

PENGUJIAN KONFIGURASI PIEZOELEKTRIK PENGHASIL TEGANGAN LISTRIK DARI ENERGI MEKANIK

Riska Ekawita^{1*}, Rahmat Awaludin Salam², Nolla Kusumawardani¹, Elfi Yuliza¹

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu, Jalan WR. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, Indonesia

²Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University, Jl. Telekomunikasi Buah Batu, Bandung, Indonesia

*e-mail: rekawita@unib.ac.id

ABSTRAK

Peluang memanfaatkan sumber daya alam sebagai sumber energi listrik alternatif di Bengkulu sangat besar. Provinsi Bengkulu yang berada di pantai barat pulau Sumatera, menjadikan Bengkulu berlimpah dengan energi angin/ banyu. Piezoelektrik adalah material yang menghasilkan energi listrik berdasarkan pengaruh tekanan yang diberikan. Pada penelitian ini dilakukan studi awal karakteristik dari konfigurasi materi piezoelektrik yang optimal untuk menghasilkan energi listrik dari energi mekanik yang dihasilkan dari angin (banyu). Penelitian dilakukan dengan membuat beberapa konfigurasi susunan piezoelektrik yang kemudian diberi energi mekanik berupa beban pada permukaan piezoelektrik dan dilakukan pengukuran tegangan yang dihasilkan oleh setiap konfigurasi. Selanjutnya dikembangkan prototype konversi energi angin menjadi energi listrik menggunakan piezoelektrik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konfigurasi susunan piezoelektrik seri menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar dibandingkan dengan susunan paralel. Semakin besar energi mekanik yang diterima pada permukaan piezoelektrik, maka tegangan listrik yang dihasilkan piezoelektrik juga semakin tinggi. Dengan konfigurasi 4 piezoelektrik yang disusun seri dan energi mekanik 3,6 Joule, diperoleh energi listrik yang dapat dihasilkan piezoelektrik adalah 3,5 volt. Sedangkan energi angin berupa energi kinetik yang dikonversi menjadi energi listrik melalui prototype menggunakan piezoelektrik menghasilkan tegangan listrik 1,8 volt dengan kecepatan angin lebih besar dari 2,8 m/s. Berdasarkan prototype konversi angin menjadi tegangan listrik menggunakan piezoelektrik diperoleh hasil bahwa semakin besar kecepatan angin maka tegangan listrik didapatkan juga akan semakin besar.

Kata Kunci: Piezoelektrik; Konfigurasi; Tegangan listrik; Energi angin

ABSTRACT

[Title: Piezoelectric configuration test of generating electrical voltage from mechanical energy] There are enormous natural resources as alternative electrical energy to be developed in Bengkulu province. It's located on the west coast of Sumatera Island and faces on Indian Ocean make Bengkulu province abundant wind energy. Piezoelectric is a material that produces electrical while the pressure applied on the surface. In this research, a preliminary study of the characteristics of piezoelectric was carried out to produce electrical from mechanical energy generated from wind. The output voltage from some piezoelectric configurations was measured. Furthermore, a prototype of wind energy conversion to electrical energy was enlarged to search piezoelectric characteristics too. The measurement results show that the series piezoelectric configuration produces a higher electric voltage than the parallel arrangement. The greater the mechanical energy received on the piezoelectric surface, the higher the electric voltage generated by the piezoelectric. Four piezoelectric in series configurations produce 3.5 volts of voltage while 3.6 joules of mechanical energy are applied on their surfaces. While wind energy in the form of kinetic energy which is converted into electrical energy through a prototype using piezoelectric produces an electric voltage of 1.8 volts with wind speeds greater than 2.8 m/s. By using the prototype of wind energy conversion, it is found that the wind velocity influences the obtained of voltage. There is a linear relationship between wind speed and the voltage generated.

Keywords: Piezoelectric; Configuration; Voltage electric; Wind energy

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan hal pokok yang menopang kehidupan manusia di dunia. Motivasi manusia dalam pencarian sumber energi baru didorong oleh situasi isu pemanasan global yang

mengindikasikan cadangan energi fosil di bumi semakin menipis karena sifatnya yang tak terbarukan. Di sisi lain, penggunaan energi fosil ini juga memiliki permasalahan seperti pemanasan global isu, kerusakan lingkungan dan lainnya (Ko, et

al.,2015; Kouhestani, et al., 2019; Cheng, et al., 2020; Wiginton, et al., 2010). Berbagai sumber daya alam yang tersedia dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik (Akmal, 2017; Hilmansyah, dkk., 2017; Syach 2020; Suherman and Raharjo, 2020; Anaza 2017). Sebagai alternatif keterbatasan energi fosil, manusia mencoba menciptakan suatu alat pemanen energi (*energy harvesting*).Piezoelektrik dapat diaplikasikan untuk menghasilkan energi dengan memanfaatkan energi mekanik baik energi potensial maupun energi kinetik karena sifat bahan piezoelektrik yang dapat mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik (Widodo, 2017).

Beberapa penelitian mulai banyak dikembangkan dengan memanfaatkan sifat dari piezoelektrik sebagai penghasil energi listrik. Pemanfaatan piezoelektrik pada lantai dimana setiap pijakan akan dapat menghasilkan tegangan listrik, pada polisi tidur, dengan adanya tekanan yang datang dari kendaraan yang berada diatas permukaan piezoelektrik akan menghasilkan tegangan listrik, pada sistem pembangkit listrik tenaga hujan, serta pada tambahan daya dalam mobil (Almanda, dkk., 2015; Hendriawan, 2014; Widodo dkk., 2017; Yulia, dkk., 2016).

Kinerja piezoelektrik dipengaruhi oleh beberapa hal yakni jumlah piezoelektrik yang digunakan, ukuran piezoelektrik, besarnya energi kinetik dan potensial yang mengenai permukaan dan jumlah/ frekuensi energi mekanik yang sampai pada permukaan piezoelektrik (Damjanovic, 1997).Pada penelitian ini dilakukan pengujian kinerja piezoelektrik dengan konfigurasi susunan piezoelektrik yang berbeda dan penerapan konversi energi angin menjadi listrik melalui piezoelektrik.Piezoelektrik diberi tekanan dari energi mekanik (energi potensial) beban yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik.Sedangkan energi angin berupa gerak kinetik menggerakkan baling-baling pada *prototype* diubah menjadi listrik oleh piezoelektrik.

HUBUNGAN TEGANGAN LISTRIK PIEZOELEKTRIK DENGAN ENERGI MEKANIK

Massa beban dan posisi beban yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik erat kaitannyadengan besarnya energi mekanik/ energi potensial (joule) yang diterima piezoelektrik.Dengan menggunakan Persamaan 1 dapat diketahui besarnya energi potensial dalam satuan Joule yang diterima permukaan piezoelektrik.

$$E_p = mgh \tag{1}$$

- Ep : energi potensial (joule)
- h : jarak/ketinggian (m)
- g : percepatan gravitasi (ms⁻²)
- m :massa benda yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik (kg)

Selanjutnya, kaitan energi potensial dari beban yang dijatuhkan ke permukaan piezoelektrik dapat memiliki korelasi dengan energi angin (banyu) yang akan digunakan pengganti beban yang dijatuhkan. Energi angin digunakan untuk memberikan gaya tekan pada permukaan piezoelektrik. Semakin besar dan sering permukaan piezoelektrik menerima tekanan dari baling pemukul tenaga angin, maka energi listrik dari piezoelektrik dapat dihasilkan. Kecepatan baling pemukul permukaan piezoelektrik akan mempengaruhi energi mekanik yang akan diterima permukaan piezoelektrik. Energi ini dinyatakan dengan energi kinetik sebagaimana pada Persamaan 2.

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \tag{2}$$

- Ek = Energi kinetik (joule)
- m = massa (kg)
- v = kecepatan (m/s)

$$E_{m1} = E_{m2}$$

$$E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}$$

$$m_1gh + \frac{1}{2} m_1v^2 = m_2gh + \frac{1}{2} m_2v^2 \tag{3}$$

- Ek :energi kinetik (joule)
- M : massa (kg)
- V : kecepatan (m/s)
- Ep : energi potensial (joule)
- m :massa benda yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik (kg)
- G : percepatan gravitasi (ms⁻²)

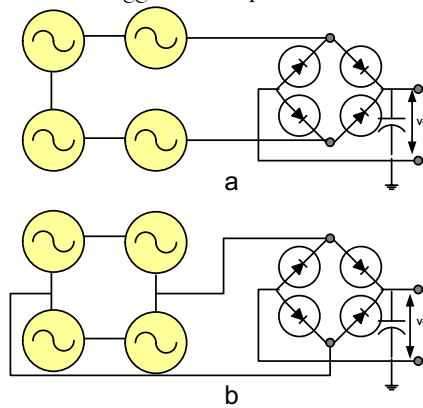
Energi mekanik yang diterima oleh permukaan piezoelektrik dapat berasal dari energi kinetik yang bersumber dari baling pemukul yang digerakkan tenaga angin, atau dapat juga dari energi potensial yang bersumber dari beban yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik. Hukum kekekalan energi (Persamaan 3) dapat digunakan untuk melakukan pembahasan lebih lanjut pemanfaatan piezoelektrik penghasil tegangan listrik dengan energi mekanik yang bersumber dari energi kinetik tenaga angin maupun gabungan antara energi kinetik dan energi potensial.

Desain *prototype* konversi angin yang dibuat pada penelitian ini memanfaatkan rumus energi kinetik pada Persamaan 2.Ketika ada angin yang

memutar baling pemukul pada *prototype*, maka besaran kecepatan angin akan dikonversi menjadi listrik melalui piezoelektrik pada system yang dibuat. Semakin besar kecepatan permukaan piezoelektrik dipukul oleh baling pemukul, maka energi listrik dihasilkan juga akan bertambah.

METODE

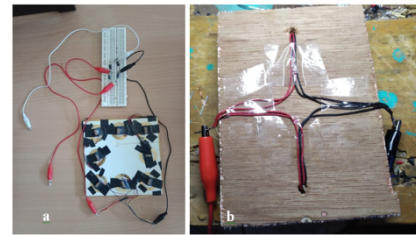
Gambar 1 adalah rangkaian skematik dari konfigurasi dasar piezoelektrik yang akan diujikan untuk menghasilkan tegangan listrik. Konfigurasi seri dan paralel dengan jumlah piezoelektrik dan energi mekanik yang sama akan diberikan pada permukaan piezoelektrik. Piezoelektrik dengan susunan paralel dibentuk dengan jumlah piezoelektrik sebanyak 4 piezoelektrik dan 8 piezoelektrik. Sedangkan piezoelektrik dengan susunan seri menggunakan 4 piezoelektrik.



Gambar 1. Rangkaian skematik (a) seri piezoelektrik (b) paralel piezoelektrik

Pengukuran baik dengan konfigurasi seri dan paralel dilengkapi dengan komponen tambahan diode jembatan seperti pada Gambar 1. Diode jembatan berfungsi sebagai penyearah tegangan sehingga tegangan keluaran piezoelektrik berupa sinyal bolak-balik dapat diukur dengan multimeter berupa sinyal searah (DC).

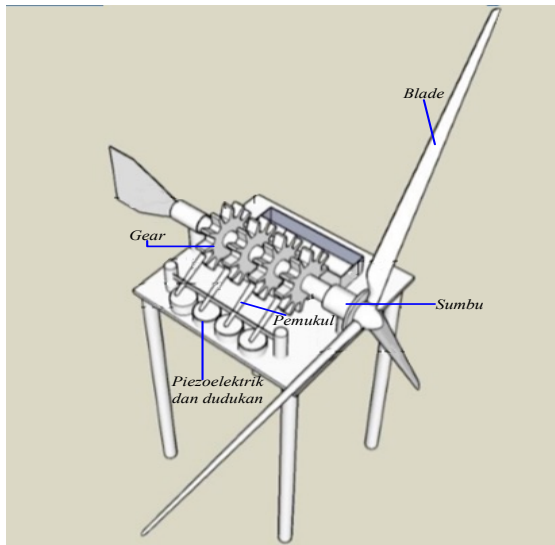
Piezoelektrik disusun pada suatu permukaan triplek sebelum diberi beban mekanik dengan ukuran triplek bergantung pada jumlah piezoelektrik yang akan dirangkai (Gambar 2). Setiap piezoelektrik disusun berdampingan, baik konfigurasi seri maupun paralel. Pada setiap permukaan piezoelektrik ditempatkan lem silikon berbentuk tabung dengan ukuran diameter 0,6 cm dan tinggi 0,8 cm, dengan tujuan agar beban mekanik yang diberikan lebih fokus pada titik tengah permukaan piezoelektrik.



Gambar 2. Penyusunan piezoelektrik (a) tampak atas dan (b) tampak bawah

Pengujian konfigurasi piezoelektrik dilakukan dengan menjatuhkan beban dengan massa yang bervariasi pada permukaan piezoelektrik. Misalkan, untuk piezoelektrik yang disusun paralel dengan 4 piezoelektrik, dijatuhkan beban dari ketinggian 10 cm ke permukaan rangkaian piezoelektrik. Kemudian dilakukan pengukuran besaran tegangan listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik. Pengujian dilakukan secara berulang untuk setiap massa beban yang dijatuhkan pada permukaan piezoelektrik.

Proses konversi energi angin menjadi kinetik untuk menghasilkan tegangan listrik dilakukan dengan memanfaatkan prototipe turbin angin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Turbin angin yang digunakan adalah tipe propeller yang terbuat dari pipa PVC. Baling-baling dari turbin angin ini dilengkapi dengan tiang penyangga yang terhubung ke sirip ekor. Pada tiang penyangga ini ditambahkan gear yang digunakan untuk menggerakkan pemukul pada piezoelektrik agar mendapatkan tekanan. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan angin yang berfungsi untuk menggerakkan turbin. Adapun variasi kecepatan angin yang digunakan adalah 2,4 m/s, 2,8 m/s dan 3,4 m/s. Turbin angin akan menggerakkan pemukul sehingga memberikan ketukan pada permukaan piezoelektrik. Jumlah piezoelektrik yang diujikan adalah 7 piezoelektrik dan 4 piezoelektrik dengan konfigurasi susunan paralel. Tegangan listrik yang dihasilkan sejumlah piezoelektrik dimasukkan ke kapasitor dan kemudian dilakukan pengukuran tegangannya.



Gambar 3. Desain *prototype* turbin angin untuk konversi energi

HASIL DAN PEMBAHASAN
Data Pengujian Piezoelektrik

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh konfigurasi susunan beberapa piezoelektrik diukur menggunakan multimeter digital. Gambar 4 adalah pengujian piezoelektrik yang telah dilakukan, dimana sebelum dimulai pembacaan oleh multimeter, beban ditimbang terlebih dahulu dan ditentukan titik atau posisi ketinggian dijatuhkannya beban.



Gambar 4. Pengujian konfigurasi piezoelektrik

Tabel 1 adalah data hasil pengukuran tegangan piezoelektrik dengan beberapa konfigurasi dan variasi massa.

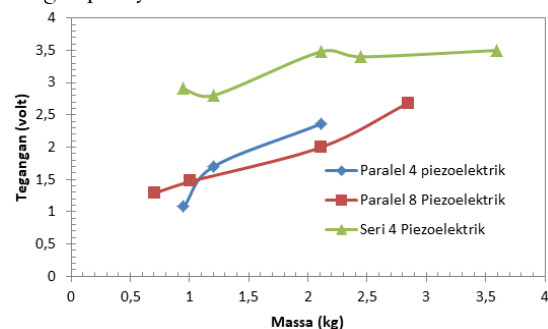
Tabel 1. Hasil pengujian piezoelektrik dengan variasi massa

Konfigurasi dan jumlah Piezoelektrik	Massa (kg)	Tegangan (volt)
Paralel 4	0,95	1,072
	1,2	1,696
	2,11	2,361
Paralel 8	0,7	1,284
	1,01	1,469
	2,11	1,998
	2,85	2,688
Seri 4	0,95	2,9
	1,2	2,8

2,11	3,48
2,45	3,4
3,6	3,5

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa massa beban yang diberikan pada permukaan piezoelektrik sangat mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh piezoelektrik. Pada konfigurasi paralel dan seri memiliki hubungan yang linear antara kenaikan massa beban dengan tegangan yang dihasilkan. Dengan massa yang sama (0,95 kg), tegangan yang dihasilkan oleh konfigurasi paralel dan seri cukup berbeda. Rangkaian piezoelektrik dengan konfigurasi seri menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar yaitu 2,9 Volt dibandingkan dengan konfigurasi paralel yang menghasilkan tegangan 1,072 volt. Hal yang sama juga terlihat ketika pengujian dilakukan dengan massa 2,11 kg, yakni konfigurasi seri menghasilkan tegangan yang lebih besar 3,48 volt, sedangkan konfigurasi paralel menghasilkan tegangan hanya 2,36 volt. Dari perolehan data tersebut diketahui bahwa konfigurasi piezoelektrik dengan susunan seri menghasilkan tegangan yang lebih besar (>47%) dibandingkan dengan paralel (Madia, 2017).

Jumlah penggunaan piezoelektrik dalam konfigurasi juga mempengaruhi tegangan yang dihasilkan. Pada pengujian konfigurasi 8 piezoelektrik paralel menghasilkan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi 4 piezoelektrik paralel. Semakin banyak konfigurasi piezoelektrik yang digunakan pada pengujian, maka diperoleh tegangan yang semakin besar. Meskipun jika dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan terdapat 2 data pengukuran yang belum sesuai dengan pernyataan ini.



Gambar 5. Hubungan massa dengan tegangan keluaran piezoelektrik

Jumlah piezoelektrik yang lebih banyak akan dihasilkan tegangan yang lebih besar. Hal ini dapat dilihat ketika beban konfigurasi 8 piezoelektrik paralel 0,7 kg menghasilkan tegangan 1,2 volt dan konfigurasi 4 piezoelektrik paralel dengan beban 0,95 kg menghasilkan tegangan 1,072. Dengan beban yang lebih kecil, konfigurasi yang terdiri dari

piezoelektrik yang lebih banyak jumlahnya mampu menghasilkan tegangan yang lebih besar dibandingkan konfigurasi dengan beban yang lebih besar namun terdiri dari piezoelektrik yang lebih sedikit. Dengan menggunakan Persamaan 1 dan data Tabel 1 maka energi potensial minimum yang diterima piezoelektrik sebesar 0,7 Joule dan energi maksimum sebesar 3,6 Joule.

Gambar 5 adalah grafik yang menunjukkan kecenderungan piezoelektrik menghasilkan tegangan listrik lebih besar sesuai dengan kenaikan beban yang diterima oleh permukaan piezoelektrik. Pada penelitian lain dibahas juga bahwa selain massa beban, jenis konfigurasi, jumlah piezoelektrik yang mempengaruhi tegangan keluarannya, juga ada faktor lain yaitu frekuensi ‘pengetukan’ beban terhadap permukaan piezoelektrik (Rinaldi, R.G., dkk, 2018).

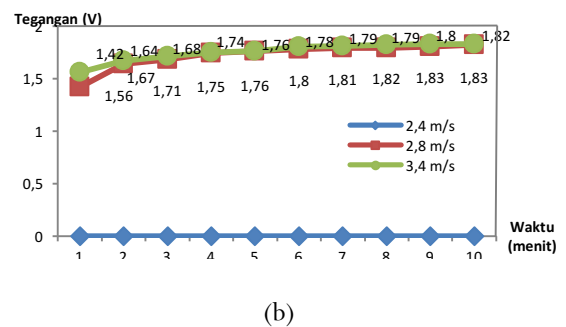
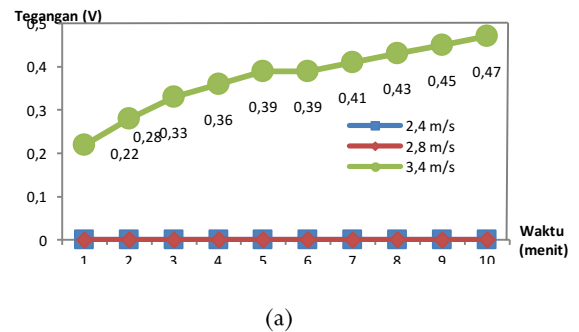


Gambar 6. *Prototype* pengujian piezoelektrik dengan sumber energi angin

Frekuensi pengetukan terhadap permukaan piezoelektrik diujikan dengan menggunakan *prototype* turbin angin sesuai rancangan. Kecepatan angin akan mempengaruhi frekuensi pengetukan permukaan piezoelektrik. Jika kecepatan angin meningkat, maka baling-baling pemukul piezoelektrik akan bergerak lebih cepat sehingga frekuensi pengetukan akan semakin besar juga. Gambar 6 adalah *prototype* untuk konversi energi angin menjadi listrik akibat ketukan pada permukaan piezoelektrik.

Berdasarkan variasi kecepatan angin yang diberikan pada *prototype* maka untuk konfigurasi 7 piezoelektrik yang disusun paralel dan waktu pengukuran selama 10 menit, dapat menghasilkan tegangan 0,47 volt ketika angin dengan kecepatan 3,4 m/s. Sedangkan untuk kecepatan angin di bawah nilai tersebut tidak menghasilkan tegangan listrik ketika diberikan pada mini turbin yang dibuat, hal ini dapat terjadi karena beban ketukan yang sampai pada permukaan piezoelektrik yang lemah dan frekuensi ketukan yang rendah juga. Lebih lanjut hasil pengujian konversi energi angin menggunakan piezoelektrik dapat dilihat pada Gambar 7. Konfigurasi pengujian 4 piezoelektrik menghasilkan tegangan listrik berkisar 1,8 volt ketika kecepatan

angin bernilai 3,4 m/s dan 2,8 m/s. Namun ketika kecepatan angin diturunkan di bawah 2,8 m/s tidak dapat menghasilkan tegangan listrik.



Gambar 7. Hasil pengujian konversi energi angin dengan (a) 7 (b) 4 piezoelektrik menggunakan *prototype* turbin angin

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh 4 piezoelektrik lebih besar dibandingkan 7 piezoelektrik, hal ini dapat disebabkan beban yang diterima oleh poros pemukul permukaan piezoelektrik lebih berat ketika menggunakan 7 piezoelektrik. Ketika menggunakan 4 piezoelektrik, beban pemukul permukaan piezoelektrik lebih ringan sehingga frekuensi ketukan lebih tinggi dan energi pemukul pada permukaan piezoelektrik lebih besar sehingga tegangan listrik yang dihasilkan lebih besar.

Pada Gambar 7 juga terlihat hubungan linier antara tegangan yang dihasilkan piezoelektrik dengan waktu pengukuran pada saat pengetukan permukaan piezoelektrik. Ketika waktu pengukuran bertambah besar, otomatis muatan listrik yang tersimpan pada kapasitor yang dihasilkan oleh piezoelektrik bertambah besar juga. Muatan listrik semakin lama akan terkumpul banyak pada kapasitor akibat jumlah ketukan dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik terus menerus terjadi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Konfigurasi piezoelektrik sebagai penghasil tegangan listrik yang berasal dari energi mekanik

telah dilakukan. Energi mekanik yang digunakan berasal dari energi potensial beban yang diberikan pada permukaan piezoelektrik dan energi angin yang dikonversi menjadi energi gerak melalui *prototype* mini turbin. Dari pengujian tersebut diperoleh bahwa konfigurasi seri menghasilkan tegangan listrik dengan nilai yang lebih besar daripada konfigurasi paralel. Kecepatan angin akan mempengaruhi frekuensi pengetukan permukaan piezoelektrik. Semakin tinggi kecepatan angin yang memutar turbin, akan semakin besar frekuensi ketukan pada piezoelektrik dan tegangan listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Selain jenis konfigurasi, besarnya energi mekanik yang diberikan pada permukaan piezoelektrik, jumlah piezoelektrik, dan frekuensi ketukan permukaan piezoelektrik mempengaruhi besarnya tegangan listrik yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini telah didanai melalui penelitian mandat Jurusan Fisika tahun 2020 dengan nomor kontrak 2659/UN30.12/HK/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, A.M. 2017. *Prototipe alat penghasil listrik dari tekanan mekanik berbasis piezoelektrik*. Sulawesi Selatan: Teknik Elektro. Universitas Hasanuddin Gowa
- Almanda, D., Dermawan, E., Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Fajar, A. N. 2015. Analisis optimum model piezoelektrik pvdF untuk sumber pembangkit listrik air hujan berskala mini. *Prosiding Semnastek*, 19:1-5. Jakarta.
- Anaza, S. O., Abdulazeez, M.S., Yisah, Y.A., Yusuf, Y.O., Salawu, B. U., Momoh, S. U. 2017. Micro hydro-electric energi generation- an overview. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6(2): 5–12. Available at: WWW.AJER.OTG
- Cheng, L., F. Zhang, S. Li, J. Mao, H. Xu, W. Ju, X. Liu, J. Wu, K. Min, X. Zhang, M. Li. 2020. Solar energi potential of urban buildings in 10 cities of China. *Energi*. 117038. doi:10.1016/j.energi.2020.117038.
- Damjanovic, D. 1997. Stress and frequency dependence of the direct piezoelectric effect in ferroelectric ceramics. *Journal of Applied Physics*, 82(4): 1788–1797. <https://doi.org/10.1063/1.365981>
- Hendriawan, A., & Happyanto, D. C. 2014. Piezoelectric sebagai alternatif catu daya tambahan pada mobil listrik. *Invotek Polbeng*, 4(1): 26–33.
- Hilmansyah, Jayanti, R.Y.& Ramli. 2017. *Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kendali Pi*. Balikpapan: Teknik Elektro. Politeknik Balikpapan
- Ko, L., J. Wang, C. Chen, H. Tsai. 2015. Evaluation of the development potential of rooftop solar photovoltaic in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energi Reviews*. 76: 582–595. doi:10.1016/j.renene.2014.11.077.
- Kouhestani, J., Fariborz Mansouri, Byrne, J. Dan, L. Spencer, P. Hazendonk. 2019. Evaluating solar energi technical and economic potential on rooftops in an urban setting : the city of Lethbridge Canada. *International Journal of Energi and Environmental Engineering*. 10. 13–32. doi:10.1007/s40095-018-0289-1.
- Madia, A.K. 2017. *Prototipe alat penghasil listrik dari tekanan mekanik berbasis piezoelektrik*. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin.
- Rinaldi, R.G., Kuncoro, M.A.&Arimurti, Y. 2018. Perbandingan pengisian kapasitor oleh piezoelektrik dengan baterai. *Prosiding SNFA*. 110-117.
- Suherman, I.H & Raharjo, P. 2020. Potensi energi gelombang laut di Perairan Mentawai. *Jurnal Geologi Kelautan*, 18(2), pp. 97–110.
- Syach, M. F., Ayasy, M. F. & Safinatunnajah, N. 2020. Pemetaan perkiraan potensi gelombang laut dengan sistem pelamis di Perairan Nias. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. 7(3): 11–19.
- Widodo, F. H., Kirom, M. R., & Qurthobi, A. 2017. Perancangan sistem dan monitoring sumber arus listrik dari lantai piezoelectric untuk pengisian baterai. *eProceeding of Engineering*, 4:1. Telkom University: Telkom University.
- Wiginton, L.K., H.T. Nguyen, J.M. Pearce. 2010. Computers , environment and urban systems quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energi policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34: 345–357. doi:10.1016/j.compenurbusys.2010.01.001.
- Yulia, E., Putra, P., Ekawati, E., & Nugraha. 2016. Polisi tidur piezoelektrik sebagai pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi mekanik kendaraan bermotor. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 18(1): 105–113.