

Optimasi Rasio Campuran Jeruk Nipis, Belimbing Wuluh, dan Tanah Liat untuk Meningkatkan Kinerja Baterai Organik Galvani

Paulus Pius Pora Dosi¹⁾, Moh Fikri Pomalingo²⁾, Lenie Ratag³⁾.

^{1,2,3} Prodi Teknik Mesin, Universitas Negeri Manado

E-mail: ¹⁾pauluspiusporadosy@gmail.com, ²⁾fikripomalingo@unima.ac.id

³⁾lenieratag23@gmail.com

Abstrak

Bahan organik seperti jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*), belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*), dan tanah liat memiliki kandungan asam serta ion alami yang berpotensi digunakan sebagai elektrolit pada sistem sel galvanik. Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa buah-buahan dapat menghasilkan tegangan listrik, namun stabilitas, durabilitas, dan komposisi optimal elektrolit organik belum banyak dikaji secara mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi campuran jeruk nipis–belimbing wuluh–tanah liat sebagai elektrolit ramah lingkungan untuk bio-battery berdaya rendah. Sebanyak 27 sampel jeruk nipis pada tiga tingkat kematangan diuji tingkat keasamannya menggunakan pH meter. Empat variasi komposisi elektrolit—1:1, 1:2 (jeruk nipis lebih sedikit), 2:1 (belimbing wuluh lebih sedikit), dan 1:2 dengan dominasi tanah liat—diuji selama 15 hari menggunakan elektroda tembaga (katoda) dan seng (anoda). Tegangan, arus, dan energi listrik diukur setiap 24 jam menggunakan multimeter digital. Komposisi terbaik diterapkan pada prototipe aki organik dan diuji pada lampu LED dengan pengukuran intensitas cahaya menggunakan lux meter. Jeruk nipis setengah matang memiliki keasaman terendah (pH 1,54) dan dipilih sebagai elektrolit utama. Komposisi 1:2 dengan jeruk nipis lebih sedikit menghasilkan kinerja terbaik selama sembilan hari pertama dengan tegangan maksimum 0,75 V, arus 24,14 mA, dan energi 1,089384 J pada hari pertama. Penurunan performa signifikan terjadi setelah hari ke-10 akibat degradasi bahan organik dan pengeringan media. Prototipe mampu menyalakan lampu LED dengan intensitas awal 212 lux, namun berhenti bekerja pada hari ke-12. Campuran jeruk nipis, belimbing wuluh, dan tanah liat memiliki potensi sebagai elektrolit organik ramah lingkungan untuk aplikasi berdaya rendah. Meskipun demikian, masa operasi efektif hanya sekitar 10 hari sehingga diperlukan upaya peningkatan stabilitas elektrolit dan pengendalian kelembapan untuk pemanfaatan jangka panjang.

Kata kunci: aki organik, jeruk nipis, belimbing wuluh, elektrolit alami, energi alternatif

Abstract

*Organic materials such as lime (*Citrus aurantifolia*), bilimbi (*Averrhoa bilimbi*), and clay contain natural acidic and ionic components suitable for galvanic-cell-based energy generation. Previous studies have shown that fruit-based electrolytes can produce measurable voltage, yet their stability, durability, and optimal composition remain limited. This research investigates the potential of these organic materials as eco-friendly electrolytes for low-power bio-battery applications. A total of 27 lime samples at three ripening stages were analyzed to determine acidity levels using a pH meter. Four electrolyte composition ratios—1:1, 1:2 (less lime), 2:1 (less bilimbi), and 1:2 with dominant clay—were tested for 15 days. Copper and zinc were used as cathode and anode, respectively. Voltage, current, and electrical energy were measured every 24 hours using a digital multimeter. The best-performing composition was applied to*

a prototype bio-battery and tested using an LED lamp, with illumination intensity measured by a lux meter. Half-ripe lime showed the lowest acidity (pH 1.54), making it the most suitable electrolyte base. The 1:2 mixture with less lime produced the highest and most stable electrical output in the first nine days, reaching 0.75 V, 24.14 mA, and 1.089384 J on day one. Performance declined significantly after day 10 due to electrolyte degradation and drying. Prototype testing showed an initial LED brightness of 212 lux, which gradually decreased until the electrolyte ceased functioning on day 12. The combination of lime, bilimbi, and clay demonstrates strong potential as an environmentally friendly organic electrolyte for low-power applications. However, its effective operational lifespan is limited to approximately 10 days, indicating the need for improved electrolyte stability and moisture retention for long-term use.

Keywords: *organic battery, bio-battery, citrus electrolyte, bilimbi extract, alternative energy*

1. PENDAHULUAN

Buah dan sayuran diketahui memiliki kandungan elektrolit alami yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif sederhana. Proses fermentasi pada bahan organik tersebut dilaporkan mampu meningkatkan kekuatan elektrolit karena terjadi peningkatan ion terlarut yang mempercepat respons elektroda dan menghasilkan tekanan elektrokimia lebih tinggi. Kemampuan ini menjadikan larutan buah, baik dalam kondisi segar maupun membusuk, sebagai kandidat potensial pengganti sel elektrokimia konvensional [1].

Jeruk nipis (*Citrus aurantifolia* sp.) merupakan tanaman herbal yang umum digunakan sebagai bahan kuliner maupun obat tradisional [2][3]. Tanaman yang berasal dari iklim tropis Asia ini memiliki karakteristik tinggi 150–350 cm, kulit buah tipis, serta bunga berwarna putih. Kandungan mineral dan garam pada buah mencapai sekitar 10%, dan tanaman tumbuh optimal pada tanah dengan kemiringan 30°[4][5]. Kandungan asam sitrat yang tinggi membuat jeruk nipis berpotensi menghasilkan elektrolit kuat ketika digunakan pada sel galvanik[6][7][8].

Selain jeruk nipis, belimbing wuluh juga memiliki karakter elektrokimia menarik. Buah ini kaya senyawa antimikroba seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan saponin [9], di mana flavonoid dan saponin diketahui mampu merusak membran bakteri dan mempercepat proses dekomposisi organik. Belimbing wuluh tumbuh optimal pada kondisi sinar matahari langsung dan kelembapan tinggi. Meskipun rasanya sangat asam, buah ini sering dimanfaatkan sebagai bumbu makanan atau bahan jamu tradisional dengan kandungan tannin, saponin, glukosa sulfur, asam format peroksida, flavonoid, dan triterpenoid. Keberadaan asam format di dalam

buah berperan sebagai elektrolit alami yang dapat menghantarkan ion dari anoda seng (Zn) menuju katoda tembaga (Cu) pada sel galvanik, sehingga menghasilkan arus listrik[10].

Dalam sistem ini, tembaga (Cu) yang memiliki nomor atom 29 dan massa atom 63,546 berfungsi sebagai elektroda konduktor stabil, sedangkan seng (Zn) yang memiliki nomor atom 30 dan massa atom 65,39 berperan sebagai anoda yang mudah teroksidasi. Konversi energi listrik pada sel galvanik pada dasarnya merupakan proses perpindahan muatan listrik dari potensial lebih rendah menuju potensial lebih tinggi [11]. Ketika rangkaian menerima beda potensial V , maka akan mengalir muatan listrik Q dengan arus I .

Energi listrik yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan dasar [12]:

$$W = Q \times V \quad (1)$$

dengan:

$$Q = I \times t \quad (2)$$

Sehingga energi listrik total menjadi:

$$W = V \times I \times t \quad (3)$$

di mana:

W = Energi listrik (Joule)

Q = Muatan listrik (Coulomb)

V = Beda potensial (Volt)

I = Kuat arus (Ampere)

t = Waktu (sekon)

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa buah-buahan berasam tinggi mampu menghasilkan energi listrik melalui reaksi redoks antara elektroda tembaga dan seng. Namun, penelitian mengenai kombinasi elektrolit organik dari jeruk nipis, belimbing wuluh, serta modifikasi media seperti tanah liat sebagai penguat elektrolit masih sangat terbatas. Selain itu, belum banyak penelitian yang menganalisis perubahan energi listrik dalam jangka waktu 15 hari pengujian menggunakan variasi rasio bahan elektrolit.

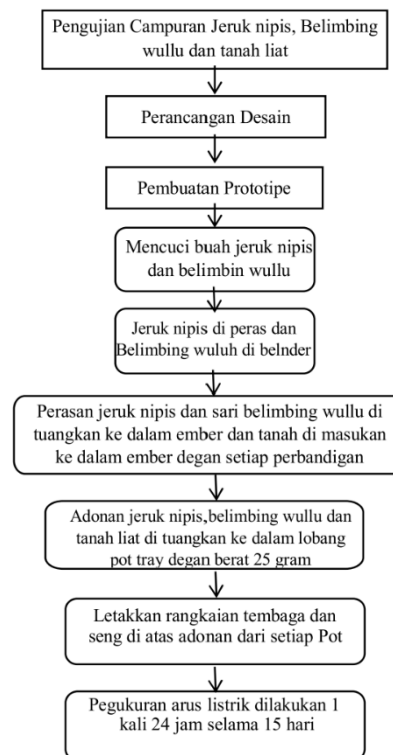
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk:

- a. Menguji potensi jeruk nipis dan belimbing wuluh sebagai elektrolit organik pada sel galvanik.
- b. Menganalisis pengaruh variasi rasio campuran elektrolit terhadap tegangan, arus, serta energi listrik.
- c. Menganalisis kinerja sel elektrolit organik selama 15 hari dan melihat pola penurunan performa elektrokimia.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan energi ramah lingkungan berbasis elektrolit organik, serta membuka peluang perancangan “aki organik” yang dapat digunakan pada perangkat berdaya rendah di masa depan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian eksperimental mengenai perancangan Aki Organik dilaksanakan selama tiga bulan di Workshop Universitas Negeri Manado. Bahan utama berupa jeruk nipis, belimbing wuluh, dan tanah liat diperoleh dari daerah Manado Utara karena ketersediaannya yang melimpah serta kandungan elektrolitnya yang dianggap potensial. Selain pengujian laboratorium, penelitian ini juga mencakup uji lapangan di wilayah yang mengalami keterbatasan pasokan listrik. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahap Penelitian

a. Tahapan Penelitian

1) Pengukuran tingkat keasaman jeruk nipis

Sebanyak 27 buah jeruk nipis (9 buah muda, 9 buah setengah matang, dan 9 buah matang) diuji tingkat keasamannya menggunakan pH meter. Masing-masing sampel diperas, kemudian pH sari perasan diukur tiga kali untuk memastikan konsistensi data. Nilai rata-rata digunakan untuk menentukan kelompok buah dengan tingkat keasaman tertinggi yang selanjutnya dipilih sebagai elektrolit utama.

2) Pengujian campuran jeruk nipis, belimbing wuluh, dan tanah liat

Buah jeruk nipis yang terpilih dari tahap sebelumnya dan belimbing wuluh matang dicuci hingga bersih. Jeruk nipis dipotong lalu diperas, sementara belimbing wuluh diblender hingga menjadi pasta. Tanah liat merah digunakan sebagai bahan tambahan elektrolit karena sifatnya yang dapat mempertahankan kelembapan dan membantu kestabilan ion.

Elektroda yang digunakan adalah tembaga sebagai katoda dan seng sebagai anoda. Setiap bahan dicampur berdasarkan variasi rasio yang ditetapkan, lalu ditempatkan dalam *pot tray* sebagai wadah sel galvanik. Pengukuran dilakukan

setiap 24 jam selama 15 hari untuk masing-masing variasi.

Variasi perbandingan yang diteliti terdiri dari empat komposisi:

- a) Rasio 1 : 1
- b) Rasio 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit)
- c) Rasio 2 : 1 (belimbing wuluh lebih sedikit)
- d) Rasio 1 : 2 dengan tanah liat lebih dominan

Variasi terbaik kemudian digunakan untuk membuat prototipe aki organik dalam skala lebih besar. Kinerja prototipe diukur menggunakan lux meter untuk mengetahui intensitas cahaya lampu LED yang dinyalakan oleh aki organik tersebut. Komposisi percobaan dijelaskan pada Tabel 1.

b. Alat dan Bahan Penelitian

Tabel 1. Alat dan Bahan Pengujian

No	Alat/Bahan	Jumlah	No	Alat/Bahan	Jumlah
1	Jeruk nipis	5 kg	11	Blender	1 unit
2	Belimbing wuluh	5 kg	12	Timbangan elektronik	1 unit
3	Tanah liat	5 kg	13	Pisau cutting	1 buah
4	Tembaga	20 buah	14	Ember	3 buah
5	Seng	20 buah	15	Gelas plastik	5 buah
6	Kabel	20 buah	16	Lux meter	1 unit
7	Pot tray	1 buah	17	Bor listrik	1 unit
8	Jangka sorong	1 buah	18	Mesin las	1 unit
9	pH meter	1 unit	19	Gerinda	1 unit
10	Multimeter digital	1 unit			

c. Perlengkapan dan Perancangan

Peralatan penelitian dikelompokkan menjadi dua kategori:

1) Peralatan Desain

Meliputi kertas gambar, pensil, komputer, dan perangkat lunak desain yang digunakan untuk merancang bentuk fisik dan susunan sel aki organik.

2) Peralatan Fabrikasi

Meliputi bor listrik, gergaji besi, gunting seng, mesin las, gerinda, voltmeter,

tang, solder, obeng, mistar, blender, serta alat-alat lainnya yang digunakan dalam pembuatan prototipe. Bahan yang digunakan mencakup jeruk nipis, belimbing wuluh, tanah liat, loyang tanaman, timah solder, kertas, pelat tembaga, kabel, seng, cat pelindung, kawat tembaga, lakban, lampu LED, kabel jumper, saklar, besi, tripleks, kayu, mur, baut, sekrup, dan air.

d. Kriteria Perancangan

Dalam penelitian ini, beberapa kriteria perancangan ditetapkan agar proses pembuatan dan evaluasi aki organik berjalan sistematis dan konsisten, yaitu:

- 1) Target tegangan total sebesar 30 volt dari rangkaian sel yang direncanakan mencapai sekitar 300 pot sel galvanik.
- 2) Uji unjuk kerja menggunakan lampu LED, sehingga dapat diamati intensitas cahaya yang dihasilkan.
- 3) Pengukuran kinerja aki organik meliputi tegangan, arus, dan energi listrik yang dihitung berdasarkan hubungan $W = V \times I \times t$.
- 4) Desain harus bersifat portabel, sehingga mudah dipindahkan dan dapat digunakan di berbagai kondisi lapangan.
- 5) Aki organik diharapkan dapat digunakan untuk penerangan rumah atau lampu jalan pada daerah terpencil yang kekurangan pasokan listrik.

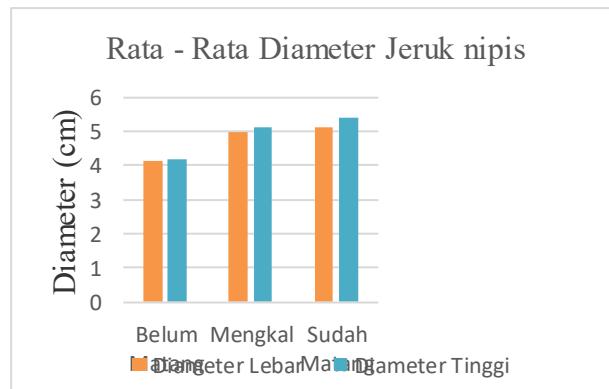
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Tingkat Keasaman (pH) Jeruk Nipis

Pengukuran tingkat keasaman jeruk nipis dilakukan pada 27 buah yang dibagi menjadi tiga kelompok: 9 buah belum matang, 9 buah dalam proses pematangan, dan 9 buah matang. Setiap sampel diukur menggunakan pH meter, dan hasil rata-rata ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

1) Diameter buah jeruk nipis

Hasil pengukuran diameter ditunjukkan pada Gambar 2.

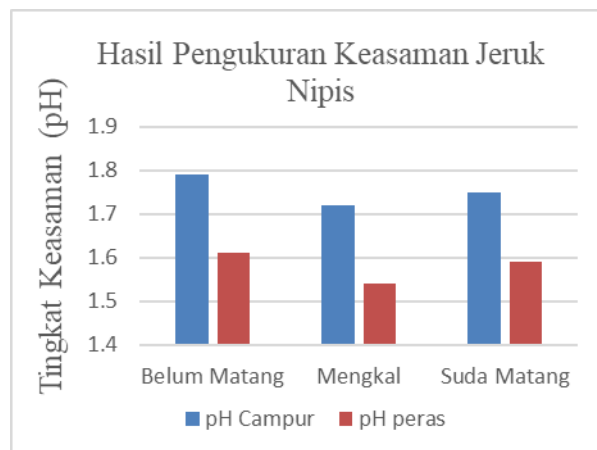


Gambar 2. Hasil Rata -Rata Diameter Jeruk Nipis

Buah belum matang memiliki diameter rata-rata $4,15 \times 4,19$ cm, buah setengah matang $4,99 \times 5,11$ cm, dan buah matang $5,11 \times 5,40$ cm. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran fisik buah meningkat seiring proses pematangan. Diameter bukan parameter elektrokimia langsung, namun dapat memengaruhi volume air perasan, jumlah ion H^+ , dan kestabilan elektrolit. Buah matang memiliki diameter terbesar, namun bukan selalu yang paling asam.

2) Tingkat keasaman (pH)

Rata-rata pH perasan jeruk nipis dan campuran kulit-perasan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Rata-Rata Pengukuran pH perasan dan campur kulit jeruk nipis

Hasilnya sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengukuran pH

Tingkat Kematangan	pH Perasan	pH Campuran Kulit + Perasan
Belum matang	1,61	1,79
Setengah matang	1,54	1,72
Matang	1,59	1,74

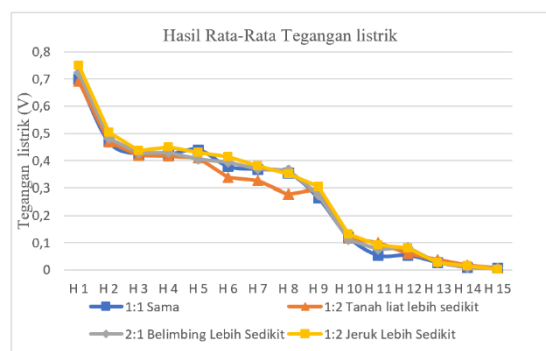
Buah setengah matang menghasilkan pH terendah (pH 1,54). pH rendah \approx konsentrasi ion H^+ lebih tinggi \rightarrow lebih baik sebagai elektrolit sel galvanik. Karena itu jeruk nipis setengah matang dipilih untuk pengujian berikutnya.

b. Hasil Pengukuran Tegangan, Arus, dan Energi Listrik

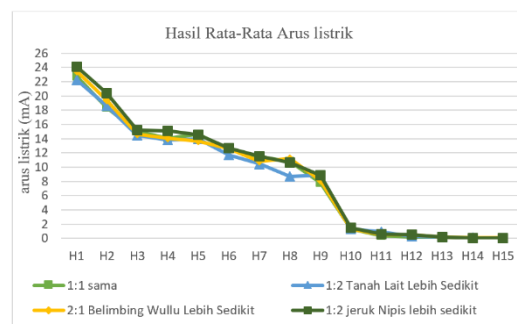
Pengukuran dilakukan setiap 24 jam selama 15 hari menggunakan multimeter analog. Empat variasi perbandingan elektrolit diuji:

- 1 : 1
- 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit)
- 2 : 1 (belimbing wuluh lebih sedikit)
- 1 : 2 (tanah liat lebih dominan)

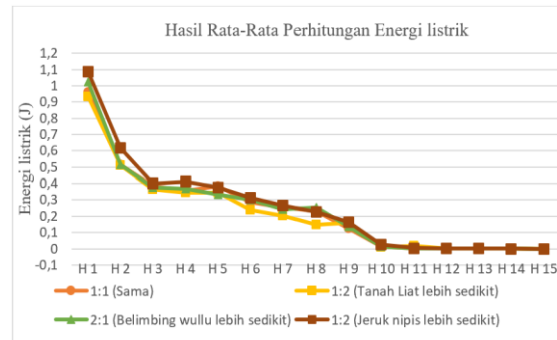
Hasil grafik tegangan, arus, dan energi listrik ditunjukkan pada Gambar 4, 5, dan 6.



Gambar 4. Hasil Pengukuran Tegangan listrik.



Gambar 5. Hasil Pengukuran Arus Listrik



Gambar 6. Hasil Pengukuran Energi Listrik

1) Analisis Tegangan Listrik

Hasil pada Gambar 4 menunjukkan pola umum sebagai berikut:

- Perbandingan 1 : 1 menghasilkan tegangan dominan pada hari ke-5 dan ke-15.
- Perbandingan 1 : 2 (tanah liat lebih banyak) unggul pada hari ke-11, 13, dan 14.
- Perbandingan 2 : 1 (belimbing lebih sedikit) dominan pada hari ke-8 dan 12.
- Perbandingan 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit) menunjukkan tegangan tertinggi pada hari ke-1 hingga ke-9.

Namun mulai hari ke-10, seluruh variasi menunjukkan penurunan signifikan akibat degradasi material organik, fermentasi berlebih, dan menurunnya ion H^+ aktif [13]. Perbandingan 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit) memberikan tegangan paling stabil pada periode awal.

2) Analisis Arus Listrik

Pada Gambar 5 terlihat pola yang mirip dengan tegangan yaitu:

- Pada hari ke-1 sampai ke-9, perbandingan 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit) mendominasi arus.
- Perbandingan 2 : 1 mendominasi arus pada hari ke-8 dan hari ke-15.
- Perbandingan 1 : 1 memberikan puncak arus pada hari ke-14.
- Perbandingan 1 : 2 (tanah liat lebih banyak) dominan pada hari ke-11.

Arus yang tinggi umumnya berhubungan dengan jumlah ion bergerak dalam larutan. Campuran jeruk nipis yang tidak terlalu dominan justru memberikan komposisi elektrolit yang lebih seimbang sehingga ion bergerak lebih stabil [13][14].

3) Energi Listrik (W)

Energi listrik dihitung menggunakan persamaan:

$$W = V \times I \times t$$

Hasil rata-rata energi listrik (Gambar 6) menunjukkan:

- Perbandingan 1 : 1 dominan pada hari ke-5 dan ke-14.
- Perbandingan 1 : 2 (tanah liat lebih banyak) dominan pada hari ke-11 dan ke-13.
- Perbandingan 2 : 1 dominan pada hari ke-8 dan ke-15.
- Perbandingan 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit) dominan pada hari 1–4, 6–7, 9–12.

Secara keseluruhan, variasi 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit) memberikan performa total terbaik karena menghasilkan energi paling tinggi selama sebagian besar masa pengujian.

Pada hari pertama, variasi ini menghasilkan:

- Tegangan: 0,75 V
- Arus: 24,14 mA
- Energi: 1,089384 J

Namun terjadi penurunan drastis pada hari ke-10 sampai 15 karena material organik mulai membusuk, ion tidak stabil, dan kelembapan campuran berkurang. Karena itu campuran elektrolit perlu diganti setiap 10 hari.

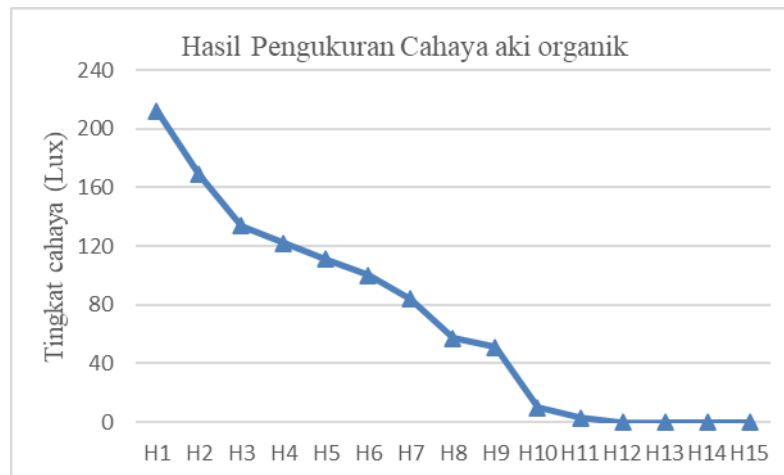
c. Hasil Uji Prototipe Aki Organik

Uji prototipe dilakukan pada variasi terbaik, yaitu 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit). Lampu LED dinyalakan menggunakan aki organik, kemudian kecerahan cahaya diukur menggunakan lux meter pada jarak 50 mm (Gambar 7).



Gambar 7. Pengukuran Cahaya Aki Organik

Hasil pengukuran intensitas cahaya ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hasil Pegukuran Cahaya listrik

Analisis Hasil

- Intensitas cahaya tertinggi terjadi pada hari ke-1, sebesar 212 lux.
- Mulai hari ke-10 hingga hari ke-11, intensitas menurun drastis.
- Pada hari ke-12 hingga 15, lampu tidak menyala, karena adonan organik mengering dan reaksi redoks berhenti.

Masalah utama adalah:

- Degradasi bahan organik (fermentasi → busuk → ion tidak aktif)
- Pengeringan tanah liat sehingga tidak lagi menghantarkan ion
- Penumpukan residu pada elektroda Cu dan Zn yang menurunkan konduktivitas

Karena itu disimpulkan bahwa:

- Aki organik harus diganti adonannya setiap 10 hari
- Elektroda harus dibersihkan dari kerak secara rutin
- Kelembapan tanah liat harus dijaga agar tidak mengering

d. Ringkasan Temuan Penting

- 1) Jeruk nipis setengah matang memberikan pH terbaik.
- 2) Variasi 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit) memberikan performa tertinggi untuk tegangan, arus, dan energi listrik.
- 3) Energi puncak terjadi pada hari pertama, kemudian turun stabil setelah hari ke-10.
- 4) Prototipe mampu menyalakan lampu LED namun hanya maksimal 10 hari.
- 5) Aki organik dapat digunakan kembali dengan mengganti adonan dan

membersihkan elektroda.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa.

- 1) Jeruk nipis setengah matang memiliki tingkat keasaman terbaik (pH 1,54) dan paling sesuai digunakan sebagai elektrolit organik. Kombinasi jeruk nipis, belimbing wuluh, dan tanah liat dapat menghasilkan reaksi redoks yang mampu memproduksi energi listrik.
- 2) Dari empat variasi perbandingan, komposisi 1 : 2 (jeruk nipis lebih sedikit) menghasilkan tegangan, arus, dan energi listrik paling stabil selama sembilan hari pertama, dengan performa awal mencapai 0,75 V, 24,14 mA, dan 1,089384 J.
- 3) Penurunan signifikan pada hari ke-10 hingga hari ke-15 disebabkan oleh degradasi bahan organik dan pengeringan campuran, sehingga efektivitas aki organik maksimum sekitar 10 hari sebelum perlu diganti.
- 4) Prototipe aki organik mampu menyalakan lampu LED dengan intensitas awal 212 lux, sehingga menunjukkan potensi sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan untuk aplikasi berdaya rendah.

b. Saran

- 1) Peningkatan Durabilitas Elektrolit.
- 2) Optimasi Komposisi dan Struktur Sel.
- 3) Perlindungan dan Perawatan Elektroda.
- 4) Pengembangan Wadah dan Sistem Kontrol Kelembapan.
- 5) Uji beban dan aplikasi lebih luas.
- 6) Skalabilitas dan Implementasi Lapangan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen Prodi Teknik Mesin Universitas Negeri Manado, khususnya kepada dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dalam penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. J. Andini and Heriansyah, “PENGARUH WAKTU FERMENTASI TERHADAP KELISTRIKAN BIO-BATERAI PADA LARUTAN BUAH MENGGUDU (*Morinda citrifolia* L.),” *Lab. J. J. Lab. Sains Terap.*, vol. 1, no. 1, 2024.
- [2] P. W. Parama, I. D. M. Sukrama, and S. A. Handoko, “Uji efektifitas antibakteri ekstrak buah jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) terhadap pertumbuhan *Streptococcus mutans* in vitro,” vol. 3, no. 1, pp. 45–52, 2019.
- [3] S. W. Suciwati *et al.*, “Analisis Jeruk dan Kulit Jeruk sebagai Larutan Elektrolit terhadap Kelistrikan Sel Volta,” *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 4, no. 2, pp. 36–50, 2019.
- [4] N. Suhaeni, *Petunjuk Praktis Menanam Jeruk*. Bandung: Nuansa Cendekia, 2016.
- [5] M. F. Pomalingo *et al.*, “Karakteristik Fisik Dan Listrik Belimbing Wuluh Untuk Pembuatan Aki Organik,” *Steam Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 70–76, 2022, doi: 10.37304/jptm.v4i1.5630.
- [6] K. R. Muske, C. W. Nigh, and R. D. Weinstein, “A Lemon Cell Battery for High-Power Applications,” *J. Chem. Educ.*, vol. 84, no. 4, p. 635, Apr. 2007, doi: 10.1021/ed084p635.
- [7] M. Obaid, “Comparative bioelectricity generation from waste citrus fruit using a galvanic cell , fuel cell and microbial fuel cell,” vol. 26, no. 3, pp. 90–99, 2015.
- [8] I. W. Suriana, I. Ayu, D. Giriantari, W. Gede, and I. N. Setiawan, “Citrus Peel Waste as an Electrolyte Solution for Energy Storage in Bio-Batteries,” vol. 7, no. 2, 2025.
- [9] A. Rahmiati, S. Darmawati, and A. H. Mukaromah, “Daya Hambat Ekstrak Etanol Buah Belimbing Wuluh(*Averrhoa bilimbi* L) Terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dan *Staphylococcus epidermidis* Secara In Vitro,” *Pros. Semin. Nas. Publ. Hasil-Hasil Penelit. dan Pengabd. Masy.*, no. 30 September 2017, pp. 669–674, 2017, [Online]. Available: <http://repository.unimus.ac.id/1203/>

-
- [10] S. Suryaningsih, “BELIMBING WULUH (Averrhoa Bilimbi) SEBAGAI SUMBER ENERGI DALAM SEL GALVANI,” *J. Penelit. Fis. dan Apl.*, vol. 6, no. 1, p. 11, 2016, doi: 10.26740/jpfa.v6n1.p11-17.
- [11] N. R. Pujiarini and S. Sudarti, “Potensi Energi Listrik Dan Tingkat Keasaman Pada Buah Jeruk Nipis Dan Belimbing Wuluh,” *JFT J. Fis. dan Ter.*, vol. 8, no. 1, p. 44, 2021, doi: 10.24252/jft.v8i1.21171.
- [12] Y. Hakimah, “Analisis kebutuhan listrik dan penambahan pembangkit listrik,” *J. DESIMINASI Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 1689–1699, 2019.
- [13] D. S, J. George, N. Gomez, S. Sreedharan, and U. N, “A Comparative Study of Fruit Battery Voltages with Different Types of Fruits using Different Electrode Combinations,” *Int. J. Adv. Res. Sci. Commun. Technol.*, pp. 258–263, Apr. 2021, doi: 10.48175/IJARSCT-1014.
- [14] G. Rumbino, L. Maniambo, M. Soll, and G. Dirgantari, “PERFORMANCE ENHANCEMENT OF BIOBATTERY FROM TROPICAL ALMOND PASTE USING ACETIC,” vol. 13, no. 1, pp. 99–105, 2023.