

Pengaruh Variasi Curah Hujan dan Sudut Kemiringan terhadap Daya Keluaran pada Alat Uji Piezoelektrik

Wahyu Cahyo Widodo¹, Windarta^{*}, Ratna Dewi Nur'aini², Fadwah Maghfurah¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

² Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

*E-mail koresponden: windarta@umj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat piezoelektrik dalam menghasilkan daya mekanis dan efisiensi energi berdasarkan variasi curah hujan dan sudut kemiringan modul. Penelitian dilakukan dengan menguji daya mekanis pada kemiringan 0°, 15°, dan 30° dengan curah hujan yang bervariasi yaitu 2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm. Metode penelitian yang digunakan meliputi beberapa tahapan untuk menganalisis pengaruh intensitas curah hujan dan sudut kemiringan terhadap daya yang dihasilkan oleh panel piezoelektrik. Proses penelitian dimulai dari studi literatur mengenai piezoelektrik, penentuan variabel penelitian, pengujian alat uji piezoelektrik. Analisis data secara numerik. Eksperimen dilakukan dengan tiga tingkat intensitas curah hujan (2.5 mm, 5 mm, dan 7.5 mm) serta tiga sudut kemiringan panel (0°, 15°, dan 30°) untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing variabel terhadap tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa pada kemiringan 0°, daya mekanis tertinggi tercatat pada curah hujan 7,5 mm dengan nilai 155,62 W/m², sedangkan pada curah hujan 2,5 mm, daya mekanis jauh lebih rendah, yaitu 2,46 W/m². Daya mekanik cenderung meningkat seiring dengan dengan banyaknya curah hujan. Pada pengaturan curah hujan 2,5 mm daya mekanik meningkat sebesar 6,5 %, sedangkan pada pengaturan curah hujan 5 mm dan 7,5 mm masing-masing bervariasi 4,8 % dan 2,7 % masing-masing. Daya elektrik output meningkat rata-rata 16,7% seiring peningkatan curah hujan tetapi menurun seiring peningkatan sudut kemiringan sebesar 26,3%. Perhitungan efisiensi daya elektrik output terhadap daya mekanis input persatuan luas didapat efisiensi tertinggi pada kondisi curah hujan 2,5 mm dan sudut kemiringan 0 derajat sebesar 19,7% dan terendah pada kondisi curah hujan 7,5 mm dan sudut kemiringan 30 derajat sebesar 2,2%. Secara keseluruhan efisiensi energi rata-rata sebesar 8,6%. Temuan ini mengindikasikan bahwa intensitas curah hujan berpengaruh signifikan terhadap daya mekanis, dan efisiensi konversi energi dipengaruhi oleh sudut kemiringan dengan cara yang bervariasi. Hasil penelitian ini memberikan wawasan penting dalam pengembangan modul piezoelektrik untuk aplikasi energi terbarukan.

Kata Kunci: Piezoelektrik, daya mekanik, curah hujan, sudut kemiringan, Efisiensi

ABSTRACT

This study aims to evaluate the performance of piezoelectric devices in generating mechanical power and energy efficiency based on variations in rainfall and module tilt angle. The study was conducted by testing mechanical power at slopes of 0°, 15°, and 30° with varying rainfall of 2.5 mm, 5 mm, and 7.5 mm. The research method used includes several stages to analyze the effect of rainfall intensity and tilt angle on the power generated by the piezoelectric panel. The research process begins with a literature study on piezoelectricity, determination of research variables, testing of piezoelectric test equipment. Numerical data analysis. Experiments were conducted with three levels of rainfall intensity (2.5 mm, 5 mm, and 7.5 mm) and three panel tilt angles (0°, 15°, and 30°) to evaluate the effect of each variable on the voltage, current, and power generated. The results show that at a slope of 0°, the highest mechanical power was recorded at 7.5 mm rainfall with a value of 155.62 W/m², while at 2.5 mm rainfall, the mechanical power was much lower, which was 2.46 W/m². Mechanical power tends to increase with the amount of rainfall. At a rainfall setting of 2.5 mm, the mechanical power increased by 6.5%, while at a rainfall setting of 5 mm and 7.5 mm, it varied by 4.8% and 2.7% respectively. The output electrical power increased by an average of 16.7% with increasing rainfall but decreased with increasing slope angle by 26.3%. The calculation of the efficiency of the output

electrical power against the input mechanical power per unit area obtained the highest efficiency at a rainfall condition of 2.5 mm and a slope angle of 0 degrees of 19.7% and the lowest at a rainfall condition of 7.5 mm and a slope angle of 30 degrees of 2.2%. Overall, the average energy efficiency is 8.6%. These findings indicate that rainfall intensity has a significant effect on mechanical power, and energy conversion efficiency is affected by the inclination angle in varying ways. The results of this study provide important insights into the development of piezoelectric modules for renewable energy applications.

Keywords: Piezoelectric, mechanical power, rainfall, tilt angle, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan penggerak ekonomi dunia yang keberadaannya sangat diutamakan. Saat ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat dikarenakan adanya pertumbuhan penduduk serta kemajuan teknologi informasi. Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia, oleh sebab itu ketersediaan energi listrik harus dipertahankan. Beberapa teknologi pembangkit listrik telah ditemukan baik berdasarkan bahan bakar fosil maupun bahan bakar energi terbarukan seperti PLTS, PLTU, PLTG, PLTA serta pemanfaatan material-material energi lainnya. Pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar saat ini sudah tidak ekonomis lagi dikarenakan ketersediaan bahan bakar yang semakin menipis disertai harga bahan bakar yang cenderung meningkat serta transportasi yang jauh ke tempat pembangkitan, sehingga dibutuhkan energi alternatif lain sebagai pembangkit listrik. Dari kenyataan saat ini, dapat diketahui bahwa kita harus mencari energi alternatif yang dapat dijadikan pembangkit listrik, namun pencarian energi alternatif dari sumber energi yang memiliki potensi sering diabaikan. Banyak kajian yang terdahulu yang telah dibuat untuk menciptakan energi terbarukan baik dari alam langsung maupun kajian tentang material baru, salah satu dari material baru tersebut adalah piezoelektrik (Margoleno, 2018).

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber energi baru dan terbarukan yang belum berkembang dan massif digali dan dimanfaatkan, khususnya energi sel surya dan energi air hujan. Keuntungan dari iklim tropis, hujan dan panas, harus dikembangkan secara besar-besaran dan dilakukan diversifikasi energi. Tidak hanya energi fosil yang digunakan, namun juga energi fosil energi yang ada di

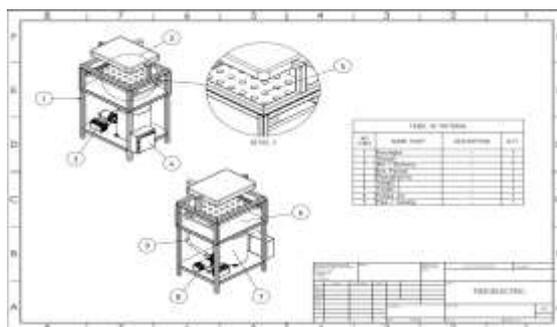
sekitar kita. Salah satu energi air hujan ini dengan menggunakan Piezoelektrik. Bahan piezoelektrik mampu mengubah energi mekanik menjadi energi (Pratama dkk., 2021). Sementara Moonik dkk. (2023) merancang pemanen energi air hujan dengan menggunakan sensor transduser. Sedang Ilyasa (2024) menganalisis pengaruh sudut kemiringan piezoelektrik terendam menggunakan alat skala laboratorium. Oleh karena itu pembahasan tentang piezoelektrik menjadi pembahasan yang pokok pada penelitian ini.

Penelitian ini mengidentifikasi beberapa masalah utama yang perlu dianalisis untuk memahami kinerja sistem piezoelektrik dalam berbagai kondisi lingkungan. Pertama, perlu diketahui bagaimana intensitas curah hujan sebesar 2.5 mm, 5 mm, dan 7.5 mm mempengaruhi keluaran listrik dari panel piezoelektrik, termasuk tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Kedua, variasi sudut kemiringan panel piezoelektrik sebesar 0°, 15°, dan 30° juga menjadi faktor penting yang harus dianalisis untuk melihat dampaknya terhadap performa listrik sistem. Selanjutnya, penting untuk memahami interaksi antara curah hujan dan sudut kemiringan panel serta bagaimana kombinasi kedua faktor ini mempengaruhi keluaran listrik. Selain itu, perlu diteliti bagaimana perubahan dalam variabel lingkungan ini dapat dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi dan keluaran energi dari sistem piezoelektrik. Akhirnya, keandalan alat uji piezoelektrik harus dipastikan agar hasil yang diperoleh konsisten dan dapat diandalkan di bawah berbagai kondisi pengujian. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat piezoelektrik dalam menghasilkan daya mekanis dan efisiensi energi berdasarkan variasi curah hujan dan sudut kemiringan modul. Penelitian dilakukan dengan menguji daya mekanis pada kemiringan 0°, 15°, dan 30°

dengan curah hujan yang bervariasi yaitu 2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm. Melalui eksperimen dan analisis data yang mendalam, sehingga dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang optimasi sistem piezoelektrik dalam aplikasi nyata

2. METODE PELAKSANAAN

Metode penelitian ini meliputi beberapa tahapan sistematis untuk menganalisis pengaruh intensitas curah hujan dan sudut kemiringan terhadap daya yang dihasilkan oleh panel piezoelektrik. Proses penelitian dimulai dari studi literatur mengenai piezoelektrik, penentuan variabel penelitian, pengujian alat uji piezoelektrik, seperti dijelaskan pada Gambar 1 (a) dan (b). Analisis data secara numerik. Eksperimen dilakukan dengan tiga tingkat intensitas curah hujan (2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm) serta tiga sudut kemiringan panel (0° , 15° , dan 30°) untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing variabel terhadap tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Desain alat uji piezoelektrik 2D dan (b) Desain 3D

Data dikumpulkan melalui observasi langsung dengan memanfaatkan perangkat seperti multimeter untuk pengukuran listrik serta rain gauge dan inclinometer untuk mengatur kondisi eksperimen. Pengolahan data dilakukan menggunakan persamaan matematis untuk menghitung daya mekanis, daya keluaran piezoelektrik, dan efisiensi. Analisis ini memungkinkan identifikasi kondisi optimal bagi material piezoelektrik dalam konversi energi mekanik menjadi listrik, serta memberikan gambaran mengenai efisiensi energi di bawah berbagai kondisi curah hujan dan sudut kemiringan panel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan memaparkan analisis daya yang dihasilkan oleh panel piezoelektrik pada variasi intensitas curah hujan (2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm) serta pada sudut kemiringan yang berbeda (0° , 15° , dan 30°). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan intensitas curah hujan berkorelasi dengan peningkatan daya mekanis dan daya keluaran piezoelektrik. Pada sudut kemiringan 0° , daya keluaran yang dihasilkan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan sudut yang lebih besar, terutama pada intensitas hujan tertinggi, yaitu 7,5 mm. Hal ini mengindikasikan bahwa kemiringan yang rendah lebih optimal untuk konversi energi tetesan hujan menjadi listrik pada modul piezoelektrik.

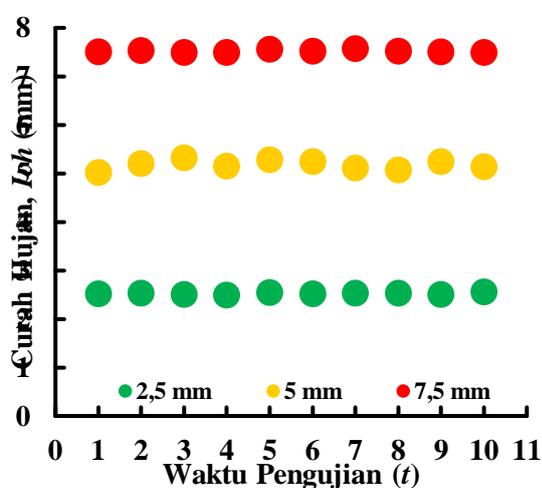
Efisiensi konversi energi turut dianalisis berdasarkan intensitas hujan dan sudut kemiringan. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi dicapai pada sudut kemiringan 0° dengan intensitas hujan yang lebih besar, menggarisbawahi pentingnya sudut kemiringan dalam memaksimalkan kinerja modul piezoelektrik. Penelitian ini memberikan wawasan untuk pengaturan optimal panel piezoelektrik agar dapat memanfaatkan curah hujan sebagai sumber energi terbarukan, terutama di daerah yang sering mengalami hujan.

Curah hujan pada tiga kemiringan modul piezoelektrik yang berbeda: 0° , 15° , dan 30° , disajikan pada Gambar 2. Pada setiap kemiringan, terdapat tiga data curah hujan yang diukur, yaitu 2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm. Untuk kemiringan 0° , waktu

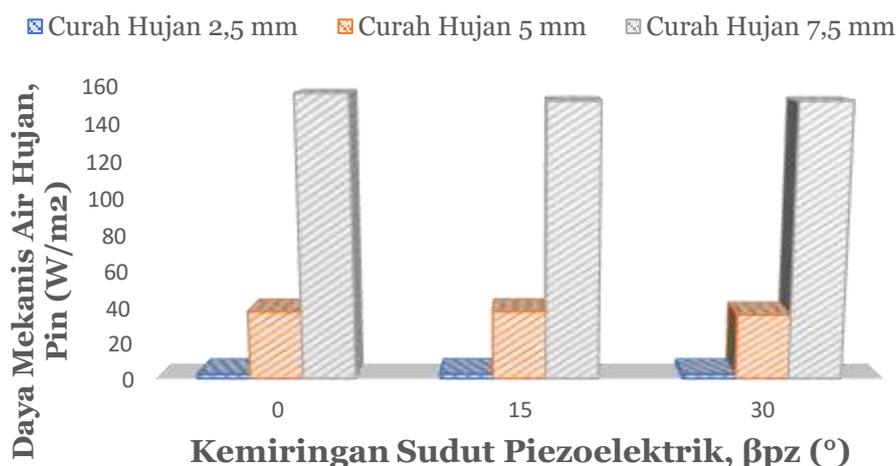
pengujian untuk curah hujan dari 1 hingga 10 berkisar dari 2,50 hingga 2,56, dengan nilai tertinggi pada waktu pengujian ke-10 (2,56) dan nilai terendah pada beberapa waktu pengujian seperti ke-1, 3, dan 4 (2,50). Untuk curah hujan 5 mm, data bervariasi dari 5,02 hingga 5,28, dengan nilai tertinggi pada pengujian ke-5 dan terendah pada pengujian ke-1. Curah hujan 7,5 mm menunjukkan nilai yang relatif stabil, berkisar antara 7,51 hingga 7,57, dengan nilai tertinggi pada pengujian ke-7. Pada kemiringan 15°, waktu pengujian untuk curah hujan 2,5 mm tercatat antara 2,50 hingga 2,55.

Curah hujan 5 mm memiliki rentang waktu pengujian dari 5,00 hingga 5,31, dengan nilai tertinggi pada pengujian ke-2 dan ke-3, dan nilai terendah pada pengujian ke-6. Untuk curah hujan 7,5 mm, nilai waktu pengujian berada dalam kisaran 7,52 hingga 7,56, dengan nilai tertinggi pada pengujian ke-4. Pada kemiringan 30°, waktu pengujian untuk curah hujan 2,5 mm bervariasi dari 2,51 hingga 2,58, dengan nilai tertinggi pada pengujian ke-9 dan nilai terendah pada pengujian ke-1, 2, dan 3. Curah hujan 5 mm menunjukkan rentang waktu pengujian dari 5,02 hingga 5,24, dengan nilai tertinggi pada pengujian ke-6. Sementara itu, curah hujan 7,5 mm konsisten pada nilai 7,51 hingga 7,55, dengan nilai tertinggi pada pengujian ke-1. Data ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan dalam kemiringan modul piezoelektrik, nilai curah hujan yang terukur menunjukkan kecenderungan yang konsisten, dengan variasi kecil dalam waktu pengujian yang terdeteksi.

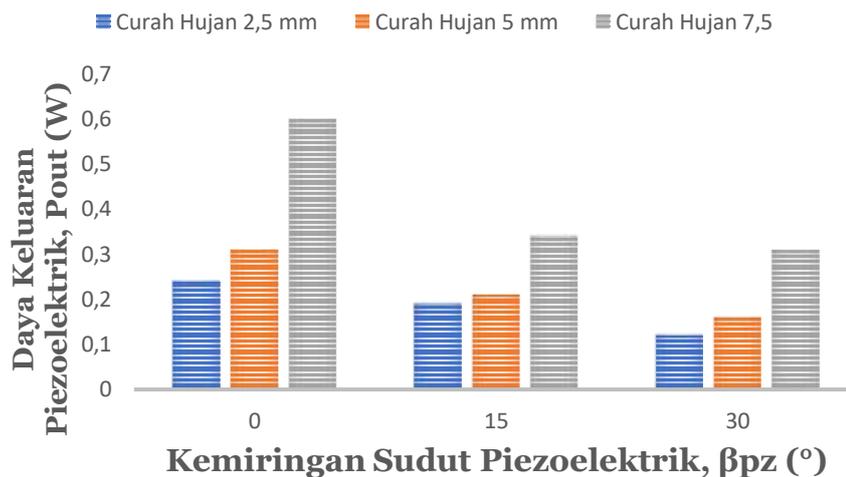
Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengukuran piezoelektrik memiliki keandalan yang baik dalam mendeteksi curah hujan pada berbagai sudut kemiringan, dengan tingkat akurasi yang stabil untuk tiga tingkat curah hujan yang berbeda



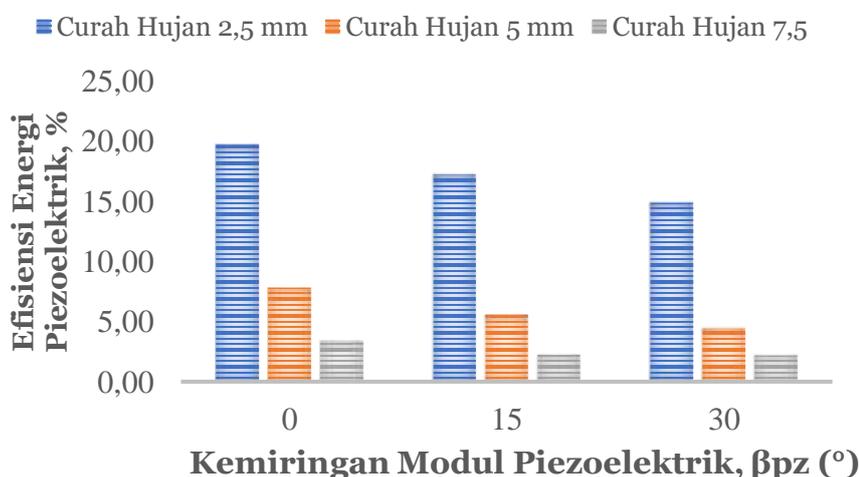
Gambar 2. Hasil Pengukuran Curah hujan



Gambar 3. Daya mekanis air hujan terhadap kemiringan sudut piezoelektrik



Gambar 4. Daya keluaran piezoelektrik terhadap sudut kemiringan piezoelektrik



Gambar 5. Efisiensi energi piezoelektrik terhadap sudut kemiringan piezoelektrik

Pada Gambar 3 menunjukkan grafik daya mekanik piezoelektrik terhadap sudut kemiringan berdasarkan curah hujan yang bervariasi. Daya mekanik dihasilkan dari energi potensial dari air hujan. Daya mekanik cenderung meningkat seiring dengan dengan banyaknya curah hujan. Pada pengaturan curah hujan 2,5 mm daya mekanik meningkat sebesar 6,5 %, sedangkan pada pengaturan curah hujan 5 mm dan 7,5 mm masing-masing bervariasi 4,8 % dan 2,7 % masing-masing. Hal ini menunjukkan bahwa curah hujan dan sudut kemiringan berpengaruh terhadap daya mekanik air hujan pada pengujian alat piezoelektrik.

Gambar 4 menyajikan daya elektrik yang dihasilkan berdasarkan pengondisian

curah hujandan sudut kemiringan alat piezoelektrik. Pengaruh sudut kemiringan 0°, 15°, dan 30° dan variasi curah hujan 2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm pada modul piezoelektrik. Pada grafik ini, terlihat bahwa curah hujan 2,5 mm menunjukkan nilai daya output sebesar 0,24 W, 0,19 W dan 0,12 W pada sudut kemiringan 0°, 15° dan 30°. Hal ini menunjukkan penurunan rata-rata sebesar 16,7 % seiring peningkatan sudut kemiringan. Sementara pada sudut kemiringan 0° hasil daya elektrik output menunjukkan 0,24 W, 0,31 W dan 0,6 W pada variasi curah hujan 2,5 mm, 5 mm dan 7,5 mm. Pada pengaturan sudut kemiringan 15° daya elektrik output sebesar 0,19 W, 0,21 W dan 0,34 W pada curah hujan 2,5 mm, 5 mm, dan 7,5 mm.

Berdasarkan perhitungan di dapat peningkatan daya output sebesar 26,3 %. Daya output tertinggi dihasilkan pada kondisi curah hujan 2,5 mm dengan sudut kemiringan 0° yaitu sebesar 0,61 W.

Rentang daya mekanis ini menunjukkan bahwa intensitas curah hujan yang lebih tinggi secara signifikan meningkatkan output daya mekanis.

Gambar 5 menampilkan data hasil perhitungan efisiensi daya elektrik output terhadap daya mekanis input persatuan luas. Efisiensi tertinggi pada kondisi curah hujan 2,5 mm dan sudut kemiringan 0 derajat sebesar 19,7% dan terendah pada kondisi curah hujan 7,5 mm dan sudut kemiringan 30 derajat sebesar 2,2%. Secara keseluruhan efisiensi energi rata-rata sebesar 8,6%.

Ini menunjukkan peningkatan curah hujan tidak secara otomatis meningkatkan daya elektrik output, sehingga efisiensi tidak otomatis meningkat. Hasil ini menunjukkan bahwa intensitas curah hujan yang lebih tinggi memungkinkan sistem untuk mengkonversi lebih banyak energi kinetik dari air hujan. Konsistensi data di seluruh periode pengujian menunjukkan keandalan sistem dalam menghasilkan daya mekanis dari curah hujan yang deras.

4. KESIMPULAN

Intensitas curah hujan dan sudut kemiringan alat piezoelektrik memiliki pengaruh signifikan terhadap daya mekanik, daya keluaran dan efisiensi konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Pada intensitas hujan yang lebih tinggi, daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh alat piezoelektrik meningkat sebesar 26,3 %, terutama pada sudut kemiringan 0°. Sedangkan peningkatan curah hujan dari 2,5 mm, 5 mm dan 7,5 mm daya output mengalami penurunan sebesar 16,7 %. Hal ini menegaskan bahwa sudut kemiringan optimal dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan dari energi kinetik tetesan hujan. Temuan ini memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya untuk memanfaatkan curah hujan sebagai sumber energi alternatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Jakarta, Dekan Fakultas Teknik dan semua pihak sehingga penelitian ini terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, N. A. K. Z., Nayan, M. N., Azizan, M. M., & Ali, A. (2018). Implementation of rain power generation using circular piezoelectric. *AIP Conf Proc*, 2030(November).
- Anton, S. R., & Sodano, H. A. (2007). A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003–2006). *Smart Mater Struct*, 16(3), 1–21.
- Diniardi, E., Syawaludin, S., Ramadhan, A. I., Fithriyah, N. H., & Dermawan, E. (2018). Analisis Daya Piezoelektrik Model Hybrid Solar Cell-Piezoelectric Skala Rendah. *J Teknol Univ Muhammadiyah Jakarta*, 10(2), 139–146.
- Ilyasa, F., 2024, Optimalisasi Sudut Kemiringan dari Piezoelektrik yang Tenggelam dalam Skala Laboratorium, Tesis, ITS repository
- Jayawardena, A. W., & Rezaur, R. B. (2000). Measuring drop size distribution and kinetic energy of rainfall using a force transducer. *Hydrol Process*, 14(1), 37–49.
- Margoleno, B., (2018). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Getar Dengan Memanfaatkan Piezoelektrik. *Semin Nas Ind dan Teknol*, 107–122.
- Miceli, R., Romano, P., Spataro, C., & Viola, F. (2014). Performances of rainfall energy harvester. In *20th IMEKO TC4 Symposium on Measurement of Electrical Quantities and 18th TC4 International Workshop on ADC DCA Model Testing* (pp. 467–472).
- Moonik, A., Rantung, J., dan Maluegha, B., 2023, PEMANEN ENERGI LISTRIK DARI CURAH HUJAN MELALUI TRANSDUSER PIEZOELEKTRIK SECARA SERI DAN PARALEL, *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat* Volume 12 No 1, 1 -12
- Pratama, D., Qiram, I., Muhtar, A., 2021, Pengaruh Sudut Kemiringan Dan

Jenis Material Atap Terhadap Tegangan Listrik Yang Dihasilkan Piezoelektrik, Jurnal V-Mac, Vol 6 No 2, 71-74

Ramadhan, M. R., Sasmono, S., & Ekaputri, C. (2021). Perancangan Prototipe Konversi Hybrid Energi Suara, Energi Tekanan Dan Energi Angin Menjadi Energi Listrik Menggunakan Komponen Piezoelektrik. *e-Proceeding Eng*, 8(5), 4447-4457.

Wang, H., & Jasim, A. (2020). Piezoelectric energy harvesting from pavement. In *Eco-efficient Pavement Construction Materials* (pp. 367-382).

Zebua, D., Kolago, D., Wijaya, Y. A. C., & Utama, Y. A. K. (2019). Desain dan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Air Hujan Menggunakan Piezoelectric Disk. *J Tecnoscienza*, 4(1), 1-16.