

Rancang Bangun Sistem *Energy Harvesting* di Ruang Bising Menggunakan Piezoelektrik Array

Hajiar Yuliana, Rady Yusaniar, dan Yuda Bakti Zainal

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id, radyusaniar@gmail.com

Abstrak

Makalah ini membahas rancang bangun sistem *energy harvesting*, yaitu suatu teknik pemanenan energi yang memanfaatkan sumber energi dari kebisingan yang dihasilkan mesin *winder* di sebuah pabrik pemintalan benang. Pemanenan energi menggunakan *transducer* berupa piezoelektrik array. Piezoelektrik array terdiri dari susunan seri dari 24 piezoelektrik yang ditempatkan pada osilator berbentuk *cantilever beam*. Osilator terbuat dari bahan nilon dengan panjang yang disesuaikan dengan frekuensi suara bising mesin *winder*. Sistem yang dibangun diuji pada ruangan produksi pabrik pemintalan benang dengan tingkat kebisingan suara sebesar 95,8 dBA. Keluaran dari hasil rancang bangun tersebut mampu menghasilkan sinyal dengan nilai amplitudo maksimum sebesar 3,32 Vpp untuk frekuensi 50,42 Hz, dan daya maksimum sebesar 0,45 mili Watt pada daya terukur rata-rata sebesar 0,16 mW. Pengukuran tersebut dilakukan selama 1 jam, dan energi yang diperoleh sebesar 0,16 mWh. Dengan asumsi mesin beroperasi selama 10 jam per hari, energi yang dihasilkan dapat mencapai 1,6 mWh per hari. Dalam skala yang lebih besar, keluaran sistem *energy harvesting* yang diusulkan dalam penelitian ini dapat digunakan peralatan listrik berdaya rendah seperti pengisi baterai telepon seluler atau lampu penerangan darurat.

Kata kunci: *energy harvesting*, piezoelektrik array, ruang bising

Abstract

This paper discusses the design of an energy harvesting system, which is an energy harvesting technique that utilizes an energy source from the noise generated by winder machines in a yarn spinning mill. The energy harvesting used a transducer in the form of a piezoelectric array. A piezoelectric array consisted of a series of 24 piezoelectric arrays and placed on a cantilever beam oscillator. The oscillator was made from nylon with an adjustable length to noise frequency of the winder engine. The system tested in the yarn spinning mill production room with a sound level of 95.8 dBA. The output of the design was able to produce a signal with a maximum amplitude value of 3.32 Vpp for 50.42 Hz frequency, and this system had a maximum power of 0.45 milli Watt with an average measured power of 0.16 mW. The measurement was carried out for 1 hour, and the energy obtained was 0.16 mWh. Assuming the engine operates for 10 hours a day, the energy produced can reach 1.6 mWh per day. On a larger scale, the output of the energy harvesting system proposed in this study can be used as low-power electrical equipment such as cell phone battery chargers or emergency lighting.

Keywords: energy harvesting, piezoelectric, noisy

1. Pendahuluan

Energi yang tersedia di alam semesta merupakan sumber kehidupan bagi makhluk hidup terutama manusia. Pada hakikatnya energi yang tersedia tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, melainkan energi hanya dapat diubah bentuknya dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain. Salah satu bentuk energi yang sering ditemukan adalah energi suara atau bunyi. Energi bunyi tersebar pada rentang frekuensi 20 - 20.000 Hz yaitu berupa frekuensi audio (Abidin dkk, 2018). Pada daerah tertentu dapat dijumpai sumber suara atau bunyi yang melimpah, terutama pada industri yang biasanya menggunakan mesin produksi dengan intensitas suara yang cukup tinggi.

Kondisi daerah dengan sumber suara yang memiliki intensitas suara yang tinggi tersebut jika terjadi terus menerus, tentunya akan menciptakan kebisingan. Suara bising tersebut, walaupun umumnya diketahui hanya menimbulkan gangguan pada pendengaran, ternyata dapat dimanfaatkan untuk menjadi energi alternatif baru. Pemanfaatan kondisi bising dengan menggunakan teknik *energy harvesting* bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan daya listrik yang selanjutnya mungkin bisa dimanfaatkan dengan menggunakan komponen piezoelektrik untuk digunakan sebagai sumber energi pada peralatan dengan keperluan daya yang rendah, seperti penggunaan untuk charger handphone misalnya. Bahan piezoelektrik adalah suatu bahan yang apabila diberi *stress* (tekanan) mekanik akan menghasilkan medan listrik sebaliknya apabila medan listrik diterapkan pada bahan piezoelektrik akan terjadi deformasi mekanik (perubahan dimensi bahan). Sifat yang reversibel ini membuat material piezoelektrik dapat berfungsi sebagai transduser dan aktuator (Sharma, 2016)

Info Makalah:

Dikirim : 03-23-20;
Revisi 1 : 04-11-20;
Revisi 2 : 05-04-20;
Revisi 3 : 06-04-20;
Diterima : 06-18-20.

Penulis Korespondensi:

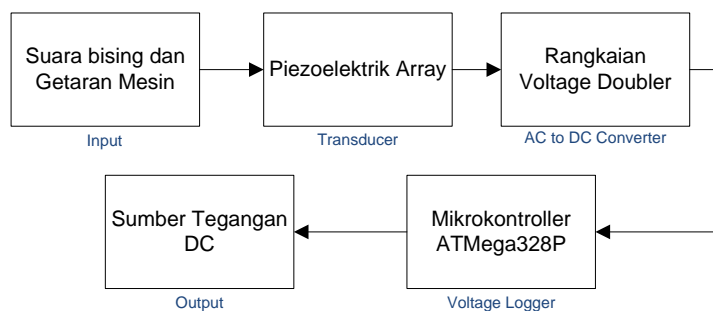
Telp : +62-812-22997113
e-mail : hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id

Sebelumnya, telah ada penelitian menggunakan teknik *energy harvesting* dari suara kendaraan yang melintas di jalanan (Attraction, n.d.) dan implementasi piezoelektrik dari sensor getaran atau gerakan dinamis (Anonim, n.d.). Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan bahwa suara-suara bising tersebut memiliki getaran yang dapat menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan sebagai energi alternatif. Walaupun daya yang dihasilkan hanya sekitar 0.5 miliWatt per detiknya. Melihat dari penelitian sebelumnya, penelitian ini dilakukan untuk membuat rancang bangun sistem *energy harvesting* dengan memanfaatkan suara bising dari mesin pabrik pemintalan benang yang akan menggunakan piezoelektrik yang disusun secara *array*. Diharapkan, dengan memanfaatkan dari hal tersebut, para pekerja disana tidak hanya mendapatkan suara bisingnya saja selama proses produksi, tetapi mereka pun dapat mendapatkan dan merasakan *energy* yang dihasilkan dari suara bising tersebut yang dapat dipergunakan untuk hal yang bermanfaat, misalkan untuk mengisi daya pada ponsel ataupun manfaat lainnya, tanpa harus tergantung pada kebutuhan listrik umum.

Pada tulisan ini, akan dibahas mengenai perancangan sebuah sistem *energy harvesting* yang berasal dari suara bising yang berasal dari mesin *winder* dan memanfaatkan komponen piezoelektrik *array*. Tulisan ini terdiri dari bagian metode yang membahas diagram blok sistem dari rancangan yang akan dibangun, kemudian perancangan yang perlu dilakukan untuk membangun sistem tersebut, dan tentunya menampilkan bentuk fisik dari rancangan tersebut. Selain itu, pada tulisan ini pun akan dibahas mengenai analisis dari hasil rancangan yang telah dibuat, mengenai hasil keluaran yang dihasilkan dan kesesuaian dari keluaran yang diharapkan.

2. Metode

Pada penelitian ini difokuskan pada rancang bangun sistem *energy harvesting* di ruang bising dengan memanfaatkan konsep *transducer* pada piezoelektrik *array*. Sumber bunyi bising sendiri dihasilkan dari kerja mesin *winder* yang jumlahnya cukup banyak di sebuah ruangan pabrik pemintalan benang. Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem.



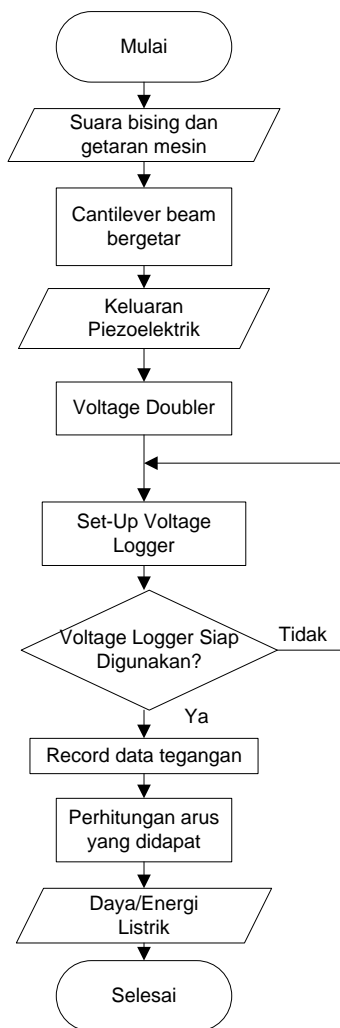
Gambar 1. Diagram Blok Sistem *Energy Harvesting* dengan Piezoelektrik Array

Piezoelektrik merupakan komponen elektronika yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik ataupun sebaliknya (Ahda & Mardiyanto, 2012). Pada penelitian ini, piezoelektrik disusun secara *array* yaitu piezoelektrik dengan ukuran dan spesifikasi yang sama dan kemudian disusun secara berjajar.

Piezoelektrik *array* ini disusun seri sebanyak 24 buah yang terbagi ke dalam masing-masing empat buah ditempelkan pada sebuah osilator berbahan dasar nilon berbentuk *cantilever beam* (Pratiwi, 2016). Dengan struktur batang panjang dan ramping, salah satu ujungnya dijepit dan satu ujung lainnya dapat bergerak bebas. Osilator ini dirancang untuk frekuensi suara yang dihasilkan oleh mesin *winder*. Suara dan getaran yang ditimbulkan oleh mesin *winder* mengakibatkan osilator ini bergetar, begitu pula piezoelektrik *array* yang terpasang padanya.

Piezoelektrik mampu menghasilkan tegangan AC akibat dari getaran *cantilever beam*. Tegangan AC kemudian dikonversi menjadi tegangan DC menggunakan rangkaian *voltage doubler* (Anonim, 2017). Selain dapat mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, rangkaian *voltage doubler* mampu menaikkan level tegangan AC masukannya. Tegangan output rangkaian *voltage doubler* mampu menghasilkan tegangan output DC sebesar $2 V_p$ dari tegangan input yang diberikan oleh piezoelektrik *array*.

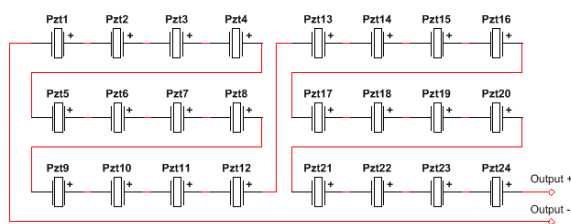
Pencatatan tegangan output rangkaian *voltage doubler* menggunakan mikrokontroler berbasis ATmega328P. Mikrokontroler digunakan untuk mencatat level tegangan *output* untuk mengurangi efek pengosongan muatan pada kapasitor apabila mengukur menggunakan multimeter. Data pencatatan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* disimpan dalam format *Comma Separated Value* (CSV) pada modul *MicroSD*. Gambar 2 menampilkan diagram alir proses rancang bangun sistem *energy harvesting* di ruang bising menggunakan piezoelektrik *array*.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Rancang Bangun Sistem *Energy Harvesting*

A. Perancangan Piezoelektrik Array

Rangkaian piezoelektrik *array* disusun secara seri sebanyak 24 buah untuk mendapatkan tegangan puncak maksimal. Masing-masing osilator menangani empat buah piezoelektrik yang dipasang seri, dengan begitu akan ada enam buah osilator yang terpasang sebagai *cantilever beam*. Gambar 3 menampilkan skema koneksi piezoelektrik *array* yang dipasang seri. Akan ada dua jalur *output* positif dan negatif yang selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian *voltage doubler* atau rangkaian pelipat tegangan.

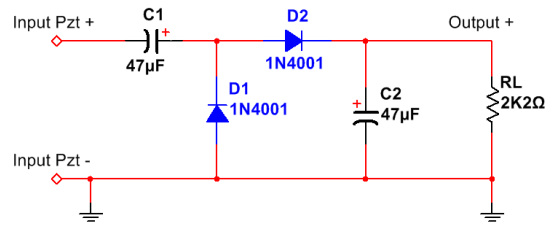


Gambar 3. Koneksi Piezoelektrik Array Seri

B. Perancangan Voltage Doubler

Sinyal yang dihasilkan oleh piezoelektrik *array* dikoneksikan dengan rangkaian *voltage doubler* atau rangkaian pelipat tegangan. Gambar 4 menunjukkan rangkaian *voltage doubler* yang digunakan pada sistem yang dibangun. Rangkaian *voltage doubler* menggunakan komponen dioda 1N4001 sebanyak dua buah sebagai *rectifier* dan untuk menghilangkan *ripple* menggunakan dua buah kapasitor 47 μ F agar menghasilkan *output* DC yang lebih rata. Dengan menggunakan rangkaian dioda-kapasitor ini, *output* tegangan DC yang dihasilkan akan sama dengan nilai *peak-to-peak* sinyal input dari piezoelektrik *array*. Dengan kata lain, rangkaian ini mampu menggandakan nilai *peak* sinyal

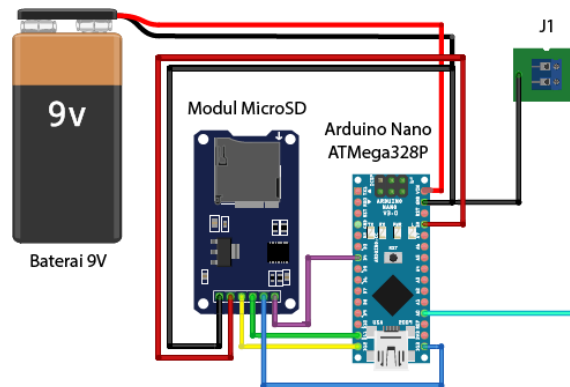
input karena dioda dan kapasitor bekerja secara bersama-sama secara efisien. *Output* rangkaian *voltage doubler* diberikan beban resistor untuk menghitung arus keluaran yang dihasilkan.



Gambar 4. Rangkaian *Voltage Doubler*

C. Perancangan *Voltage Logger*

Pengukuran tegangan *output* dapat dilakukan dengan menggunakan osiloskop dan multimeter digital. Namun, pada kasus tertentu, penggunaan multimeter digital tidak dapat menunjukkan hasil pengukuran secara *realtime*. Untuk mengurangi pengurasan tegangan pada proses pengukuran tegangan dan untuk menghasilkan catatan data yang lebih baik maka digunakan mikrokontroler berbasis ATmega328P. Gambar 5 menunjukkan rangkaian *voltage logger* dengan menggunakan mikrokontroler ATmega328P yang diintegrasikan dengan modul MicroSD sebagai media penyimpanan data hasil pencatatan level tegangan.



Gambar 5. Ilustrasi dari Rangkaian *Voltage Logger* Berbasis ATmega328P

Mikrokontroler ATmega328P pada Arduino Nano diprogram dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE versi 1.8.9 dan dijalankan dengan menggunakan sumber tegangan dari baterai 9 Volt. Konektor J1 dihubungkan dengan *output* pada rangkaian *voltage doubler* untuk mencatat tegangan yang dihasilkannya. Data hasil pencatatan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* dicatat setiap 500 milidetik, kemudian disimpan dalam file dengan format CSV pada microSD yang terpasang pada modul MicroSD.

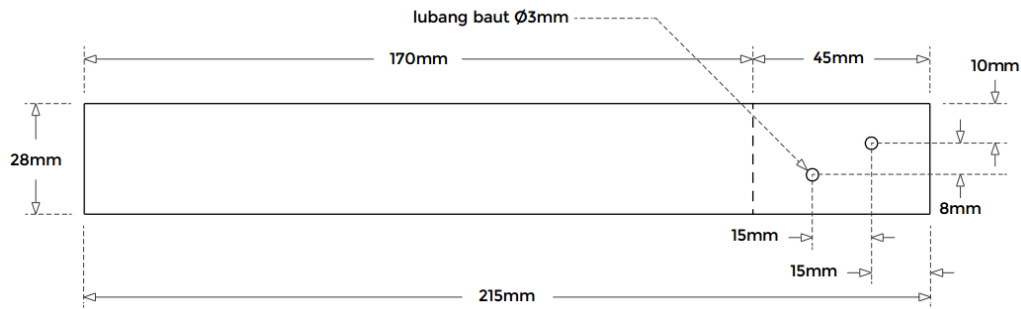
D. Perancangan *Cantilever Beam*

Cantilever beam merupakan sebuah elemen struktural yang kaku, seperti balok atau pelat yang ditancapkan pada salah satu ujungnya, disambungkan ke bagian penyangga (biasanya vertikal) yang menonjol. Sambungan ini juga bisa tegak lurus terhadap permukaan yang datar dan vertikal seperti dinding misalnya. *Cantilever beam* tersebut akan diberi sebuah gaya *transversal* di salah satu ujung bebasnya. Setelah diberikan sebuah gaya, dilakukan perhitungan terhadap gaya-gaya reaksi dan momen di tumpuan yang dijepit. Pemberian gaya ini akan memberikan defleksi dan rotasi pada batang.

Pada penelitian ini, *cantilever beam* dirancang untuk merespon frekuensi suara bising yang dihasilkan oleh mesin *winder*. Suara bising dari mesin yang berjalan dengan level amplitudo tertinggi berada pada frekuensi sekitar 250 Hz. Dengan kecepatan rambat suara 343 meter/detik, maka panjang gelombangnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

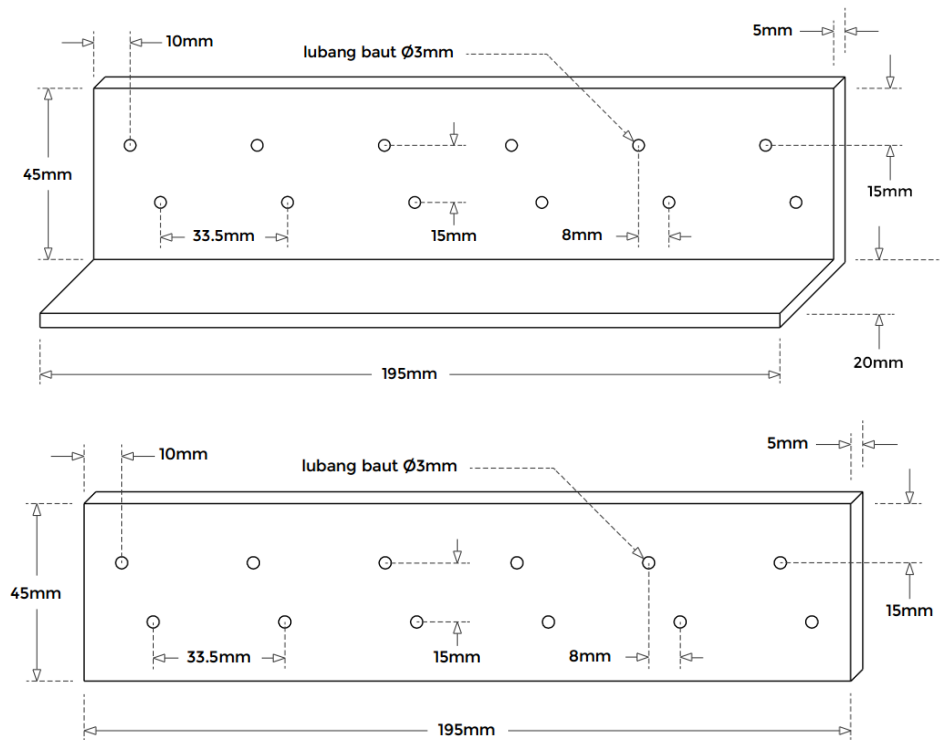
$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

Dari hasil perhitungan didapat panjang gelombang suara dengan frekuensi 250 Hz adalah 1,372 m. Namun mengingat panjang 1,372 m terlalu panjang untuk perancangan *cantilever beam*, maka digunakan $\lambda/8$ yaitu 171,5 mm atau dibulatkan menjadi 170 mm.



Gambar 6. Skema Rancangan *Beam*

Gambar 6 menunjukkan ilustrasi skema rancangan dari beam yang dibangun, dengan 170 mm bagian sebelah kirinya adalah bagian yang bebas bergerak dan 45 mm bagian sebelah kanannya adalah bagian yang dijepit. *Beam* berbahan dasar nilon dengan ketebalan 2 mm ini dirancang sebagai osilator agar mampu merespon suara bising. Setiap beam dirancang untuk empat buah piezoelektrik *array*, artinya akan dibangun enam buah beam yang sama untuk menempatkan 24 buah piezoelektrik

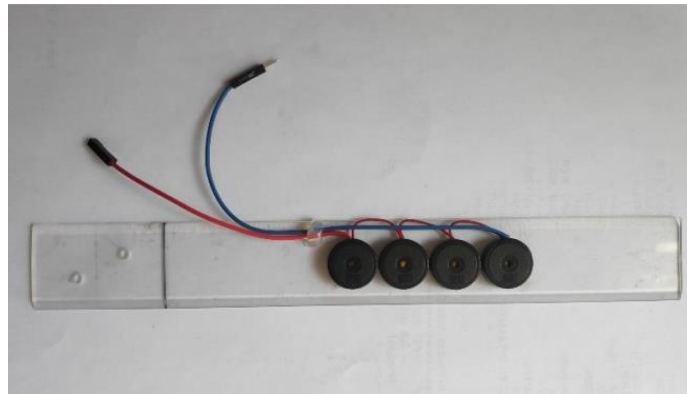


Gambar 7. Skema Rancangan *Support* Penjepit *Beam*

Gambar 7 adalah ilustrasi skema rancangan *support* untuk menjepit *beam* yang dibuat dari pelat aluminium padat dengan tebal 5 mm. Penjepit *beam* tersebut digunakan sebagai penjepit dan penyangga dari beam yang telah dibuat sesuai dengan rancangan skema yang ditunjukkan pada Gambar 6. Masing-masing penjepit *beam* tersebut dilengkapi dengan dua buah baut dan mur sebagai pengunci dari mekanisme penjepit agar bagian bawah *beam* tidak dapat bergerak bebas, sementara itu bagian atas *beam* dapat bergerak dengan bebas.

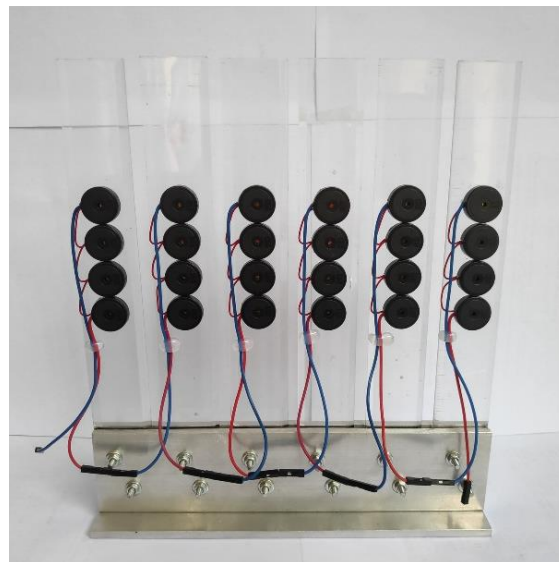
E. Perakitan Perangkat Keras

Proses perakitan perangkat dimulai dengan penempatan piezoelektrik *array* pada *beam* yang telah dirancang seperti pada Gambar 6. Gambar 8 menampilkan piezoelektrik *array* yang disusun dan dipasang pada *beam* menggunakan perekat. Setiap *beam* berisikan masing-masing empat buah piezoelektrik yang dipasang seri dan diposisikan pada tengah-tengah *beam*, dengan dua buah kabel keluaran positif dan negatif.



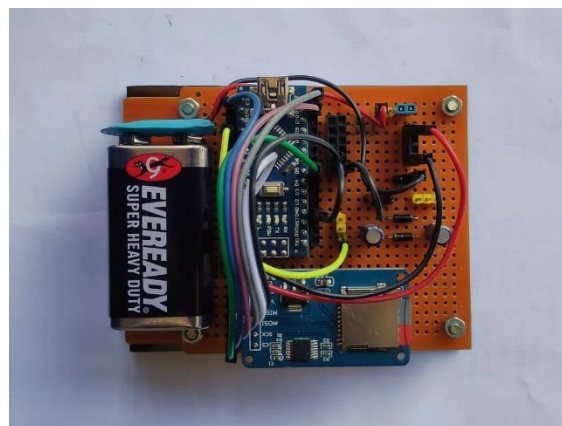
Gambar 8. Penempatan Piezoelektrik *Array* pada *Beam*

Selanjutnya, perangkat *beam* seperti pada Gambar 8 dibuat sebanyak enam buah, yang kemudian disusun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar 9 tersebut merupakan rancangan piezoelektrik *array* yang dibangun dan akan digunakan untuk mengubah energi dari suara bising menjadi sebuah energi yang terukur dan bisa dimanfaatkan.



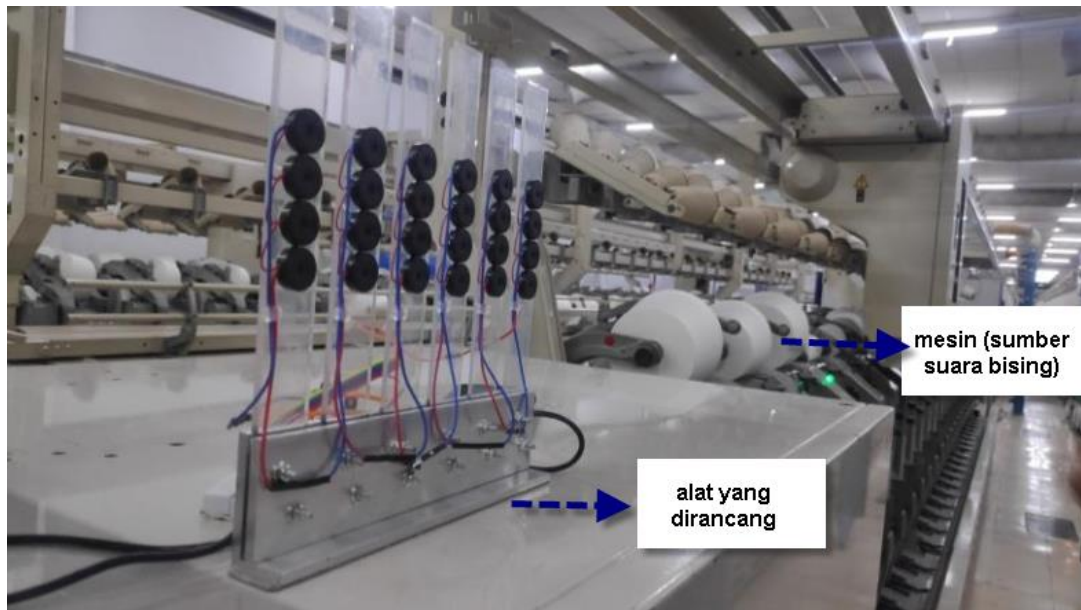
Gambar 9. Bentuk *Beam* dengan *Support* Penjepit

Sementara itu rangkaian *voltage doubler* dan *voltage logger* dengan menggunakan mikrokontroler ATmega328P (Arduino Nano) beserta modul MicroSD untuk penyimpanan data disusun pada *Printed Circuit Board* (PCB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Memori *microSD* yang dipasang berkapasitas 8 GB sebagai media penyimpanan file CSV.



Gambar 10. Perakitan Rangkaian pada PCB

Perangkat yang sudah tersusun seperti pada Gambar 9, selanjutnya dilakukan pengujian dengan ditempatkan pada mesin *winder* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Gambar 11, menunjukkan lokasi dan cara alat yang yang dirancang tersebut diuji. Alat tersebut diuji ketika mesin *winder* dijalankan bersamaan akan menghasilkan suara bising dan getaran yang cukup kuat. Pada saat yang bersamaan, *beam* yang terpasang ikut bergetar begitu pula piezoelektrik yang menempel padanya.



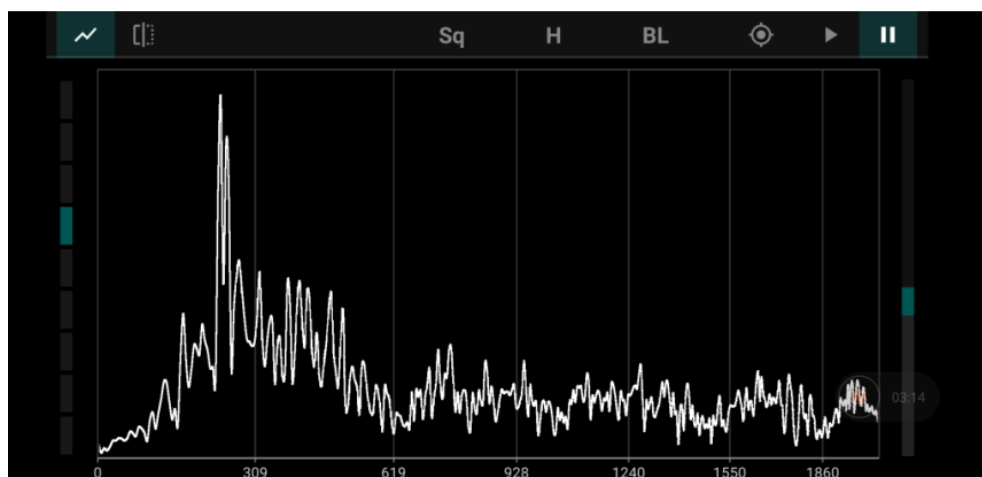
Gambar 11. Penempatan Support Penjepit *Beam* pada Mesin *Winder*

3. Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Perangkat di Ruang Bising

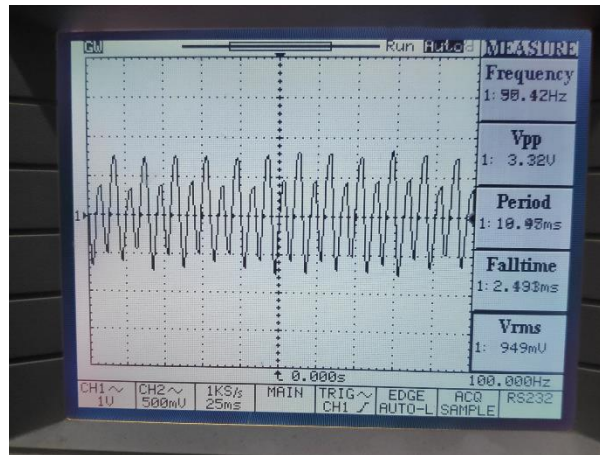
Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *sound level meter*, diukur tingkat kekerasan suara (*sound pressure level*, disingkat SPL) yang ditimbulkan (Pratiwi, 2016) oleh mesin *winder* di pabrik pemintalan benang. Hasil pengukuran menunjukkan tingkat kekerasan suara di ruangan tersebut adalah sebesar 95,8 dBA.

Dengan menggunakan aplikasi *Fast Fourier Transform (FFT) spectrum analyzer* pada perangkat berbasis android, diamati level suara bising yang dihasilkan oleh mesin *winder* pada domain frekuensi. Suara bising dari mesin *winder* dengan level amplitudo tertinggi berada pada frekuensi 250 Hz seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 12. Frekuensi inilah yang dipilih untuk dipanen dengan menggunakan piezoelektrik *array*.



Gambar 12. FFT Suara Mesin *Winder* di Ruangan

Support penjepit dan *beam* dengan piezoelektrik *array* ditempatkan pada mesin *winder*. Ketika mesin *winder* dijalankan bersamaan akan menghasilkan suara bising dan getaran yang cukup kuat. Pada saat itu, *beam* yang terpasang ikut bergetar begitu pula piezoelektrik yang menempel padanya. Bentuk sinyal *output* piezoelektrik *array* diamati dengan menggunakan osiloskop digital. Gambar 13 menampilkan sinyal *output* yang dihasilkan piezoelektrik *array* sebagai respon terhadap getaran dan suara bising dari mesin *winder*.

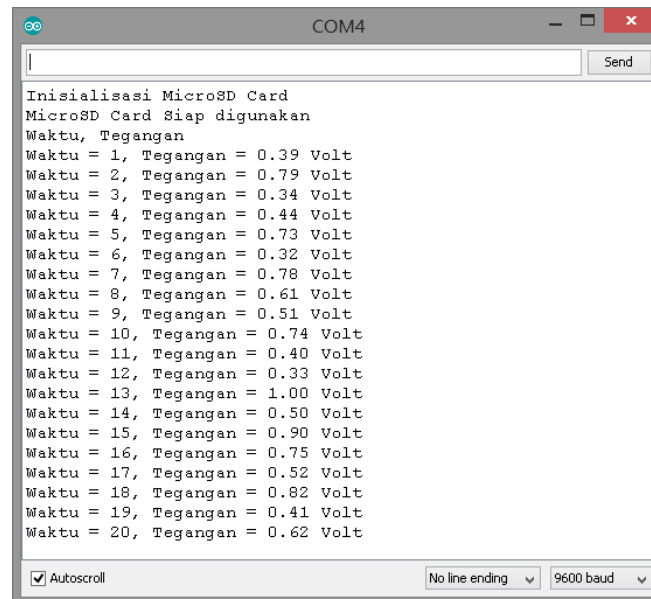


Gambar 13. Sinyal Keluaran Piezoelektrik *Array* dengan Sumber Suara Bising dari Mesin *Winder*

Bentuk sinyal keluaran piezoelektrik *array* pada Gambar 13 merupakan sinyal sinusoidal namun dengan bentuk sinusoidal yang tidak sempurna. Nampak secara bergantian amplitudo siklus positif naik turun secara periodik. Begitu pula pada siklus negatif terjadi naik turun level amplitudo secara periodik. Tercatat nilai amplitudo tertinggi adalah sebesar 3,32 Vpp dengan frekuensi 50,42 Hz.

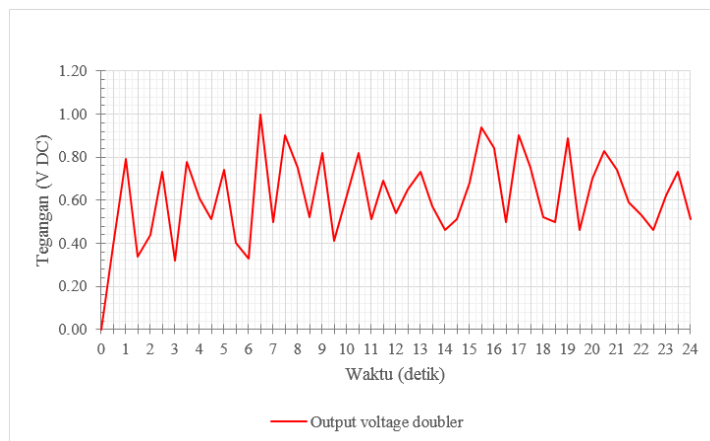
Sinyal keluaran piezoelektrik *array* pada Gambar 13 dihubungkan dengan masukan rangkaian *voltage doubler*. Pada rangkaian ini sinyal dari piezoelektrik *array* akan digandakan levelnya dan disearahkan menjadi tegangan DC. *Output* rangkaian *voltage doubler* dihubungkan dengan beban resistor RL dengan nilai 2k2 Ohm.

Gambar 14 menunjukkan pencatatan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* yang ditampilkan pada *serial monitor* aplikasi Arduino IDE. Gambar 14 menunjukkan grafik level tegangan sinyal *output* rangkaian *voltage doubler* yang dicatat oleh *voltage logger*. Sementara hasil pencatatan rangkaian *voltage logger* disimpan dalam file dengan format CSV pada *microSD* yang terpasang pada modul *MicroSD*.



Gambar 14. Pencatatan Tegangan *Voltage Logger* pada *Serial Monitor*

Dari Gambar 15 menunjukkan level tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* dalam domain waktu selama 24 detik. Hasil pengukuran menunjukkan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* yang dihasilkan dengan *input* sinyal dari piezoelektrik *array*. Tegangan *output* adalah tegangan searah (DC) dengan level tegangan yang bervariasi dan tidak konstan seiring berjalan waktu. Hal ini disebabkan karena piezoelektrik *array* sendiri tidak bisa secara konstan menghasilkan sinyal sinusoidal yang sempurna. Penyebab utama hal ini bisa terjadi adalah karena sumber suara bising yang dipanen tidak stabil meskipun dengan level kebisingan yang tinggi. Setiap mesin *winder* menghasilkan ketukan suara bising yang tidak selalu seirama, tergantung proses yang dilakukannya saat itu. Hal ini menyebabkan keluaran piezoelektrik *array* tidak stabil.

Gambar 15. Grafik Pencatatan *Voltage Logger* di Mesin *Winder*

Selain itu, nilai kapasitor yang dipasang pada rangkaian *voltage doubler* juga mempengaruhi *output* yang dihasilkan. *Ripple* pada sinyal *output* menunjukkan nilai kapasitor sebesar 47 μF terlalu kecil untuk digunakan. Hasilnya, masih terdapat sisa-sisa tegangan AC yang tidak bisa ditekan atau dihilangkan secara sempurna. *Voltage logger* mencatat level tegangan tertinggi yang diperoleh adalah sebesar 1.000 mV DC, dan rata-rata tegangan yang diperoleh adalah 610 mV DC.

Mengacu pada persamaan (2), arus tertinggi yang dapat dihasilkan rangkaian *voltage doubler* dengan beban RL yang terpasang adalah 0,45 mA.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

Berdasarkan pengujian, rancang bangun sistem *energy harvesting* ini dilakukan di dua ruang bising yang berbeda. Pengujian di ruang bising dengan mesin *winder* menghasilkan energi listrik dengan tegangan sebesar 1 Volt DC, dan tegangan yang terukur tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan pengukuran pada sumber suara bising tanpa menggunakan mesin *winder* yaitu sebesar 0,11 Volt DC. Hal ini terjadi karena desain *beam* dirancang untuk frekuensi 250 Hz sesuai dengan frekuensi dari suara bising mesin *winder* sementara suara bising tanpa menggunakan mesin *winder* menghasilkan frekuensi bervariasi yaitu pada frekuensi 270 Hz, 813 Hz, 1.285 Hz, dan 1.895 Hz.

Hasil keluaran dari perancangan di ruang bising dengan mesin *winder* ini dapat dimanfaatkan sebagai pengisi daya untuk ponsel, akan tetapi diperlukan penelitian selanjutnya agar dapat diketahui jumlah penambahan komponen piezoelektrik *array* agar mencukupi kebutuhan yang diperlukan.

B. Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian alat di lapangan, suara bising dari mesin *winder* dengan tingkat kekerasan suara sebesar 95,8 dBA dapat dipanen energinya oleh *transducer* piezoelektrik. Hasil dari sinyal keluaran yang dihasilkan piezoelektrik *array* yang dipasang seri sebanyak 24 buah pada osilator *cantilever beam* sepanjang 170 mm telah ditunjukkan pada Gambar 13. Meskipun begitu piezoelektrik *array* hanya mampu menghasilkan energi listrik yang kecil dengan level amplitudo tertinggi sebesar 3,32 Vpp dengan frekuensi 50,42 Hz (dalam bentuk sinyal sinusoidal).

Sistem ini menghasilkan daya maksimum sebesar 0,45 mili Watt dengan rata-rata daya terukur 0,16 mW. Pengukuran tersebut dilakukan selama 1 jam dan energi yang diperoleh sebesar 0,16 mWh. Dengan asumsi mesin beroperasi selama 10 jam dalam sehari, maka energi yang dihasilkan dapat mencapai 1,6 mWh per hari.

Rangkaian *voltage doubler* mampu menaikkan level tegangan yang dihasilkan oleh piezoelektrik. Hasil pengamatan menggunakan *voltage logger* menunjukkan tegangan *output* rangkaian *voltage doubler* mampu menghasilkan tegangan DC tertinggi sebesar 1.000 mV DC dengan arus 0,45 mA.

Kondisi tingkat kekerasan suara yang berbeda, akan menyebabkan frekuensi suara bising yang dihasilkannya pun berbeda. Hal ini akan mempengaruhi besarnya energi yang dihasilkan dari sistem ini. *Cantilever beam* yang dibangun pada penelitian ini memang dirancang untuk frekuensi kerja 250 Hz yang dihasilkan oleh mesin *winder*

Kesimpulan

Suatu rancang bangun sistem *energy harvesting* di ruang bising menggunakan piezoelektrik *array* telah dilakukan. Hasil pengujian, pengukuran, dan analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem *energy harvesting* beroperasi pada frekuensi kerja 250 Hz dengan tingkat kekerasan suara sebesar 95,8 dBA, menghasilkan sinyal keluaran piezoelektrik *array* tertinggi sebesar 3,32 Vpp dengan frekuensi 50,42 Hz dan daya maksimum 0,45 mili Watt dengan rata-rata daya terukur 0,16 mW. Dengan asumsi mesin beroperasi selama 10 jam dalam sehari, maka

energi yang dihasilkan dapat mencapai 1,6 mWh per hari. Dalam skala yang lebih besar, keluaran sistem *energy harvesting* yang diusulkan dalam penelitian ini dapat digunakan peralatan listrik berdaya rendah seperti pengisi baterai telepon seluler atau lampu penerangan darurat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Laboratorium Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani atas dukungannya dalam membantu pengukuran dalam kegiatan ilmiah ini.

Daftar Notasi

- I = arus [A/ampere]
 V = tegangan [volt]
 R = hambatan/resistansi [ohm/ Ω]
 v = kecepatan rambat suara [m/s]
 f = frekuensi [Hertz/Hz]
 λ = panjang gelombang [meter/m]

Daftar Pustaka

- Abidin, N. K., Nayan, N. M., Azizan, M. M., & Ali, A. (2018). Analysis of Voltage Multiplier Circuit Simulation for Rain Energy Harvesting Using Circular Piezoelectric. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 101, 211-218.
- Ahda, S., & Mardiyanto. (2012). Strukturmikro Bahan Piezoelektrik Bebas Timbal Bizmut Natrium Titanat-Barium Titanat-Kalium Natrium Niobate Hasil Sintesis dengan Metode Reaksi Padat. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2), 120-124.
- Anonim. (2017, July 30). *Cantilever Beam - Advantages & Disadvantages*. Retrieved August 11, 2019, from <https://www.dailycivil.com/cantilever-beam-advantages-disadvantages/>
- Anonim. (n.d.). *Voltage Multiplier*. Retrieved August 10, 2019, from <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/voltage-multiplier-circuit.html>
- Attraction, M. (n.d.). *Harvesting Sound Energy From Passing Cars*. Retrieved September 27, 2019, from <https://www.instructables.com/id/Harvesting-Sound-Energy-From-Passing-Cars/>
- Pratiwi, A. N. (2016). Peningkatan Pemahaman Konsep Energi Panas dan Bunyi Menggunakan Modul Berbasis Eksperimen.
- Sharma. (2016). *Studies on Structural Dielectric*. Punjab: Deemed University.