



Rancang Bangun Tangga Penghasil Listrik Sebagai Energi Alternatif

Muhammad Vicky¹, Hamdani Hamdani², Sofyan Sofyan³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia
e-mail: ¹mvicksk@gmail.com, ²hamdani.pnup@gmail.com, ³sofyantato@poliupg.ac.id

Abstrak

Jumlah penduduk, ekonomi serta perkembangan teknologi semakin meningkat tiap tahun mengakibatkan kebutuhan bertambah pasokan energi listrik. Aktivitas menaiki menuruni tangga, dapat menghasilkan energi listrik. Inovasi tangga sebagai suplai energi listrik alternatif menggunakan elemen piezoelektrik.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat dan menguji, menganalisis daya yang dihasilkan, menghitung lama waktu pengisian baterai, dan mengetahui cara kerja tangga penghasil listrik. Metode yang dilakukan adalah metode eksperimen.

Berdasarkan hasil penelitian, cara merancang tangga penghasil listrik yaitu didesain terlebih dahulu kemudian menyiapkan alat dan bahan digunakan. Selanjutnya, membuat tangga penghasil listrik menggunakan alas tutup botol yang diberi lubang, piezoelektrik dihubungkan secara paralel. Kemudian menghubungkannya dengan full wave rectifier untuk menyearahkan keluaran piezoelektrik negatif. Kemudian menguji pengisian baterai tangga penghasil listrik. Rata-rata daya yang dihasilkan tangga penghasil listrik sebesar 24,536 mW. Untuk mengisi 2 baterai 2200 mAh penuh diperlukan waktu selama 9361 jam 42 menit. Beban pada alat sebesar 4,2 Watt maka baterai 2200 mAh dapat dipakai dari penuh hingga habis dengan waktu sekitar 4 jam 6 menit. Cara kerja tangga penghasil listrik yaitu saat papan anak tangga diberi tekanan, elemen piezoelektrik akan menghasilkan listrik, yang akan mengisi kapasitor terlebih dahulu hingga melebihi tegangan baterai, setelah itu kapasitor disambungkan ke baterai.

Kata Kunci: Tangga, Listrik, Piezoelektrik, Baterai

Abstract

Population, economy and technological developments are increasing every year which increases the need for electrical energy supplies. Daily activities, such walking stairs, can generate electrical energy. Innovation using stairs as an alternative electrical energy supply using piezoelectric elements.

This study aims to design, manufacture and test, analyze the power generated, calculate the battery charging time, and find out how the electricity-producing stairs works. The method used is the experimental method.

Based on the results of the study, electricity-producing stairs is designed first and prepare the tools and materials that will be used. After that, make a stairs that produces electricity, by using a bottle cap base that has been given a hole, connect the piezoelectric in parallel. Last, connect it to a full wave rectifier to rectify the negative piezoelectric output. Then test the charging of the battery. The total average power generated by the electricity-producing stairs is 24.536 mW. To fully charge 2 2200 mAh batteries, it'll take 9361 hours 42 minutes. The load on this is 4.2 Watt, so the 2200 mAh battery can be used from full to empty with a duration about 4 hours 6 minutes. The way an electricity-generating stairs works is that when the rungs of the stairs are pressurized, the piezoelectric element will generate electricity, which will charge the capacitor first until it exceeds the battery voltage, after which the capacitor is connected to the battery.

Keywords: Stairs, Electricity, Piezoelectric, Battery



1. PENDAHULUAN

Bertambahnya jumlah penduduk, ekonomi serta perkembangan teknologi semakin meningkat tiap tahunnya yang mengakibatkan bertambahnya kebutuhan pasokan energi listrik. Salah satu pemicu lonjakan konsumsi listrik di Indonesia dengan adanya upaya pemerintah untuk menarik minat masyarakat menggunakan kendaraan listrik. Adapun dari segi jumlah pelanggan, Kementerian ESDM mencatat, jumlah pelanggan listrik per September 2021 telah melebihi target, yakni mencapai 81,229 juta pelanggan. Berdasarkan data Kementerian ESDM konsumsi listrik per kapita mencapai 1.109 kilowatt jam (kWh) per kapita pada kuartal III 2021, angka itu setara dengan 92,2% dari target yang ditetapkan pada 2021 sebesar 1.203 kWh per kapita [1].

Saat ini negara-negara maju sudah mulai menetapkan target pencapaian *net zero emission* paling lambat tahun 2050. Proses transisi energi di Indonesia baru tahap beralih dari batubara ke gas bumi, sebelum beralih ke *net zero emission* untuk jangka panjang menuju ke 100% penggunaan energi terbarukan. Peningkatan kapasitas pembangkit listrik energi terbarukan cukup signifikan namun terkendala oleh cadangan dan biaya pembangkitan sehingga masih dibutuhkan pembangkit fosil, khususnya batubara [2].

Electrostatic, electromagnetic dan *piezoelectric* adalah metode penghasil energi mekanikal yang paling banyak digunakan pada kalangan umum. Penghasil daya elektromekanikal terbesar berasal dari kegiatan yang berhubungan dengan gerakan dan juga getaran. Bahkan, dalam beberapa tahun terakhir penelitian paling sering dirangsang dengan penemuan-penemuan baru oleh miniatur generator listrik dan mendaur ulang energi disekitar dan melakukan penyimpanan dalam baterai. Banyak peneliti yang melakukan penelitian pada miniatur generator yang memiliki harga yang murah untuk dilakukan penelitian [3].

Penelitian-penelitian yang terkait dengan penelitian ini seperti yang pernah dilakukan oleh:

- 1) Pada awal 2008, *East Japan Railway Company* (JR East) mempunyai fokus dalam meneliti pembuatan stasiun kereta yang memiliki tingkat hemat energi yang tinggi. Karena alasan itu, mereka memasang bantalan piezoelektrik pada lantai untuk pemesanan tiket kereta pada stasiun di Tokyo. Sebagai hasilnya, beberapa fasilitas sudah ditenagai oleh tenaga piezoelektrik itu sendiri seperti contoh lampu-lampu dan mesin tiket otomatis yang ada pada stasiun kereta tersebut [4].
- 2) Noor Pratama Apriyanto, 2018, dengan judul *Sistem Pemanen Energi Menggunakan Modul LTC3588 Pada Implementasi Pembangkit Listrik Berbasis Piezoelektrik di Tangga Bangunan*. Besar keluaran daya yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh berat badan dan ketinggian saat tangga diinjak. Pada desain ini menggunakan busa putih (*polyfoam*) yang mana merupakan bahan yang cepat kempes sehingga dapat mengurangi hasil keluaran elemen piezoelektrik [5].
- 3) Raja Hendry Ade, 2020, dengan judul *Prototipe Pemanfaatan Piezoelektrik Pada Pijakan Kaki Manusia Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif*. Daya yang dihasilkan dari prototipe ini apabila diinjak dengan berat badan 36 kg adalah 90,09 μ W. Akan tetapi pada penelitian ini tidak terdapat pengujian pengisian baterai secara langsung sehingga tidak dapat mengetahui berapa daya yang bisa disimpan pada baterai melainkan hanya menggunakan asumsi [6].

2. METODE PENELITIAN

Metode yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan atau *research and development* (R & D). Menurut Borg & Gall (1983: 772) *Educational research and development (R & D) is a process used to develop and validate educational products*. Tujuan penelitian dan pengembangan ini difokuskan pada perancangan tangga penghasil listrik untuk menyimpan energi yang sudah dihasilkan. Adapun metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini yaitu:

1) Metode Studi Literatur

Metode ini dilakukan untuk menambah wawasan tentang alat yang akan dirancang, perancangan yang telah dilakukan pada perancangan sebelumnya dan dasar teori yang digunakan. Metode ini juga digunakan untuk mempelajari prosedur perancangan yang tepat sehingga dapat memperbaiki kekurangan dari perancangan yang telah dilakukan sebelumnya.

2) Metode Perancangan Alat

Metode ini dibagi dua yaitu penentuan model spesifikasi alat dan pemilihan desain tangga penghasil listrik.

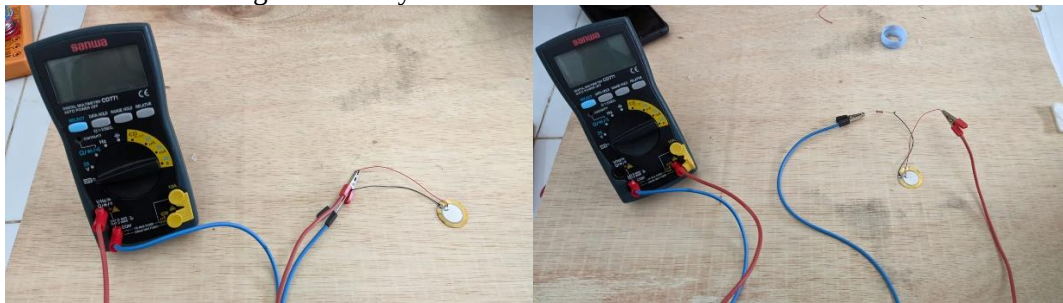
- Penentuan Model dan Spesifikasi Alat

Alat yang akan dirancang yaitu tangga yang memiliki 4 buah anak tangga. Tiap anak tangga diberi lapisan elemen piezoelektrik PZT yang akan menghasilkan listrik. Elemen piezoelektrik akan dilapisi dengan bahan yang lunak untuk meminimalisir kerusakan pada elemen piezoelektrik pada saat anak tangga diinjak.

- Pemilihan Desain

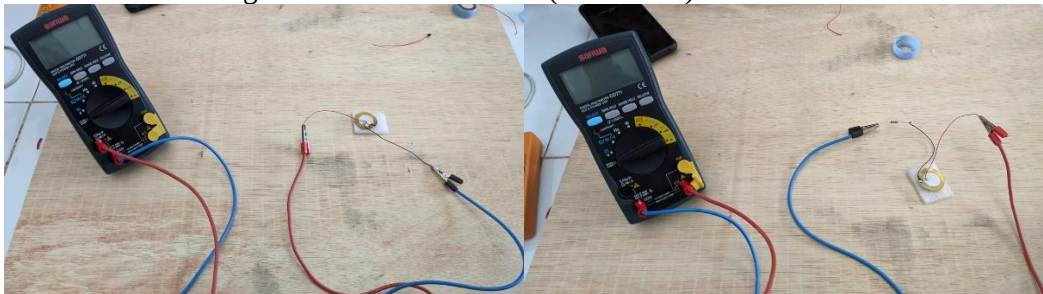
Hasil dari penentuan model dan spesifikasi alat yang telah dibuat sebelumnya dan dengan pertimbangan hasil penelitian yang pernah dilakukan disesuaikan dengan pemilihan desain. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan desain adalah bentuk tangga, lapisan-lapisan anak tangga, rangkaian yang digunakan, serta tingkat keamanan dan kenyamanan tangga. Pada pembuatan alat, elemen piezoelektrik yang digunakan adalah jenis piezoelektrik PZT diameter 27 mm.

a. Desain Piezoelektrik dengan Alas Kayu



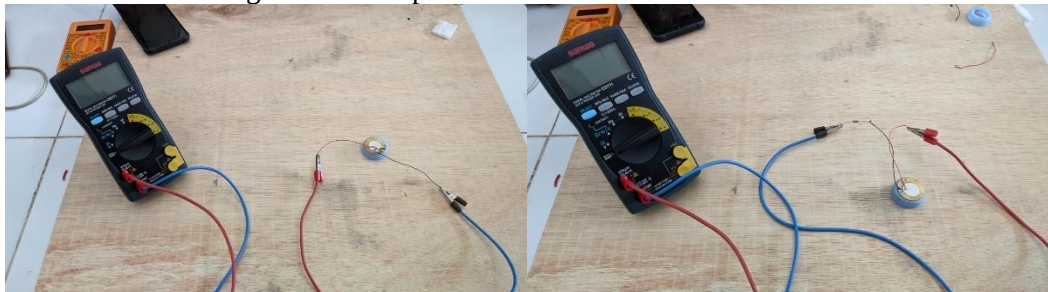
Gambar 1. Pengukuran Tegangan dan Arus Piezoelektrik dengan Alas Kayu

b. Desain Piezoelektrik dengan Alas Bantalan Lunak (Busa Putih)



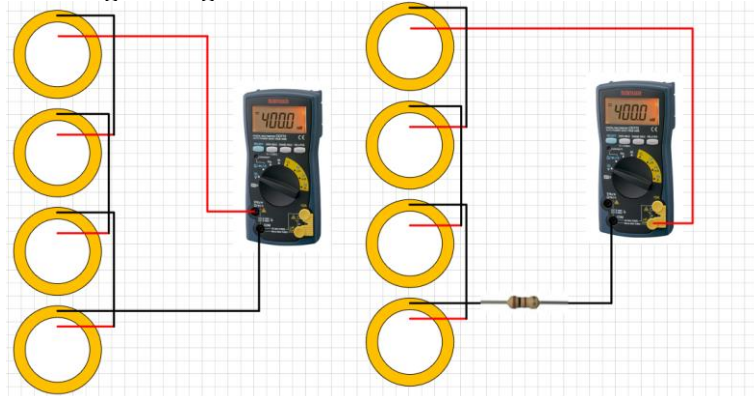
Gambar 2. Pengukuran Tegangan dan Arus Piezoelektrik dengan Alas Lunak

c. Desain Piezoelektrik dengan Alas Tutup Botol



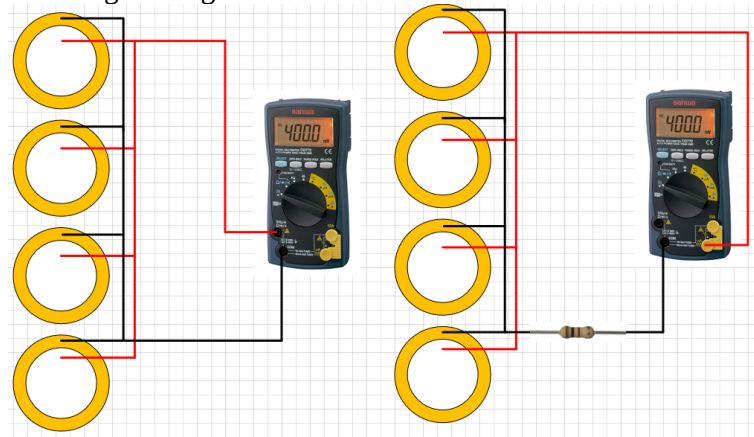
Gambar 3. Pengukuran Tegangan dan Arus Piezoelektrik dengan Alas Tutup Botol

d. Desain Piezoelektrik dengan Rangkaian Seri



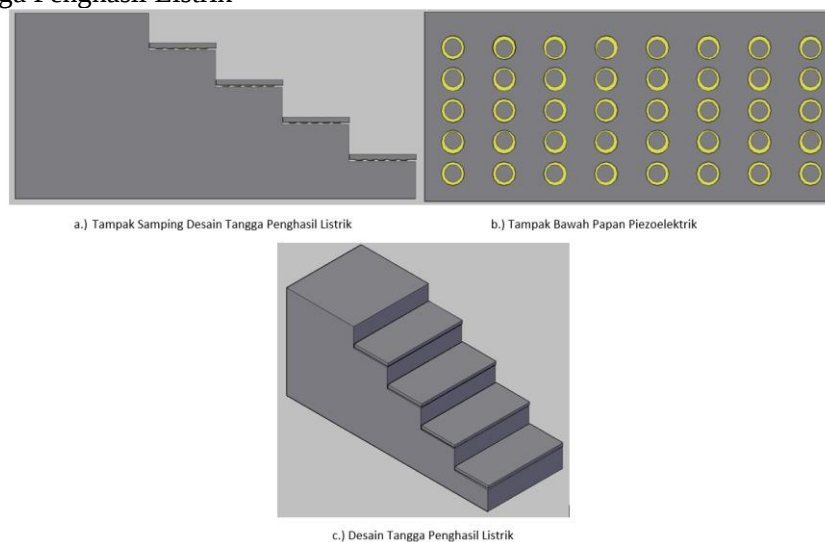
Gambar 4. Skematik Rangkaian Seri

e. Desain Piezoelektrik dengan Rangkaian Paralel



Gambar 5. Skematik Rangkaian Paralel

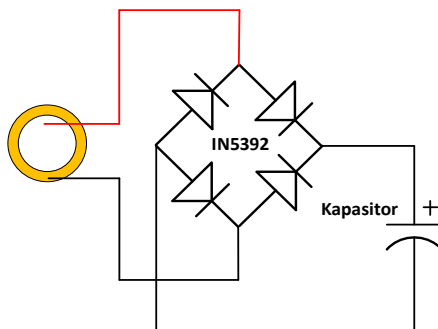
f. Desain Tangga Penghasil Listrik



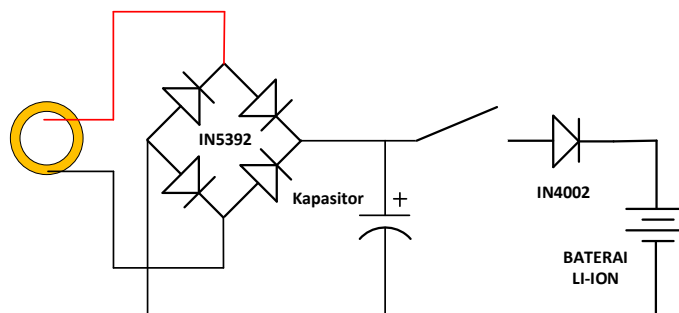
Gambar 6. Desain Tangga Penghasil Listrik

g. Desain Tangga Penghasil Listrik

Setelah memilih dari kedua rangkaian yaitu rangkaian paralel atau rangkaian seri, selanjutnya dihubungkan ke *Full Wave Rectifier*. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian pengisian kapasitor dan pengujian pengisian baterai. Ketika mengukur arus, rangkaian diparalel dengan resistor sebesar 100 Ohm dengan multimeter. Skematik rangkaian pengujian dapat dilihat pada gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Skematik Pengujian Pengisian Kapasitor



Gambar 8. Skematik Pengujian Pengisian Baterai

3) Metode Pengujian dan Analisa Data

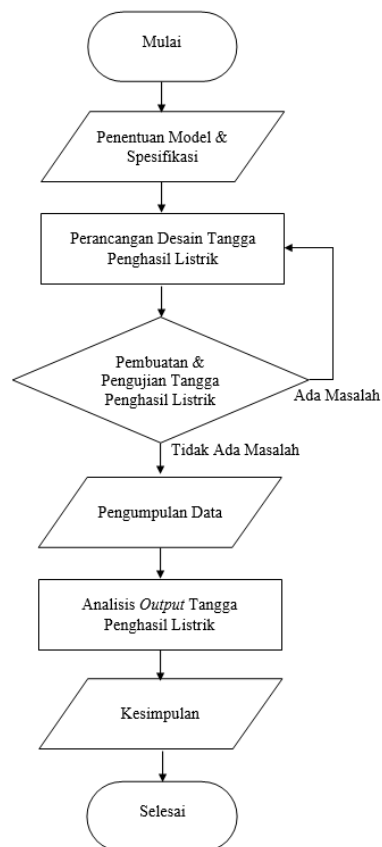
Metode pengujian dan analisa data yang akan digunakan adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian suatu perlakuan terhadap subjek penelitian. Pemilihan metode eksperimen ini berdasarkan karena peneliti ingin mengetahui secara pasti bagaimana prinsip kerja dari alat yang dirancang.

Proses pengujian dilakukan dengan dua tahapan, yaitu pengujian desain anak tangga dan pengujian tangga secara lengkap. Pengujian desain anak tangga dilakukan sesuai dengan tahapan pemilihan desain, setelah mendapatkan desain dengan energi listrik terbaik kemudian melakukan pengujian tangga secara lengkap. Pengujian tangga secara lengkap ini dilakukan dengan cara menggabungkan desain anak tangga dengan kerangka tangga yang telah dibuat.

Analisa yang dilakukan bertujuan untuk menemukan kekurangan dari alat yang dibuat sehingga dapat dilakukan penyempurnaan. Selain itu, analisa data juga dilakukan dengan menggunakan beda berat badan penginjak.

4) Prosedur Penelitian

Teknologi piezoelektrik yang dirancang diharapkan mampu menjadi solusi alternatif penyedia energi listrik yang ramah lingkungan dengan mengubah energi mekanik yang berasal dari pijakan kaki manusia menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dari piezoelektrik dikategorikan berdaya rendah dan tidak dapat langsung digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik sehingga diperlukan mekanisme pemanen energi. Adapun diagram alir penelitian sebagai berikut.



Gambar 9. Diagram Alir (Flowchart) Metode Pelaksanaan Penelitian

3. PEMBAHASAN DAN HASIL

A. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Desain Alas Piezoelektrik

Ada 3 desain alas yang diujikan, yaitu alas kayu, alas bantalan lunak, dan alas tutup botol. Setelah melakukan pengukuran tegangan dan arus dari ketiga desain, maka selanjutnya adalah membandingkan hasil rata-rata tegangan dan arus tertinggi dari ketiga desain tersebut. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan Rata-Rata Tegangan 3 Desain

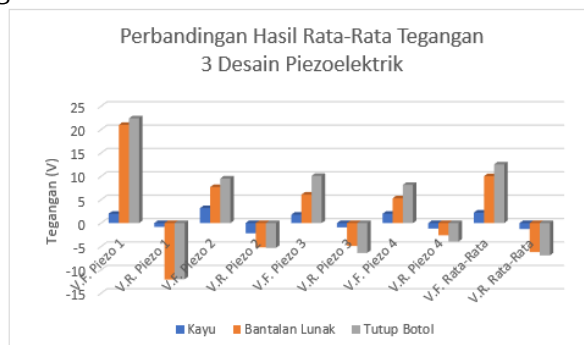
Desain	Piezo 1		Piezo 2		Piezo 3		Piezo 4		Rata-Rata Total	
	V.F. (V)	V.R. (V)	V.F. (V)	V.R. (V)	V.F. (V)	V.R. (V)	V.F. (V)	V.R. (V)	V.F. (V)	V.R. (V)
Kayu	2	-0,8	3,2	-2,17	1,8	-0,9	2	-1,15	2,25	-1,26
Bantalan Lunak	21	-12,08	7,71	-5,19	6,1	-4,88	5,31	-2,59	10,03	-6,185
Tutup Botol	22,4	-12	9,53	-5,3	10,1	-6,37	8,17	-3,93	12,56	-6,9

Tabel 2. Perbandingan Rata-Rata Arus 3 Desain

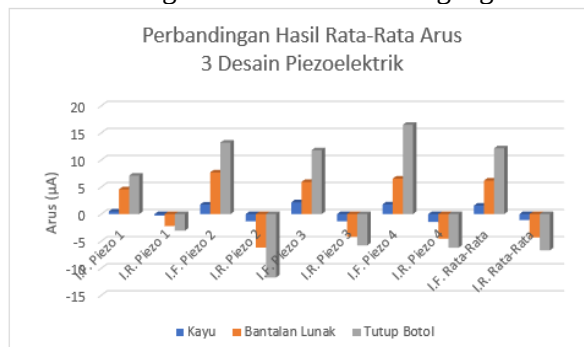
Desain	Piezo 1		Piezo 2		Piezo 3		Piezo 4		Rata-Rata Total	
	I.F. (μ A)	I.R. (μ A)	I.F. (μ A)	I.R. (μ A)	I.F. (μ A)	I.R. (μ A)	I.F. (μ A)	I.R. (μ A)	I.F. (μ A)	I.R. (μ A)
Kayu	0,5	-0,26	1,76	-1,33	2,18	-1,32	1,8	-1,43	1,56	-1,1
Bantalan Lunak	4,73	-2,21	7,7	-6,18	5,95	-4,18	6,56	-4,52	6,2	-4,3
Tutup Botol	7,11	-3,06	13,2	-11,7	11,8	-5,79	16,5	-6,2	12,16	-6,7

Berdasarkan tabel rata-rata tegangan dan arus tertinggi ada pada desain alas tutup botol. Pada desain alas tutup botol, tekanan piezoelektrik menjadi lebih maksimal karena piezoelektrik dapat melengkung masuk ke dalam lubang dari tutup botol. Sedangkan hasil dari desain dengan alas kayu tidak maksimal karena piezoelektrik kurang melengkung dan juga pada desain alas bantalan lunak hasilnya mendekati alas tutup botol akan tetapi pada desain ini metal plate pada piezoelektrik ikut melengkung sehingga hasilnya sedikit kurang maksimal.

Data hasil pengujian juga ditampilkan dalam bentuk grafik agar perbedaan nilai yang dihasilkan terlihat lebih jelas. Grafik yang dihasilkan dari perbandingan nilai tegangan dan arus dari 3 desain piezoelektrik dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Hasil Rata-Rata Tegangan 3 Desain Piezoelektrik



Gambar 11. Grafik Perbandingan Hasil Rata-Rata Arus 3 Desain Piezoelektrik

B. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Desain Alas Piezoelektrik

Tabel 3. Hasil Pengukuran Rata-Rata Seri dan Paralel

Rangkaian	Seri	Paralel
Tegangan <i>Forward</i> (V)	23,3	13,17
Tegangan <i>Reverse</i> (V)	-13,03	-6,4
Arus <i>Forward</i> (µA)	6,24	21,53
Arus <i>Reverse</i> (µA)	-4,37	-15,94

Untuk membandingkan hasil pengukuran dan perhitungan, perlu dihitung terlebih dahulu secara manual. Diasumsikan nilai tegangan dan arus setiap piezoelektrik diambil dari rata-rata tertinggi pengukuran pada desain dengan alas tutup botol yaitu tegangan sebesar 22,4 V dan arus 16,5 µA.

- Tegangan Rangkaian Seri (4 Piezoelektrik)

$$V = 22,4 \text{ V} \times 4 = 89,6 \text{ V}$$

- Arus Rangkaian Seri (4 Piezoelektrik)

Nilai arus yang lewat sama besar pada rangkaian seri, sehingga nilai arusnya 16,5 µA.



- Tegangan Rangkaian Paralel (4 Piezoelektrik)

Nilai tegangan yang lewat sama besar pada rangkaian paralel, sehingga nilai tegangannya 22,4 V.

- Arus Rangkaian Paralel (4 Piezoelektrik)

$$I = 16,5 \mu A \times 4 = 66 \mu A$$

Dari contoh perhitungan apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran akan menunjukkan nilai yang berbeda. Nilai perbandingan tegangan pada rangkaian seri cukup besar di mana tegangan pengukurannya yaitu 23,3V sedangkan berdasarkan perhitungan sebesar 80,4V. Untuk rangkaian paralel sendiri tegangan pengukurannya yaitu 13,7V sedangkan berdasarkan perhitungan dengan asumsi adalah 22,4V.

Untuk perbandingan nilai arus rangkaian paralel cukup besar di mana arus pengukurannya yaitu 21,53 μA sedangkan berdasarkan perhitungan besar arusnya sebesar 66 μA . Untuk rangkaian seri sendiri arus pengukurannya yaitu 6,24 μA sedangkan berdasarkan perhitungan sebesar 16,5 μA .

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi adanya perbedaan tersebut. Faktor-faktor seperti pemberian tekanan tidak menyeluruh ke semua piezoelektrik, karakter bahan piezoelektrik, tekanan yang diberikan tidak tepat di tengah serta terdapat efek direct dan indirect. Setelah melakukan percobaan desain menggunakan rangkaian seri dan paralel, maka yang akan digunakan adalah rangkaian paralel dikarenakan arus yang besar dibandingkan dengan rangkaian seri.

C. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Desain Rangkaian Piezoelektrik

Dilakukan perhitungan sederhana dari karakteristik umum tegangan dan arus yang dihasilkan tiap elemen piezoelektrik seperti di bawah ini:

$$\text{Tegangan Piezo} = 22,4 \text{ V}$$

$$\text{Arus Piezo} = 16,5 \mu A$$

Sehingga, jika diparalel akan menghasilkan tegangan total sebesar 22,4 V dan arus total sebesar $40 \times 16,5 \mu A = 0,66 \text{ mA}$. Perhitungan sederhana di atas kemudian dibandingkan dengan data *real* atau data pengukuran yang akan dilakukan.

1) Pengujian Papan Anak Tangga Beda Berat Badan

Pengujian ini dilakukan dengan cara menaiki dan menuruni tangga. Adapun beban yang diberikan sebanyak 3 beban dengan berat badan penginjak berbeda-beda yaitu 45,45 kg, 58,6 kg, dan 73,25 kg. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali pijakan setiap papan.

Tabel 4. Rata-Rata Pengujian Tegangan pada Papan

Berat Badan	Papan 1 (V)	Papan 2 (V)	Papan 3 (V)	Papan 4 (V)	Rata-Rata (V)
45,45 kg (V.F.)	30,4	33,5	22,27	5,65	23
58,6 kg (V.F.)	28,4	36	27,83	9,92	25,5
73,25 kg (V.F.)	33,2	38,8	28,7	15,96	29,2

Tabel 5. Rata-Rata Pengujian Arus pada Papan

Berat Badan	Papan 1 (μA)	Papan 2 (μA)	Papan 3 (μA)	Papan 4 (μA)	Rata-Rata (μA)
45,45 kg (I.F.)	2,96	2,87	2,53	0,6	2,24
58,6 kg (I.F.)	2,91	3,47	2,56	0,97	2,48
73,25 kg (I.F.)	3,17	3,58	2,79	1,41	2,74

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa setiap papan menghasilkan tegangan dan arus yang berbeda-beda. Rata-rata tegangan dan arus tertinggi dihasilkan dari pengujian menggunakan berat badan 73,25 kg yaitu 29,2 V dan 2,74 μA . Sedangkan rata-rata tegangan dan arus terendah dihasilkan dari pengujian menggunakan berat badan 45,45 kg yaitu 23 V dan arus 2,24 μA . Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar berat badan yang digunakan untuk menginjak, maka semakin besar pula tegangan maupun arus yang dihasilkan.

2) Pengujian Karakteristik Papan Tangga Penghasil Listrik

Pengujian ini dilakukan karena pada saat percobaan beda berat badan, arus yang dihasilkan tidak sesuai teori. Pada pengujian karakteristik ini diberikan beban sebesar 73,25 kg, menggunakan berat badan atau rata-rata berat badan orang dewasa di Indonesia. Pengujian dilakukan dengan menguji keluaran tegangan dan arus tiap papan anak tangga. Tiap anak tangga diinjak sebanyak 30 kali untuk mendapat tegangan dan arusnya. Pengaruh resistansi komponen elektronik di dalam kedua alat ukur juga membuat terjadinya penurunan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan. Sehingga dilakukan pengukuran hanya dengan sebuah multimeter yang bergantian difungsikan sebagai pengukur tegangan kemudian mengukur arus.

Tabel 6. Rata-Rata Pengujian Tegangan dan Arus pada Papan menggunakan 1 Multimeter

Papan Anak Tangga	Papan 1	Papan 2	Papan 3	Papan 4	Rata-Rata
Tegangan Maju (V)	31,3	31,37	24,9	13,2	25,2
Tegangan Balik (V)	-15,87	-14,9	-8,07	-13,6	-13,11
Arus Maju (mA)	0,34	0,2	0,2	0,2	0,235
Arus Balik (mA)	-0,6	-0,24	-0,16	0,25	-0,19

Berdasarkan tabel 6, rata-rata tegangan dan arusnya berbeda dengan pada tabel 4 dan 5, di mana tegangan rata-rata yang dihasilkan dengan pengukuran 1 multimeter adalah 25,2 V sedangkan tegangan rata-rata yang dihasilkan dengan pengukuran 2 multimeter secara bersamaan adalah 29,2 V. Untuk arus rata-rata yang dihasilkan dengan pengukuran 1 multimeter adalah 0,235 mA di mana sangatlah jauh dengan nilai arus rata-rata yang dihasilkan dengan pengukuran 2 multimeter secara bersamaan yaitu 2,74 μ A.

Berdasarkan pengujian dengan 1 multimeter menunjukkan peningkatan nilai arus yang dihasilkan tiap papan. Hal ini membuktikan bahwa resistansi yang terdapat pada alat ukur mempengaruhi nilai pengujian papan dan juga resistansi pada resistor. Karena digunakan 2 multimeter maka nilai resistansi juga semakin besar sedangkan arus yang dihasilkan kecil. Oleh karena itu, diketahui bahwa keluaran piezoelektrik sangat sensitif terhadap alat ukur yang terpasang dan juga besar resistansi beban.

Beberapa faktor lain yang mempengaruhi perbedaan nilainya antara lain titik jatuh beban (pijakan) yang tidak sama rata antar-elemen piezoelektrik di tiap papan serta sifat arus yang dihasilkan oleh tiap elemen tidak sama pada saat diinjak sehingga nilai arus total adalah selisih antara arus yang bersifat positif dan arus yang bersifat negatif.

D. Daya yang Dihasilkan Tangga Penghasil Listrik

- Daya Papan 1

$$P = V \times I = 31,3 \text{ V} \times 0,00034 \text{ A} = 0,010642 \text{ W}$$

- Daya Papan 2

$$P = V \times I = 31,37 \text{ V} \times 0,0002 \text{ A} = 0,006274 \text{ W}$$

- Daya Papan 3

$$P = V \times I = 24,9 \text{ V} \times 0,0002 \text{ A} = 0,00498 \text{ W}$$

- Daya Papan 4

$$P = V \times I = 13,2 \text{ V} \times 0,0002 \text{ A} = 0,00264 \text{ W}$$

- Total Daya

$$\begin{aligned} P_{total} &= \text{Daya Papan 1} + \text{Daya Papan 2} + \text{Daya Papan 3} + \text{Daya Papan 4} \\ &= 0,010642 \text{ W} + 0,006274 \text{ W} + 0,00498 \text{ W} + 0,00264 \text{ W} \\ &= 0,024536 \text{ W} \end{aligned}$$

Jadi, daya yang dapat dihasilkan dari tangga penghasil listrik adalah 0,024536 W atau 24,536 mW.

E. Pengujian Pengisian Baterai

Pada pengujian ini, perlu diperhatikan dahulu tegangan yang dihasilkan piezoelektrik yang disimpan pada kapasitor harus dipastikan lebih besar dari baterai terlebih dahulu sebelum dialirkan menuju baterai. Nilai arus awal dari baterai adalah 2,3 mA. Adapun hasil percobaannya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Percobaan Pengisian Baterai

No.	Tekanan (kali)	Arus Baterai (mA)
1.	10	2,5
2.	20	2,6
3.	30	2,8
4.	40	3,0
5.	50	3,2

Alat ini merupakan suatu inovasi sumber energi bagi aktivitas manusia yang menghasilkan energi listrik alternatif. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh baterai. Berdasarkan tabel 7, arus berkisar pada angka 0,1-0,2 mA, maka diambil arus 0,2 mA sebagai arus rata-rata yang dihasilkan piezoelektrik untuk mengisi baterai. Baterai yang digunakan yaitu 2 baterai yang diserikan, masing masing berkapasitas 4,12 V 2200 mAh dan 3,7 V 2200 mAh. Adapun untuk menghitung waktu pengisian baterai:

$$N = I \times t$$

$$2,2 \text{ Ah} = 0,000235 \text{ A} \times t$$

$$t = \frac{2,2 \text{ Ah}}{0,000235 \text{ A}}$$

$$t = 9361,7 \text{ h}$$

Berdasarkan perhitungan, untuk mengisi 2 baterai 2200 mAh sampai penuh maka diperlukan waktu selama 9361 jam 42 menit. Beban pada alat ini yaitu TP4056 sebesar 4,2 Watt, maka untuk menghitung berapa lama baterai dapat mem-backup beban digunakan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{4,2 \text{ W}}{7,82 \text{ V}} = 0,537 \text{ A}$$

$$\text{Waktu pemakaian} = \frac{2,2 \text{ Ah}}{0,537 \text{ A}} = 4,1 \text{ h}$$

Jadi, baterai 2200 mAh dapat dipakai dari penuh hingga habis dengan durasi waktu sekitar 4 jam 6 menit. Oleh karena itu, tangga penghasil listrik perlu ditempatkan pada tempat yang sering dilalui khalayak ramai untuk mengisi baterai dengan cepat. Cara lain agar pengisian dapat dilakukan dengan cepat adalah dengan menambah jumlah anak tangga atau menambah jumlah piezoelektrik pada setiap anak tangga.

F. Cara Kerja Tangga Penghasil Listrik

Pada saat anak tangga diinjak, maka elemen piezoelektrik dari keramik yang akan bermuatan positif pada beberapa bagian molekul dan sebagian lainnya akan bermuatan negatif. Molekul-molekul tersebut akan terbentuk elektroda yang menempel pada dua sisi yang berlawanan dan menghasilkan medan listrik yang berubah-ubah. Pada saat diinjak, digunakan LED untuk menandakan adanya daya yang dihasilkan setiap anak tangga kemudian LED dilepas untuk memaksimalkan pengisian baterai. Sebelum dihubungkan ke baterai, kapasitor diisi terlebih dahulu hingga tegangan kapasitor melebihi tegangan baterai, setelah itu dihubungkan dengan baterai. Bentuk keseluruhan tangga penghasil listrik dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 12. Tangga Penghasil Listrik

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Cara merancang tangga penghasil listrik yaitu didesain terlebih dahulu kemudian menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Setelah itu, membuat tangga penghasil listrik, yaitu dengan menggunakan alas tutup botol yang sudah diberi lubang, kemudian menghubungkan piezoelektrik secara paralel. Kemudian menghubungkannya dengan *full wave rectifier* untuk menyearahkan keluaran piezoelektrik yang negatif. Kemudian menguji pengisian baterai tangga penghasil listrik.
2. Total rata-rata daya yang dihasilkan tangga penghasil listrik yaitu sebesar 24,536 mW.
3. Untuk mengisi 2 baterai 2200 mAh sampai penuh maka diperlukan waktu selama 9361 jam 42 menit. Beban pada alat ini yaitu TP4056 sebesar 4,2 Watt maka baterai 2200 mAh dapat dipakai dari penuh hingga habis dengan durasi waktu sekitar 4 jam 6 menit.
4. Cara kerja tangga penghasil listrik yaitu saat papan anak tangga diberi tekanan, elemen piezoelektrik akan menghasilkan listrik, yang akan mengisi kapasitor terlebih dahulu hingga melebihi tegangan baterai, setelah itu kapasitor disambungkan ke baterai.

5. SARAN

Untuk pengembangan lebih lanjut bagi mahasiswa yang ingin melanjutkan dan menyempurnakan, penulis memberikan saran antara lain:

1. Meskipun keluaran piezoelektrik terlihat *satisfying* akan tetapi piezoelektrik mudah pecah sehingga *durability* piezoelektrik rendah, sebaiknya menggunakan alas dari bahan lain untuk meminimalisir pecahnya piezoelektrik sehingga mendapatkan *output* dan *durability* yang optimal.
2. Untuk mendapatkan keluaran yang lebih akurat, sebaiknya diukur satu per satu menggunakan satu multimeter dan juga menentukan *range resonant resistor* dari piezoelektrik.
3. Pijakan yang diberikan sebaiknya lebih dari 30 kali, untuk memudahkan analisis sehingga rata-rata keluarannya lebih akurat.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, adik-adik penulis dan seluruh staf pengajar Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih kepada teman-teman program studi D4 Teknik Listrik yang telah membantu pada penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dihni, Vika Azkiya. 2021. Konsumsi Listrik Per Kapita Indonesia Capai 1.109 kWh pada Kuartal III 2021. (Online), (<https://databoks.katadata.co.id>), diakses 9 September 2022.
- [2] Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi. 2021. *Outlook Energi Indonesia 2021*. Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE).
- [3] Kokkinopoulos, A., Vokas, G., & Papageorgas, P. 2014. Energy Harvesting Implementing Embedded Piezoelectric Generators - The Potential For The Attiki Odos Traffic Grid. *The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES14*. 1070-1085.
- [4] Han, Ding, dan Ville Kaajakari. 2009. Microstructured Polymer For Shoe Power Generation. *TRANSDUCERS 2009 - 15th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems*, 1393-1396.
- [5] Apriyanto, Noor Pratama. 2018. *Sistem Pemanen Energi Menggunakan Modul LTC3588 pada Implementasi Pembangkit Listrik Berbasis Piezoelektrik Di Tangga Bangunan*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [6] Ade, Raja Hendry. 2020. *Prototipe Pemanfaatan Piezoelektrik Pada Pijakan Kaki Manusia Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.