

Implementasi Teknologi *Energy Harvesting* Menggunakan Sensor Piezoelektrik pada Sistem Penerangan Otomatis

1st Satria Fajar Rachmadiano
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Telkom Surabaya
Surabaya, Indonesia

satriafajar@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Dr. Susijanto Tri Rasmana, S.Kom., MT.
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Telkom Surabaya
Surabaya, Indonesia

susijanto@telkomuniversity.ac.id

3rd Dr. Isa Hafidz, ST., MT.
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Telkom Surabaya
Surabaya, Indonesia

isahafidz@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem lantai pemanen energi (energy harvesting) berbasis piezoelektrik yang diintegrasikan dengan sistem penerangan otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Latar belakang masalah yang mendorong pekerjaan ini adalah penggunaan energi listrik dunia yang masif. Hal tersebut mengakibatkan berbagai macam masalah pada lingkungan alam, sehingga diperlukan solusi energi alternatif yang efisien. Sistem ini menggunakan 25 keping sensor piezoelektrik yang disusun secara seri dan paralel untuk mengubah energi mekanik dari injakan kaki menjadi energi listrik. Energi tersebut disalurkan melalui jembatan dioda, lalu disimpan sementara pada kapasitor 100 μ F, dan dialirkan menuju baterai Li-Ion 18650 melalui modul pengisian TP4056. Pengujian dilakukan pada individu sampel dengan rentang berat badan 50–100 kg. Hasil menunjukkan bahwa tegangan luaran bersifat linear terhadap berat badan dan jumlah langkah, dengan tegangan maksimum mencapai 4,35 V pada beban 100 kg. Meski begitu, hasil analisis data mengungkapkan bahwa energi rata-rata per langkah hanya sebesar 40,5 nJ, sehingga diperlukan sekitar 395 juta langkah untuk mengisi penuh baterai 1200 mAh. Di sisi lain, sistem penerangan otomatis yang telah dilengkapi oleh sensor LDR dan PIR berhasil bekerja secara optimal, di mana lampu hanya akan menyala pada kondisi gelap jika terdeteksi gerakan dalam radius 5 meter. Meskipun hasil pemanenan energi belum sesuai dengan hipotesa awal sebagai sumber daya cadangan, penelitian ini memberikan landasan bagi implementasi serta penggunaan pemanen energi yang terintegrasi dengan sistem penerangan otomatis.

Kata kunci— hemat energi, panen energi, piezoelektrik, sistem penerangan otomatis.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia akan penggunaan energi di kehidupan sehari-hari kian lama kian meningkat. Meningkatnya kebutuhan energi dunia disebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk yang berbanding lurus dengan tingkat kebutuhan energi listrik untuk tiap individu. Pernyataan ini diperkuat dengan adanya data dari Badan Pusat Statistik, yang menyatakan bahwa pada tahun 2022 jumlah penduduk Indonesia semakin bertambah hingga

mencapai angka 277 juta jiwa. Energi listrik konvensional yang paling sering digunakan merupakan energi yang berasal dari sumber tidak terbarukan, contoh yang paling umum adalah penggunaan batu bara dan minyak bumi. Penggunaan energi listrik konvensional secara berlebihan menyebabkan berbagai macam kerusakan pada lingkungan, salah satunya pemanasan global. Dengan adanya masalah tersebut, kebutuhan energi alternatif sebagai pengganti energi konvensional sangat perlu untuk dipertimbangkan. Salah satu teknologi untuk mendapatkan sumber energi alternatif yang paling efisien adalah dengan Energy Harvesting atau Panen Energi. Energy Harvesting merupakan proses mengumpulkan energi alami yang bisa didapatkan dari lingkungan sekitar manusia, yang kemudian dapat dikonversi menjadi sumber energi listrik. Salah satu sumber energi alternatif yang memiliki potensi untuk dapat diterapkan adalah dengan penggunaan sensor piezoelektrik. Prinsip kerja sensor piezoelektrik adalah mengumpulkan gaya mekanik dari adanya getaran dan tekanan yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek piezoelektrik.

Contoh penggunaan energi yang paling masif digunakan pada lingkungan adalah sistem penerangan. Kebutuhan energi ini bisa lebih dioptimalkan dengan pemberian sistem yang dapat mengatur penggunaan lampu penerangan secara lebih efektif, seperti pemasangan sensor PIR (Passive Infrared Receiver). Sensor PIR seringkali digunakan untuk mendeteksi keluaran suhu tubuh manusia yang pada umumnya terdeteksi sebagai pancaran cahaya infra merah. Sistem penerangan ini nantinya akan digabungkan dengan purwarupa pemanen energi berbasis piezoelektrik sehingga menghasilkan masukan energi yang lebih optimal. Pemanfaatan sensor LDR juga mendukung efisiensi penggunaan energi yang akan dialirkan ke beban. Sensor LDR berfungsi untuk mendeteksi intensitas cahaya yang masuk dan akan menyesuaikan masukan dengan kondisi lingkungan. Dengan begitu energi yang digunakan untuk sistem penerangan akan lebih efektif dan tidak terbuang secara sia-sia.

II. KAJIAN TEORI

A. Energy Harvesting

Energy harvesting atau pemanenan energi dapat didefinisikan sebagai proses pengumpulan dan konversi energi yang diperoleh dari berbagai sumber energi alternatif di lingkungan sekitar. Proses ini bekerja dengan mengumpulkan energi dari sumber alam menggunakan sensor khusus, kemudian dikonversi menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk perangkat berdaya rendah. Salah satu pemanfaatan teknologi Energy Harvesting yang memiliki potensi cukup baik salah satunya adalah penggunaan sensor piezoelektrik. Sensor piezoelektrik mengubah energi mekanik seperti getaran dan tekanan menjadi energi listrik melalui material seperti PZT atau PVDF berdasarkan efek piezoelektrik langsung. Bahan ini menghasilkan muatan listrik yang sebanding dengan regangan yang diterimanya.

B. Efek Piezoelektrik

Piezoelektrik merupakan sebuah fenomena yang terjadi ketika sebuah benda dengan bahan tertentu menghasilkan energi listrik dari hasil adanya gaya mekanik yang mengenainya. Hal ini terjadi karena struktur kristal pada bahan tersebut terpolarisasi saat diberikan gaya mekanik seperti tekanan dan getaran. Terdapat dua jenis efek piezoelektrik, pertama adalah efek langsung, yaitu ketika adanya gaya mekanik yang diberikan kepada benda maka akan menghasilkan tegangan listrik secara konstan. Kedua yaitu efek balik yang dihasilkan oleh benda dengan bahan piezoelektrik ketika diberikan tegangan listrik. Berikut merupakan persamaan untuk mencari muatan dan juga tegangan luaran dari sebuah bahan dengan material piezoelektrik:

Muatan

$$Q = d \cdot F \quad (1)$$

Keterangan:

- Q adalah muatan (Coulomb),
- F adalah gaya (Newton),
- d adalah konstanta piezoelektrik (Coulomb/Newton).

Tegangan Luaran

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

Keterangan:

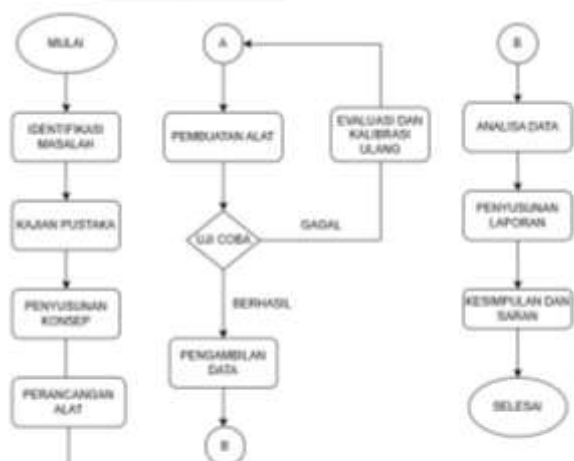
- V adalah tegangan keluaran (Volt),
- Q adalah muatan pada piezoelektrik (Coulomb),
- C adalah kapasitansi material piezoelektrik (farad),

Sensor piezoelektrik memiliki sensitivitas yang tinggi sehingga dapat mendeteksi gaya mekanik dengan lebih akurat. Sensor PIR (Passive Infrared Receiver) adalah sebuah sensor yang dapat mendeteksi pergerakan manusia dengan cara menerima sinyal inframerah yang dihasilkan oleh tubuh manusia. Sensor LDR bekerja dengan cara mengubah nilai resistansi berdasarkan jumlah cahaya yang masuk. Modul MT 3608 merupakan sebuah komponen step-up boost

converter yang memiliki fungsi sebagai alat untuk meningkatkan tegangan DC. Modul TP4056 adalah sebuah modul charging yang dapat digunakan untuk mengisi daya pada baterai Lithium-Ion. Arduino Uno R3 adalah sebuah papan mikrokontroler yang menggunakan chip ATmega328P sebagai otak sistem.

III. METODE

Pekerjaan ini dimulai dengan merumuskan permasalahan yang ada. Kajian pustaka berfungsi untuk mencari sumber-sumber terkait yang dapat mendukung pekerjaan serta relevan dengan topik yang dibahas. Sebelum dilakukan pekerjaan secara mendalam, dilakukan penyusunan konsep untuk menentukan tindakan selanjutnya terkait penerapan pustaka. Perancangan alat berfungsi untuk mengetahui desain dari alat yang akan dibuat serta mengetahui kebutuhan dari komponen yang digunakan. Tahap selanjutnya adalah pembuatan alat dengan mengimplementasikan desain yang telah dirancang. Alat kemudian diuji dengan beberapa parameter, terutama efektivitas energi yang dapat dipanen serta penggunaannya pada sistem penerangan otomatis. Metode pengambilan data dilakukan dengan implementasi alat pada tingkatan laboratorium dengan melibatkan beberapa relawan dengan rentang berat badan yang berbeda. Data yang telah diperoleh diolah sesuai dengan sistematika yang ada untuk menentukan kualitas data. Alur penelitian keseluruhan bisa diperhatikan secara lebih detail pada Gambar 1 berikut:



GAMBAR 1
(ALUR PENELITIAN)

Alat dan bahan yang digunakan meliputi 25 buah sensor piezoelektrik PZT, 1 buah sensor PIR, 1 buah sensor LDR, 1 buah modul sensor tegangan, 1 buah modul TP4056, 1 buah modul step-up booster 3608, 1 buah baterai Lithium Ion 18650 1200 mAh, dan 1 buah Arduino Uno R3. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE untuk memproses data input dari sensor. Desain penampang diuji coba menggunakan bahan rubber dan alas kayu dengan ukuran panjang 20 cm dan lebar 20 cm. Di atas penampang dipasang sensor piezoelektrik sebanyak 25 buah yang disusun secara paralel dan seri.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi alat terdiri dari 25 keping piezoelektrik yang disusun secara seri pada kolom rangkaian dan secara paralel pada barisnya untuk mendapatkan kombinasi maksimal antara tegangan dan arus. Kalibrasi piezoelektrik dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari Voltage Sensor dan Multimeter menggunakan sampel individu seberat 100 kg. Hasil kalibrasi menunjukkan tingkat error tidak melebihi 2%, yang berarti tingkat akurasi pembacaan sensor lebih dari 98%. Kalibrasi sensor LDR menunjukkan error yang relatif wajar dan membuktikan sensor dapat berfungsi dengan baik.

A. Pengujian Lantai Pemanen Energi

Pengujian lantai pemanen energi dilakukan dengan gerakan jalan di tempat dari 10 sampai 40 langkah pada sampel individu dengan berat 50 kg sampai 100 kg. Hasil pengujian menunjukkan nilai tegangan linear dengan jumlah injakan dan berat badan individu. Nilai arus maksimal yang diperoleh adalah 13,5 μA . Hasil dari pengujian lantai pemanen energi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

TABEL 1
(HASIL PENGUJIAN LANTAI PEMANEN ENERGI)

NO	Berat Badan (Kg)	Jumlah Langkah	Tegangan (V)	Arus Maksimal (μA)	Arus Minimal (μA)	Arus Rata-Rata (μA)	Daya Rata-Rata (μW)
1	52	10	0,85	11,2	8,9	10,05	8,54
		20	1,65	11,4	8,1	9,75	16,08
		30	2,37	12,7	9	10,85	25,7
		40	2,96	12	8	10	29,6
2	61	10	0,95	11,5	9	10,25	11,17
		20	2,05	12	8,9	10,45	21,9
		30	2,82	13,1	8,5	10,80	30,4
		40	3,50	13	8,5	10,75	37,6
3	78	10	1,03	12,8	8	10,40	9,88
		20	2,10	13	9	11	22,55
		30	3,20	13,2	9,1	11,15	35,68
		40	3,58	13	8,7	10,85	38,84
4	89	10	1,25	11	8,5	9,75	12,18
		20	2,48	11,5	8	9,75	24,18
		30	3,55	12	9	10,50	37,27
		40	4,10	12,6	8	10,30	42,23
5	100	10	1,52	12,1	8,9	10,50	15,96
		20	2,89	12,5	8	10,25	29,62
		30	3,78	12	8,5	10,25	38,74
		40	4,35	13,5	9	11,25	48,93

Energi yang diperlukan untuk mengisi penuh baterai 3,7 V kapasitas 1200 mAh adalah 15.984 joule. Dengan energi per langkah sebesar 40,5 nJ, maka dibutuhkan sekitar 395 juta langkah untuk mengisi baterai tersebut hingga penuh per satu buah lantai pemanen energi.

B. Pengujian Sistem Penerangan Otomatis

Pengujian pada sistem penerangan otomatis memiliki tujuan untuk mengetahui kegunaan sensor LDR pada beberapa kondisi intensitas cahaya seperti terang, agak terang, gelap total dan sebagainya. Fungsi dari logika ini adalah untuk membedakan kondisi lingkungan siang dan malam agar lampu dapat menyala pada malam hari dan pada

di siang hari secara otomatis. Hasil dari pengujian sistem penerangan otomatis dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

TABEL 1

(HASIL PENGUJIAN SISTEM PENERANGAN OTOMATIS)

NO	Kondisi Cahaya	LDR	Gerakan	PIR	Lampu
1	Gelap Total	HIGH	Ada	HIGH	ON
			Tidak Ada	LOW	OFF
2	Agak Gelap	HIGH	Ada	HIGH	ON
			Tidak Ada	LOW	OFF
3	Normal	LOW	Ada	HIGH	OFF
			Tidak Ada	LOW	OFF
4	Terang	LOW	Ada	HIGH	OFF
			Tidak Ada	LOW	OFF
5	Sangat Terang	LOW	Ada	HIGH	OFF
			Tidak Ada	LOW	OFF

Sistem penerangan otomatis diuji dengan individu berjalan melewati jarak pembacaan sensor PIR. Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa lampu hanya akan menyala ketika kondisi minim cahaya atau gelap total dan ada gerakan yang terdeteksi dalam radius 5 meter. Hal ini membuktikan bahwa sistem berhasil dirancang sesuai desain awal untuk menghemat daya baterai.

V. KESIMPULAN

Proyek ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sebuah lantai pemanen energi menggunakan sensor piezoelektrik yang terintegrasi dengan sistem penerangan otomatis. Sistem pemanen energi menghasilkan tegangan listrik minimum 0,85 V pada beban 52 kg dan maksimum 4,35 V pada beban 100 kg. Perolehan energi rata-rata dari satu injakan orang dewasa adalah 40,5 nJ. Untuk mengisi baterai Li-Ion 3,7 V kapasitas 1200 mAh diperlukan sekitar 395 juta langkah, sehingga hasil pemanenan energi belum optimal sesuai hipotesa awal sebagai sumber energi cadangan utama. Namun, fungsi sistem penerangan otomatis bekerja dengan sangat efektif sesuai logika yang dirancang, di mana lampu hanya menyala pada kondisi gelap dan terdapat gerakan, dengan tingkat error sensor LDR di bawah 1%.

REFERENSI

- [1] I. Fithria, U. Muzayanah, H. Hooi, D. Hartono, K. Devita, and R. Partama, "Heliyon Population density and energy consumption: A study in Indonesian provinces," *Heliyon*, vol. 8, no. 9, p. e10634, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon. 2022.e10634.
- [2] G. Mombekova, M. Nurgabylov, A. Baimbetova, and B. Keneshbayev, "The Relationship Between Energy Consumption, Population and Economic Growth in Developing Countries," vol. 14, no. 3, pp. 368–374, 2024.
- [3] A. aghnil Hakim, "Perancangan Sistem Monitoring Tegangan Piezoelektrik Untuk Pengisian Baterai Berbasis Bluetooth," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 4, no. 2, pp. 62–67, 2020, doi: 10.36277/jteuniba. v4i2.56.

- [4] D. Desmira, D. Aribowo, W. D. Nugroho, and S. Sutarti, "Penerapan Sensor Passive Infrared (Pir) Pada Pintu Otomatis Di Pt Lg Electronic Indonesia," *PROSISKO J. Pengemb. Ris. dan Obs. Sist. Komput.*, vol. 7, no. 1, 2020, doi: 10.30656/prosisko.v7i1.2123.
- [5] D. Rahmawati, M. Ulum, M. Farisal, and K. Joni, "Lantai Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik dengan Buck Converter LM2596," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 7, no. 3, p. 84, 2021, doi: 10.19184/jaei.v7i3.28128.
- [6] K. Kusnandar, Ni Ketut Hariyawati Dharmi, and Aisyah Nurul Khairiyah, "Rancang Bangun Purwarupa Energy Harvesting menggunakan Piezoelektrik sebagai Pembangkit Energi Listrik," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 20, no. 2, pp. 125–135, 2021, doi: 10.26874/jt.vol20no2.383.
- [7] E. Stiawan and A. J. Taufiq, "Rancang Bangun Alat Pemanen Energi Listrik Dari Tekanan Mekanik Berbasis Piezoelektrik," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 79–84, 2020, doi: 10.30595/jrre.v2i2.8280.
- [8] T. Z. Htwe, A. T. Tun, and C. S. Aung, "Power Saving System Using LDR And PIR Sensor," *Iconic Res. Eng. Journals*, vol. 4, no. 2, pp. 51–55, 2020.
- [9] M. Mohammadi and I. Sohn, "AI based energy harvesting security methods: A survey," *ICT Express*, vol. 9, no. 6, pp. 1198–1208, 2023, doi: 10.1016/j.ict.2023.06.002.
- [10] N. Almarri, J. Chang, W. Song, D. Jiang, and A. Demosthenous, "Nano Energy Piezoelectric energy harvesting and ultra-low-power management circuits for medical devices," *Nano Energy*, vol. 131, no. PB, p. 110196, 2024, doi: 10.1016/j.nanoen.2024.110196.
- [11] H. Liu, H. Fu, L. Sun, C. Lee, and E. M. Yeatman, "Hybrid energy harvesting technology: From materials, structural design, system integration to applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 137, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110473..

