HALAMAN PENGESAHAN

Nama Dokumen	Laporan Capstone Design
Mata Kuliah	Tugas Akhir (TA)
Judul Proyek	Studi Eksperimental Perbandingan Energi Keluaran Rangkaian Piezoelektrik Seri, Paralel, dan Kombinasi dalam Merespon Eksitasi Getaran

FEBRIAN **NIM. 221180008**

Telah dipertahankan di depan Komisi Penguji Tugas Akhir Capstone Design
Pada tanggal 29 Juli 2025 dan dinyatakan telah memenuhi syarat oleh

Komisi Penguji

Muhammad Basri, S.T.,M.T. (Ketua) (.....)

A.Irmayani Pawelloi, S.T.,M.T. (Sekretaris) (.....)

Ir. A. Abd Jabbar, M.T. (Anggota) (.....)

Ashadi Amir, S,T.,M.T. (Anggota) (.....)

Mengetahui :

Plt. Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Alauddin Y, S.T., M.Kom
NBM. 114 0376

Dekan
Fakultas Teknik

Dr. Ir. H. Hakzah, S.T., M.T.
NBM. 938 317

LEMBAR PERSETUJUAN

Nama Dokumen	Laporan Capstone Design
Mata Kuliah	**Tugas Akhir (TA)**
Judul Proyek	Studi Eksperimental Perbandingan Energi Keluaran Rangkaian Piezoelektrik Seri, Paralel, dan Kombinasi Dalam Merespon Eksitasi Getaran
Nomor Dokumen	☐ Doc. EU-100 ☐ Doc. EU-200 ☐ Doc. EU-300
	☐ Doc. EU-400 ☐ Doc. EU-500

Disusun oleh:

FEBRIAN 221180008

Telah diperiksa dan disetujui untuk mengikuti **Ujian Tutup**

Parepare, 14 Juli 2025

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Muhammad Basri, S.T., M.T

NBM. 959 773

Pembimbing II

A Irmayani Pawelloi, S.T., M.T

NBM. 859 497

Mengetahui,

Plt. Ketua Program Studi

Ashadi Amir, S.T., M.T

NBM. 1278 015

PERNYATAAN KEASLIAN CAPSTONE DESIGN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama	: **Febrian**
NIM	: 221180008
Program Studi	: Teknik Elektro
Fakultas	: Teknik
Judul Skripsi	: Studi Eksperimental Perbandingan Energi Keluaran Rangkaian Piezoelektrik Seri, Paralel, dan Kombinasi dalam Merespon Eksitasi Getaran

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Capstone Design yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Parepare, 04 September 2025

Yang Menyatakan



FEBRIAN

NIM. 221180008

HALAMAN INSPIRASI



“Lettu masseddi gau, maseddingngi gau”

“Satu tindakan nyata lebih bernilai daripada seribu rencana tanpa pelaksanaan”

(Pepatah Bugis)

“Takdir setiap manusia memang telah ditentukan sejak lahir, tetapi dengan kerja keras kita dapat mengalahkan takdir”

(Naruto Uzumaki)

وَاَنْ لَّيْسَ لِلْاِنْسَانِ اِلَّا مَا سَعٰىۙ

wa al laisa lil-insâni illâ mâ sa‘â

“bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya,”

(Q.S. An-Najm [53]: 39)

PRAKATA



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena kebesaran-Nya dan karunia-Nya lah, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian yang berjudul "**Studi Eksperimental Perbandingan Energi Keluaran Rangkaian Piezoelektrik Seri, Paralel, dan Kombinasi Dalam Merespon Eksitasi Getaran**" ini dengan baik, dan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Muhammadiyah Parepare. Penulis Menyadari begitu banyak kendala dan hambatan dalam proses penyelesaian skripsi ini, maka dalam tugas akhir ini begitu banyak bantuan dan bimbingan serta dorongan moral dan semangat yang penulis terima, dan pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Sufian dan Ibunda Runia atas doa yang tiada henti, kasih sayang, didikan, kesabaran, serta segala pegorbanan yang telah diberikan sejak penulis kecil hingga saat ini. Tiada kata yang mampu menggambarkan rasa syukur dan hormat penulis kepada kalian, dengan ketulusan hati, penulis sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas kepercayaan, kasih sayang dan pengorbanan, yang tidak ternilai, yang telah menguatkan penulis dalam menjalani masa perkuliahan hingga menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas segala amal kebaikan dengan pahala yang tiada henti serta senantiasa diberikan kesehatan dan umur yang panjang.

2. Ayahanda Dr. H. Hakzah, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare.
3. Ayahanda Alauddin Y., ST., M.Kom. selaku Ketua Jurusan Teknik Elekto Universitas Muhammadiyah Parepare.
4. Ayahanda Muhammad Basri ST., MT. selaku Pembimbing I. dan Ibunda Hj. A. Irmayani Pawelloi, ST., MT selaku Pembimbing II, atas segala bimbingan, arahan serta ilmu yang sangat berharga.
5. Ayahanda Ir. A. Abd. Jabbar , M.T. selaku Penguji I. dan Ayahanda Ashadi Amir, S.T., M.T. selaku Penguji II, atas masukan, kritik, dan saran yang membangun.
6. Para dosen Teknik Elektro dan staff Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare yang telah banyak membantu dan juga atas partisipasinya selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Muhammadiyah Parepare.
7. Kepada saudara/i penulis, Supriani, Sugiarti, Muhammad Akbar, dan Muhammad Ilham dengan tulus penulis mengucapkan terima kasih karena telah menjadi penyemangat, memberikan motivasi perhatian yang tak terhingga kepada penulis selama kuliah dan penyusunan skripsi ini.
8. Kepada keponakan penulis, Muhammad Arka Alfariel F, Muhammad Dyland Alfarizi F, Muh.Adzriel Rafiq Syahputra, dan Nur Ainul Mardhiah yang menjadi penyemangat dan pelepas penat selama kuliah dan pengerjaan skripsi ini.

9. Kepada kakak ipar penulis, Muchram Fajrin dan Masnawati yang senantiasa memberikan bantuan selama kuliah dan pengerjaan skripsi ini.
10. Saudara/i Teknik Elektro Angkatan 021, Instruktur Laboratorium Teknik Elektro, Komunitas Robotika UMPAR, dan Komunitas Riset Mahasiswa yang telah banyak memberikan dorongan, semangat, dan juga pengalaman yang berharga sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
11. Keluarga penulis yang tidak sempat disebutkan satu persatu dan teman-teman KM 1, Lasiming, dan Headstone yang senantiasa memberikan kebersamaan dan bantuan yang berarti bagi penulis.
12. Semua pihak-pihak yang belum sempat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
13. Terakhir, apresiasi terbesar untuk diri saya sendiri. Terima kasih telah mau dan mampu bertahan hingga penyusunan skripsi ini selesai.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dengan berlipat ganda kepada semuanya atas segala kebaikannya. Penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran demi perbaikan ke depan. Akhirnya, hanya kepada Allah SWT penulis menyerahkan segalanya, semoga tulisan ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan kita semua pada umumnya.

Nasrum minallaahi wa fathun qariib
Billahi Fii Sabilil Haq, Fastabiqul Khaerat
Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Parepare, 30 Juni 2025
Penulis,

FEBRIAN
NIM.221180008

ABSTRAK

FEBRIAN. 221180008. Studi Eksperimental Perbandingan Energi Keluaran Rangkaian Piezoelektrik Seri, Paralel, dan Kombinasi Dalam Merespon Eksitasi Getaran (Dibimbing Oleh Muhammad Basri Dan A. Irmayani Pawelloi).

Sensor piezoelektrik merupakan perangkat yang dapat menghasilkan energi listrik dari tekanan atau getaran mekanis, namun energi yang dihasilkan relatif kecil dan sangat bergantung pada kekuatan serta konsistensi tekanan yang diberikan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi rangkaian sensor piezoelektrik yang paling optimal dalam menghasilkan tegangan, arus, dan daya listrik sehingga dapat diketahui apakah sensor piezoelektrik bisa dijadikan sebagai sumber energi utama. Pengujian dilakukan terhadap satu sensor tunggal, konfigurasi seri, paralel, dan kombinasi seri-paralel (campuran) dengan jumlah sensor bervariasi. Pada konfigurasi seri dan paralel digunakan 2 hingga 9 buah sensor, sedangkan konfigurasi campuran terdiri dari 3 hingga 5 buah sensor yang diberi kode A, B, C, D, dan E. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, dan daya maksimum, minimum, serta rata-rata yang dihasilkan dari tiap konfigurasi. Pengujian dilakukan dengan memberi tekanan mekanis berupa pukulan pada setiap rangkaian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian satu sensor tunggal menghasilkan tegangan (0,089–0,74 V), arus (0,8–7 µA), dan daya (0,071 µW–5,8 µW); seri menghasilkan tegangan sebesar (0,25–19,59 V), arus (3,2–191,6 µA), dan daya (0,64 µW–3,75 mW); konfigurasi paralel menghasilkan tegangan (0,12–13,83 V), arus (3,5–188,6 µA), dan daya (0,42 µW–3,57 mW); sedangkan konfigurasi campuran menghasilkan tegangan (0,21–8,17 V), arus (2,1–80,4 µA), dan daya (6,08 µW–0,65 mW). Hasil percobaan menunjukkan bahwa konfigurasi rangkaian seri lebih efektif dalam menghasilkan energi listrik walaupun energi yang dihasilkan masih relatif kecil.

Kata Kunci : Energi Listrik; Arus; Tegangan; Tekanan; Sensor *Piezoelektrik;* Konfigurasi Rangkain, Pengukuran

ABSTRACT

FEBRIAN. 221180008. *Experimental Study on the Output Energy Comparison of Series, Parallel, and Combined Piezoelectric Circuits in Response to Vibration Excitation (Supervised by Muhammad Basri and A. Irmayani Pawelloi).*

Piezoelectric sensors are devices capable of generating electrical energy from mechanical pressure or vibration. However, the energy produced is relatively small and highly dependent on the strength and consistency of the applied pressure. This study aims to determine the most optimal piezoelectric sensor circuit configuration for generating voltage, current, and electrical power, in order to evaluate the potential of piezoelectric sensors as a primary energy source. Tests were conducted on a single sensor, as well as on series, parallel, and combined series-parallel (hybrid) configurations with varying numbers of sensors. The series and parallel configurations used 2 to 9 sensors, while the hybrid configurations involved 3 to 5 sensors labeled as circuits A, B, C, D, and E. The observed parameters included the maximum, minimum, and average values of voltage, current, and power generated by each configuration. Mechanical pressure in the form of repeated tapping was applied to each circuit during testing. The results showed that a single sensor produced voltage in the range of (0,089–0,74 V), current of (0,8–7 μA), and power of (0,071 μW–5,8 μW). The series configuration produced voltage of (0,25–19,59 V), current of (3,2–191,6 μA), and power of (0,64 μW–3,75 mW). The parallel configuration generated voltage of (0,12–13,83 V), current of (3,5–188,6 μA), and power of (0,42 μW–3,57 mW). Meanwhile, the hybrid configuration produced voltage of (0,21–8,17 V), current of (2,1–80,4 μA), and power of (6,08 μW–0,65 mW). The experimental results show that the series circuit configuration is more effective in producing electrical energy than the parallel configuration, although the energy produced is still relatively low.

Keywords*: Electrical Energy; Current; Voltage; Pressure; Piezoelectric Sensor; Circuit Configuration; Measurement.*

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti Dan Keterangan
+	Kutub positif
-	Kutub negatif
≤	Kurang atau sama dengan
º	Derajat
μƐ	Sensitivitas Regangan
Ω	Ohm (Hambatan)
μA	mikro Ampere
μW	mikro Watt
AC	Alternating Current
C	Celcius
DC	Direct Current
IOT	Internet of Things
I	Arus Listrik
Transien	Keadaan sesaat
Sustainability	Keberlanjutan
kΩ	Kilo Ohm

Ma	mili Ampere
Mm	mili meter
mW	miliWatt
MΩ	Mega Ohm
V	Volt
PCB	Printed Circuit Board
PZT	Lead Zirconate Titanate
P	Daya Listrik
Barium titanat	Senyawa keramik
Carbon Footp print	Jejak karbon
Deformasi	Perubahan bentuk
Eksitasi	Keadaan rangsangan
Elektrokimia	Ilmu reaksi listrik-kimia
Fluktuasi	Perubahan naik turun
Fluida	Zat Alir
Hybrid-Solar Cell Piezoelektrik	Gabungan sel surya-piezoelektrik
Impedansi	Hambatan listrik total
Zirkonat titanat	Keramik Piezoelektrik

Interpretasi	Penafsiran
Joule	Satuan Energi
Konduktivitas	Daya hantar listrik
Konfigurasi	Susunan
Konvensional	Umum digunakan
Konversi	Perubahan bentuk
Korosi	Perusakan logam
Kuarsa	Mineral Silika
Ltspice	Perangkat lunak simulasi
Node	Titik penghubung
Optimasi	Pencarian hasil terbaik
Over Current	Arus Lebih
Real-Word Aplication	Aplikasi pada sistem nyata
Sensitivitas	Kepekaan respon
Stabilitas	Keadaan baik
Stimulus	Rangsangan

DAFTAR ISI

LAPORAN AKHIR CAPSTONE DESIGN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN CAPSTONE DESIGN	iv
HALAMAN INSPIRASI	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DOC. EU-100 Identifikasi Masalah	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Karakteristik Solusi	3
1.4 Skenario Pengujian	5
1.5 Keuntungan Pengujian	6
1.6 Kendala dan Parameter Penting	8
DOC.EU-200 Spesifikasi Sistem/Produk	14
2.1 Fungsi Pengujian	14
2.2 Kinerja Pengujian	14

2.3 Karakteristik Pengujian 16

2.4 Rencana dan Jadwal 21

2.5 Rencana Anggaran Biaya 22

2.6 Rencana Pengujian 23

DOC. EU-300 Identifikasi Masalah 26

3.1 Perancangan Sistem Pengujian 26

DOC. EU-400 Implementasi 31

4.1 Hasil Perancangan Sistem Pengujian 31

4.2 Cara Pengujian Sistem 49

EU-500 Pengujian dan Analisis 51

5.1 Pengujian Spesifikasi Sistem/Produk 53

5.2 Pengujian Pemecahan Masalah 75

PENUTUP 77

6.1. Kesimpulan 77

6.2. Saran 78

DAFTAR PUSTAKA 80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor Piezoelektrik 21

Tabel 2.2 Rencana dan Jadwal 22

Tabel 2.3 Rencana Anggaran Biaya 23

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Rangkaian Tunggal 54

Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Rangkaian Seri 55

Tabel 5.3 Data Hasil Pengujian Rangkaian Paralel 58

Tabel 5.4 Data Hasil Pengujian Rangkaian Campuran 62

Tabel 5.5 Data Daya Rangkaian Tunggal 67

Tabel 5.6 Data Daya Rangkaian Seri 68

Tabel 5.7 Data Daya Rangkaian Paralel 70

Tabel 5.8 Data Daya Rangkaian Campuran 72

Tabel 5.9 Data Daya Listrik Yang Dihasilkan Piezoelektrik 74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Blok Pengujian 5

Gambar 2.1 Cara Kerja Piezoelektrik 16

Gambar 2.2 Sensor Piezoelektrik 19

Gambar 3.1 Desain Pengujian Piezoelektrik 25

Gambar 3.2 Rancangan Penelitian 28

Gambar 4.1 Desain Skematik Subsistem Rangkain Tunggal 30

Gambar 4.2 Desain Skematik Sistem Keseluruhan Rangkain Tunggal 31

Gambar 4.3 Desain PCB Board Sistem Rangkain Tunggal 31

Gambar 4.4 Desain Skematik Subsistem Rangkain Seri 32

Gambar 4.5 Desain Skematik Sistem Keseluruhan Rangkain Seri 33

Gambar 4.6 Desain PCB Board Sistem Rangkain Seri 33

Gambar 4.7 Desain Skematik Subsistem Rangkain Paralel 35

Gambar 4.8 Desain Skematik Sistem Keseluruhan Rangkain Paralel 35

Gambar 4.9 Desain PCB Board Sistem Rangkain Paralel 36

Gambar 4.10 Desain Skematik Subsistem Rangkain Campuran A 37

Gambar 4.11 Desain Skematik Sistem Keseluruhan Rangkain Campuran A 38

Gambar 4.12 Desain PCB Board Sistem Sensor Rangkain Campuran A 38

Gambar 4.13 Desain Skematik Subsistem Rangkain Campuran B 39

Gambar 4.14 Desain Skematik Sistem Keseluruhan RangkainCampuran B 40

Gambar 4.15 Desain PCB Board Sistem Rangkain Campuran B 40

Gambar 4.16 Desain Skematik Subsistem Rangkain Campuran C 42

Gambar 4.17 Desain Skematik Sistem Keseluruhan Rangkain Campuran C 43

Gambar 4.18 Desain PCB Board Sistem Rangkain Campuran C 43

Gambar 4.19 Desain Skematik Subsistem Rangkain Campuran D 45

Gambar 4.20 Desain Skematik Sistem Keseluruhan Rangkain Campuran D 45

Gambar 4.21 Desain PCB Board Sistem Rangkain Campuran D 46

Gambar 4.22 Desain Skematik Subsistem Rangkain Campuran E 47

Gambar 4.23 Desain Skematik Sistem Keseluruhan Rangkain Campuran E 48

Gambar 4.24 Desain PCB Board Sistem Rangkain Campuran E 48

Gambar 4.25 Alat dan bahan Rangkaian Sensor Piezoelektrik 49

Gambar 4.26 Prototipe Rangkaian Piezoelektrik 50

Gambar 4.27 Pengujian Rangkaian Piezoelektrik 51

Gambar 4.28 Rangkaian Percobaan Piezoelektrik 52