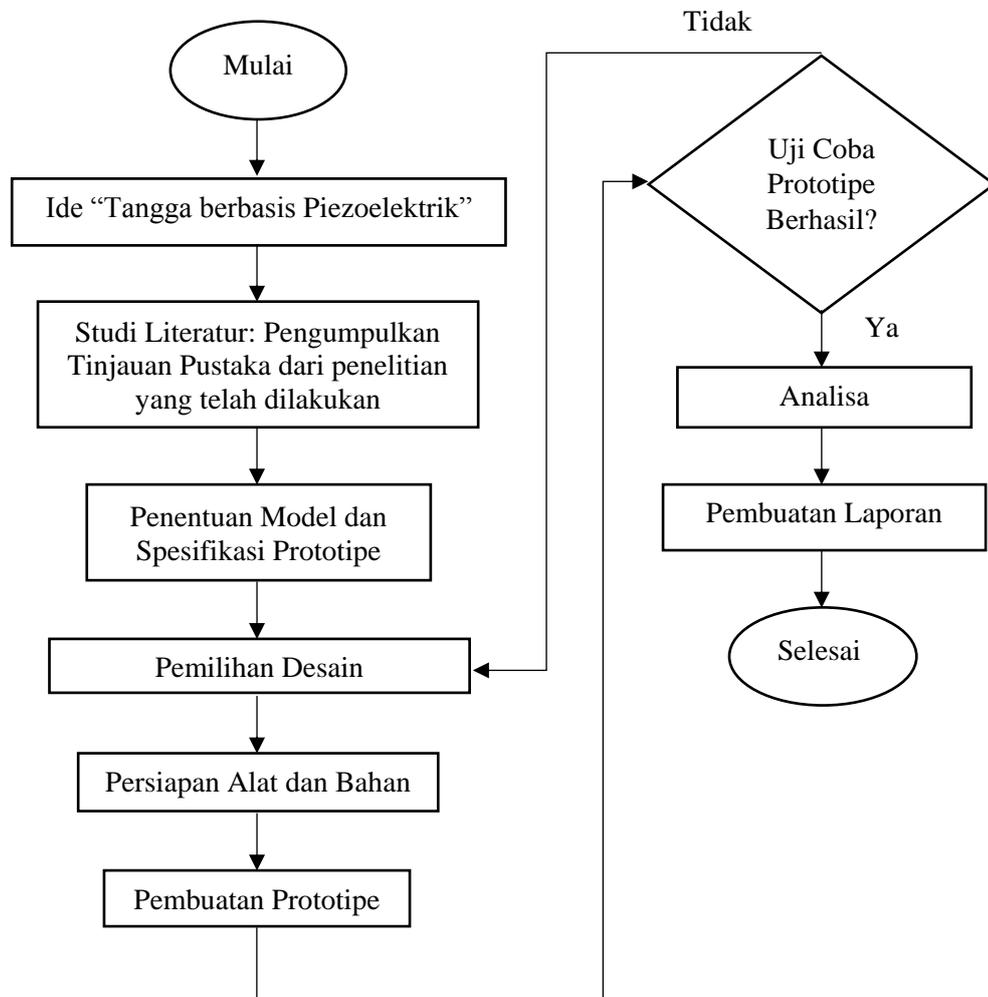


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN/PERANCANGAN

Tangga Penghasil Listrik Berbasis Piezoelektrik merupakan sebuah inovasi pembangkit listrik pada tangga dengan elemen piezoelektrik yang memanfaatkan energi potensial dari pijakan untuk menghasilkan energi listrik. Untuk dapat mencapai tujuan penelitian “Perancangan dan Pembuatan Tangga Penghasil Listrik Berbasis Piezoelektrik” diperlukan langkah-langkah yang disajikan dalam bentuk diagram alir dalam gambar 3.1, sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*) Metode Pelaksanaan Penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan wawasan umum ataupun yang berhubungan dengan alat yang akan dibuat, perancangan yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dan dasar teori yang akan digunakan. Selain itu, studi literatur juga digunakan untuk mempelajari prosedur perancangan yang tepat sehingga dapat memperbaiki kekurangan dari perancangan yang telah dilakukan sebelumnya. Sumber-sumber literatur yang digunakan pada penelitian ini meliputi: buku, jurnal, tugas akhir dan internet.

3.2 Penentuan Model dan Spesifikasi Prototipe

Penentuan model dan spesifikasi prototipe yang akan dibuat akan menentukan kebutuhan komponen utama dan komponen pendukung yang akan digunakan pada proses pembuatan. Prototipe yang akan dibuat yaitu tangga yang memiliki 4 buah anak tangga. Masing-masing anak tangga akan diberi lapisan elemen piezoelektrik diafragma sebagai komponen utama untuk menghasilkan listrik. Untuk melindungi elemen piezoelektrik agar tidak mudah rusak maka diberi lapisan dengan bahan yang lunak. Prototipe tangga ini akan disambungkan ke led *strip* yang berfungsi sebagai indikator bahwa prototipe tangga dapat menghasilkan energi listrik.

3.3 Pemilihan Desain

Pemilihan desain prototipe dilakukan dengan menyesuaikan hasil dari penentuan model dan spesifikasi prototipe yang telah dibuat sebelumnya dan dengan pertimbangan hasil penelitian yang pernah dilakukan. Pemilihan desain protoipe dilakukan dengan menentukan bentuk prototipe tangga, lapisan-lapisan yang digunakan pada anak tangga, rangkaian yang digunakan serta tingkat keamanan dan kenyamanan prototipe tangga saat digunakan. Lapisan-lapisan pada anak tangga akan mempengaruhi besar energi listrik yang dihasilkan.

Pada pembuatan prototipe, elemen piezoelektrik yang digunakan adalah jenis piezoelektrik PZT diameter 3,5 mm. Piezoelektrik PZT tersebut tidak memiliki *data*

sheet dari pabrik maka dilakukan pengujian karakteristik menggunakan 5 buah sampel piezoelektri. Selain itu, untuk dapat membandingkan besar energi listrik yang dihasilkan maka dibuat beberapa desain anak tangga untuk menentukan desain anak tangga yang akan digunakan sebagai berikut:

3.3.1 Desain Anak Tangga dengan Lapisan Alas Keras, Sedang dan Lunak

Desain anak tangga dengan lapisan alas keras yaitu elemen piezoelektrik akan langsung ditempelkan pada lantai/ubin kemudian ditekan dengan menggunakan telunjuk. Selanjutnya untuk desain anak tangga dengan menggunakan alas sedang yaitu elemen piezoelektrik diberi alas kayu sedangkan untuk desain anak tangga dengan lapisan lunak yaitu elemen piezoelektrik diberi alas busa ati. Dari masing-masing desain dilakukan pengukuran tegangan dan arus dengan 20 kali penekanan untuk setiap sampel elemen piezoelektrik yang bertujuan untuk menghasilkan data yang akurat. Setiap desain terdapat 5 buah sampel elemen piezoelektrik. Berikut ini merupakan hasil pengukuran yang telah dilakukan:

a. Desain Piezoelektrik dengan Alas Keras (Lantai)

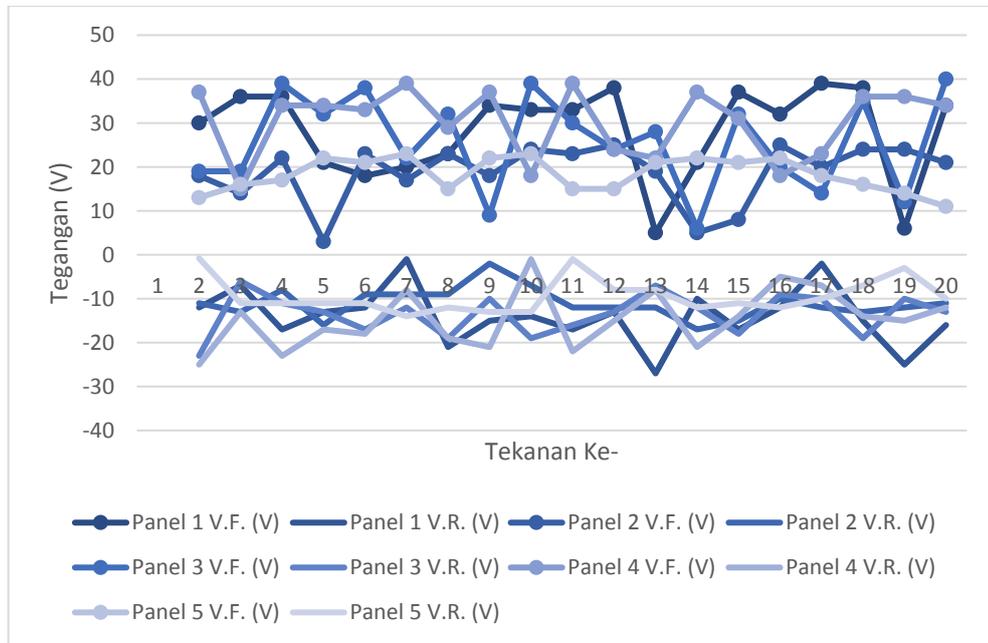
Pada desain ini, sampel piezoelektrik diletakkan pada alas keras dengan menempelkan elemen piezoelektrik pada lantai, kemudian dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan dari 5 sampel piezoelektrik seperti pada gambar 3.2 di bawah ini:



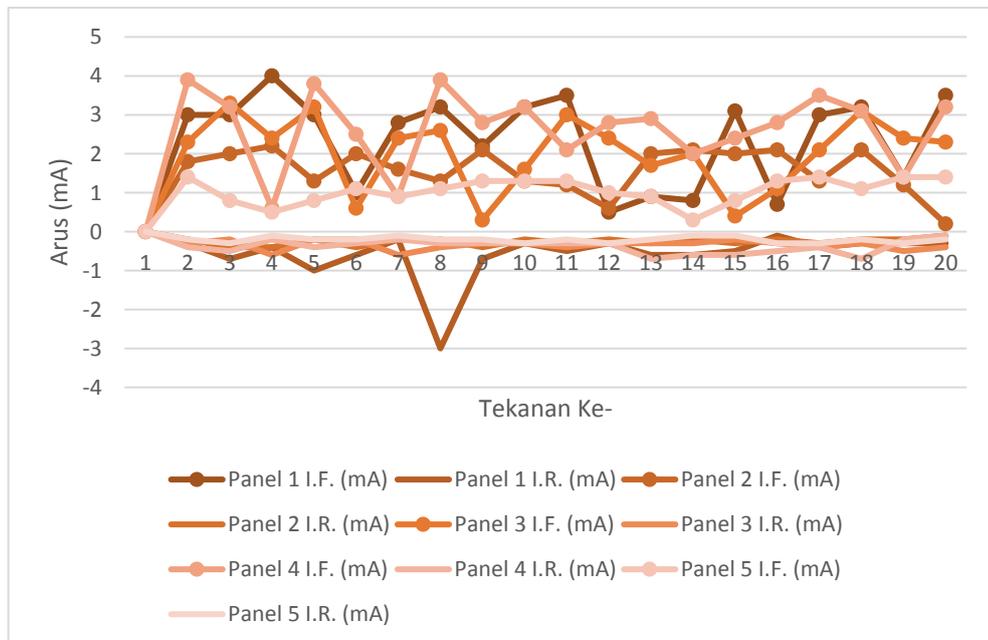
Gambar 3.2 Pengukuran Tegangan dan Arus Desain Piezoelektrik dengan Alas Keras (Lantai)

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, maka dibuat grafik untuk masing-masing hasil pengukuran tegangan maupun arus. Berikut merupakan

grafik hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan desain anak tangga dengan alas keras (lantai):



Gambar 3.3 Grafik Pengukuran Tegangan Desain Piezoelektrik dengan Alas Keras (Lantai)



Gambar 3.4 Grafik Pengukuran Arus Desain Piezoelektrik dengan Alas Keras (Lantai)

Dari grafik hasil pengukuran menggunakan multimeter seperti gambar di atas menunjukkan bahwa setiap sampel piezoelektrik memiliki karakteristik menghasilkan tegangan serta arus yang positif dan negatif. Pada saat piezoelektrik ditekan tegangan dan arusnya positif, namun saat tekanan dilepaskan tegangan dan arusnya negatif. Sesuai dengan teori bahwa, hal tersebut terjadi karena adanya efek *direct* dan *indirect* saat piezoelektrik ditekan. Rata-rata nilai tegangan dan arus tertinggi yang dihasilkan dari sampel piezoelektrik nomor 4 dengan rata-rata tegangan 30,65 V dan arus 2,725 mA sedangkan tegangan dan arus terendah dari sampel piezoelektrik nomor 5 dengan rata-rata tegangan 18,25 V dan arus 1,065 mA. Untuk data yang lebih lengkap ada pada Lampiran.

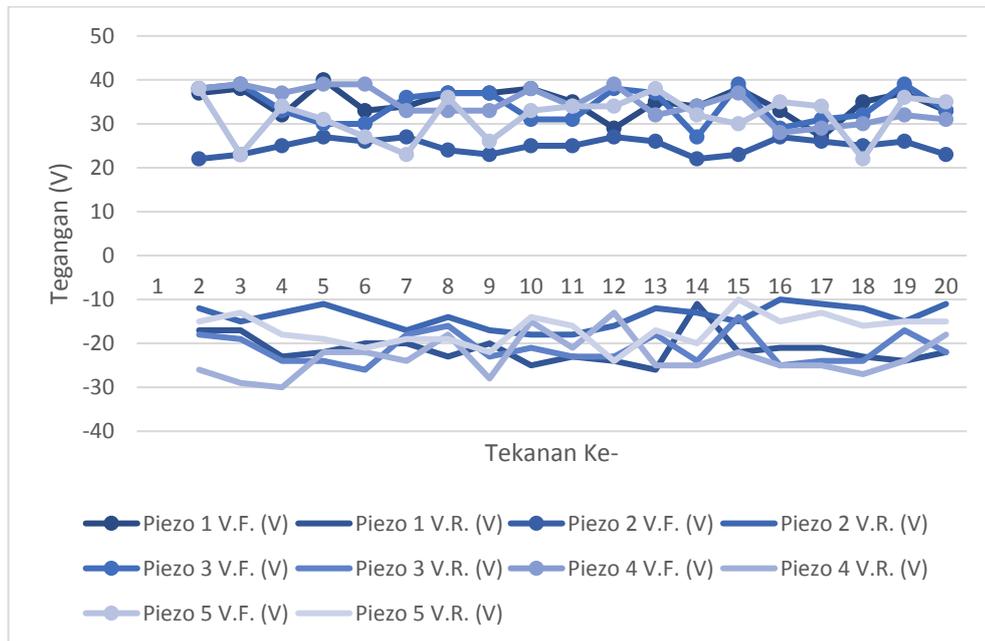
b. Desain Piezoelektrik dengan Alas Sedang (Kayu)

Pada desain kedua ini, sampel piezoelektrik diletakkan pada alas sedang yaitu dengan menempelkan elemen piezoelektrik pada kayu. Kayu dipilih karena sifatnya tidak sekeras lantai. Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan dari 5 sampel piezoelektrik seperti pada gambar dibawah ini:

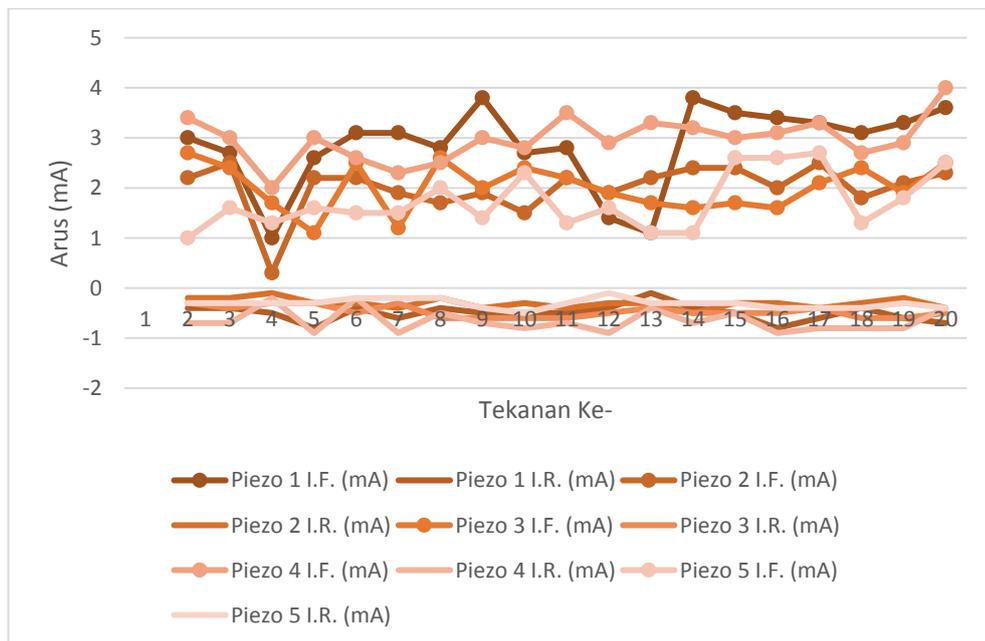


Gambar 3.5 Pengukuran Tegangan dan Arus Desain Piezoelektrik dengan Alas Sedang (Kayu)

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, maka dibuat grafik untuk masing-masing hasil pengukuran tegangan maupun arus. Berikut merupakan grafik hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan desain anak tangga dengan alas sedang (kayu):



Gambar 3.6 Grafik Pengukuran Tegangan Desain Piezoelektrik dengan Alas Sedang (Kayu)



Gambar 3.7 Grafik Pengukuran Arus Desain Piezoelektrik dengan Alas Sedang (Kayu)

Dari grafik hasil pengukuran menggunakan multimeter seperti gambar di atas menunjukkan hasil yang sama dengan pengukuran desain dengan alas karas yaitu setiap sampel piezoelektrik memiliki karakteristik menghasilkan tegangan

serta arus yang positif dan negatif. Pada saat piezoelektrik ditekan tegangan dan arusnya positif, namun saat tekanan dilepaskan tegangan dan arusnya negatif. Rata-rata nilai tegangan dan arus tertinggi yang dihasilkan dari sampel piezoelektrik nomor 4 dengan rata-rata tegangan 30,45 V dan arus 2,96 mA sedangkan tegangan dan arus terendah dari sampel piezoelektrik nomor 5 dengan rata-rata tegangan 21,05 V dan arus 1,72 mA. Untuk data yang lebih lengkap ada pada Lampiran.

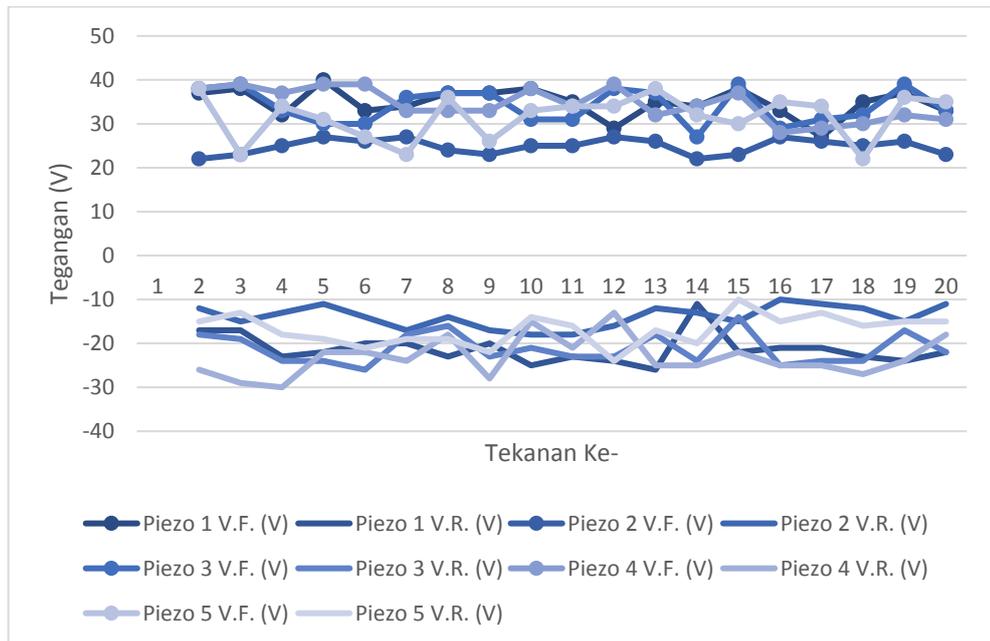
c. Desain Piezoelektrik dengan Alas Lunak (Busa Ati)

Pada desain ketiga ini, sampel piezoelektrik diletakkan pada alas lunak yaitu dengan menempelkan elemen piezoelektrik pada busa ati. Busa ati dipilih karena memiliki sifat yang lunak/empuk. Selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan dari 5 sampel piezoelektrik seperti pada gambar di bawah ini:

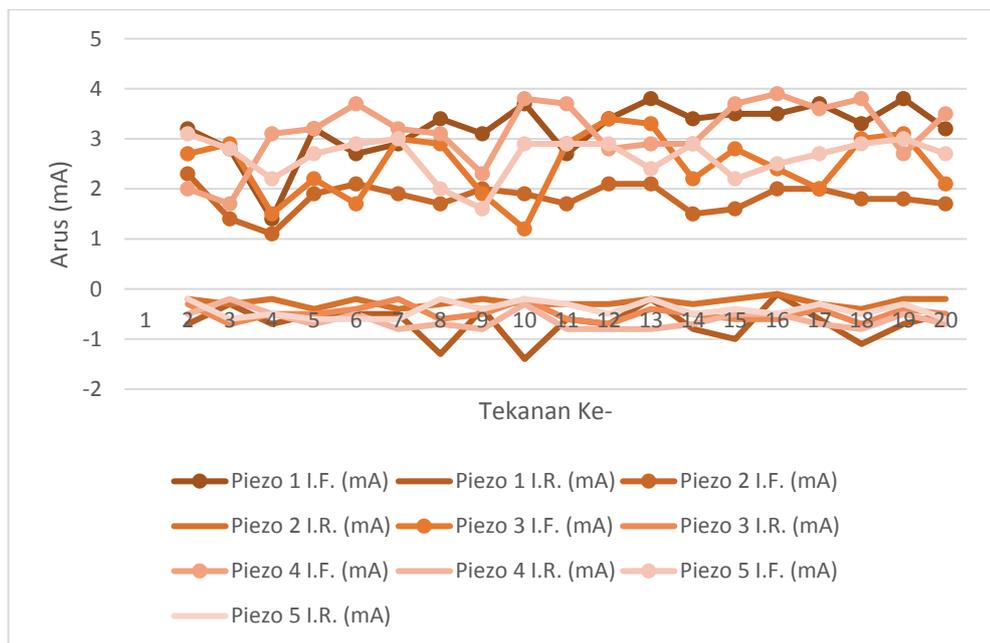


Gambar 3.8 Pengukuran Tegangan dan Arus Desain Piezoelektrik dengan Alas Lunak (Busa Ati)

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, maka dibuat grafik untuk masing-masing hasil pengukuran tegangan maupun arus. Berikut merupakan grafik hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan desain anak tangga dengan alas lunak (busa ati):



Gambar 3.9 Grafik Pengukuran Tegangan Desain Piezoelektrik dengan Alas Lunak (Busa Ati)



Gambar 3.10 Grafik Pengukuran Arus Desain Piezoelektrik dengan Alas Lunak (Busa Ati)

Dari grafik hasil pengukuran menggunakan multimeter seperti gambar di atas menunjukkan hasil yang sama dengan pengukuran desain dengan alas karas yaitu setiap sampel piezoelektrik memiliki karakteristik menghasilkan tegangan

serta arus yang positif dan negatif. Pada saat piezoelektrik ditekan tegangan dan arusnya positif, namun saat tekanan dilepaskan tegangan dan arusnya negatif. Rata-rata nilai tegangan dan arus tertinggi yang dihasilkan dari sampel piezoelektrik nomor 1 dengan rata-rata tegangan 34,8 V dan arus 3,18 mA sedangkan tegangan dan arus terendah dari sampel piezoelektrik nomor 2 dengan rata-rata tegangan 24,9 V dan arus 1,835 mA. Untuk data yang lebih lengkap ada pada Lampiran.

Apabila dari ketiga desain yang telah dilakukan pengukuran dibandingkan maka desain yang paling menghasilkan rata-rata tegangan dan arus tertinggi yaitu pada desain dengan alas lunak (busa ati). Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Busa ati merupakan benda yang lunak, apabila piezoelektrik diletakkan di atasnya dan ditekan, maka tekannya menjadi lebih maksimal karena piezoelektrik dapat melengkung. Sedangkan hasil dari desain dengan alas keras dan sedang menghasilkan hasil yang tidak jauh berbeda. Hal ini karena pada kedua desain tersebut sama-sama menggunakan alas yang cukup keras.

Tabel 3.1 Perbandingan Tegangan yang Dihasilkan dari Desain Piezoelektrik dengan Alas Lantai, Kayu dan Busa Ati

Panel		Lantai	Kayu	Busa Ati
Panel 1	V.F. (V)	27.35	29	34.8
	V.R. (V)	-14.05	-19.45	-21.5
Panel 2	V.F. (V)	18.8	19.45	24.9
	V.R. (V)	-11	-9.55	-13.85
Panel 3	V.F. (V)	26.4	31	33.8
	V.R. (V)	-13.75	-16.8	-21.2
Panel 4	V.F. (V)	30.65	30.45	34.35
	V.R. (V)	-14.5	-20.8	-22.85
Panel 5	V.F. (V)	18.25	21.05	31.85
	V.R. (V)	-9.39	-14.55	-17

Tabel 3.2 Perbandingan Arus yang Dihasilkan dari Desain Piezoelektrik dengan Alas Lantai, Kayu dan Busa Ati

Panel		Lantai	Kayu	Busa Ati
Panel 1	I.F. (mA)	2.35	2.775	3.18
	I.R. (mA)	-0.57	-0.49	-0.66
Panel 2	I.F. (mA)	1.61	2.025	1.835
	I.R. (mA)	-0.255	-0.305	-0.27
Panel 3	I.F. (mA)	2.095	2.01	2.475
	I.R. (mA)	-0.34	-0.47	-0.49
Panel 4	I.F. (mA)	2.725	2.96	3.165
	I.R. (mA)	-0.38	-0.665	-0.63
Panel 5	I.F. (mA)	1.065	1.72	2.655
	I.R. (mA)	-0.205	-0.315	-0.41

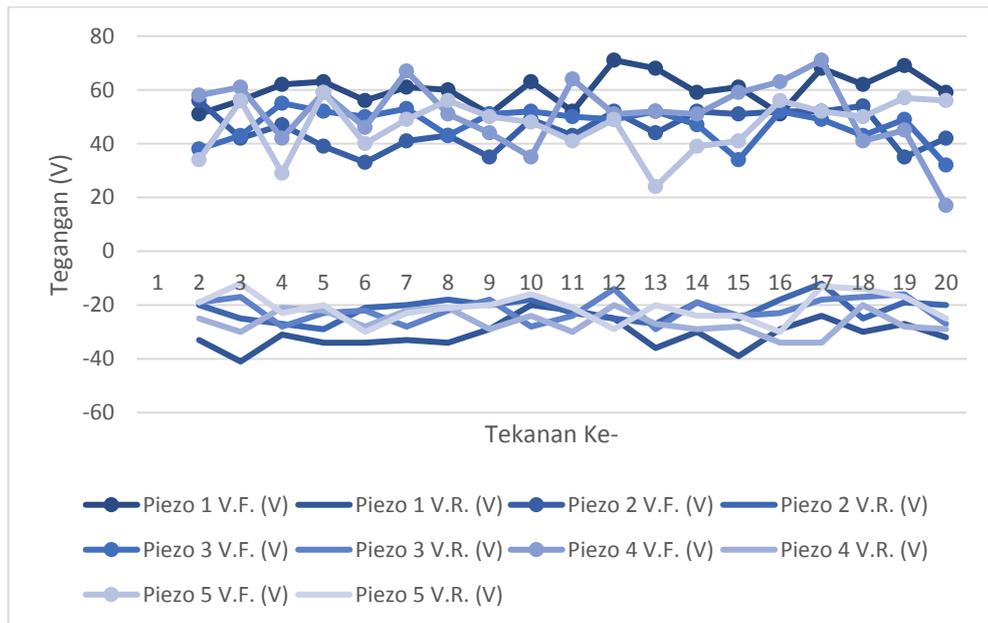
3.3.2 Desain Anak Tangga dengan Bantalan Lunak

Berdasarkan pengukuran desain sebelumnya, desain yang menghasilkan rata-rata tegangan dan arus tertinggi adalah desain dengan alas lunak karena tekanan yang diberikan akan lebih maksimal. Selanjutnya pada tahap ini akan dilakukan pengukuran desain anak tangga dengan bantalan lunak. Bantalan lunak yang digunakan yaitu bahan busa ati yang diberi rongga pada sisi tengah piezoelektrik. Bantalan ini bertujuan untuk mendapatkan tekanan yang lebih dibandingkan dengan desain sebelumnya. Sama dengan pengukuran desain sebelumnya, pada pengukuran dilakukan dengan 20 kali penekanan untuk mendapatkan data yang akurat. Pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan dari 5 sampel piezoelektrik dilakukan seperti pada gambar di bawah ini:

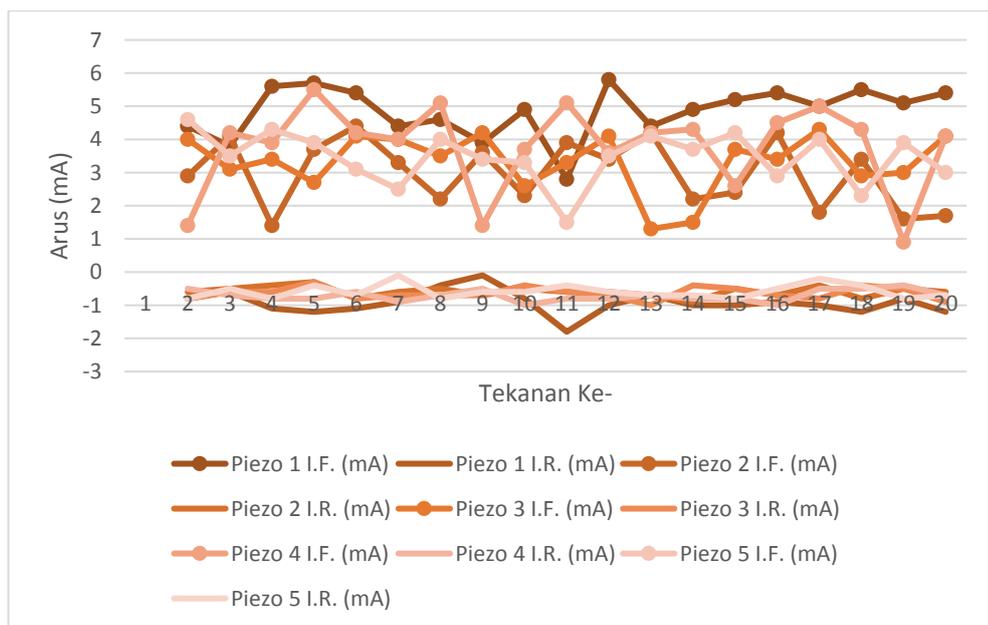


Gambar 3.11 Pengukuran Tegangan dan Arus Desain Piezoelektrik dengan Bantalan Lunak

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, maka dibuat grafik untuk masing-masing hasil pengukuran tegangan maupun arus. Berikut merupakan grafik hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan desain anak tangga dengan bantalan lunak:



Gambar 3.12 Grafik Pengukuran Tegangan Desain Piezoelektrik dengan Bantalan Lunak



Gambar 3.13 Grafik Pengukuran Arus Desain Piezoelektrik dengan Bantalan Lunak

Dari grafik hasil pengukuran menggunakan multimeter seperti gambar di atas menunjukkan hasil yang sama dengan pengukuran desain dengan alas karas yaitu setiap sampel piezoelektrik memiliki karakteristik menghasilkan tegangan serta arus yang positif dan negatif. Pada saat piezoelektrik ditekan tegangan dan arusnya positif, namun saat tekanan dilepaskan tegangan dan arusnya negatif. Rata-rata nilai tegangan dan arus tertinggi yang dihasilkan dari sampel piezoelektrik nomor 1 dengan rata-rata tegangan 59,45 V dan arus 4,85 mA sedangkan tegangan dan arus terendah dari sampel piezoelektrik nomor 2 dengan rata-rata tegangan 45,25 V dan arus 3,02 mA. Untuk data yang lebih lengkap ada pada Lampiran.

Dari data tersebut terbukti bahwa dengan menggunakan bantalan lunak tegangan dan arus yang dihasilkan akan semakin besar. Hal tersebut dipengaruhi oleh adanya rongga pada bantalan lunak yang mengakibatkan tekanan yang diberikan akan lebih maksimal. Selain itu, dikarenakan elemen piezoelektrik tidak memiliki *data sheet* khusus maka pengukuran yang dilakukan dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan elemen piezoelektrik dapat menghasilkan tegangan dan arus.

3.3.3 Desain Anak Tangga dengan Rangkaian Seri dan Paralel

Untuk menentukan bentuk rangkaian yang akan digunakan maka dilakukan perhitungan dan pengukuran dengan menggunakan rangkaian seri maupun paralel sesuai dengan teori Hukum Kirchoff. Selain itu, perancangan desain anak tangga dilakukan dengan berbagai pertimbangan. Salah satu pertimbangan yang utama yaitu elemen piezoelektrik yang digunakan terbentuk dari lembaran tipis keramik yang rapuh dan akan patah apabila diberi getaran atau tekanan dengan waktu yang lama. Salah satu solusi yang dilakukan oleh J. Ortiz dkk pada jurnal *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)* dengan judul “*Energy Generation Based on Piezoelectric Transducers*” adalah memberikan lembaran yang tahan terhadap getaran diantara elemen piezoelektrik agar lebih kuat.

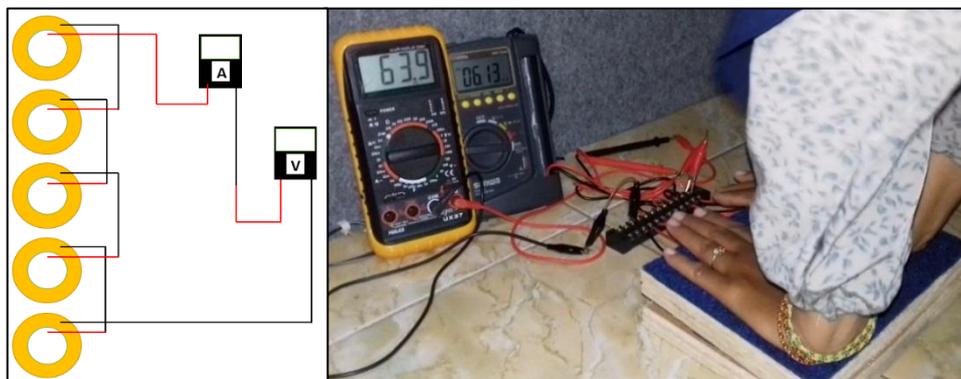
Berdasarkan pertimbangan di atas maka, sebelum dilakukan pengukuran, pada bagian atas piezoelektrik diberikan lapisan penekan dengan bermacam-macam

bahan, antara lain: lapisan busa putih (*polyfoam*) dengan busa ati, dan kayu. Busa putih dan busa ati dibuat bulat berdiameter 2 cm yang digunakan untuk bantalan penekan yang ditempelkan di atas piezoelektrik. Piezoelektrik memiliki sifat bahan yang mudah pecah maka diberi bantalan penekan tersebut bertujuan untuk melindungi piezoelektrik dari tekanan yang sangat keras. Pada bagian bawah piezoelektrik menggunakan desain piezoelektrik dengan bantalan lunak. Papan triplek akan diletakkan dibagian atas bantalan penekan untuk dapat menekan dengan rata.

Piezoelektrik yang telah disusun dengan lapisan-lapisannya akan dirangkai secara seri maupun secara paralel untuk membandingkan kualitas tegangan dan arus yang dihasilkan dari desain tersebut. Selain itu, multimeter yang digunakan ada 2 yaitu: multimeter Heles digunakan untuk mengukur nilai tegangan sedangkan multimeter Sanwa digunakan untuk mengukur nilai arus. Hal tersebut dilakukan untuk dapat melihat hasil nilai tegangan dan arus secara bersamaan dan dapat diketahui jumlah daya yang akan dihasilkan.

a. Rangkaian Seri

Rangkaian seri ini dibentuk dari 5 buah sampel piezoelektrik yang digunakan pada desain sebelumnya. Pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan dari 5 piezoelektrik yang dirangkai seri secara bertahap dengan menggunakan 2 sampai 5 piezoelektrik. Skematik rangkaian seri dan gambar saat melakukan pengukuran dilakukan seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.14 Skematik Rangkaian Seri dan Pengukuran Rangkaian Seri dengan 5 Piezoelektrik

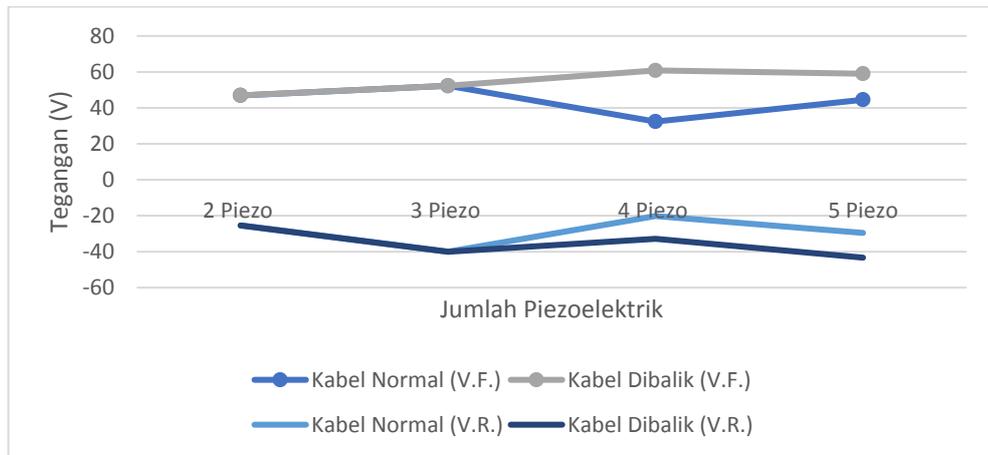
Berdasarkan pengukuran dari rangkaian seri di atas, didapatkan data seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.3 Hasil Pengukuran Rata-rata Tegangan dan Arus Menggunakan Rangkaian Seri

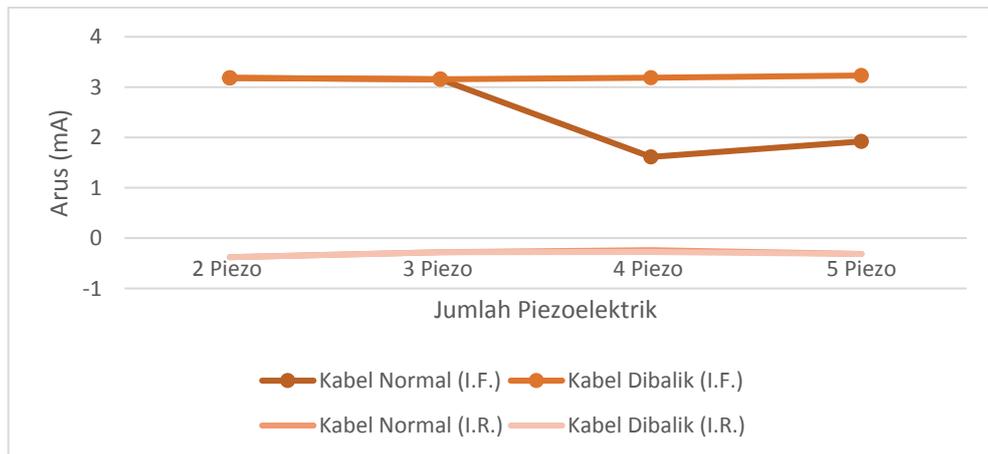
Rangkaian	2 Piezo (V)	3 Piezo (V)	4 Piezo (V)	5 Piezo (V)	Rangkaian	2 Piezo (mA)	3 Piezo (mA)	4 Piezo (mA)	5 Piezo (mA)
Kabel Normal (V.F.)	46.95	52.3	32.38	44.54	Kabel Normal (I.F.)	4.497	5.748	3.595	3.952
Kabel Dibalik (V.F.)	46.95	52.3	60.84	59.02	Kabel Dibalik (I.F.)	4.497	5.748	6.528	4.99
Kabel Normal (V.R.)	-25.4	-40.01	-20.16	-29.55	Kabel Normal (I.R.)	-1.23	-1.387	-0.781	-1.054
Kabel Dibalik (V.R.)	-25.4	-40.01	-32.84	-43.32	Kabel Dibalik (I.R.)	-1.23	-1.387	-1.172	-1.233

Dari data yang didapatkan, ada 2 buah data yang diambil yaitu saat kabel piezoelektrik 4 dalam keadaan normal dan dibalik. Pada saat kabel piezoelektrik nomor 4 dirangkai menjadi rangkaian seri 4 buah piezoelektrik dengan keadaan kabel normal, tegangan maupun arus yang dihasilkan akan menurun. Saat dirangkai menjadi seri dengan 5 buah piezoelektrik tegangan dan arus yang dihasilkan lebih besar. Hal ini terjadi karena pada piezoelektrik nomor 4 terdapat perbedaan. Piezoelektrik nomor 4 akan menghasilkan tegangan dan arus negatif saat ditekan dan saat tekanan dilepaskan menghasilkan tegangan dan arus positif. Saat desain rangkaian seri dengan 4 buah piezoelektrik ini ditekan salah satu piezoelektrik menghasilkan tegangan dan arus negatif sehingga akan mengurangi hasil tegangan dan arus piezoelektrik yang lainnya. Solusi yang dilakukan yaitu mengubah posisi kabel piezoelektrik nomor 4 sehingga hasil tegangan yang dihasilkan terlihat semakin besar.

Pada rangkaian seri nilai tegangan yang dihasilkan semakin besar apabila jumlah piezoelektrik yang digunakan semakin banyak, namun besar arus yang dihasilkan relatif sama atau tidak mengalami banyak peningkatan. Untuk lebih mudah dalam melihat hasil dari pengukuran tersebut, maka dibuat grafik tegangan dan arus yang dihasilkan dari rangkaian seri seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3.15 Grafik Pengukuran Tegangan Menggunakan Rangkaian Seri



Gambar 3.16 Grafik Pengukuran Arus Menggunakan Rangkaian Seri

Pada rangkaian seri menggunakan teori Hukum Kirchoff II yaitu jumlah tegangan pada suatu lintasan tertutup samadengan nol, atau penjumlahan tegangan pada masing-masing komponen penyusunnya yang membentuk satu lintasan tertutup akan bernilai samadengan nol. Selain dilakukan pengukuran dari rangkaian seri dilakukan juga perhitungan secara manual, untuk membandingkan hasil pengukuran dan perhitungan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan secara manual pada rangkaian seri:

Asumsi nilai tegangan dan arus pada setiap piezoelektrik diambil dari rata-rata hasil pengukuran tertinggi pada desain dengan bantalan lunak yaitu tegangan sebesar 59,45 V dan arus 4,85 mA.

1) Tegangan Rangkaian Seri (5 Piezoelektrik)

$$\begin{aligned} V &= 59,45 \text{ V} \times 5 \\ &= 297,25 \text{ V} \end{aligned}$$

2) Arus Rangkaian Seri (5 Piezoelektrik)

Pada rangkaian seri nilai arus yang lewat sama besar, sehingga nilai arus pada rangkaian seri menggunakan 5 buah piezoelektrik adalah 4,85 mA.

Dari kedua contoh perhitungan tersebut apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran akan meunjukkan nilai yang berbeda terutama pada nilai tegangannya. Nilai tegangan pada saat dilakukan pengukuran yaitu 59,02 V, sedangkan saat dilakukan perhitungan nilainya 297,25 V. Hal tersebut terjadi karena berbagai faktor. Faktor-faktor yang dapat memperngaruhi nilai tersebut antara lain: posisi pemberian tekanan yang tidak rata atau menyeluruh ke semua elemen piezoelektrik, pemberian tekanan tidak tepat ditengah, karakter bahan piezoelektrik serta adanya efek *direct* dan *indirect*. Sedangkan untuk perbandingan nilai arus saat pengukuran dan perhitungan tidak memiliki perbedaan yang cukup banyak, sehingga dapat dikatakan sama.

Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan terbukti bahwa nilai yang dihasilkan dari 5 buah piezoelektrik dengan rangkaian seri sesuai dengan Hukum Kirchoff II.

b. Rangkaian Paralel

Pada rangkaian paralel ini juga dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan seperti pada rangkaian seri sebelumnya. 5 piezoelektrik yang dirangkai paralel secara bertahap dengan menggunakan 2 sampai 5 piezoelektrik. Skematik rangkaian paralel dan gambar saat melakukan pengukuran dilakukan seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.17 Skematik Rangkaian Paralel dan Pengukuran Rangkaian Paralel dengan 5 Piezoelektrik

Berdasarkan pengukuran dari rangkaian seri di atas, didapatkan data seperti pada tabel di bawah ini:

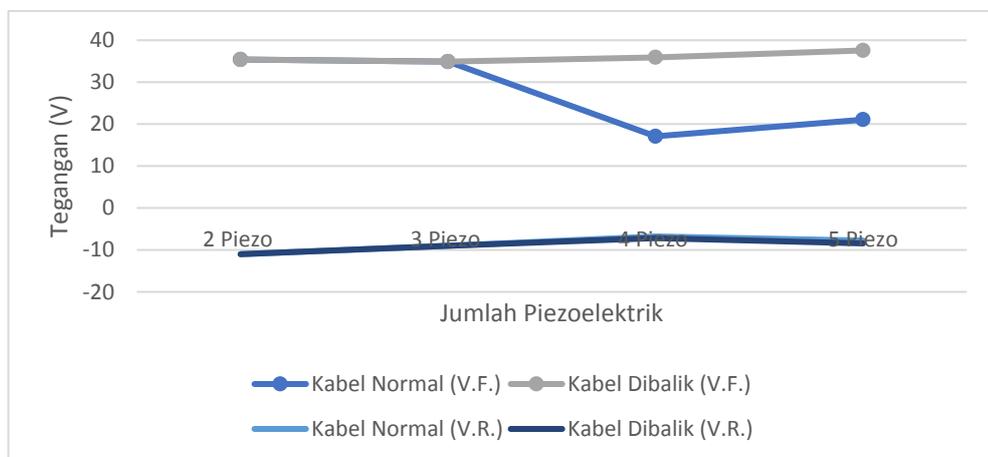
Tabel 3.4 Hasil Pengukuran Rata-rata Tegangan dan Arus Menggunakan Rangkaian Paralel

Rangkaian	2 Piezo (V)	3 Piezo (V)	4 Piezo (V)	5 Piezo (V)	Rangkaian	2 Piezo (mA)	3 Piezo (mA)	4 Piezo (mA)	5 Piezo (mA)
Kabel Normal (V.F.)	35.39	34.89	17.08	21.06	Kabel Normal (I.F.)	3.182	3.156	1.613	1.92
Kabel Dibalik (V.F.)	35.39	34.89	35.9	37.55	Kabel Dibalik (I.F.)	3.182	3.156	3.185	3.23
Kabel Normal (V.R.)	-11.02	-9.01	-6.79	-7.77	Kabel Normal (I.R.)	-0.379	-0.281	-0.239	-0.316
Kabel Dibalik (V.R.)	-11.02	-9.01	-7.19	-8.46	Kabel Dibalik (I.R.)	-0.379	-0.281	-0.276	-0.315

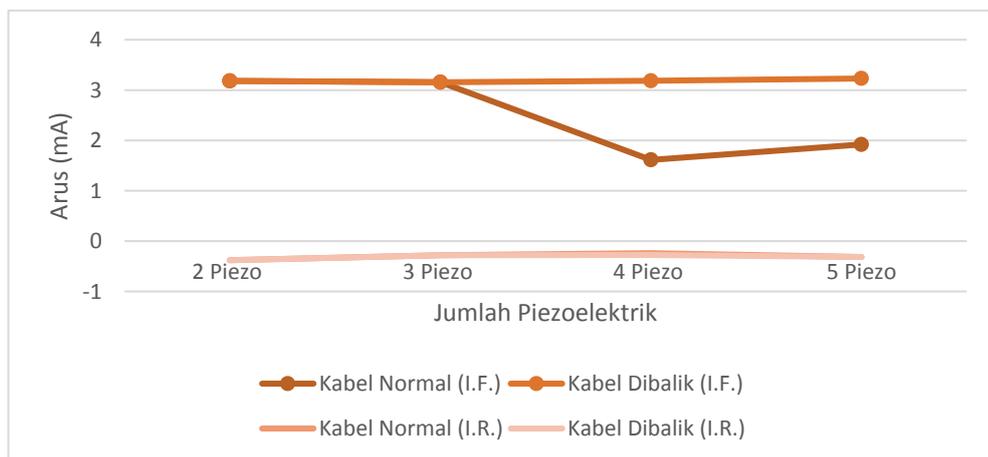
Dari data yang didapatkan, ada 2 buah data yang diambil yaitu saat kabel piezoelektrik 4 dalam keadaan normal dan dibalik. Pada saat kabel piezoelektrik 4 dirangkai paralel menggunakan 4 buah piezoelektrik dengan keadaan kabel normal, tegangan maupun arus yang dihasilkan akan menurun. Saat dirangkai menjadi paralel dengan 5 buah piezoelektrik menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. Hal ini terjadi karena pada piezoelektrik nomor 4 terdapat perbedaan. Piezoelektrik nomor 4 akan menghasilkan tegangan dan arus negatif saat ditekan dan saat tekanan dilepaskan menghasilkan tegangan dan arus positif. Saat desain rangkaian paralel menggunakan 4 buah piezoelektrik ini ditekan salah satu piezoelektrik menghasilkan tegangan dan arus negatif sehingga akan mengurangi hasil tegangan dan arus piezoelektrik yang lainnya. Solusi yang dilakukan yaitu

mengubah posisi kabel piezoelektrik nomor 4 sehingga hasil tegangan yang dihasilkan terlihat semakin besar.

Pada rangkaian paralel nilai arus yang dihasilkan semakin besar apabila jumlah piezoelektrik yang digunakan semakin banyak, namun besar nilai tegangan yang dihasilkan relatif sama atau tidak mengalami banyak peningkatan. Untuk lebih mudah dalam melihat hasil dari pengukuran tersebut, maka dibuat grafik tegangan dan arus yang dihasilkan dari rangkaian seri seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3.18 Grafik Pengukuran Tegangan Menggunakan Rangkaian Paralel



Gambar 3.19 Grafik Pengukuran Arus Menggunakan Rangkaian Paralel

Pada rangkaian paralel menggunakan teori Hukum Kirchoff I yaitu jumlah arus yang memasuki suatu percabangan atau *node* atau simpul samadengan arus yang meninggalkan percabangan atau *node* atau simpul. Selain dilakukan pengukuran dari rangkaian paralel, dilakukan perhitungan secara manual untuk

membandingkan hasil pengukuran dan perhitunga. Berikut ini merupakan contoh perhitungan secara manual pada rangkaian paralel:

Asumsi nilai tegangan dan arus pada setiap piezoelektrik diambil dari rata-rata hasil pengukuran tertinggi pada desain dengan bantalan lunak yaitu tegangan sebesar 59,45 V dan arus 4,85 mA.

1) Tegangan Rangkaian Paralel (5 Piezoelektrik)

Pada rangkaian paralel nilai tegangan yang lewat sama besar, sehingga nilai tegangan pada rangkaian paralel menggunakan 5 buah piezoelektrik adalah 59,45 V.

2) Arus Rangkaian Paralel (5 Piezoelektrik)

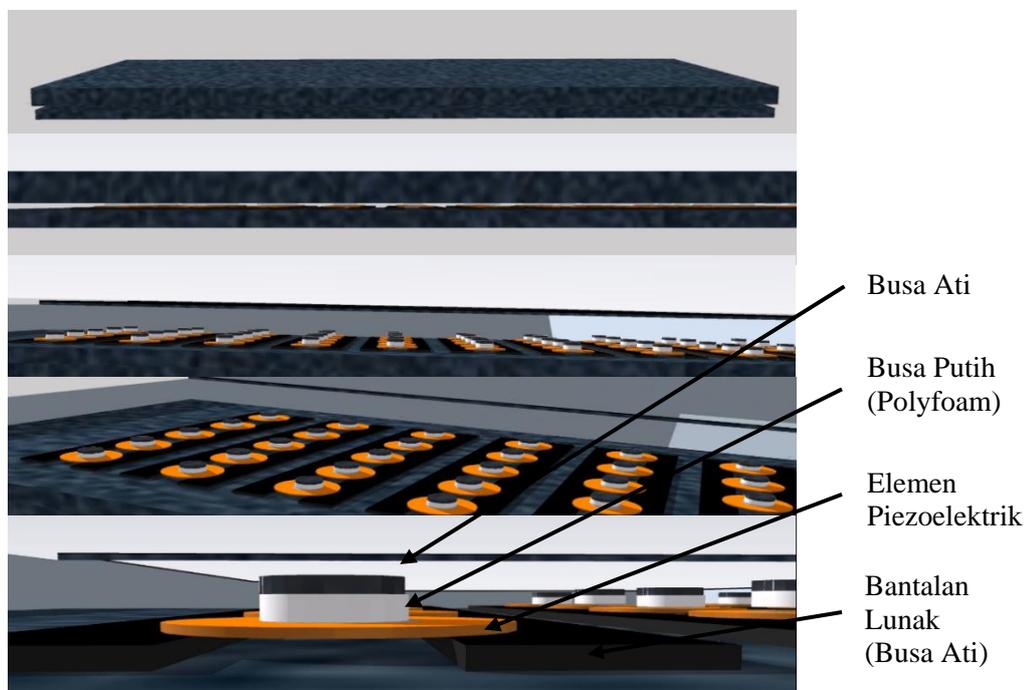
$$\begin{aligned} I &= 4,85 \text{ mA} \times 5 \\ &= 24,25 \text{ mA} \end{aligned}$$

Dari kedua contoh peritungan tersebut apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran akan meunjukkan nilai yang berbeda. Nilai tegangan pada saat dilakukan pengukuran yaitu 37,55 V, sedangkan nilai perhitungan dengan asumsi adalah 59,45 V. Sedangkan untuk perbandingan nilai arus saat pengukuran dan perhitungan juga memiliki perbedaan yang cukup banyak, saat pengukuran nilai arusnya 3,23 mA dan saat dilakukan perhitungan nilai yang seharusnya adalah 24,25 mA.

Perbedaan tersebut terjadi karena berbagai faktor. Faktor-faktor yang dapat memperngaruhi nilai tersebut antara lain: posisi pemberian tekanan yang tidak rata atau menyeluruh ke semua elemen piezoelektrik, pemberian tekanan tidak tepat ditengah, karakter bahan piezoelektrik serta adanya efek *direct* dan *indirect*. Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan terbukti bahwa nilai yang dihasilkan dari 5 buah piezoelektrik dengan rangkaian paralel sesuai dengan Hukum Kirchoff I yaitu nilai tegangan dari paralel menggunakan 2 sampai 5 buah piezoelektrik stabil, akan tetapi nilai arus pada rangkaian paralel akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah piezoelektrik yang digunakan.

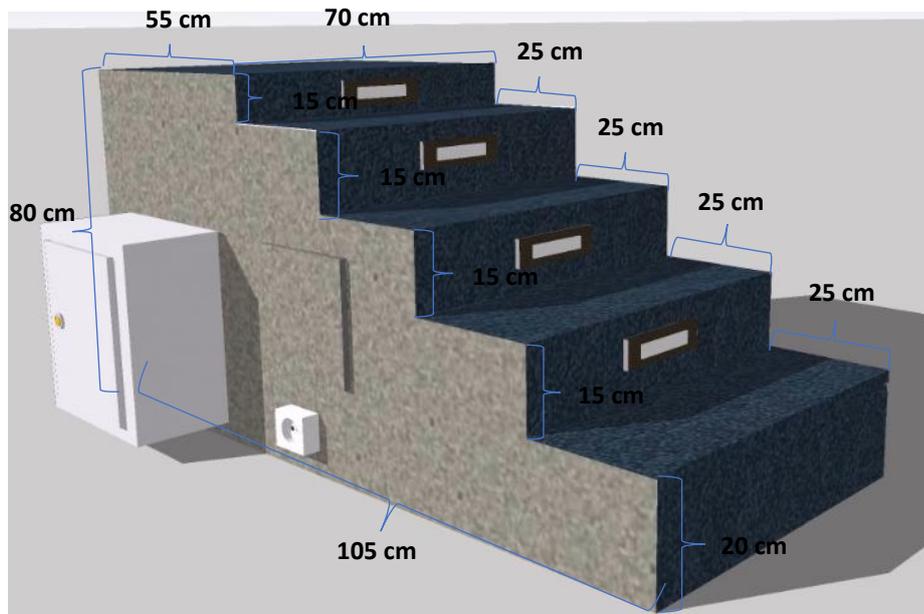
Berdasarkan percobaan desain menggunakan rangkaian seri dan paralel maka yang akan digunakan adalah rangkaian paralel. Sesuai dengan teori Hukum Kirchoff I, rangkaian paralel akan menghasilkan arus yang besar dibandingkan dengan rangkaian seri. Selain itu, semakin banyak elemen piezoelektrik yang digunakan, maka keluaran tegangan ataupun arus akan semakin besar.

Prototipe tangga yang dibuat menyesuaikan ukuran tangga yang sudah diimplementasikan pada bangunan. Ukuran tinggi setiap anak tangga yang dibuat memakai ukuran tangga di Laboratorium Teknik Elektro UMY yaitu 15 cm. selain itu lebar masing-masing anak tangga 25cm serta panjang 70 cm. Jumlah anak tangga yang dibuat ada 4 buah, dalam setiap anak tangga diberi rongga 5 cm untuk menempatkan panel anak tangga yang berukuran 70 cm x 25 cm x 5 cm. Setiap panel anak tangga dapat diisi oleh 40 buah piezoelektrik yang dirangkai secara paralel serta menggunakan lapisan-lapisan yang telah ditentukan pada desain sebelumnya seperti yang terlihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Desain Lapisan Anak Tangga

Untuk memberikan rasa aman dan nyaman prototipe anak tangga dilapisi dengan karpet pada bagian luar serta diberi lampu indikator dengan menggunakan *led strip* seperti yang terlihat pada gambar 3.21 di bawah ini:



Gambar 3.21 Desain Tangga Penghasil Listrik Secara Keseluruhan

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Untuk dapat melaksanakan penelitian dengan baik maka diperlukan peralatan dan bahan-bahan untuk menunjang keberhasilan penelitian yang sebelumnya telah dibahas pada bagian penentuan model dan spesifikasi prototipe. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini yaitu:

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan untuk pembuatan prototipe dan pengujian hasil perancangan yang dilakukan, yaitu:

- 1) Multimeter merek SANWA dan HELES
- 2) Seperangkat *Toolset* (Obeng, Tang, dll)
- 3) Bor Listrik Merek BOSCH GBM 6
- 4) Gergaji

- 5) Gunting
- 6) Solder Merek Dekko 40-85 Watt

3.4.2 Bahan

Bahan dan spesifikasinya yang digunakan dalam pembuatan prototipe tangga penghasil listrik diantaranya sebagai berikut:

- 1) Elemen Piezoelektrik diafragma diameter 3,5 cm
- 2) Triplek tebal 1,2 cm
- 3) Triplek tebal 1,8 cm
- 4) Karpet tebal 0,2 cm
- 5) Lem kayu putih merk FOX
- 6) Tenol
- 7) Kabel
- 8) Led strip 12 V

3.5 Pembuatan Prototipe

Pembuatan prototipe dibuat dengan tahapan pembuatan model anak tangga seperti yang telah dijelaskan pada pemilihan desain, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan kerangka tangga untuk menopang anak tangga tersebut. Beberapa desain model anak tangga yang dibuat nantinya akan di uji sehingga dapat ditentukan desain anak tangga yang paling efisien menghasilkan energi listrik. Pembuatan prototipe tersebut dilakukan sesuai dengan pemilihan desain dan menggunakan alat serta bahan yang telah disesuaikan. Berdasarkan teori hukum Kirchoff I untuk mendapatkan nilai arus yang lebih besar dengan tegangan tertentu, maka elemen piezoelektrik disambung/dirangkai secara paralel. Pembuatan prototipe dilakukan di tempat tinggal penulis yaitu di Dusun Jadan RT 03 Tamantirto Kasihan Bantul dan di Laboratorium Teknik Elektro UMY.

3.6 Uji Coba Prototipe

Setelah dilakukan pembuatan prototipe dengan desain yang sudah dirancang, langkah selanjutnya yaitu dilakukan uji coba. Proses uji coba prototipe dilakukan

dengan dua tahapan, yaitu: uji coba rancangan desain anak tangga dan uji coba tangga secara lengkap. Pada proses uji coba rancangan desain anak tangga dilakukan sesuai dengan tahapan pemilihan desain anak tangga seperti yang telah disebutkan di atas. Setelah mendapatkan besar energi listrik yang terbaik kemudian dilanjutkan dengan uji coba desain anak tangga secara lengkap. Proses uji coba anak tangga secara lengkap ini dilakukan dengan cara menggabungkan desain anak tangga dengan kerangka tangga yang telah dibuat. Selain itu, pada satu proses uji coba dilakukan dengan beberapa kali tekanan untuk mendapatkan ketelitian data untuk didapatkan nilai rata-ratanya. Apabila hasil uji coba kurang maksimal atau gagal, maka dilakukan pengulangan proses dari pemilihan desain prototipe. Uji coba prototipe yang dilakukan ini berfungsi untuk melakukan perbaikan dan penyempurnaan prototipe agar sistem bekerja sesuai harapan.

3.7 Analisa

Analisa yang dilakukan bertujuan untuk menemukan kekurangan dari prototipe yang dibuat sehingga dapat dilakukan penyempurnaan sebelum digunakan pengguna tangga. Analisa yang paling penting dilakukan yaitu pada pemilihan desain anak tangga karena proses tersebut yang menentukan besar energi listrik yang dihasilkan. Selain itu, pada tahap ini juga dilakukan pengambilan data dari prototipe tangga yang sudah jadi dengan menggunakan beda berat badan penginjak dan beda ketinggian antar anak tangga.

3.8 Pembuatan Laporan

Setelah semua proses dilakukan, prototipe dapat beroperasi dengan baik dan telah didapatkan data energi listrik yang dihasilkan maka, tahap akhir yang dilakukan yaitu pembuatan laporan. Laporan yang dibuat menjelaskan seluruh proses kegiatan yang dilakukan sampai alat dapat bekerja serta menganalisis permasalahan yang terjadi pada prototipe yang dibuat.