) hanya 3 buah puncak nilai P_{rms} yang terlihat cukup nyata, yaitu 3 puncak pertama, sedangkan 2 puncak lainnya tidak signifikan karena nilainya yang relatif sangat kecil. Kelima nilai P_{rms}

yang terkait dengan 5 buah puncak V_{rms} dapat dilihat dalam Tabel 1.



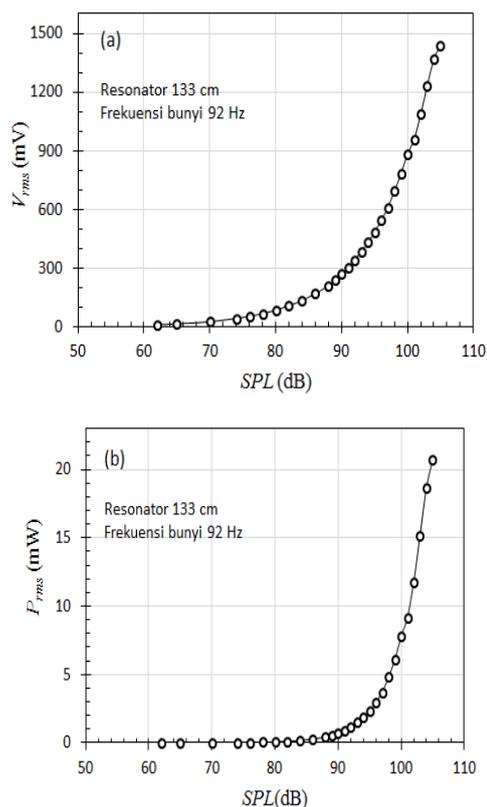
Gambar 6. (a) Tegangan rms dan (b) daya listrik rms yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi dengan resonator sepanjang 133 cm yang dikenai oleh bunyi dengan SPL 90 dB pada frekuensi bunyi dalam rentang 25 Hz – 400 Hz.

Tabel 1. Puncak-puncak nilai V_{rms} dan P_{rms} yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi yang dilengkapi dengan resonator dengan panjang 133 cm.

Puncak	Frekuensi (Hz)	V_{rms} (mV)	P_{rms} (mW)
1	35	401	1,61
2	50	250	0,62
3	92	263	0,69
4	200	72	0,052
5	325	32	0,010

Hasil-hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 6 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan tabung resonator sepanjang 133 cm menyebabkan spektrum frekuensi berubah secara sangat mencolok apabila dibandingkan dengan spektrum frekuensi yang diperoleh tan-

pa menggunakan tabung resonator (Gambar 5). Saat tidak menggunakan resonator, hanya ada satu puncak spektrum, sedangkan ketika menggunakan resonator sepanjang 133 cm muncul lima puncak spektrum. Hal yang cukup menarik adalah bahwa puncak spektrum yang muncul ketika tidak menggunakan resonator ternyata tidak termasuk ke dalam salah satu dari lima puncak spektrum yang muncul ketika menggunakan resonator. Sejauh ini, penulis belum mengetahui mekanisme terjadinya fenomena tersebut. Selain itu, mekanisme munculnya lima buah puncak spektrum saat menggunakan resonator juga belum jelas karena tidak mengikuti pola-pola untuk resonator seperempat panjang gelombang maupun untuk resonator setengah panjang gelombang. Oleh karena itu penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengungkap fenomena tersebut di atas.



Gambar 7. (a) Tegangan rms dan (b) daya listrik rms pada resistor beban yang dihasilkan oleh *loudspeaker* konversi dengan resonator sepanjang 133 cm yang dikenai oleh bunyi berfrekuensi 92 Hz pada berbagai nilai SPL dalam rentang 62 dB – 104 dB.

Selanjutnya, *loudspeaker* dengan tabung resonator diuji dengan bunyi dengan *SPL* yang bervariasi pada frekuensi tetap. Dalam hal ini, dipilih frekuensi bunyi sebesar 92 Hz, yaitu frekuensi untuk puncak ketiga dalam Gambar 6. Hasil pengujian ini, dengan *SPL* dari 62 dB sampai 104 dB ditampilkan oleh Gambar 7(a) untuk V_{rms} dan Gambar 7(b) untuk P_{rms} yang dihasilkan. Tampak bahwa V_{rms} mulai bertambah secara signifikan ketika *SPL* mulai dinaikkan dari 80 dB. Ketika *SPL* naik dari 80 dB sampai 105 dB, V_{rms} meningkat pesat dari 84 mV menjadi 1440 mV. Selain itu, P_{rms} mulai meningkat secara nyata ketika *SPL* mulai dinaikkan dari sekitar 92 dB. Ketika *SPL* bertambah besar dari 92 dB menjadi 105 dB, P_{rms} meningkat tajam dari 1,15 mW hingga mencapai 20,7 mW. Hasil yang diperoleh ini cukup menggembirakan, karena para peneliti lainnya (dalam Pillai dan Deenadayalan, 2014)

KESIMPULAN

Hasil-hasil eksperimen dalam penelitian ini menunjukkan bahwa *loudspeaker* komersial dapat digunakan sebagai alat pengkonversi bunyi (energi akustik) menjadi energi listrik dengan hasil yang memuaskan, terutama ketika *loudspeaker* pengkonversi tersebut dilengkapi dengan tabung resonator dengan panjang yang sesuai dengan frekuensi resonansi *loudspeaker* konversi. Daya listrik yang terbesar yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi dalam penelitian ini adalah 20,7 mW. Hasil ini diperoleh dari bunyi dengan *SPL* 105 dB pada frekuensi 92 Hz dan dengan menggunakan tabung resonator sepanjang 133 cm. Hasil tersebut sangat memuaskan apabila dibandingkan dengan hasil-hasil yang ada dalam referensi Pillai & Deenadayalan (2014) bahwa beberapa peneliti memperoleh daya listrik 20 mW – 30 mW dari bunyi dengan *SPL* 151 dB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, yang telah memberikan dukungan dana bagi terlaksananya penelitian ini melalui Program Hibah Penelitian Dosen tahun 2017.

memperoleh hasil sekitar 20 mW – 30 mW dari bunyi dengan *SPL* 151 dB.

Hasil-hasil tersebut di atas memberi setidaknya dua informasi dari manfaat penggunaan resonator. Pertama, penggunaan resonator dapat memunculkan beberapa puncak nilai V_{rms} dan P_{rms} pada frekuensi-frekuensi yang berbeda sehingga kita dapat memanfaatkan resonator untuk memilih frekuensi-frekuensi operasi dengan daya listrik keluaran yang maksimal. Kedua, penggunaan resonator dapat meningkatkan secara cukup signifikan daya listrik yang dihasilkan oleh *loudspeaker* pengkonversi.

DAFTAR PUSTAKA

- Dornfeld, D.A. 2012. *Green Manufacturing: Fundamentals and Application*. Springer, Bab 1, hal. 289
- Jaworski, A.J. & Mao, X. 2013. *Development of Thermoacoustic Devices for Power Generation and Refrigeration*. Proc. IMechE Part A: J. Power and Energy, Vol. 227 No. 7, hal. 762-782
- Kang, H., Cheng, P., Yu, Z. & Zheng, H. 2015. *A Two-Stage Traveling-Wave Thermoacoustic Electric Generator With Loudspeakers as Alternators*. Applied Energy Vol. 137, hal. 9-17
- Li, B. 2015. *A Short Review of Piezoelectricity-based vibration and acoustic energies harvesting*. Innovative Energy & Research, Vol. 4 No. 3, 1000e113
- Nechibvute, A., Chawanda, A., & Luhanga, P. 2012. *Piezoelectric Energy Harvesting Devices: An Alternatif Energy Source for Wireless Sensors*. Smart Materials Research, Vol. 2012. Article ID.853481
- Pillai, M.A. & Deenadayalan, E. 2014. *A Review of Acoustic Energy Harvesting*. International Journal of Precision Engineering And Manufacturing, Vol. 15 No. 5, hal. 949-965
- Rimantho, D. & Cahyadi, B. 2015. *Analisis Kebisingan Terhadap Karyawan di Lingkungan Kerja Pada Beberapa Jenis*

- Perusahaan*. Jurnal Teknologi, Vol 7
- Serrit, S. 2008. *The Physical Acoustic of Energy Harvesting*. Proc. IEEE International Ultrasonics Symposium, hal. 1046-1055
- Sohn, C.H. & Park, J.H. 2011. *A Comparative Study on Acoustic Damping Induced by Half-Wave, Quarter-Wave, and Helmholtz Resonators*. Aerospace Science and Technology, Vol. 15, hal. 606-614
- Yu, Z., Jaworski, A.J. & Bachaus, S. 2010. *A Low-Cost Electricity Generator for Rural Areas Using a Travelling-Wave Looped-Tube Thermoacoustic Engine*. No. 1, hal. 21-27
- Proc. IMechE Part A: J. Power and Energy, Vol. 224 No. 6, hal. 787-795
- Yu, Z., Saechan, P. & Jaworski, A.J. 2011. *A Methode of Characterising Performance of Audio Loudspeakers for Linear Alternator Applications in Low-Cost Thermoacoustic Electricity Generators*. Applied Acoustics, Vol. 72, hal. 260-267.
- Khan, F.U. & Izhar 2015. *State of The Art in Acoustic Energy Harvesting*. Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 25, 023001