

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

Agus Afif Maulana¹ dan Ikhsan Setiawan

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada Sekip Utara BLS 21, Yogyakarta 55281, Indonesia

¹Email : agus.afif.m@mail.ugm.ac.id

Abstract: *This paper discusses the effect of adding a magnification funnel on acoustic resonator to the output electric power of a loudspeaker-based acoustic energy harvester. This experiment uses quarter wavelength resonators made of PVC pipes with a diameter of 4-inch (9.8 cm) and 4 variations in length: 68 cm, 88 cm, 102 cm, and 136 cm. A 4-inch diameter subwoofer type loudspeaker is used as acoustic transducer and installed at the one end of the resonator. Magnification funnels are made of 4-inch×8-inch PVC sockets and installed at the open end of the resonator. The effect of two different configurations of funnel installation on the output power are studied. In the first type, the funnel is installed without increasing the total length of the overall resonator. In the second type, the funnel is installed so that the resonator length increases by 14 cm. The experiment are carried out by giving sound with SPL of 90 dB in the frequency range of 26 Hz - 200 Hz and measuring the rms voltage on a 13.8 ohm load resistor. The experiment shows that adding the funnel using the second type configuration can increase the output power. It is found that the highest rms output electrical power is 1.06 mW which is obtained at 60 Hz sound frequency with 102 cm resonator length and by using the second type configuration of funnel installation.*

Keywords: *acoustic energy harvester, loudspeaker, acoustic resonator, magnification funnel, electrical power.*

Abstrak: Makalah ini membahas tentang pengaruh penambahan corong perbesaran pada resonator akustik terhadap daya listrik output alat pemanen energi akustik berbasis loudspeaker. Resonator yang digunakan adalah resonator seperempat panjang gelombang yang terbuat dari pipa PVC berdiameter 4-inci (9,8 cm) yang divariasikan dalam 4 variasi ukuran panjang yaitu 68 cm, 88 cm, 102 cm, dan 136 cm. Loudspeaker jenis subwoofer berdiameter 4-inci digunakan sebagai transduser akustik dan dipasang pada salah satu ujung resonator. Corong perbesaran terbuat dari soket PVC berukuran 4-inci×8-inci dipasang pada ujung resonator terbuka. Diteliti dua macam konfigurasi pemasangan corong pada resonator dan dibandingkan dengan resonator tanpa corong untuk setiap variasi panjang resonator. Pada konfigurasi pertama, corong dipasang tanpa menambah panjang resonator keseluruhan. Pada konfigurasi kedua, corong dipasang sehingga menambah panjang resonator sepanjang 14 cm. Eksperimen dilakukan dengan memberikan bunyi dengan SPL 90 dB dalam rentang frekuensi dari 26 Hz sampai 200 Hz dan mengukur tegangan rms pada resistor beban 13,8 ohm. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan corong perbesaran dengan konfigurasi kedua dapat memperbesar daya listrik output alat pemanen energi akustik. Daya listrik rms terbesar yang diperoleh adalah 1,06 mW pada frekuensi bunyi 60 Hz dengan panjang resonator 102 cm dan penambahan corong menggunakan konfigurasi kedua.

Kata Kunci : pemanen energi akustik, loudspeaker, resonator akustik, corong perbesaran, daya listrik.

1. PENDAHULUAN

Konsumsi listrik per kapita di Indonesia dari tahun 2012 hingga 2017 terus mengalami peningkatan setiap tahunnya (Triboesono, 2018). Meningkatnya konsumsi listrik ini jika tidak segera diatasi dapat mengancam ketersediaan energi fosil yang ada. Dalam upaya untuk mengatasi ketersediaan energi fosil yang terbatas, berbagai macam sumber energi alternatif telah dikembangkan beberapa tahun belakangan ini, meliputi energi angin, energi panas bumi, energi air, energi cahaya matahari, energi biokimia, dll. Meskipun begitu masih banyak sumber energi di lingkungan sekitar yang kurang diperhatikan sehingga pengembangannya masih belum optimal, salah satunya adalah energi bunyi (akustik). Li dkk. (2013) menyatakan bahwa apabila dibandingkan dengan sumber energi yang lain, energi akustik merupakan energi bersih, terbarukan, dan berada hampir ada di segala tempat. Pillai dan Deenadayan (2014) menginformasikan berbagai sumber dan tingkat kebisingan di lingkungan sekitar seperti kebisingan jalan raya (80-90 dB), mesin-mesin pabrik dan konser musik (120 dB), mesin jet pesawat terbang di bandar udara (140 dB), nada panggil telepon (80 dB), peluit kereta (90 dB), bor tangan (98 dB), sepeda motor dan laju mobil (100 dB), granat setrum (170-180 dB). Meningkatnya industri serta kendaraan bermotor yang ada saat ini menunjukkan banyaknya kebisingan yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang ramah lingkungan.

Alat pemanen energi akustik (*acoustic energy harvester*) merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi gelombang akustik dari lingkungan menjadi energi listrik menggunakan sebuah transduser akustik. Adapun transduser akustik yang sering digunakan ialah transduser piezoelektrik, transduser elektromagnetik, dan transduser elektrostatis (Hassan dkk., 2014). Salah satu contoh transduser elektromagnetik adalah *loudspeaker*, karena dapat mengkonversi energi bunyi menjadi energi listrik menggunakan prinsip perubahan fluks magnet sebagai akibat dari pergerakan koil dalam medan magnetik sehingga menghasilkan listrik.

Transduser akustik dalam alat pemanen energi akustik biasanya dipasang pada resonator akustik yang berguna untuk meningkatkan amplitudo tekanan gelombang bunyi pada frekuensi tertentu yang akan diterima oleh transduser akustik tersebut. Adapun resonator akustik yang biasanya digunakan adalah resonator Helmholtz, resonator setengah panjang gelombang, dan resonator seperempat panjang gelombang (Sohn dan Park, 2011).

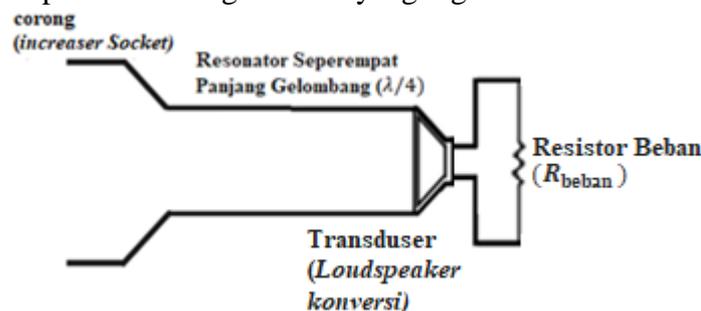
Di Indonesia telah dilakukan beberapa penelitian pengembangan alat pemanen energi akustik berbasis *loudspeaker*. Fatikasari (2018) telah melakukan eksperimen alat pemanen energi akustik tanpa resonator dengan melakukan variasi jenis *loudspeaker* dan ukuran diameter *loudspeaker*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat tekan bunyi, daya listrik yang diperoleh cenderung bertambah secara eksponensial. Hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa semakin besar diameter *loudspeaker* maka daya listrik yang dihasilkan juga semakin besar dan daya listrik maksimum diperoleh menggunakan *loudspeaker* jenis *full range* berdiameter nominal 10 inci. Semakin besar diameter *loudspeaker* berarti semakin besar pula luas daerah penangkapan gelombang bunyi oleh alat pemanen energi akustik. Sifa (2018) melakukan eksperimen alat pemanenan energi akustik berbasis *loudspeaker* menggunakan resonator seperempat panjang gelombang dengan melakukan variasi panjang resonator yaitu 21 cm, 31 cm, 58 cm, 85 cm, 112 cm, dan 139 cm. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa terdapat dua resonator dengan panjang optimum yaitu 85 cm dan 112 cm. Daya listrik yang dihasilkan menggunakan resonator berukuran 85 cm adalah $(0,44 \pm 0,06)$ mW pada frekuensi optimum 42 Hz dan daya listrik yang dihasilkan menggunakan resonator berukuran 112 cm adalah $(0,28 \pm 0,01)$ mW. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa ketika frekuensi diri (resonansi) tabung resonator mendekati frekuensi diri *loudspeaker*, daya listrik yang dihasilkan lebih maksimal.

Kedua penelitian tersebut di atas menunjukkan bahwa panjang resonator dan luas daerah penangkapan gelombang bunyi sangat berpengaruh terhadap daya listrik keluaran yang dihasilkan oleh alat pemanen energi akustik. Namun semakin panjang resonator dan semakin besar luas daerah penangkapan gelombang bunyi akan membuat biaya pengadaan dan pembuatan alat menjadi lebih mahal. Oleh karena itu, dalam makalah ini akan dipaparkan hasil eksperimen pemanenan energi akustik menggunakan resonator seperempat panjang gelombang berbasis *loudspeaker* dengan memperbesar luas daerah penangkapan gelombang bunyi tanpa merubah ukuran diameter *loudspeaker* dan resonator, yaitu melalui penambahan corong pada ujung resonator yang terbuka. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan corong pada resonator terhadap besar daya listrik yang dihasilkan oleh alat pemanen energi akustik untuk berbagai panjang resonator akustik.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pembuatan Alat Pemanen Energi Akustik

Alat pemanen energi akustik yang digunakan terdiri dari sebuah *loudspeaker* konversi, resonator lurus seperempat panjang gelombang ($\lambda/4$) dan corong perbesaran sebagai variasi yang akan diteliti pada penelitian ini. *Loudspeaker* konversi yang digunakan sebagai transduser berjenis *subwoofer* yang memiliki diameter nominal 4 inci. Resonator seperempat panjang gelombang terbuat dari pipa *PVC* (*polyvinyl chloride*) dengan ukuran diameter yang sama dengan *loudspeaker* konversi. Pipa *PVC* dimodifikasi sedemikian sehingga *loudspeaker* pengkonversi dapat tepat masuk ke salah satu ujung resonator sehingga ujung resonator tersebut tertutup sempurna. Pipa disiapkan dalam beberapa potongan sehingga dapat digunakan dalam beberapa ukuran panjang yaitu 68 cm, 88 cm, 102 cm, dan 136 cm. Adapun Corong perbesaran yang digunakan terbuat dari *increaser* pipa *PVC* berukuran 4 inci \times 8 inci dengan ukuran panjang 14 cm yang dipasang pada ujung terbuka resonator. Gambar 1 menunjukkan skema alat pemanen energi akustik yang digunakan.

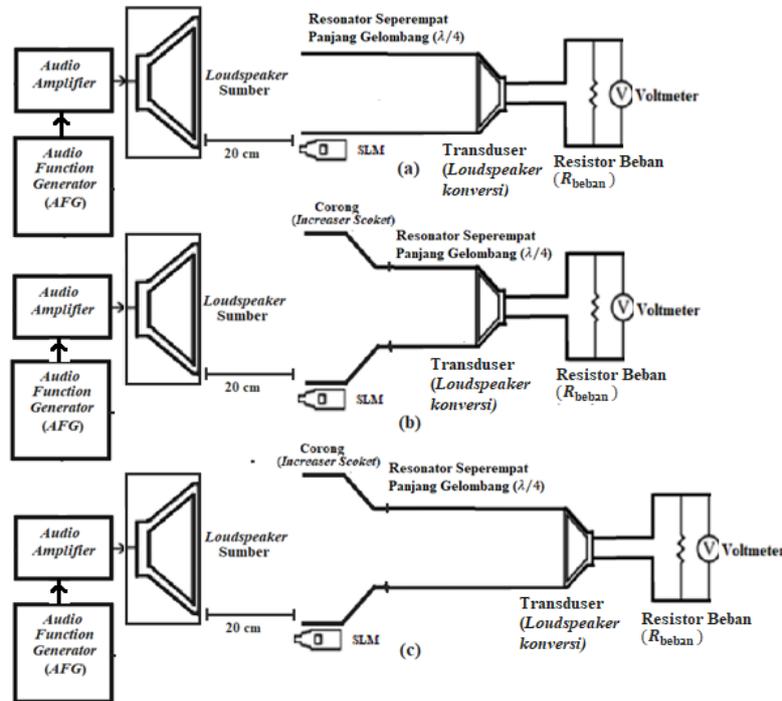


Gambar 1. Skema alat pemanen energi akustik

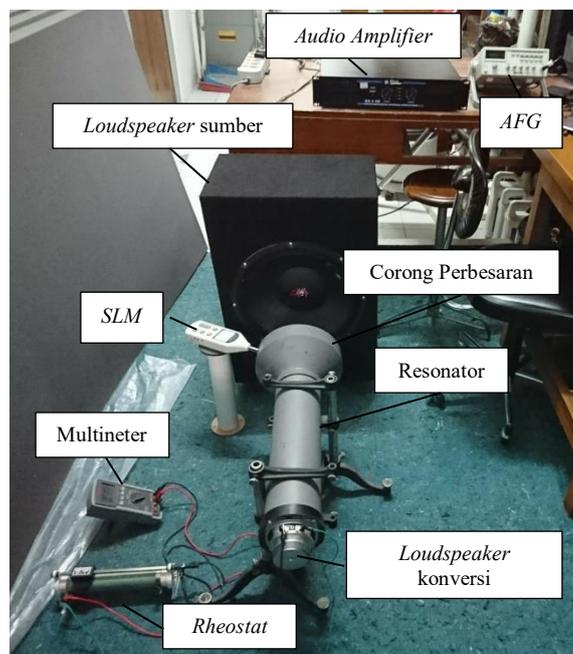
2.2. Eksperimen dan Analisis Data

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di laboratorium dengan mengukur besar daya listrik yang dihasilkan alat pemanen energi akustik menggunakan resonator, baik tanpa penambahan corong maupun dengan penambahan corong. Dalam hal ini eksperimen dengan penambahan corong pada resonator dilakukan dalam dua konfigurasi penyusunan. Gambar 2 menunjukkan skema susunan alat pemanen energi akustik yang digunakan. Skema penyusunan alat pemanen energi akustik pada eksperimen menggunakan resonator tanpa penambahan corong ditunjukkan oleh gambar 2(a). Adapun skema penyusunan alat pemanen energi akustik menggunakan dua konfigurasi penambahan corong pada resonator ditunjukkan oleh gambar 2(b) dan 2(c). Gambar 2(b) menunjukkan skema alat pemanen energi akustik

menggunakan konfigurasi pertama, dimana corong dipasang tanpa menambah panjang resonator semula dan gambar 2(c) menunjukkan skema alat pemanen energi akustik menggunakan konfigurasi kedua, dimana corong dipasang sehingga menambah panjang resonator semula sepanjang 14 cm. Eksperimen tersebut dilakukan pada 4 variasi ukuran panjang resonator yaitu 68 cm, 88 cm, 102 cm, dan 136 cm.



Gambar 2. Skema susunan alat pemanen energi akustik yang digunakan dalam eksperimen.



Gambar 3. Setup alat pemanen energi akustik yang digunakan saat eksperimen.

Gambar 3 menunjukkan *setup* alat eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini. Sebuah unit *AFG* berfungsi untuk membangkitkan sinyal listrik audio sinusoidal dan digunakan untuk mengatur variasi frekuensi bunyi. Kemudian sinyal tersebut diperkuat oleh unit *audio amplifier* yang selanjutnya diberikan ke *loudspeaker* sumber berukuran diameter nominal 15 inci untuk menghasilkan gelombang bunyi. Tingkat tekanan bunyi diatur menggunakan *audio amplifier* dan nilai tekanan bunyi pada jarak tertentu dapat diukur menggunakan *sound level meter (SLM)*. Ujung resonator terbuka dihadapkan pada *loudspeaker* sumber pada jarak 20 cm. Dalam hal ini, *SLM* ditempatkan berdampingan dengan ujung terbuka resonator. Sebuah *loudspeaker* konversi pada ujung resonator digunakan untuk mengubah gelombang bunyi yang diterimanya menjadi arus listrik bolak-balik yang melewati sebuah resistor beban sehingga menghasilkan tegangan pada ujung resistor beban. Resistor beban yang digunakan adalah sebuah *rheostat* (hambatan geser) yang besarnya telah diatur sebesar $R_{\text{beban}} = 13,8 \Omega$, dimana sebelumnya telah dilakukan eksperimen penentuan resistansi optimum yang hasilnya akan dijelaskan lebih rinci pada bagian hasil dan pembahasan. Tegangan *rms* (V_{rms}) pada ujung resistor beban kemudian diukur menggunakan multimeter digital (*volt-meter*).

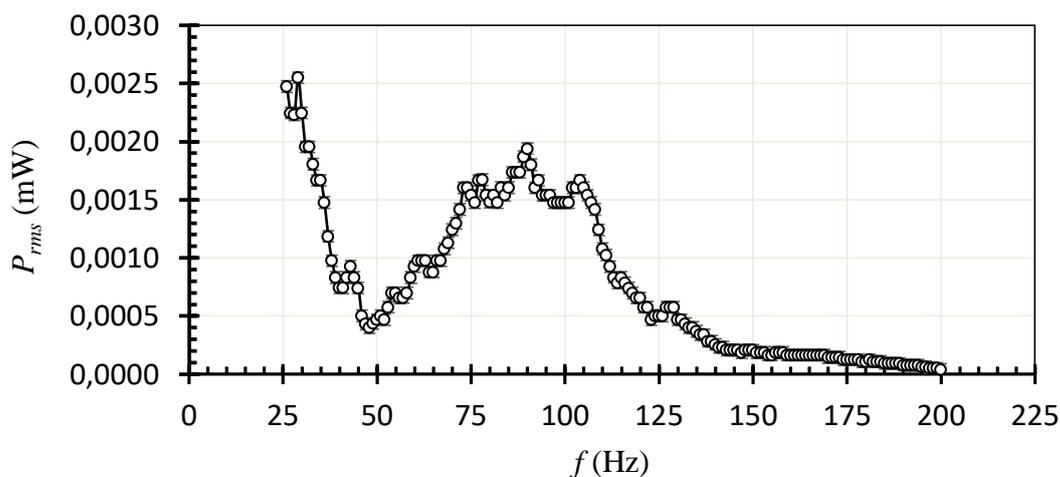
Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan frekuensi bunyi dari 26 Hz sampai dengan 200 Hz untuk setiap kenaikan frekuensi 1 Hz. Tingkat tekanan bunyi (*SPL*) diatur tetap sebesar 90 dB. Adapun besar daya listrik keluaran *rms* (P_{rms}) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$P_{\text{rms}} = \frac{V_{\text{rms}}^2}{R_{\text{beban}}}. \quad (1)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penentuan Frekuensi Optimum Loudspeaker

Eksperimen penentuan frekuensi optimum dari *loudspeaker* konversi dilakukan tanpa menggunakan resonator. Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan frekuensi bunyi dari 26 Hz sampai dengan 200 Hz untuk setiap kenaikan frekuensi 1 Hz. Tingkat tekanan bunyi (*SPL*) diatur tetap sebesar 90 dB.



Gambar 4. Daya listrik keluaran *rms* yang dihasilkan oleh *loudspeaker* konversi dalam eksperimen penentuan frekuensi optimum dengan *SPL* tetap 90 dB pada frekuensi bunyi dalam rentang 26 Hz – 200 Hz.

Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran daya listrik *rms* (P_{rms}) yang diperoleh dalam eksperimen penentuan frekuensi optimum. Pada gambar tersebut tampak bahwa terdapat 2 puncak tertinggi yaitu pada frekuensi 29 Hz dan 90 Hz dengan nilai P_{rms} secara berurutan sebesar 0,0025 mW dan 0,0019 mW. Kedua frekuensi optimum tersebut digunakan untuk memperkirakan panjang optimum resonator menggunakan persamaan berikut

$$L_{opt} = \frac{v}{4f_{opt}} \tag{2}$$

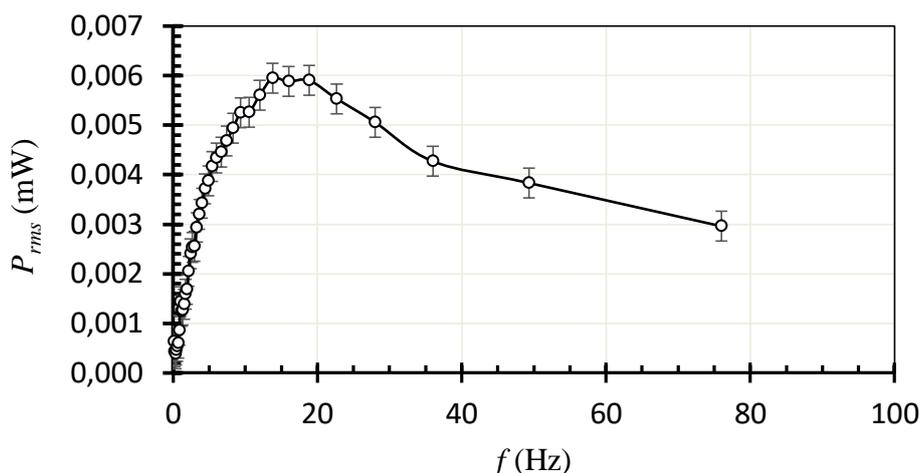
Panjang optimum resonator ditentukan agar frekuensi diri resonator berada dalam daerah frekuensi optimum *loudspeaker* konversi sehingga daya keluaran yang dihasilkan dapat menjadi lebih besar. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa panjang optimum resonator disekitar 300 cm untuk frekuensi 29 Hz dan 96 cm untuk frekuensi 90 Hz.

3.2. Penentuan Resistansi Beban Optimum

Penggunaan beban listrik (R_{beban}) optimum pada saat pengujian alat pemanen energi akustik diharapkan mampu menghasilkan daya listrik keluaran *rms* (P_{rms}) yang maksimal, sehingga perlu dilakukan eksperimen penentuan resistansi optimum.

Eksperimen penentuan resistansi optimum ini dilakukan tanpa menggunakan resonator pada frekuensi optimum yaitu 90 Hz. Sebuah *rheostat* (hambatan geser) yang memiliki rentang resistansi 0 Ω – 100 Ω digunakan sebagai resistor beban (R_{beban}). *Rheostat* disusun secara paralel dengan resistansi koil *loudspeaker* konversi (R_{lk}) sehingga terbentuk resistansi paralel (R_p). Selanjutnya dilakukan pengambilan data dengan memvariasikan besar resistansi paralel (R_p) dari 0,1 Ω sampai dengan 3,8 Ω melalui resistor beban (R_{beban}) dengan menggunakan hambatan geser. Besar nilai resistansi paralel dan tegangan *rms* (V_{rms}) pada ujung resistor beban dapat diukur menggunakan multimeter (ohm-meter) digital. Besar resistansi beban dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$R_{beban} = \frac{R_p R_{lk}}{R_{lk} - R_p} \tag{3}$$



Gambar 5. Daya listrik keluaran *rms* yang dihasilkan *loudspeaker* konversi dalam eksperimen penentuan resistansi beban optimum dengan *SPL* tetap 90 dB pada frekuensi tetap 90 Hz.

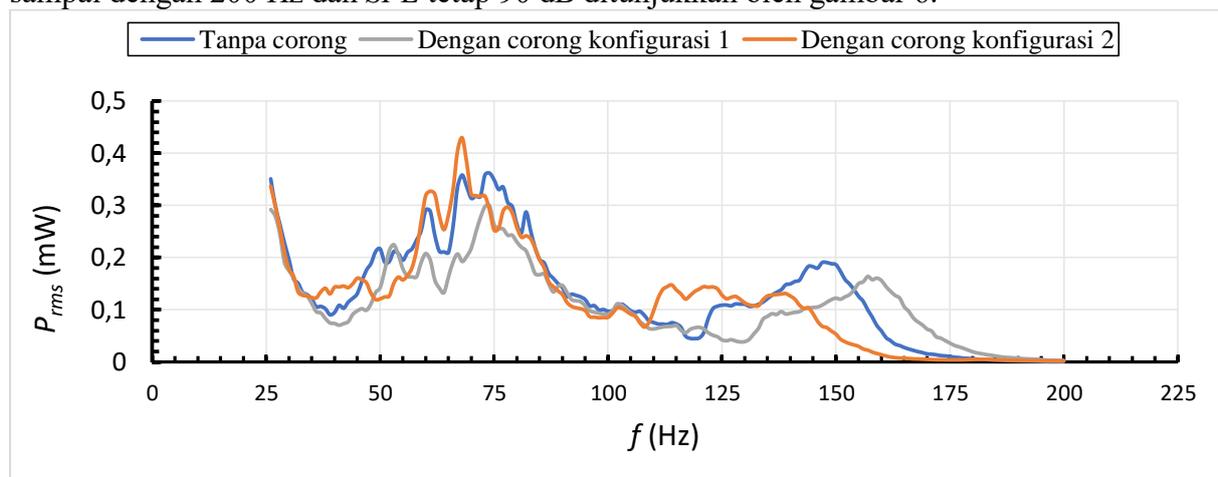
Hasil pengukuran daya listrik keluaran rms (P_{rms}) dalam eksperimen penentuan resistansi optimum dengan SPL tetap sebesar 90 dB dan frekuensi bunyi tetap sebesar 90 Hz ditunjukkan oleh Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut, hasil pengukuran daya listrik rms (P_{rms}) untuk variasi resistansi menunjukkan pola grafik yang terus meningkat dan mengalami penurunan setelah mencapai puncak maksimum. Nilai resistansi beban optimum yang diperoleh yaitu 13,8 Ω dengan menghasilkan daya listrik rms (P_{rms}) sebesar 0,006 mW. Besar nilai resistansi optimum sebesar 13,8 Ω ini yang selanjutnya digunakan sebagai resistansi beban dalam eksperimen pengaruh penambahan corong pada resonator akustik.

3.3. Pengujian Alat Pemanen Energi Akustik dengan Penambahan Corong Perbesaran Pada Resonator

Eksperimen uji pengaruh penambahan corong perbesaran dilakukan pada 4 variasi panjang resonator yaitu 68 cm, 88 cm, 102 cm, dan 136 cm. Setiap variasi panjang diuji menggunakan resonator baik tanpa penambahan corong maupun dengan penambahan corong seperti dijelaskan pada bagian eksperimen dan analisis data.

3.3.1. Variasi panjang resonator 68 cm

Hasil eksperimen pengukuran daya listrik rms dari alat pemanen energi akustik menggunakan resonator dengan ukuran panjang 68 cm pada rentang frekuensi bunyi 26 Hz sampai dengan 200 Hz dan SPL tetap 90 dB ditunjukkan oleh gambar 6.

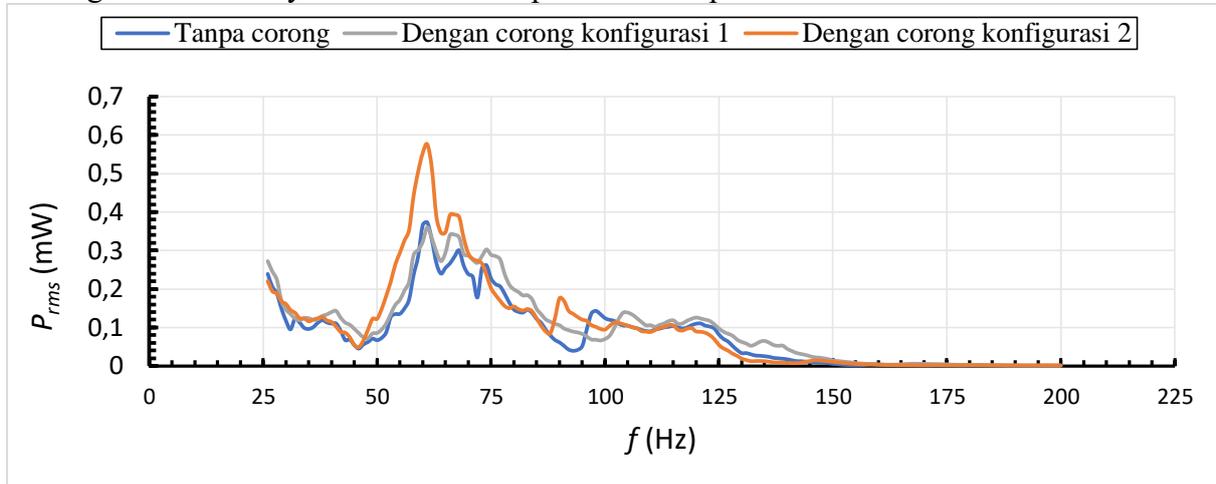


Gambar 6. Daya listrik yang dihasilkan alat pemanen energi akustik menggunakan resonator dengan panjang 68 cm pada rentang frekuensi bunyi 26 Hz – 200 Hz dan SPL tetap 90 dB.

Hasil pengukuran daya listrik yang diperoleh menggunakan resonator tanpa penambahan corong dan dengan penambahan corong dalam dua konfigurasi menunjukkan pola yang hampir sama. Daya listrik maksimum yang diperoleh menggunakan resonator tanpa penambahan corong adalah 0,36 mW pada frekuensi bunyi 74 Hz. Penambahan corong perbesaran pada resonator menggunakan konfigurasi pertama rata-rata membuat daya listrik yang dihasilkan alat pemanen energi akustik menjadi lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan resonator tanpa penambahan corong. Daya listrik maksimum yang diperoleh dengan penambahan corong pada resonator menggunakan konfigurasi pertama adalah 0,30 mW pada frekuensi bunyi 74 Hz. Adapun penambahan corong menggunakan konfigurasi kedua dapat meningkatkan daya listrik yang dihasilkan alat pemanen energi akustik. Daya listrik maksimum yang diperoleh menggunakan konfigurasi kedua adalah 0,43 mW pada frekuensi bunyi 68 Hz.

3.3.2. Variasi panjang resonator 88 cm

Variasi selanjutnya adalah resonator dengan ukuran panjang 88 cm. Gambar 7 menunjukkan hasil pengukuran daya listrik yang dihasilkan alat pemanen energi akustik pada rentang frekuensi bunyi 26 Hz – 200 Hz pada SPL tetap 90 dB.

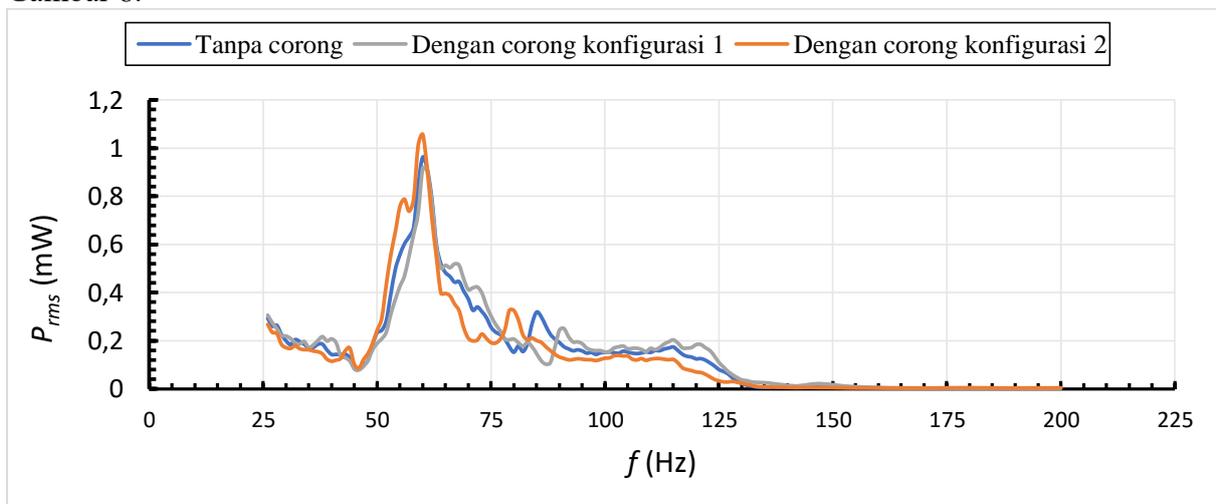


Gambar 7. Daya listrik yang dihasilkan alat pemanen energi akustik menggunakan resonator dengan panjang 88 cm pada rentang frekuensi bunyi 26 Hz – 200 Hz dan SPL tetap 90 dB.

Berdasarkan gambar 7, pola daya listrik yang dihasilkan oleh setiap variasi penambahan corong perbesaran cenderung hampir sama. Daya maksimum yang diperoleh menggunakan resonator tanpa penambahan corong adalah 0,37 mW pada frekuensi bunyi 61 Hz. Adapaun daya maksimum yang diperoleh menggunakan resonator dengan penambahan corong yang disusun sesuai konfigurasi pertama dan kedua secara berurutan adalah 0,36 pada frekuensi bunyi 61 Hz dan 0,58 pada frekuensi bunyi 61 Hz.

3.3.3. Variasi panjang resonator 102 cm

Hasil Pengukuran daya listrik rms menggunakan variasi resonator dengan ukuran panjang 102 cm pada rentang frekuensi bunyi 26 Hz – 200 Hz dan SPL tetap 90 dB ditunjukkan oleh Gambar 8.

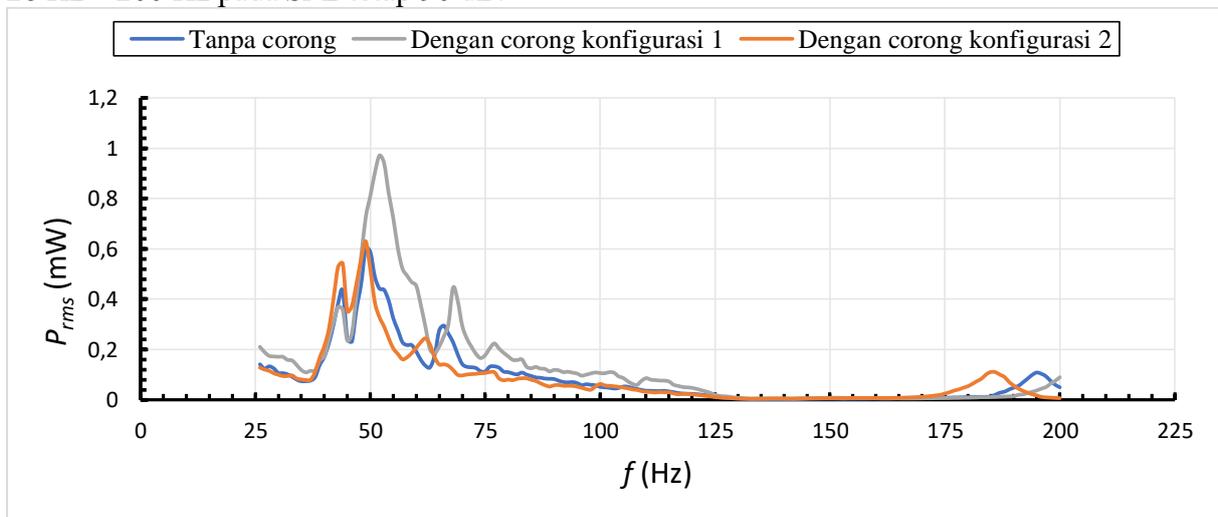


Gambar 8. Daya listrik yang dihasilkan alat pemanen energi akustik menggunakan resonator dengan panjang 102 cm pada rentang frekuensi bunyi 26 Hz – 200 Hz dan SPL tetap 90 dB.

Gambar 8 menunjukkan pola hasil pengukuran daya listrik rms yang cenderung sama untuk setiap variasi. Terdapat 1 puncak tertinggi yang menunjukkan daya listrik maksimum untuk masing-masing variasi. Daya listrik maksimum yang diperoleh menggunakan resonator tanpa penambahan corong dan dengan penambahan corong menggunakan konfigurasi pertama serta kedua secara berurutan adalah 0,96 mW pada frekuensi bunyi 60 Hz, 0,92 mW pada frekuensi bunyi 60 Hz, dan 1,06 mW pada frekuensi bunyi 60 Hz.

3.3.4. Variasi panjang resonator 136 cm

Resonator dengan ukuran panjang 136 cm merupakan variasi terpanjang. Gambar 9 menunjukkan hasil pengukuran daya listrik rms yang dihasilkan menggunakan resonator baik tanpa penambahan corong maupun dengan penambahan corong pada rentang frekuensi bunyi 26 Hz – 200 Hz pada SPL tetap 90 dB.



Gambar 9. Daya listrik yang dihasilkan alat pemanen energi akustik menggunakan resonator dengan panjang 136 cm pada rentang frekuensi bunyi 26 Hz – 200 Hz dan SPL tetap 90 dB.

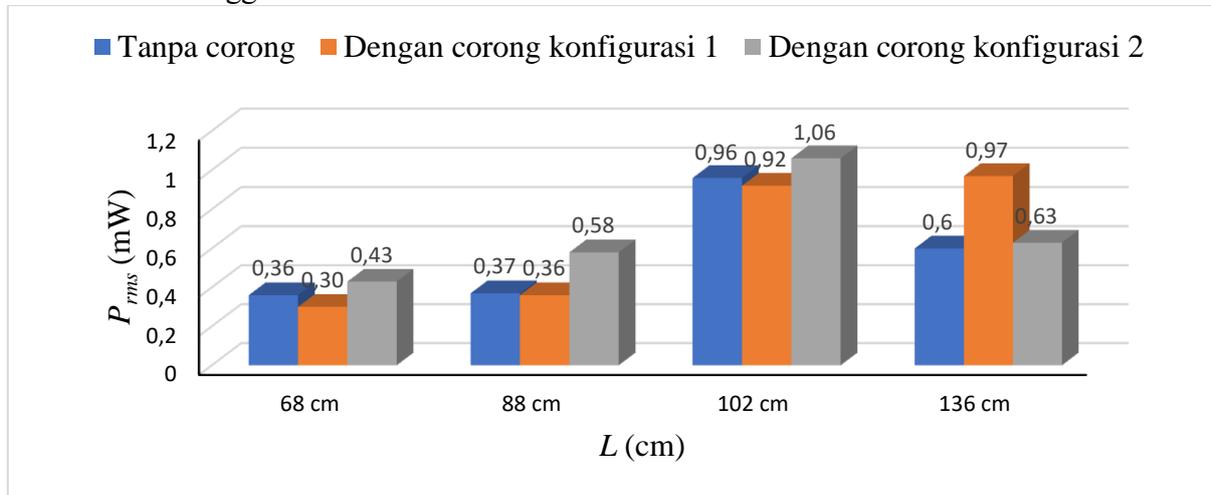
Gambar 9 menunjukkan bahwa pada variasi panjang 136 cm juga menghasilkan pola daya listrik rms yang cenderung sama. Daya listrik yang dihasilkan untuk masing-masing variasi penyusunan alat pemanen energi akustik adalah 0,60 mW pada frekuensi bunyi 49 Hz untuk penggunaan resonator tanpa corong, 0,97 mW pada frekuensi bunyi 52 Hz untuk penggunaan konfigurasi pertama, dan 0,63 mW pada frekuensi bunyi 49 Hz untuk penggunaan konfigurasi kedua.

3.4. Perbandingan Daya Listrik rms Maksimum setiap Variasi Panjang

Perbandingan daya listrik maksimum yang dihasilkan alat pemanen energi akustik untuk setiap variasi panjang resonator baik tanpa penambahan corong maupun dengan penambahan corong ditunjukkan oleh gambar 10.

Hasil pengukuran daya listrik maksimum yang diperoleh pada setiap variasi panjang resonator menunjukkan bahwa penambahan corong perbesaran menggunakan konfigurasi kedua dapat memperbesar daya listrik maksimum yang dihasilkan alat pemanen energi akustik jika dibandingkan dengan penggunaan resonator tanpa penambahan corong perbesaran. Sedangkan penambahan corong perbesaran menggunakan konfigurasi pertama membuat daya listrik maksimum yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Namun terdapat perbedaan pada variasi resonator dengan ukuran panjang 136 cm, dimana daya listrik maksimum yang diperoleh menggunakan konfigurasi pertama lebih tinggi dari pada

konfigurasi kedua ataupun tanpa penambahan corong. Hal ini berbeda dengan variasi panjang resonator yang lain, dimana penggunaan konfigurasi kedua menghasilkan daya listrik maksimum tertinggi.



Gambar 10. Perbandingan daya listrik rms maksimum setiap variasi panjang resonator.

Gambar 10 juga menunjukkan bahwa daya listrik *rms* terbesar yang diperoleh alat pemanen energi akustik, baik tanpa penambahan corong maupun dengan penambahan corong berada pada variasi panjang resonator 102 cm. Hal ini menunjukkan bahwa panjang 102 cm merupakan panjang optimum resonator akustik yang digunakan dalam penelitian ini. Hal ini bisa disebabkan karena frekuensi resonansi orde pertama resonator tersebut diperkirakan sekitar 85 Hz sehingga mendekati frekuensi resonansi *loudspeaker* konversi yaitu sekitar 90 Hz.

4. Kesimpulan

Hasil-hasil eksperimen dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan corong perbesaran pada resonator seperempat panjang gelombang ($\lambda/4$) memengaruhi daya listrik *rms* yang dihasilkan alat pemanen energi akustik. Penambahan corong menggunakan konfigurasi kedua dapat memperbesar daya listrik *rms* yang dihasilkan alat pemanen energi akustik, sedangkan penambahan corong menggunakan konfigurasi pertama sebaliknya. Daya listrik maksimum yang diperoleh adalah 1,06 mW pada frekuensi bunyi 60 Hz dalam penggunaan variasi resonator dengan ukuran panjang optimum sebesar 102 cm yang disusun menggunakan konfigurasi kedua.

5. Saran

Penelitian ini memberikan informasi bahwa penambahan corong perbesaran pada resonator seperempat panjang gelombang memberikan pengaruh terhadap daya listrik *rms* yang dihasilkan oleh alat pemanen energi akustik. Adapun penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan uji terhadap beberapa ukuran corong perbesaran agar pengaruh corong perbesaran dapat diketahui secara lebih dalam.

DAFTAR PUSTAKA

Fatikasari, T. (2018). Uji Eksperimental Kemampuan Berbagai Loudspeaker Komersial Sebagai Pengkonversi Energi Bunyi Menjadi Energi Listrik Untuk Aplikasi Alat Pemanen Energi Akustik. *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Hassan, F.H., Idris, Syed, S.H., dan Rahim, R.A. (2014). Acoustic Energy Harvesting Using Piezoelectric Generator for Low Frequency Sound Waves Energy Conversion. *International Journal of Engineering and Technology*, 5, 6, 4702-4707.
- Li, B., Laviage, A. J., You, J.H., dan Kim, Y.J. (2013), Harvesting low-frequency acoustic energy using multiple *PVDF* beam arrays in quarter-wavelength acoustic resonator. *Applied Acoustics*, 74, 1271–1278.
- Pillai, M. A., and Deenadayalan, E. (2014), A Review of Acoustic Energy Harvesting. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 5, 15, 949-965.
- Sifa, M. (2018), Studi Eksperimental Pengaruh Panjang Resonator Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan Oleh Alat Pemanen Energi Akustik Berbasis Loudspeaker. *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sohn, C.H., dan Park, H.J. (2011), A comparative study on acoustic damping induced by half-wave, quarter-wave, and Helmholtz resonators. *Aerospace Science and Technology*, 15, 8, 606614.
- Triboesono, A. (2018), *Statistik Ketenagalistrikan 2017 Edisi No. 31 Tahun Anggaran 2018*, Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta Selatan.