

TESIS

STUDI POTENSI ELEKTROLIT CAIR ALAMI DARI KULIT JERUK NIPIS, BELIMBING WULUH DAN CUKA PUTIH UNTUK BIO BATERAI ENERGI TERBARUKAN



**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Mata Kuliah
Tesis Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya**

OLEH :

**Suryadhi Firdaus
062450443402**

**PROGRAM MAGISTER TERAPAN
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

STUDI POTENSI ELEKTROLIT CAIR ALAMI DARI KULIT JERUK NIPIS, BELIMBING WULUH, DAN CUKA PUTIH UNTUK BIO BATERAI ENERGI TERBARUKAN

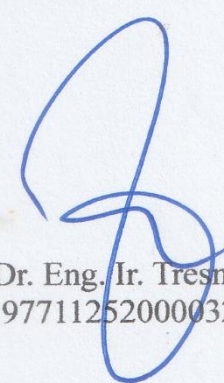
OLEH:
SURYADHI FIRDAUS
062450443402

Palembang, Juli 2026

Menyetujui,
Pembimbing I,

Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si.
NIP. 196711191993032003


Prof. Dr. Eng. Ir. Tresna Dewi, ST., M.Eng.
NIP. 197711252000032001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Program Magister Terapan



Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si.
NIP. 196711191993032003

HALAMAN PERSETUJUAN

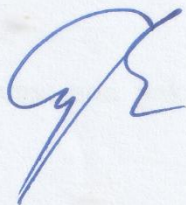
Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “Studi Potensi Elektrolit Cair Alami dari Kulit Jeruk Nipis, Belimbing Wuluh dan Cuka Putih untuk Bio Baterai Energi Terbarukan” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya pada tanggal 22 Juni 2026.

Palembang, 22 Juni 2026

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Tesis

Ketua:

Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si.
NIP. 196711191993032003

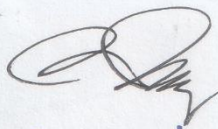
()

Anggota:

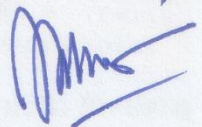
1. Prof. Dr. Yohandri Bow, ST., MS. IPM
NIP. 197110231994031002

()

2. Dr. RD. Kusumanto, ST., MM.
NIP. 196603111992031004

()

3. Dr. Indrayani, ST., MT.
NIP. 197402101997022001

()

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Program Magister Terapan



Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si.
NIP. 196711191993032003

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Suryadhi Firdaus**
NIM : **062450443402**
Judul : **Studi Potensi Elektrolit Cair Alami dari Kulit Jeruk Nipis,
Belimbing Wuluh dan Cuka Putih untuk Bio Baterai Energi
Terbarukan**

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Politeknik Negeri Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 20 Juli 2026



Suryadhi Firdaus
NIM. 062450443402

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Suryadhi Firdaus**
NIM : 062450443402
Judul : **Studi Potensi Elektrolit Cair Alami dari Kulit Jeruk Nipis,
Belimbing Wuluh dan Cuka Putih untuk Bio Baterai Energi
Terbarukan**

Memberikan izin kepada pembimbing dan Politeknik Negeri Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 20 Juli 2026



Suryadhi Firdaus
NIM. 062450443402

RINGKASAN
STUDI POTENSI ELEKTROLIT CAIR ALAMI DARI
KULIT JERUK NIPIS, BELIMBING WULUH
DAN CUKA PUTIH UNTUK BIO BATERAI
ENERGI TERBARUKAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi kinerja bio-baterai berbasis elektrolit alami yang berasal dari kulit jeruk nipis, belimbing wuluh, dan cuka putih dengan konfigurasi elektroda seng (Zn) dan tembaga (Cu). Bio-baterai dirancang sebagai alternatif sumber energi ramah lingkungan dengan memanfaatkan kandungan asam organik dalam bahan hayati yang berperan sebagai elektrolit untuk mendukung reaksi elektrokimia. Parameter utama yang dianalisis meliputi karakteristik kimiawi larutan elektrolit (pH dan konduktivitas listrik) serta karakteristik listrik bio-baterai berupa tegangan, arus, daya, dan durasi pemakaian, baik pada kondisi tanpa beban maupun berbeban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh larutan elektrolit bersifat asam dengan rentang pH sekitar 2,01–3,03, dan nilai konduktivitas listrik meningkat seiring menurunnya pH. Larutan elektrolit campuran dengan komposisi relatif seimbang antara kulit jeruk nipis, belimbing wuluh, dan cuka putih menghasilkan konduktivitas tertinggi dan kinerja listrik yang lebih baik dibandingkan larutan tunggal. Tegangan maksimum yang dihasilkan bio-baterai berada pada kisaran 0,72–0,80 V dengan arus rata-rata sekitar 1,3 mA, sehingga daya listrik yang dihasilkan berada pada rentang 0,00033 W hingga 0,00128 W. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara karakteristik kimia larutan elektrolit dan performa listrik bio-baterai. Uji stabilitas dan ketahanan menunjukkan bahwa bio-baterai mampu beroperasi secara relatif stabil dalam rentang waktu pengujian, meskipun terjadi penurunan tegangan dan arus secara bertahap akibat berkurangnya aktivitas reaksi elektrokimia dan degradasi elektroda. Meskipun daya yang dihasilkan masih tergolong rendah, hasil penelitian ini membuktikan bahwa bio-baterai berbasis elektrolit organik memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif berdaya rendah yang ramah lingkungan, dengan demikian, diperlukan pengembangan lebih lanjut melalui optimasi komposisi elektrolit, peningkatan kualitas material elektroda, serta konfigurasi sel untuk meningkatkan efisiensi dan umur pakai bio-baterai.

Kata kunci: bio-baterai, elektrolit alami, kulit jeruk nipis, belimbing wuluh, cuka putih, elektroda Zn–Cu, kinerja listrik.

SUMMARY

A STUDY ON THE POTENTIAL OF NATURAL LIQUID ELECTROLYTES DERIVED FROM LIME PEEL, BILIMBI FRUIT, AND WHITE VINEGAR FOR RENEWABLE ENERGY BIO BATTERIES

This study aims to develop and evaluate the performance of a bio battery based on natural liquid electrolytes derived from lime peel, bilimbi fruit, and white vinegar using zinc (Zn) and copper (Cu) electrodes. The bio battery was designed as an environmentally friendly alternative energy source by utilizing the organic acids contained in these natural materials as electrolytes to support electrochemical reactions. The main parameters analyzed included the chemical characteristics of the electrolyte solutions (pH and electrical conductivity) and the electrical performance of the bio battery, including voltage, current, power output, and operating duration under both no load and load conditions. The experimental results showed that all electrolyte solutions were acidic, with pH values ranging from approximately 2.01 to 3.03, while electrical conductivity increased as the pH decreased. Mixed electrolyte solutions with relatively balanced proportions of lime peel, bilimbi fruit, and white vinegar exhibited the highest electrical conductivity and superior electrical performance compared to single-component electrolytes. The maximum output voltage of the bio battery ranged from 0.72 to 0.80 V, with an average current of approximately 1.3 mA, resulting in electrical power outputs ranging from 0.00033 W to 0.00128 W. These findings indicate a strong relationship between the chemical properties of the electrolyte solutions and the electrical performance of the bio battery. Stability and durability tests demonstrated that the bio battery was able to operate relatively stably throughout the testing period, although voltage and current gradually decreased due to reduced electrochemical activity and electrode degradation. Although the generated power remains relatively low, the findings confirm that bio batteries based on organic electrolytes have considerable potential as environmentally friendly low-power alternative energy sources. Therefore, further research is recommended to optimize electrolyte composition, improve electrode material quality, and refine cell configuration to enhance the efficiency and service life of bio batteries.

Keywords: bio battery, natural electrolyte, lime peel, bilimbi fruit, white vinegar, Zn–Cu electrodes, electrical performance.

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO:

Ilmu pengetahuan yang bermanfaat adalah warisan terbaik dan penelitian adalah ikhtiar untuk menghadirkan solusi bagi kehidupan yang lebih baik.

Inovasi lahir dari keberanian mencoba, ketekunan meneliti dan kesabaran menghadapi setiap proses.

Berkarya dengan ilmu, berinovasi untuk lingkungan dan memberi manfaat bagi masyarakat.

PERSEMBAHAN:

Tesis ini penulis persembahkan kepada:

- **Kedua orang tua**
- **Keluarga**
- **Almamater Politeknik Negeri Sriwijaya**

RIWAYAT HIDUP



Suryadhi Firdaus, lahir di Purwakarta (Jawa Barat) pada tanggal 22 Maret 1983. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Firdaus dan Sumaryati. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis dimulai dari SD Negeri 604 Palembang pada Tahun 1990, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 26 Palembang pada Tahun 1995, SMK Negeri 4 Palembang Jurusan Teknik Elektronika Komunikasi pada Tahun 1998, hingga memperoleh gelar Sarjana pada bidang Teknik Elektro di Universitas Bina Darma Palembang pada Tahun 2007, untuk meningkatkan kompetensi akademik dan profesional, penulis melanjutkan pendidikan pada Program Magister Terapan Teknik Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Sriwijaya pada Tahun 2024. Memulai karir sebagai pengajar di SMK (Sekolah Menengah Kejuruan) pada Tahun 2020 di SMK Tamansiswa 2 Palembang sebagai Guru Produktif Teknik Elektronika (Audio Video), saat ini penulis mengabdikan diri sebagai Guru Produktif di SMK Negeri 4 Palembang, dengan bidang keahlian Teknik Elektronika (Audio Video).

KATA PENGANTAR

Puji Syukur dipanjatkan kepada Allah SWT atas Rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Studi Potensi Elektrolit Cair Alami dari Kulit Jeruk Nipis, Belimbing Wuluh, dan Cuka Putih untuk Bio Baterai Energi Terbarukan”.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan mata kuliah Seminar Kemajuan Tesis Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya, dalam penyusunan Tesis ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Irawan Rusnadi, MT., selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Eng. Tresna Dewi, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II.
4. Segenap Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya angkatan 2024.

Penulis berharap dengan adanya Tesis ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya pengembangan Bio Baterai dengan bahan dasar organik tumbuhan.

Palembang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Kerangka Pikir Penelitian	7
1.6 <i>Novelty</i> (Kebaruan) Penelitian	8
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 10
2.1 <i>State of the Art</i>	10
2.2 Energi Terbarukan dan Tantangan Energi Global	12
2.3 Konsep dan Prinsip Kerja Bio-Baterai	15
2.4 Elektrolit dalam Bio-Baterai	17
2.5 Potensi Kulit Jeruk Nipis sebagai Elektrolit	18
2.6 Kandungan Asam pada Belimbing Wuluh	20
2.7 Kandungan Cuka Putih sebagai Elektrolit	21
2.8 Bio-Baterai Ramah Lingkungan dari Elektrolit Alami Lokal	22
2.9 Standar SNI IEC 60086-1:2015	23
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 26
3.1 Metode Penelitian	26
3.2 Variabel Penelitian	26
3.3 Instrumen Penelitian	26
3.4 Teknik Pengumpulan Data	27
3.5 Teknik Analisis Data	27
3.6 Tempat dan Waktu	28
3.7 Bahan dan Alat	28
3.8 Rancangan Penelitian	29
3.9 Analisis Dampak Lingkungan dengan Pendekatan LCA (<i>Cradle-to-Gate</i>)	30
3.10 Analisis <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> Menggunakan SimaPro 7.1	32
3.11 Diagram Alir Penelitian	39

	Halaman
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Karakteristik Kimiawi Larutan Elektrolit Bio Baterai	41
4.1.1 Karakteristik Kimiawi Larutan Elektrolit Kulit Jeruk Nipis	65
4.1.2 Karakteristik Kimiawi Larutan Elektrolit Belimbing Wuluh	66
4.1.3 Karakteristik Kimiawi Larutan Elektrolit Cuka Putih	66
4.1.4 Karakteristik pH dan Konduktivitas	67
4.2 Hasil Pengukuran dan Evaluasi Kinerja Bio Baterai	68
4.2.1 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik	69
4.2.2 Hasil Analisis Daya dan Efisiensi	94
4.3 Analisis LCA	105
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	120
5.1 KESIMPULAN	120
5.2 SARAN-SARAN	121
DAFTAR PUSTAKA	122
LAMPIRAN	127

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Karakteristik Kimiawi Bio Baterai (Menit ke 5 Tanpa Beban)	42
Tabel 4.2 Karakteristik Kimiawi Bio Baterai (Menit ke 10 Tanpa Beban)	44
Tabel 4.3 Karakteristik Kimiawi Bio Baterai (Menit ke 15 Tanpa Beban)	45
Tabel 4.4 Karakteristik Kimiawi Bio Baterai (Menit ke 30 Tanpa Beban)	47
Tabel 4.5 Karakteristik Kimiawi Bio Baterai (Menit ke 5 dengan Beban)	53
Tabel 4.6 Karakteristik Kimiawi Bio Baterai (Menit ke 10 dengan Beban)	55
Tabel 4.7 Karakteristik Kimiawi Bio Baterai (Menit ke 15 dengan Beban)	57
Tabel 4.8 Karakteristik Kimiawi Bio Baterai (Menit ke 30 dengan Beban)	59
Tabel 4.9 Besaran Listrik Bio Baterai (Menit ke 5 Tanpa Beban)	69
Tabel 4.10 Besaran Listrik Bio Baterai (Menit ke 10 Tanpa Beban)	71
Tabel 4.11 Besaran Listrik Bio Baterai (Menit ke 15 Tanpa Beban)	73
Tabel 4.12 Besaran Listrik Bio Baterai (Menit ke 30 Tanpa Beban)	75
Tabel 4.13 Besaran Listrik Bio Baterai (Menit ke 5 Beban)	81
Tabel 4.14 Besaran Listrik Bio Baterai (Menit ke 10 Beban)	83
Tabel 4.15 Besaran Listrik Bio Baterai (Menit ke 15 Beban)	86
Tabel 4.16 Besaran Listrik Bio Baterai (Menit ke 30 Beban)	88
Tabel 4.17 Daya dan efisiensi Bio Baterai (Menit ke 5)	95
Tabel 4.18 Daya dan efisiensi Bio Baterai (Menit ke 10)	96
Tabel 4.19 Daya dan efisiensi Bio Baterai (Menit ke 15)	100
Tabel 4.20 Daya dan efisiensi Bio Baterai (Menit ke 30)	101
Tabel 4.21 Pengumpulan Bahan Baku Bio Baterai	108
Tabel 4.22 Pencucian kulit jeruk nipis dan belimbing wuluh	109
Tabel 4.23 Ekstraksi Bahan	110
Tabel 4.24 Perakitan Bio Baterai	110

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Kerangka Pikir Penelitian	7
Gambar 2.1 Limbah Kulit Jeruk Manis	10
Gambar 2.2 Cuka Dapur atau Cuka Putih	11
Gambar 2.3 Belimbing Wuluh	12
Gambar 2.4 Bio Baterai menggunakan elektrolit dari limbah buah-buahan	13
Gambar 2.5 Tegangan listrik dari Bio Baterai berbahan dasar buah-buahan	14
Gambar 2.6 Bio Baterai dengan cairan elektrolit dan kutub baterainya	15
Gambar 2.7 Reaksi kimia pada Bio Baterai dengan elektrolit dari jeruk nipis	19
Gambar 2.8 Garam NaCl dalam bentuk serbuk	21
Gambar 3.1 Tampilan Awal Simapro 7.1	34
Gambar 3.2 Label pada lembar kerja baru di Simapro 7.1	35
Gambar 3.3 Tahapan produksi sebagai <i>Process LCA</i> pada Simapro 7.1	35
Gambar 3.4 Data input dan output pada masing-masing proses LCA di Simapro 7.1	36
Gambar 3.5 Sistem produksi <i>Cradle-to-Gate LCA</i> pada Simapro 7.1	36
Gambar 3.6 Tahap <i>LCA</i> dengan Metode IMPACT 2002+ pada Simapro 7.1	37
Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1 Bentuk bio-baterai dengan larutan elektrolit dari kulit jeruk nipis, belimbing wuluh dan cuka putih	41
Gambar 4.2 Perbandingan nilai pH Bio Baterai tanpa beban	50
Gambar 4.3 Perbandingan nilai Konduktivitas Bio Baterai tanpa beban	51
Gambar 4.4. (a) Pengukuran pH Larutan Elektrolit (b) Pengukuran Konduktivitas Larutan Elektrolit	61
Gambar 4.5 Perbandingan nilai pH Bio Baterai dengan beban	62
Gambar 4.6 Perbandingan nilai Konduktivitas Bio Baterai dengan beban	63
Gambar 4.7 Perbandingan Tegangan Listrik Bio Baterai Tanpa Beban	77
Gambar 4.8 Perbandingan Kuat Arus Listrik Bio Baterai Tanpa Beban	78
Gambar 4.9 Perbandingan Daya Listrik Bio Baterai Tanpa Beban	80
Gambar 4.10 Perbandingan Tegangan Listrik Bio Baterai dengan Beban	90
Gambar 4.11 Perbandingan Kuat Arus Listrik Bio Baterai dengan Beban	91
Gambar 4.12 Perbandingan Daya Listrik Bio Baterai dengan Beban	92
Gambar 4.13 Pengukuran tegangan listrik Bio Baterai dengan Voltmeter	94
Gambar 4.14 Perbandingan Efisiensi Bio Baterai	104
Gambar 4.15 Tahapan <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> Bio Baterai	107
Gambar 4.16 <i>Network diagram LCA</i> Bio Baterai	112
Gambar 4.17 Analisis Kontribusi Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Bio Baterai Metode IMPACT 2002+	114
Gambar 4.18 Distribusi Dampak Lingkungan Setiap Tahapan Produksi Bio Baterai	116
Gambar 4.19 Hasil <i>Damage Assessment</i> Bio Baterai dengan Metode <i>IMPACT</i> <i>2002+</i>	118

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Dokumentasi Penelitian	127