

Desain dan Simulasi Teknologi Energy Harvesting dari Air Hujan Menggunakan Material Piezoelectric

Muhammad Rafi Athallah Aziz^{1*}, Fikrul Ihsan Arifin¹

¹Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

ABSTRACT

The development of technology in the field of energy harvesting is increasing rapidly. One of the energy harvesting sources that can be used is rainwater. Rainwater can generate mechanical energy through impact and flow, which can then be converted into electrical energy for use in low-energy consumption electronic devices. Piezoelectric material has the ability to convert mechanical energy from raindrops into electrical energy. This technology offers a solution to harness previously unused energy. This research focuses on designing an energy harvesting technology from rainwater using piezoelectric material and simulating the design using Python to evaluate the performance of the design

ABSTRAK

Pengembangan teknologi di bidang energy harvesting semakin meningkat pesat. Salah satu sumber energy harvesting yang dapat digunakan adalah air hujan. Air hujan dapat menghasilkan energi mekanik melalui benturan dan aliran, yang kemudian dapat diubah menjadi energi listrik untuk digunakan pada alat-alat elektronik dengan konsumsi energi kecil. Material piezoelectric memiliki kemampuan untuk mengubah energi mekanik dari tetesan air hujan menjadi energi listrik. Teknologi ini menawarkan solusi untuk memanfaatkan energi yang sebelumnya tidak terpakai. Penelitian ini berfokus pada pembuatan rancangan teknologi energy harvesting dari air hujan menggunakan material piezoelectric dan simulasi desain menggunakan Python untuk mengevaluasi kinerja desain tersebut.

KONTAK

mr4f1athallah@gmail.com

KATA KUNCI

Energy Harvesting, Rainwater, Piezoelectric, Design Simulation

PENDAHULUAN

Simulasi atau pengepakan adalah proses yang digunakan untuk menggambarkan, memodelkan, atau meniru sistem atau situasi tertentu dengan tujuan untuk memahami, menganalisis, atau merencanakan. (Fadhila, 2018).

Simulasi komputer adalah teknik yang menggunakan model matematis dan algoritma untuk meniru perilaku sistem nyata atau fenomena dalam lingkungan virtual. Proses ini memungkinkan analisis dan prediksi hasil tanpa melakukan eksperimen langsung. Simulasi komputer sering digunakan dalam berbagai bidang, seperti ilmu pengetahuan, rekayasa, ekonomi, dan pelatihan, untuk mengeksplorasi berbagai skenario dan memfasilitasi pengambilan keputusan. (Ekawati, 2015).

Dalam dunia fisika, energi merupakan karakteristik mendasar yang melekat pada setiap objek, berpindah melalui interaksi fundamental, dan memiliki kemampuan untuk berubah bentuk, meskipun tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Energi kinetik, yang berhubungan langsung dengan gerakan objek, mencerminkan dinamika suatu sistem. Sebaliknya, energi potensial berkaitan dengan konfigurasi ruang dan interaksi antar komponen dalam sistem tersebut. (Aswardi, 2019). Energi internal mencakup komponen energi kinetik yang dihasilkan oleh gerakan molekul serta energi potensial yang berasosiasi dengan getaran dan rotasi atom-atom dalam molekul. Energi listrik, yang diukur dalam satuan Watt-jam atau kiloWatt-jam, berkaitan dengan arus elektron yang mengalir melalui konduktor tertentu. (Aswardi, 2019). (Pudjanarsa, 2018)

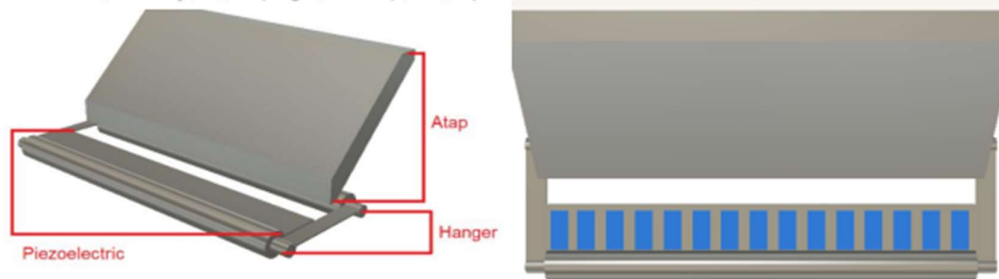
Perpindahan energi listrik terjadi sebagai aliran elektron dalam konduktor, sementara energi tersebut dapat disimpan dalam bentuk medan elektrostatik, yang dihasilkan oleh akumulasi muatan pada pelat kapasitor. Dalam konteks energi mekanik, perubahan energi ini diartikulasikan sebagai kerja, yang tersimpan dalam bentuk energi kinetik atau energi potensial (Saleh, 2018)

Proyek yang bertajuk "Desain dan Simulasi Teknologi Energy Harvesting dari Air Hujan Menggunakan Material Piezoelektrik" dilaksanakan dengan pemanfaatan aplikasi pemrograman Visual Studio dan bahasa Python. Proyek ini bertujuan untuk mereplikasi karakteristik fisik material piezoelektrik saat terpapar tetesan air hujan. Data yang dihasilkan dari simulasi ini akan mengukur beda potensial pada material piezoelektrik, berfungsi sebagai parameter penunjuk adanya arus listrik yang mengalir melalui material tersebut.

METODE DESAIN

1. Model Rancangan Harvesting Piezoelektrik

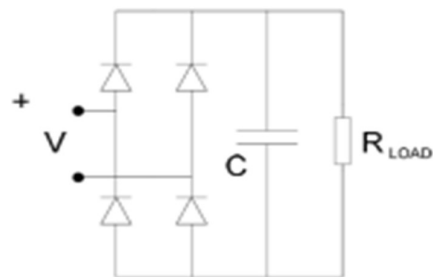
Desain dari produk kami telah kami sesuaikan demi mendapatkan efisiensi yang optimum dan dapat disebarluaskan kegunaannya pada masyarakat yang membutuhkan sumber energi terbarukan sekunder.



Gambar 1 : Model Desain Permukaan Piezoelektrik

Desain ini terdiri dari tiga komponen utama yang saling berinteraksi untuk mengoptimalkan proses pengumpulan energi dari air hujan. Pertama, bagian atap berfungsi untuk menangkap air hujan dan mengarahkan aliran air ke bawah, memastikan bahwa volume air yang diterima maksimal. Kedua, bagian hanger berperan sebagai penopang untuk elemen piezoelektrik, dirancang dengan kekuatan dan stabilitas yang memadai agar piezoelektrik terpasang dengan tepat dan tidak terganggu oleh aliran air. Terakhir, bagian piezoelektrik adalah inti dari alat, di mana proses konversi energi terjadi. Ketika air mengalir melewati material piezoelektrik, gesekan dan tekanan yang dihasilkan memicu reaksi piezoelektrik, menghasilkan listrik dari gerakan tersebut. Secara keseluruhan, alat ini mengubah energi kinetik dari air hujan menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan. Gambar kedua menunjukkan tampilan alat dari atas, di mana lembaran-lembaran piezoelektrik disusun secara merata untuk meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan.

2. Komponen Harvesting



Gambar 2 : Rangkaian full bridge rectifier

Rangkaian di atas adalah full bridge rectifying circuit atau Penyearah Gelombang Penuh dengan menggunakan 4 Dioda adalah jenis Rectifier yang paling sering digunakan dalam rangkaian Power Supply karena memberikan kinerja yang lebih baik dari jenis Penyearah lainnya. Komponen Harvesting digunakan untuk menampung energi listrik pada R Load

- a. Tegangan yang diterima oleh R Load adalah:

$$V_{ripple} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_{T_0}^{T_f} (v(t) - v)^2 dt \right)} \quad \text{Persamaan 2.1}$$

T = Waktu Pengamatan

v(t) = Fungsi beda potensial terhadap waktu

v = Rata rata beda potensial selama pengamatan

- b. Faktor ripple (r) adalah suatu indikasi keefektifan suatu filter yang didefinisikan :

$$r = (V_{ripple}/V_{avg})100\% \quad \text{Persamaan 2.11}$$

3. Algoritma Simulasi Bahan Piezoelektrik

Hukum fisika menjadi landasan dasar dalam simulasi ini. Mulai dari mengkaji dan mengumpulkan persamaan yang berkorelasi langsung dengan simulasi, serta menjabarkan alur atau skema fisika dari awal sampai akhir. Namun, untuk menyederhanakan simulasi, kami berfokus dalam mengembangkan kode pemrograman dari interaksi piezoelektrik saat menerima impuls dari tetesan air hujan serta mengabaikan variabel pengganggu seperti kecepatan angin yang dapat mempengaruhi kecepatan tetesan air hujan, intensitas hujan, suhu udara yang dapat mempengaruhi sifat materialnya, serta menganggap material yang disimulasikan bersifat isotropik yang menandakan material memiliki properti yang sama di seluruh titik pada material tersebut.

Kami mengasumsikan bahwa struktur material piezoelektrik dapat dianalogikan seperti pegas yang tersusun layaknya kristal dengan formasi SC (Simple Cubic) menjadikan persamaan osilasi dapat diterapkan dalam proses simulasi. Sehingga persamaan utama dari simulasi ini adalah :

$$\frac{m * d^2 z(x, y, t)}{dt^2} + \gamma * \frac{dz(x, y, t)}{dt} + \kappa * z(x, y, t) = -v^2 \left(\frac{d^2 z(x, y, t)}{dt^2} \right) + \frac{F_0}{\rho} ([\delta(x - x_0)][\delta(y - y_0)][\delta(t - t_0)]) \quad \text{Persamaan 2.2}$$

Persamaan tersebut menggambarkan interaksi dari tetesan air hujan yang akan mentransferkan energi kinetiknya menjadi energi mekanik pada piezoelektrik dalam waktu yang sangat singkat ditandakan dengan adanya konstanta delta dirac pada ruas kanan persamaan 2.1. Keterangan variabel dari persamaan tersebut adalah :

$$\gamma = 2\zeta A \sqrt{E\rho} \quad \text{Persamaan 2.21}$$

$$\kappa = E.A/L \quad \text{Persamaan 2.22}$$

m = Massa atom rata rata

γ = Konstanta Redaman Material

A = Luas Permukaan Material Piezoelektrik

ρ = Massa Jenis Material Piezoelektrik

E = Modulus Young Material Piezoelektrik

L = Ketebalan Bahan

F_0 = Gaya Newton dari setetes air hujan

Langkah pertama dalam pemrograman adalah membuat list kosong dengan jumlah array ij yang dinotasikan sebagai (Zij), sehingga persamaan 2.1 dapat dijalankan. Serta, persamaan 2.1 haruslah diubah menjadi persamaan numerik sehingga komputer dapat lebih mudah melakukan proses iterasi. Impuls akan timbul dari kode program “random”, sehingga impuls dapat muncul secara acak di sepanjang sumbu x dan y atau di sepanjang wilayah ij yang sudah diatur dalam bahasa pemrograman.

Mengacu pada model yang kami asumsikan sebelumnya yaitu Simple Cubic terhadap material piezoelektrik, kami memanfaatkan persamaan 2.1 untuk membentuk data strain atau regangan yang timbul pada sumbu z akibat perubahan pada list Zij yang kemudian disimpan oleh program dalam list σ_{ij} . Dengan persamaan matematisnya adalah :

$$\sigma_{ij} = (Zij - L) / L \quad \text{Persamaan 2.3}$$

$Zij - L$ = Perubahan ketebalan material

Data strain (σ_{ij}) akan digunakan untuk menentukan nilai medan listrik dalam material piezoelektrik. Nilai medan listrik dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$E_{ij} = \sigma_{ij} . d_{ij} \quad \text{Persamaan 2.4}$$

d_{ij} = konstanta dielektrik

Persamaan 2.3 adalah operasi perkalian dua matriks strain dengan konstanta dielektrik. d_{ij} merupakan list dalam program yang berisikan nilai yang sama pada keseluruhan array, properti ini berkaitan dengan sifat material yang kami asumsikan pada awal yaitu material bersifat isotropik.

Dengan didapatkannya nilai medan listrik dalam material yang disimulasikan, data akhir yaitu beda potensial yang timbul akibat tetesan air hujan dapat dibentuk dalam grafik. Nilai beda potensial bahan piezoelektrik adalah :

$$V_{ij} = E_{ij} . (L + Z) \quad \text{Persamaan 2.5}$$

Data dalam list Vij akan dihitung rata ratanya di setiap iterasi. Nilai rata rata beda potensial pada material piezoelektrik akan ditampilkan pada grafik menggunakan library matplotlib.

4. Material Uji Coba

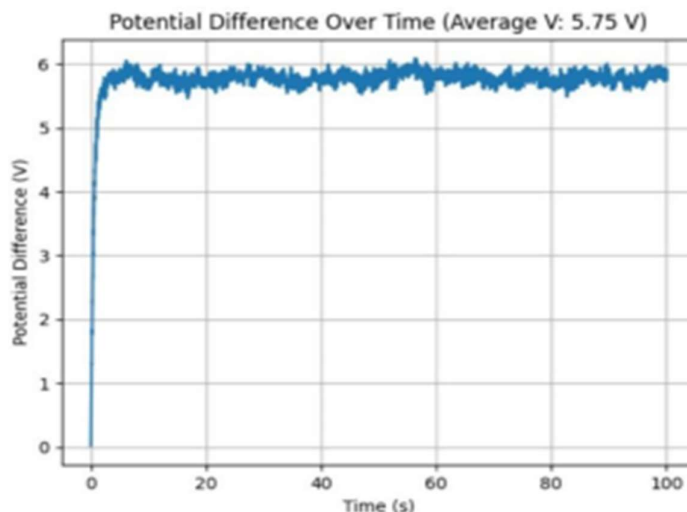
Demi mendapati hasil simulasi yang realistis, kami melakukan uji coba pada material Piezoelektrik yang memiliki kriteria yaitu nilai variabel yang sesuai dengan persamaan 2.2. Dengan nilai setiap variabelnya adalah

Variabel	Nilai
Konstanta Redaman Material	0,1
Massa Jenis Piezoelektrik	7800 kg/m ³
Strain Piezoelektrik	390×10^{-12} m/V
Modulus Young Piezoelektrik	365 GPa

Sumber: Chris R Bowen, 2015

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi ini diterapkan pada material piezoelektrik jenis PZT 5H dengan gaya impuls yang sama akibat tumbukan air hujan pada permukaan. Hasil dari simulasi adalah data beda potensial terhadap waktu yang dapat ditampilkan pada grafik berikut :



Gambar 3. Beda Potensial pada Piezoelektrik

Menurut simulasi kami, saat material piezoelektrik menerima tekanan akibat air hujan, material tersebut dapat menimbulkan beda potensial yang ditampilkan pada grafik diatas. Material yang digunakan adalah PZT-5H yang memiliki sifat material piezoelektrik terbaik tetapi dipengaruhi oleh perubahan suhu, yang dapat mengurangi rentang suhunya dibandingkan dengan jenis PZT lainnya seperti PZT-5A.

Energi yang dibawa oleh tetesan air hujan dapat disalurkan menggunakan full bridge rectifying circuit atau Penyearah Gelombang Penuh Dengan menggunakan rangkaian tersebut, kita dapat mengumpulkan energi listrik dari listrik yang bergerak berlawanan arah. Dengan beda potensial rata ratanya adalah 5.75 Volt.

KESIMPULAN

Air hujan dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energy harvesting untuk menyalakan komponen-komponen listrik kecil sebab air hujan membawa energi kinetik yang dapat diubah menjadi energi listrik. Sifat piezoelektrik untuk digunakan sebagai energy harvesting dari air hujan dapat disimulasikan menggunakan python untuk mengukur efisiensi alat energy harvesting dari air hujan.

REFERENSI

Fadhila, F., Ertikanto, C., & Rosidin, U. (2018). Pengaruh Simulasi PhET (Physic Education and Tecnology) Terhadap Kualitas dan Hasil Belajar. *Briliant*, 6(1), 599..

- Ekawati, Yuniar., Haris, Abdul., dan Amin, Bunga Dara. 2015. Penerapan Media Simulasi Menggunakan PHET (Physics Education And Technology) Terhadap Hasil Belajar Fisika Peserta Didik Kelas X SMA Muhammadiyah Limbung. Jurnal Pendidikan Fisika. Vol.3, No.1, Hal (74- 82). George B. Thomas, J. (2014). *Calculus* (Thirteenth). Boston: Pearson Education.
- Aswardi dan Yanto, D. T. P. (2019). Mesin Arus Searah. Purwokerto: CV IRDH. hlm. 7. ISBN 978- 623-7343-12-7.
- Pudjanarsa, A. dan Nursuhut, D. (2018). Mesin Konversi Energi. Yogyakarta: ANDI. ISBN 978-979- 29-3452-6.
- Saleh, A. S., dan Bahariawan, A. (2018). Buku Ajar Energi dan Elektrifikasi Pertanian. Sleman: Deepublish. ISBN 978-602-475-036-7.
- Chris R Bowen. (2015). Laser Interferometric Displacement Measurements of Multi-Layer Actuators and PZT Ceramics