Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2776-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
6 (2) 2026, Page: 47187-47199

Pengaruh Sari Jeruk Kasturi (*Citrus microcarpa*) dan Konsentrasi KCl terhadap Kinerja Bio-Baterai sebagai Alternatif Energi Ramah Lingkungan

Tarissa Agustina[1], Anerasari Meidinariasty[2], Adi Syakdani[3]
[1],[2],[3] Program Studi D-IV Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia
Surel korespondensi: anerasari@polsri.ac.id

Published: 2026

ABSTRAK

Bio-baterai berbasis bahan alami dapat memanfaatkan larutan kaya asam organik sebagai media elektrolit untuk menghasilkan energi listrik melalui reaksi elektrokimia. Penelitian ini menganalisis pengaruh volume sari jeruk kasturi (*Citrus microcarpa*) dan konsentrasi kalium klorida (KCl) terhadap karakteristik elektrolit serta kinerja bio-baterai. Eksperimen laboratorium menggunakan variasi volume sari jeruk kasturi 250, 300, 350, dan 400 mL serta larutan KCl 50 mL pada konsentrasi 0; 0,5; 1; 1,5; dan 2 M. Sistem menggunakan enam sel biochamber yang dirangkai seri dengan seng (Zn) sebagai anoda dan tembaga (Cu) sebagai katoda. Parameter yang diamati meliputi pH, tegangan, arus, daya, konduktivitas, kapasitas estimasi, efisiensi daya relatif, dan durasi nyala LED. Sari jeruk kasturi murni memiliki pH 2, tegangan 4,14–4,28 V, arus 11,67–12,14 mA, dan konduktivitas 4,77–5,05 mS/cm. Penambahan KCl meningkatkan konduktivitas dan arus, tetapi tegangan serta daya menunjukkan kondisi optimum pada konsentrasi tertentu. Kombinasi 250 mL sari jeruk kasturi dan KCl 0,5 M menghasilkan tegangan 7,59 V, arus 13,98 mA, daya tertinggi 106,11 mW, dan waktu nyala LED terlama 430 menit. Konduktivitas tertinggi, 31,40 mS/cm, dan arus tertinggi, 19,54 mA, diperoleh pada KCl 2 M dan 250 mL sari jeruk, tetapi tegangan turun menjadi 3,36 V sehingga daya hanya 65,67 mW. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan jumlah ion tidak selalu meningkatkan seluruh parameter kinerja secara bersamaan. Pengaturan volume sari jeruk dan konsentrasi KCl diperlukan untuk memperoleh keseimbangan antara penghantaran ion, beda potensial, dan daya keluaran bio-baterai.

Kata kunci: bio-baterai; jeruk kasturi; kalium klorida; elektrolit alami; energi alternatif

ABSTRACT

Natural-material bio-batteries can use organic-acid-rich solutions as electrolytes to generate electricity through electrochemical reactions. This study evaluated the effects of musk lime (*Citrus microcarpa*) juice volume and potassium chloride (KCl) concentration on electrolyte characteristics and bio-battery performance. Laboratory experiments used 250, 300, 350, and 400 mL of musk lime juice combined with 50 mL KCl solutions at concentrations of 0, 0.5, 1, 1.5, and 2 M. The system consisted of six series-connected biochamber cells with zinc (Zn) as the anode and copper (Cu) as the cathode. The measured parameters were pH, voltage, current, power, conductivity, estimated capacity, relative power efficiency, and LED illumination duration. Pure musk lime juice had a pH of 2, voltage of 4.14–4.28 V, current of 11.67–12.14 mA, and conductivity of 4.77–5.05 mS/cm. KCl addition increased conductivity and current, whereas voltage and power reached an optimum at a specific concentration. The combination of 250 mL juice and 0.5 M KCl produced 7.59 V, 13.98 mA, the highest power of 106.11 mW, and the longest LED illumination time of 430 min. The highest conductivity (31.40 mS/cm) and current (19.54 mA) occurred at 2 M KCl and 250 mL juice, but the voltage decreased to 3.36 V and the power to 65.67 mW. These findings indicate that increasing ionic content does not improve all performance parameters simultaneously. Proper control of juice volume and KCl concentration is required to balance ionic transport, potential difference, and bio-battery power output.

Keywords: bio-battery; musk lime; potassium chloride; natural electrolyte; alternative energy

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik meningkat seiring meluasnya penggunaan perangkat elektronik, sistem pemantauan, media pembelajaran, dan berbagai peralatan portabel. Pada saat yang sama, penggunaan baterai konvensional menimbulkan persoalan lingkungan ketika bahan kimia dan logam penyusunnya tidak dikelola secara tepat setelah masa pakai berakhir. Baterai asam-timbal maupun jenis baterai lain dapat mengandung elektrolit korosif dan unsur logam yang berpotensi mencemari tanah serta air.

Kajian mengenai material berbasis biomassa untuk sistem penyimpanan energi menunjukkan adanya kebutuhan untuk mengembangkan bahan yang lebih terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada komponen sintetis tertentu (Jin dkk., 2021). Salah satu pendekatan sederhana pada skala laboratorium adalah bio-baterai yang memanfaatkan bahan biologis sebagai bagian dari elektrolit.

Bio-baterai pada penelitian ini bekerja berdasarkan prinsip sel galvanik. Dua elektroda logam berbeda ditempatkan dalam larutan elektrolit sehingga reaksi oksidasi dan reduksi berlangsung secara spontan. Seng memiliki kecenderungan lebih mudah teroksidasi dan digunakan sebagai anoda, sedangkan tembaga berfungsi sebagai katoda. Elektron mengalir melalui rangkaian luar dari Zn menuju Cu, sementara perpindahan ion di dalam elektrolit mempertahankan keseimbangan muatan. Besarnya keluaran listrik tidak hanya ditentukan oleh pasangan elektroda, tetapi juga oleh jumlah pembawa muatan, mobilitas ion, hambatan internal, kondisi antarmuka elektroda, dan konfigurasi sel. Oleh karena itu, karakteristik elektrolit menjadi bagian penting dalam menentukan tegangan, arus, dan daya yang dapat dihasilkan sistem (Flowers dkk., 2019; Silberberg dan Amateis, 2020).

Sari buah merupakan salah satu bahan yang dapat berfungsi sebagai elektrolit alami karena mengandung air, asam organik, dan mineral terlarut. Berbagai penelitian sebelumnya telah memanfaatkan buah maupun limbah buah sebagai media elektrolit. Ramadana dkk. (2022) dalam kajian bio-baterai berbasis biomassa menunjukkan bahwa bahan dari kelompok jeruk memiliki potensi yang baik karena tingkat keasamannya mendukung pembentukan ion dalam larutan. Salaf dkk. (2020) melaporkan bahwa kulit jeruk dapat digunakan sebagai bahan elektrolit pada pasangan elektroda Zn-Cu. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa sari jeruk, ekstrak kulit buah, limbah kulit nanas, serta bahan organik lain dapat menghasilkan tegangan dan arus yang terukur, meskipun hasilnya sangat bergantung pada komposisi elektrolit, kondisi bahan, ukuran elektroda, dan jumlah sel (Fitrya dkk., 2023; Suriana dkk., 2025; Osahenvemwen dkk., 2020; Andinata, 2020).

Jeruk kasturi (*Citrus microcarpa*) menarik untuk dikaji karena memiliki rasa sangat asam dan mengandung asam organik, terutama asam sitrat dan asam askorbat. Senyawa tersebut dapat terdisosiasi dan menyediakan ion H^+ serta anion organik yang berperan dalam penghantaran muatan. Munadi dkk. (2022) juga mengidentifikasi berbagai senyawa bioaktif pada *Citrus microcarpa*, termasuk flavonoid, terpenoid, alkaloid, dan saponin. Selain aspek kimia, kelompok tanaman jeruk merupakan komoditas hortikultura yang tersedia dalam jumlah besar. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan produksi jeruk di Sumatera Selatan pada 2024 sekitar 687.091,53 kuintal atau kurang lebih 68.709 ton. Ketersediaan tersebut membuka peluang pemanfaatan jeruk tidak hanya untuk pangan, tetapi juga untuk pengembangan aplikasi berbasis biomassa pada skala penelitian (Badan Pusat Statistik, 2024).

Keasaman sari jeruk saja belum menjamin keluaran listrik yang optimum. Asam sitrat dan asam askorbat merupakan elektrolit yang derajat ionisasinya terbatas sehingga jumlah ion bebas dalam larutan dapat menjadi faktor pembatas. Penelitian bio-baterai terdahulu memperlihatkan bahwa penambahan garam elektrolit dapat meningkatkan jumlah pembawa muatan dan memperbaiki konduktivitas. Hasrolita dkk. (2025), misalnya, melaporkan peningkatan arus pada bio-baterai berbasis sari tomat setelah penambahan NaCl. Kajian lain menunjukkan bahwa penambahan elektrolit anorganik dapat memperbaiki karakteristik listrik pada bio-baterai berbasis limbah organik (Arizona dkk., 2021; Pawarangan dkk., 2024). Fitrya dkk. (2023) menunjukkan bahwa KCl dapat digunakan sebagai elektrolit tambahan pada sistem berbasis limbah kulit nanas. Temuan tersebut menjadi dasar bahwa penguat ionik dapat memperbaiki penghantaran muatan, tetapi konsentrasinya tetap perlu dikendalikan.

Kalium klorida dipilih karena merupakan garam yang terdisosiasi menjadi ion K^+ dan Cl^- dalam medium berair. Peningkatan konsentrasi KCl secara umum menambah jumlah ion yang dapat bergerak di dalam larutan, sehingga konduktivitas cenderung meningkat. Namun, hubungan antara konsentrasi elektrolit dan kinerja listrik tidak harus bersifat linear untuk semua parameter. Pada larutan yang sangat pekat, interaksi antarion dapat meningkat, aktivitas ion dapat berbeda dari konsentrasi nominal, dan mobilitas efektif pembawa muatan dapat menurun. Akibatnya, kondisi yang menghasilkan konduktivitas atau arus tertinggi belum tentu menghasilkan tegangan dan daya tertinggi. Hal ini penting karena daya merupakan hasil kombinasi tegangan dan arus, bukan fungsi satu parameter saja (Liu dkk., 2021; Fitrya dkk., 2023; Wang dkk., 2021; Zumdahl dkk., 2021).

Selain konsentrasi KCl, volume sari jeruk merupakan variabel yang perlu dipertimbangkan. Pada sistem tanpa elektrolit tambahan, penambahan volume dapat meningkatkan jumlah total bahan aktif yang tersedia. Sebaliknya, ketika sejumlah larutan KCl yang sama dicampurkan dengan volume sari jeruk yang berbeda, perubahan volume total juga mengubah kerapatan ion per satuan volume dan kondisi kontak elektrolit dengan elektroda. Oleh sebab itu, optimasi bio-baterai perlu membaca efek volume dan konsentrasi secara bersamaan. Perbandingan yang hanya berfokus pada nilai pH atau konduktivitas dapat memberikan gambaran yang tidak lengkap apabila tegangan, arus, daya, dan kinerja beban nyata tidak dievaluasi secara terpadu.

Penelitian sebelumnya telah menguji berbagai bahan buah, elektrolit tambahan, dan konfigurasi elektroda, tetapi pemanfaatan sari jeruk kasturi dengan variasi volume 250–400 mL dan KCl 0–2 M pada satu sistem biochamber Zn-Cu masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik sari jeruk kasturi sebagai elektrolit alami, mengevaluasi perubahan kinerja bio-baterai pada variasi volume dan konsentrasi KCl, serta menentukan kondisi yang memberikan keluaran terbaik berdasarkan tegangan, arus, daya, konduktivitas, kapasitas estimasi, dan durasi nyala LED. Penilaian kondisi optimum dilakukan secara deskriptif dengan mempertimbangkan keseimbangan antarparameter, sehingga konsentrasi dengan arus atau konduktivitas tertinggi tidak otomatis dinyatakan sebagai kondisi terbaik apabila tegangan dan daya justru menurun.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium dan dilaksanakan pada April sampai Juni 2026 di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang. Bahan utama yang digunakan adalah sekitar 10 kg buah jeruk kasturi segar, kalium klorida, akuades, enam pasang elektroda Zn-Cu, dan separator kain viselin. Peralatan utama meliputi alat pemeras dan saringan, neraca analitik, gelas dan labu ukur, hot plate, magnetic stirrer, conductivity meter, indikator pH, multimeter, stopwatch, biochamber, serta lampu LED sebagai beban pengujian. Elektroda seng berfungsi sebagai anoda dan tembaga sebagai katoda. Sistem biochamber terdiri atas enam sel yang disusun seri.

Faktor pertama adalah volume sari jeruk kasturi, yaitu 250, 300, 350, dan 400 mL. Faktor kedua adalah konsentrasi larutan KCl, yaitu 0; 0,5; 1; 1,5; dan 2 M. Volume larutan KCl dipertahankan 50 mL pada setiap perlakuan; untuk 0 M digunakan air jeruk murni tanpa penambahan KCl dan aquadest. Massa KCl dihitung menggunakan hubungan $m = M \times V \times Mr$ dengan Mr KCl 74,56 g/mol, sehingga larutan 50 mL memerlukan masing-masing 1,86 g untuk 0,5 M; 3,73 g untuk 1 M; 5,592 g untuk 1,5 M; dan 7,456 g untuk 2 M. Jenis dan ukuran elektroda, jumlah sel, serta suhu pengujian dipertahankan sama selama percobaan. Ringkasan rancangan ditampilkan pada Tabel 1.

Buah jeruk kasturi dipilih dengan tingkat kematangan seragam, dicuci, dipotong, diperas, dan disaring untuk memisahkan biji serta partikel padat. Sari yang diperoleh kemudian diukur sesuai variasi volume. Larutan KCl dibuat dengan melarutkan massa garam yang telah ditimbang ke dalam akuades sampai volume 50 mL. Sari jeruk dan larutan KCl dicampurkan sesuai perlakuan lalu dihomogenkan menggunakan magnetic stirrer selama sekitar 10 menit. Campuran elektrolit selanjutnya dimasukkan ke biochamber hingga elektroda berada dalam kontak yang memadai dengan larutan. Elektroda tidak dibiarkan bersentuhan langsung dan separator ditempatkan untuk membantu mencegah hubungan pendek.

pH elektrolit diamati menggunakan indikator pH, sedangkan konduktivitas diukur menggunakan conductivity meter dan dinyatakan dalam mS/cm. Tegangan dan arus diukur dengan multimeter pada rangkaian enam sel. Daya dihitung menggunakan $P = V \times I$; karena arus dilaporkan dalam mA, hasil perkalian V dan mA dinyatakan dalam mW. Kapasitas pada data sumber dihitung sebagai estimasi dari arus dan durasi operasi dengan $Q = I \times t/60$ dalam mAh. Efisiensi daya pada naskah sumber merupakan nilai relatif terhadap daya tertinggi yang dijadikan 100%, bukan efisiensi konversi energi termodinamik. Uji aplikasi dilakukan dengan menghubungkan bio-baterai ke LED 3 V dan mencatat durasi sejak lampu menyala sampai padam.

Data dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan pola perubahan antarkombinasi volume sari jeruk dan konsentrasi KCl. Naskah sumber melaporkan nilai pengukuran tiap kondisi tanpa

informasi jumlah ulangan, simpangan baku, atau uji statistik inferensial. Karena itu, istilah peningkatan dan penurunan pada artikel ini merujuk pada perubahan nilai terukur, bukan bukti signifikansi statistik. Kondisi optimum ditetapkan berdasarkan keseimbangan tegangan, arus, daya, dan kinerja LED, dengan daya serta durasi nyala sebagai pertimbangan utama.

Tabel 1. Rancangan variabel penelitian

Komponen	Kondisi/variasi	Keterangan
Bahan elektrolit	Sari jeruk kasturi 250, 300, 350, dan 400 mL	Variabel volume
Larutan KCl	50 mL; 0; 0,5; 1; 1,5; dan 2 M	0 M berupa air jeruk murni
Elektroda	Zn-Cu	Zn anoda; Cu katoda
Konfigurasi	Enam sel biochamber	Dirangkai seri
Parameter	pH, konduktivitas, tegangan, arus, daya, kapasitas, LED	Analisis deskriptif



Gambar 1. Rangkaian biochamber dan pengukuran kelistrikan pada pengujian bio-baterai (dokumentasi penelitian)

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Elektrolit

Sari jeruk kasturi murni menunjukkan pH 2 pada seluruh volume pengujian. Nilai tersebut memperlihatkan bahwa perubahan volume dari 250 menjadi 400 mL tidak mengubah tingkat keasaman yang terbaca. Pada kondisi murni, tegangan meningkat sedikit dari 4,14 menjadi 4,28 V, arus dari 11,67 menjadi 12,14 mA, daya dari 48,31 menjadi 51,96 mW, dan konduktivitas dari 4,77 menjadi 5,05 mS/cm. Rentang yang relatif sempit menunjukkan karakteristik awal sari jeruk cukup konsisten pada variasi volume yang digunakan. Keasaman tersebut berkaitan dengan kandungan asam sitrat dan asam askorbat yang dapat menyediakan ion H^+ serta spesies bermuatan lain dalam larutan (Munadi dkk., 2022; Jahro dkk., 2025).

Larutan KCl pada penelitian tercatat memiliki pH 6, sedangkan campuran sari jeruk dan KCl tetap menunjukkan pH 2. Kestabilan ini menunjukkan bahwa penambahan KCl pada rentang konsentrasi yang digunakan tidak menggeser pembacaan pH campuran dari karakter asam sari jeruk. Namun, pH yang sama tidak berarti seluruh campuran memiliki kemampuan hantar listrik yang sama, karena pH terutama mencerminkan aktivitas ion hidrogen sedangkan konduktivitas dipengaruhi seluruh spesies bermuatan dan mobilitasnya. Hal tersebut terlihat jelas pada data: campuran dengan pH 2 dapat

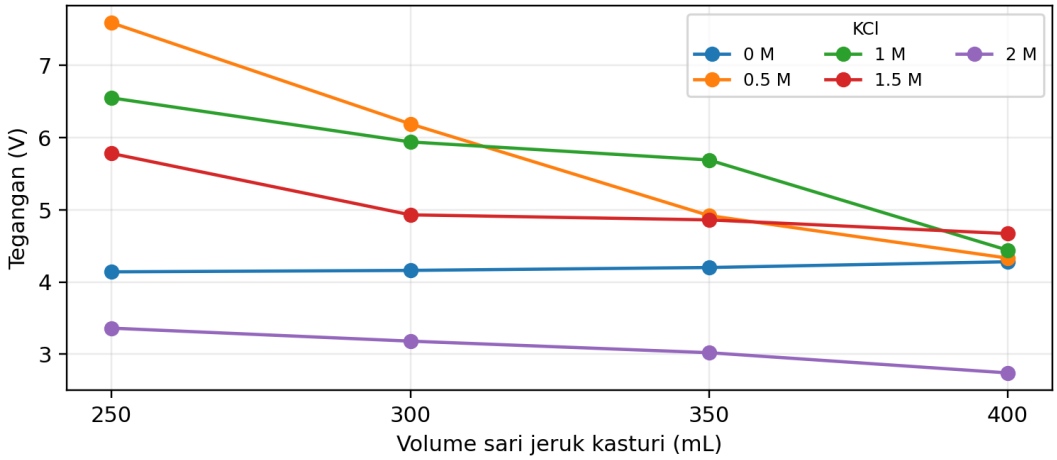
memiliki konduktivitas 11,41 sampai 31,40 mS/cm bergantung pada konsentrasi KCl dan volume sari jeruk.

Perbedaan antara keasaman dan konduktivitas penting dalam interpretasi bio-baterai. Sari jeruk yang asam menyediakan medium yang mendukung reaksi elektrokimia, sedangkan KCl menambah ion K^+ dan Cl^- yang memperbesar populasi pembawa muatan. Dengan demikian, pH lebih tepat digunakan sebagai indikator kondisi asam elektrolit, sedangkan konduktivitas memberikan gambaran yang lebih langsung tentang kemampuan larutan menghantarkan ion. Hasil ini mendukung penggunaan beberapa parameter secara bersamaan untuk menilai kinerja elektrolit, bukan mengandalkan pH sebagai satu-satunya prediktor keluaran listrik.

3.2 Kinerja Listrik Bio-Baterai

Tegangan memperlihatkan respons yang berbeda antara sistem tanpa KCl dan sistem dengan KCl. Pada 0 M, peningkatan volume sari jeruk dari 250 menjadi 400 mL diikuti kenaikan kecil dari 4,14 menjadi 4,28 V. Setelah KCl ditambahkan, tegangan tertinggi justru diperoleh pada volume paling kecil. Pada KCl 0,5 M, tegangan 7,59 V pada 250 mL turun menjadi 6,19 V pada 300 mL, 4,92 V pada 350 mL, dan 4,33 V pada 400 mL. Pola penurunan terhadap volume juga muncul pada KCl 1; 1,5; dan 2 M. Secara deskriptif, campuran 250 mL memberikan kondisi paling baik untuk mempertahankan beda potensial ketika larutan KCl ditambahkan.

Jika konsentrasi KCl dibandingkan pada volume yang sama, terlihat adanya titik optimum tegangan. Pada 250 mL, tegangan meningkat dari 4,14 V tanpa KCl menjadi 7,59 V pada 0,5 M. Setelah itu tegangan turun menjadi 6,55 V pada 1 M, 5,78 V pada 1,5 M, dan 3,36 V pada 2 M. Kenaikan awal menunjukkan bahwa penambahan ion membantu menurunkan bagian hambatan elektrolit dan mendukung perpindahan muatan. Penurunan pada konsentrasi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi nominal tidak selalu diikuti kenaikan beda potensial terminal. Interaksi antarion dan perubahan mobilitas efektif pada larutan yang lebih pekat dapat menjadi salah satu faktor yang membatasi peningkatan tersebut (Silberberg dan Amateis, 2020; Fitrya dkk., 2023).



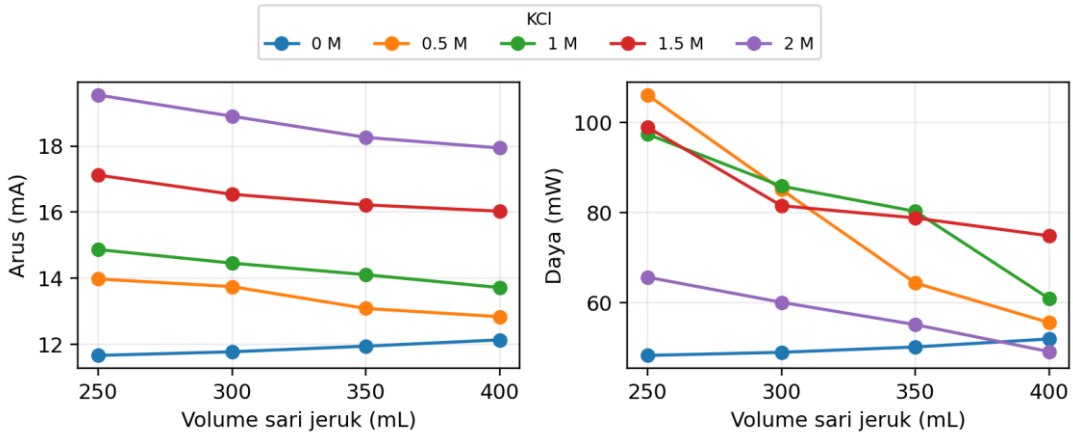
Gambar 2. Tegangan bio-baterai berdasarkan volume sari jeruk kasturi dan konsentrasi KCl

Berbeda dari tegangan, arus cenderung meningkat ketika konsentrasi KCl dinaikkan. Pada volume 250 mL, arus berubah dari 11,67 mA pada 0 M menjadi 13,98 mA pada 0,5 M, 14,87 mA pada 1 M, 17,12 mA pada 1,5 M, dan 19,54 mA pada 2 M. Kecenderungan yang sama muncul pada volume lain, meskipun pada setiap konsentrasi KCl arus menurun ketika volume sari jeruk bertambah. Sebagai contoh, pada 2 M arus turun dari 19,54 mA pada 250 mL menjadi 17,94 mA pada 400 mL. Pola ini sejalan dengan meningkatnya jumlah ion bebas akibat disosiasi KCl, sementara penambahan volume sari jeruk pada jumlah larutan KCl yang tetap menurunkan kerapatan ion per satuan volume.

Daya menampilkan hasil yang lebih kompleks karena merupakan hasil perkalian tegangan dan arus, sehingga perubahan kecil pada salah satu parameter dapat mengubah keluaran energi secara nyata (Wati dkk., 2024). Kondisi dengan arus tertinggi tidak menghasilkan daya tertinggi. Daya maksimum 106,11 mW diperoleh pada 250 mL sari jeruk dan KCl 0,5 M, yaitu pada tegangan 7,59 V dan arus 13,98 mA. Pada volume yang sama, kenaikan konsentrasi menjadi 1 M menghasilkan 97,40 mW dan

1,5 M menghasilkan 98,95 mW. Meskipun arus meningkat, penurunan tegangan membatasi daya. Pada 2 M, arus mencapai 19,54 mA tetapi tegangan hanya 3,36 V sehingga daya turun menjadi 65,67 mW. Fenomena ini menunjukkan bahwa optimasi bio-baterai harus mencari keseimbangan antara kemampuan menghantarkan muatan dan kemampuan mempertahankan beda potensial.

Pengaruh volume juga terlihat kuat pada daya ketika KCl digunakan. Pada 0,5 M, daya menurun dari 106,11 mW pada 250 mL menjadi 85,11; 64,40; dan 55,60 mW pada 300, 350, dan 400 mL. Pada 1 M penurunan terjadi dari 97,40 menjadi 60,92 mW, sedangkan pada 2 M dari 65,67 menjadi 49,16 mW. Hasil tersebut mendukung penjelasan bahwa penambahan volume dalam konfigurasi percobaan ini tidak otomatis meningkatkan keluaran, karena pengenceran relatif terhadap 50 mL larutan KCl mengubah konsentrasi efektif ion tambahan dan menurunkan tegangan. Bramantio dkk. (2025) juga menunjukkan bahwa komposisi dan volume elektrolit berperan dalam menentukan keluaran bio-baterai berbasis jeruk.



Gambar 3. Perubahan arus dan daya pada variasi volume sari jeruk kasturi dan konsentrasi KCl

Tabel 2. Data kinerja bio-baterai pada seluruh kombinasi perlakuan

KCl (M)	Sari jeruk (mL)	V (V)	I (mA)	P (mW)	$\varkappa$ (mS/cm)	LED (menit)
0	250	4,14	11,67	48,31	4,77	120
0	300	4,16	11,78	49,00	4,81	135
0	350	4,20	11,95	50,19	4,97	150
0	400	4,28	12,14	51,96	5,05	165
0,5	250	7,59	13,98	106,11	12,68	430
0,5	300	6,19	13,75	85,11	12,23	380
0,5	350	4,92	13,09	64,40	11,57	280
0,5	400	4,33	12,84	55,60	11,41	210
1	250	6,55	14,87	97,40	21,76	410
1	300	5,94	14,46	85,89	19,97	370
1	350	5,69	14,11	80,29	18,26	340
1	400	4,44	13,72	60,92	17,73	240
1,5	250	5,78	17,12	98,95	28,58	420
1,5	300	4,93	16,54	81,54	27,40	350
1,5	350	4,86	16,22	78,83	25,43	320
1,5	400	4,67	16,03	74,86	25,00	300
2	250	3,36	19,54	65,67	31,40	260
2	300	3,18	18,90	60,10	30,12	230
2	350	3,02	18,26	55,15	28,64	200
2	400	2,74	17,94	49,16	27,24	180

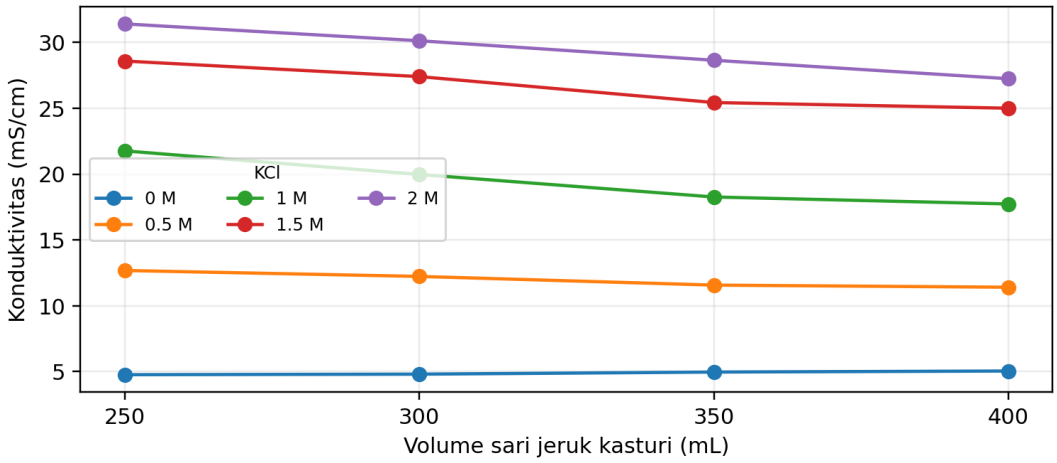
3.3 Konduktivitas dan Efisiensi Daya

Konduktivitas meningkat tajam dengan penambahan KCl. Pada 250 mL sari jeruk, nilai awal 4,77 mS/cm meningkat menjadi 12,68 mS/cm pada 0,5 M, 21,76 mS/cm pada 1 M, 28,58 mS/cm pada 1,5 M, dan 31,40 mS/cm pada 2 M. Nilai 31,40 mS/cm merupakan konduktivitas tertinggi pada seluruh perlakuan. Kenaikan ini konsisten dengan sifat KCl sebagai elektrolit yang menambah ion bergerak dalam larutan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa penambahan KCl efektif meningkatkan kemampuan hantar ion, sebagaimana dilaporkan pada penelitian bio-baterai lain yang menggunakan garam anorganik sebagai penguat elektrolit (Fitrya dkk., 2023; Hasrolita dkk., 2025; Dalimunthe dkk., 2024).

Pada konsentrasi yang sama, konduktivitas menurun ketika volume sari jeruk meningkat. Pada 2 M, konduktivitas berubah dari 31,40 mS/cm pada 250 mL menjadi 30,12 mS/cm pada 300 mL, 28,64 mS/cm pada 350 mL, dan 27,24 mS/cm pada 400 mL. Penurunan serupa terjadi pada KCl 0,5–1,5 M. Karena volume larutan KCl dipertahankan 50 mL, peningkatan volume sari jeruk memperbesar volume campuran dan menurunkan konsentrasi relatif ion dari KCl. Kondisi ini menurunkan kerapatan pembawa muatan, sehingga konduktivitas menjadi lebih rendah walaupun jumlah total cairan bertambah.

Konduktivitas dan arus bergerak dalam arah yang sama, tetapi hubungan konduktivitas dengan tegangan dan daya tidak linear. Konsentrasi 2 M menghasilkan konduktivitas dan arus tertinggi, namun tegangan serta daya lebih rendah daripada 0,5 M. Artinya, konduktivitas tinggi membantu pengangkutan ion tetapi tidak cukup untuk menjamin beda potensial terminal tetap tinggi. Pada konsentrasi yang terlalu besar, interaksi antarion dan polarisasi antarmuka dapat membatasi manfaat tambahan dari peningkatan jumlah ion. Karena parameter antarmuka dan hambatan internal tidak diukur secara langsung, mekanisme tersebut diperlakukan sebagai interpretasi elektrokimia yang perlu diuji lebih lanjut, bukan sebagai mekanisme yang telah dibuktikan pada penelitian ini.

Efisiensi daya pada data sumber dihitung secara relatif dengan menjadikan daya maksimum 106,11 mW sebagai 100%. Pada volume 250 mL, nilai relatifnya 45,53% untuk 0 M, 100% untuk 0,5 M, 91,79% untuk 1 M, 93,26% untuk 1,5 M, dan 61,89% untuk 2 M. Pada KCl 0,5 M, efisiensi relatif turun seiring penambahan volume, yaitu 100% pada 250 mL, 80,21% pada 300 mL, 60,70% pada 350 mL, dan 52,40% pada 400 mL. Pola tersebut memperkuat penetapan 250 mL dan 0,5 M sebagai kondisi paling efektif dalam menghasilkan daya pada konfigurasi pengujian yang digunakan.



Gambar 4. Konduktivitas elektrolit berdasarkan volume sari jeruk kasturi dan konsentrasi KCl

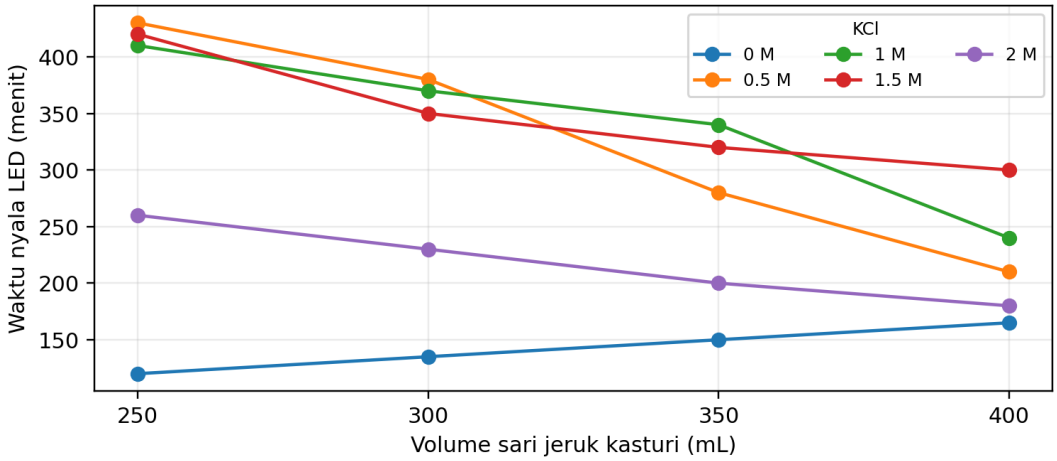
3.4 Kapasitas dan Uji LED

Uji LED memberikan indikator aplikatif karena memperlihatkan kemampuan bio-baterai mempertahankan suplai energi pada beban nyata. Seluruh kombinasi mampu menyalakan LED, tetapi durasinya berbeda. Tanpa KCl, waktu nyala meningkat dari 120 menit pada 250 mL menjadi 165 menit pada 400 mL. Pola ini berbeda dari perlakuan yang menggunakan KCl. Pada 0,5 M, durasi tertinggi 430 menit diperoleh pada 250 mL lalu turun menjadi 380, 280, dan 210 menit ketika volume dinaikkan. Pada 1 M durasinya 410, 370, 340, dan 240 menit, sedangkan pada 1,5 M sebesar 420, 350, 320, dan 300 menit. Pada 2 M, LED hanya bertahan 260–180 menit.

Perbedaan pola kontrol dan campuran KCl menunjukkan bahwa volume total bahan dan konsentrasi ion tambahan memberikan kontribusi yang berbeda. Pada sistem tanpa KCl, bertambahnya volume sari jeruk menambah jumlah total elektrolit dengan komposisi kimia yang relatif sama, sehingga durasi beban dapat meningkat walaupun parameter listrik awal hanya berubah sedikit. Pada sistem dengan KCl, larutan garam memiliki volume tetap 50 mL. Penambahan sari jeruk memperbesar volume campuran dan menurunkan konsentrasi relatif ion K^+ dan Cl^-. Penurunan tegangan dan daya yang menyertai pengenceran ini konsisten dengan berkurangnya durasi LED pada sebagian besar perlakuan.

Kondisi 0,5 M pada 250 mL menghasilkan durasi terlama 430 menit dan sekaligus daya tertinggi 106,11 mW. KCl 1,5 M pada volume yang sama menghasilkan durasi yang hampir setara, 420 menit, dengan arus lebih tinggi 17,12 mA tetapi tegangan lebih rendah 5,78 V. Sementara itu, KCl 2 M menghasilkan arus tertinggi 19,54 mA tetapi LED bertahan hanya 260 menit. Data ini menegaskan bahwa arus sesaat yang tinggi tidak cukup untuk menentukan kinerja beban. Kombinasi tegangan, arus, daya, serta kestabilan selama pengosongan perlu dinilai secara bersama-sama.

Kapasitas estimasi yang dihitung dari arus terukur dan durasi nyala juga menunjukkan pola yang menarik. Nilai pada 250 mL adalah 23,34 mAh tanpa KCl; 100,19 mAh pada 0,5 M; 101,61 mAh pada 1 M; 119,84 mAh pada 1,5 M; dan 84,69 mAh pada 2 M. Nilai tertinggi berdasarkan rumus tersebut diperoleh pada 1,5 M karena kombinasi arus 17,12 mA dan durasi 420 menit. Namun, perhitungan menggunakan satu nilai arus untuk merepresentasikan durasi pengosongan, sedangkan kurva perubahan arus terhadap waktu tidak tersedia dalam data sumber. Oleh karena itu, nilai Q lebih tepat dipandang sebagai kapasitas estimasi dan tidak menggantikan pengujian kapasitas dengan profil discharge yang direkam secara berkala.



Gambar 5. Durasi nyala LED berdasarkan volume sari jeruk kasturi dan konsentrasi KCl

Tabel 3. Kapasitas estimasi dan efisiensi daya relatif pada kondisi terpilih

KCl (M)	Sari jeruk (mL)	Daya (mW)	LED (menit)	Q estimasi (mAh)	Efisiensi relatif (%)
0	250	48,31	120	23,34	45,53
0,5	250	106,11	430	100,19	100,00
1	250	97,40	410	101,61	91,79
1,5	250	98,95	420	119,84	93,26
2	250	65,67	260	84,69	61,89
0,5	300	85,11	380	87,08	80,21
0,5	350	64,40	280	61,09	60,70
0,5	400	55,60	210	44,94	52,40

3.5 Kondisi Optimum dan Keterbatasan

Berdasarkan seluruh parameter, kombinasi 250 mL sari jeruk kasturi dan KCl 0,5 M merupakan kondisi optimum pada penelitian ini. Kombinasi tersebut menghasilkan tegangan tertinggi 7,59 V, daya tertinggi 106,11 mW, dan durasi LED terlama 430 menit. Arusnya, 13,98 mA, memang lebih rendah daripada perlakuan KCl 1–2 M, dan konduktivitas 12,68 mS/cm juga bukan nilai maksimum. Namun, kinerja beban menunjukkan bahwa keseimbangan antarparameter lebih penting daripada memaksimalkan konduktivitas atau arus secara terpisah. Pada 0,5 M, jumlah ion tambahan cukup untuk memperbaiki penghantaran muatan tanpa disertai penurunan tegangan sebesar yang terjadi pada konsentrasi lebih tinggi.

Hasil tersebut konsisten dengan konsep bahwa kinerja sel ditentukan oleh keseluruhan sistem. KCl meningkatkan pembawa muatan, tetapi peningkatan konsentrasi juga mengubah aktivitas ion dan kondisi antarmuka elektroda. Pada saat yang sama, penambahan volume sari jeruk mengubah konsentrasi relatif KCl dan kondisi pembasahan elektroda. Karena itu, kondisi optimum yang ditemukan bersifat spesifik terhadap enam sel seri, pasangan elektroda Zn-Cu, ukuran elektroda, volume larutan KCl 50 mL, dan prosedur pengujian yang digunakan. Perbandingan langsung dengan

penelitian lain harus mempertimbangkan perbedaan jumlah sel, luas elektroda, jenis beban, dan cara pengukuran.

Klaim ramah lingkungan juga perlu ditempatkan secara proporsional. Penggunaan sari jeruk sebagai komponen elektrolit mengurangi kebutuhan terhadap larutan elektrolit sintetis tertentu dan memanfaatkan bahan yang berasal dari biomassa. Namun, sistem tetap menggunakan logam Zn dan Cu yang mengalami reaksi serta berpotensi menghasilkan ion logam selama pengoperasian. Penelitian ini belum mengevaluasi umur pakai elektroda, komposisi elektrolit setelah pengosongan, pengolahan residu, atau analisis daur hidup. Dengan demikian, hasil penelitian mendukung potensi sari jeruk kasturi sebagai elektrolit alternatif pada skala laboratorium, tetapi belum cukup untuk menyatakan seluruh sistem bebas dampak lingkungan.

Keterbatasan utama penelitian adalah tidak tersedianya informasi ulangan dan variasi pengukuran, sehingga kestabilan data dan signifikansi statistik antarkondisi belum dapat dinilai. Hambatan internal, temperatur elektrolit, perubahan massa elektroda, kurva tegangan dan arus selama discharge, serta komposisi kimia setelah pengujian juga belum diukur. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan rancangan dengan ulangan, mengukur hambatan internal dan profil pengosongan secara periodik, membandingkan pasangan elektroda lain, serta menguji pemanfaatan limbah jeruk seperti kulit dan ampas. Pengembangan jumlah sel juga dapat dilakukan untuk menilai kemampuan sistem mengoperasikan beban yang lebih besar daripada LED.

3.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Posisi hasil penelitian dapat dipahami lebih baik dengan membandingkannya terhadap studi bio-baterai berbasis buah yang telah dirangkum dalam naskah sumber. Salaf dkk. (2020) menggunakan kulit jeruk (Citrus sinensis) dengan elektroda Zn-Cu dan memperoleh tegangan sekitar 0,92 V serta arus 0,15 mA. Bramantio dkk. (2025) menggunakan sari jeruk dengan penambahan Na_2CO_3 dan melaporkan kondisi terbaik pada 200 mL sari jeruk dan 0,5 M Na_2CO_3 dengan tegangan 6,45 V, arus 30,89 mA, daya 199,24 mW, konduktivitas 43,78 mS/cm, dan durasi LED 356 menit. Perbedaan nilai absolut antarpenelitian tidak dapat dibaca sebagai peringkat langsung karena konfigurasi jumlah sel, luas elektroda, volume tiap ruang, jenis bahan, serta kondisi beban tidak identik.

Fitrya dkk. (2023) mempelajari ampas kulit nanas dengan beberapa garam, termasuk KCl, dan melaporkan KCl sebagai variasi terbaik pada sistem yang mereka gunakan. Tegangan yang dicatat sekitar 3,923 V dengan arus 0,79 mA dan durasi aplikasi hingga 900 menit. Hasil tersebut mendukung peran KCl sebagai penguat ionik, tetapi durasi beban yang lebih panjang tidak berarti daya lebih tinggi karena spesifikasi beban dan konfigurasi pengujian berbeda. Studi Syahwa dkk. (2025) menggunakan campuran sari lemon dan nanas pada total volume 400 mL dan melaporkan tegangan 3,99 V, arus 1,56 mA, serta daya 6,22 mW. Sarah dkk. (2024) pada bio-baterai kulit pisang kepok dengan cuka apel dan NaCl memperoleh tegangan 1,38 V dan daya 1,31 mW pada kondisi terbaik yang dilaporkan.

Dibandingkan studi-studi tersebut, kontribusi penelitian jeruk kasturi terletak pada pengujian dua dimensi komposisi sekaligus, yaitu volume sari jeruk dan konsentrasi KCl, dengan parameter listrik serta uji LED pada satu konfigurasi biochamber. Data menunjukkan adanya pemisahan yang jelas antara parameter penghantaran ion dan parameter keluaran energi. KCl 2 M memberi konduktivitas 31,40 mS/cm dan arus 19,54 mA, tetapi daya turun menjadi 65,67 mW. Sebaliknya, KCl 0,5 M menghasilkan konduktivitas yang lebih rendah, 12,68 mS/cm, namun tegangan 7,59 V dan daya 106,11 mW menjadi yang tertinggi. Pemisahan tersebut merupakan informasi penting untuk desain elektrolit karena optimasi yang hanya mengejar konduktivitas dapat menghasilkan keputusan yang tidak sesuai dengan kebutuhan daya beban.

Pengaruh volume pada penelitian ini juga memperjelas pentingnya mendefinisikan komposisi elektrolit secara relatif. Pada kontrol 0 M, penambahan volume sari jeruk dari 250 ke 400 mL sedikit meningkatkan keluaran awal dan durasi LED. Ketika 50 mL larutan KCl ditambahkan, tren berubah: volume yang lebih besar umumnya menurunkan tegangan, arus, daya, konduktivitas, dan durasi LED. Dengan kata lain, efek volume tidak berdiri sendiri, tetapi bergantung pada rasio antara sari jeruk dan larutan garam. Temuan ini dapat menjadi dasar bagi percobaan selanjutnya untuk menggunakan rasio komposisi sebagai variabel, bukan hanya volume absolut, sehingga perbandingan antarformulasi menjadi lebih konsisten.

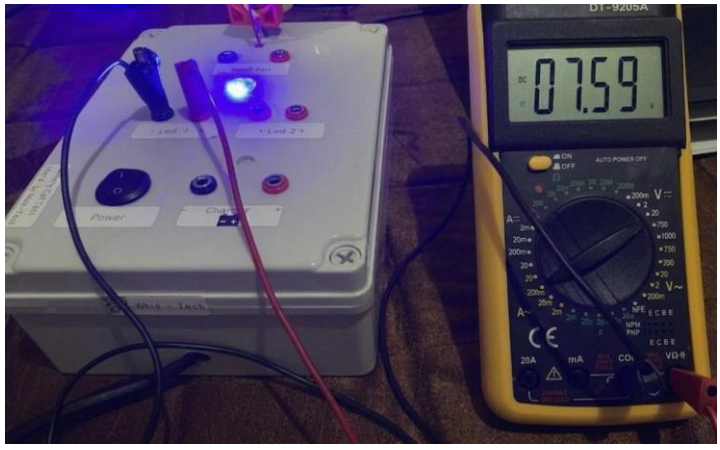
Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa indikator kondisi optimum perlu ditetapkan sejak awal. Jika tujuan utama adalah memperoleh arus tertinggi, KCl 2 M pada 250 mL merupakan pilihan terbaik. Jika targetnya kapasitas estimasi berdasarkan rumus arus dikalikan durasi, KCl 1,5 M pada 250 mL menghasilkan nilai tertinggi, yaitu 119,84 mAh. Namun, jika targetnya daya terminal dan durasi LED secara bersamaan, KCl 0,5 M pada 250 mL merupakan kombinasi paling seimbang. Oleh karena itu, istilah optimum dalam penelitian ini merujuk pada kinerja keseluruhan untuk beban LED, bukan maksimum tunggal pada setiap parameter.

Tabel 4 merangkum beberapa hasil penelitian terdahulu yang digunakan sebagai pembanding. Perbandingan tersebut terutama berfungsi menunjukkan keragaman bahan dan strategi peningkatan elektrolit. Nilai tegangan, arus, maupun durasi tidak digunakan untuk menyimpulkan bahwa satu bahan secara universal lebih baik daripada bahan lain. Untuk menghasilkan perbandingan kuantitatif yang setara diperlukan standardisasi jumlah sel, luas permukaan elektroda, jarak elektroda, volume elektrolit per sel, resistansi beban, suhu, serta metode pengukuran. Standardisasi ini juga penting apabila bio-baterai berbasis sari jeruk hendak dikembangkan dari demonstrasi laboratorium menjadi sistem prototipe yang dapat dibandingkan secara reproduktif.

Tabel 4. Perbandingan hasil penelitian bio-baterai berbasis bahan buah

Bahan dan perlakuan	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)	Konduktivitas	LED (menit)	Referensi
Kulit jeruk	0,92	0,15	-	-	-	Salaf dkk. (2020)
Sari jeruk + Na_2CO_3	6,45	30,89	199,24	43,78 mS/cm	356	Bramantio dkk. (2025)
Ampas kulit nanas + KCl	3,923	0,79	-	-	900	Fitrya dkk. (2023)
Sari lemon + nanas	3,99	1,56	6,22	-	60	Syahwa dkk. (2025)
Kulit pisang + cuka + NaCl	1,38	0,95	1,31	-	-	Sarah dkk. (2024)
Jeruk kasturi + KCl 0,5 M	7,59	13,98	106,11	12,68 mS/cm	430	Penelitian ini

Pada kondisi optimum, LED menyala terang pada rangkaian enam sel dan tegangan terminal yang terukur mencapai 7,59 V. Dokumentasi pengujian pada Gambar 6 memperlihatkan penggunaan multimeter dan LED pada biochamber. Visualisasi tersebut mendukung data kuantitatif bahwa keluaran tidak hanya terdeteksi pada alat ukur, tetapi juga dapat digunakan secara langsung untuk beban pencahayaan sederhana. Meskipun demikian, aplikasi masih berada pada skala laboratorium dan belum mencakup pengujian siklus berulang, kestabilan penyimpanan elektrolit, atau penggantian elektroda setelah pemakaian panjang.



Gambar 6. Uji nyala LED pada kondisi dengan tegangan 7,59 V (dokumentasi penelitian)

Temuan pada kondisi optimum dapat digunakan sebagai dasar perancangan tahap berikutnya. Pada konfigurasi enam sel seri, 250 mL sari jeruk dan KCl 0,5 M telah memberikan tegangan yang memadai untuk menyalakan LED dengan durasi terlama. Jika sistem dikembangkan untuk kebutuhan beban yang berbeda, variabel yang perlu dijaga bukan hanya konsentrasi KCl, tetapi juga rasio volume elektrolit, jumlah sel, kondisi permukaan elektroda, dan kestabilan kontak listrik. Data penelitian memperlihatkan bahwa perubahan satu variabel dapat menggeser keseimbangan antara tegangan dan arus. Karena itu, optimasi lanjutan sebaiknya menetapkan target kinerja terlebih dahulu, misalnya tegangan terminal, daya beban, atau durasi operasi, kemudian memilih komposisi yang paling sesuai dengan target tersebut.

Pengembangan jumlah sel merupakan salah satu saran yang muncul pada naskah sumber. Enam sel yang digunakan dalam penelitian telah mampu menghasilkan tegangan terminal beberapa volt karena masing-masing ruang disusun seri. Penambahan jumlah sel berpotensi digunakan untuk menguji beban dengan kebutuhan tegangan lebih besar, tetapi percobaan lanjutan tetap perlu mencatat keluaran setiap sel agar dapat diketahui apakah seluruh kompartemen bekerja secara seragam. Pengukuran per sel juga akan membantu membedakan apakah penurunan tegangan total berasal dari perubahan elektrolit, kondisi salah satu elektroda, atau sambungan listrik. Pendekatan tersebut penting agar peningkatan skala tidak hanya mengandalkan penambahan jumlah ruang tanpa evaluasi kestabilan masing-masing sel.

Variasi pasangan elektroda juga layak diuji pada penelitian berikutnya sebagaimana disarankan dalam skripsi. Penelitian ini menggunakan Zn sebagai anoda dan Cu sebagai katoda karena pasangan tersebut sederhana dan umum digunakan pada demonstrasi sel galvanik. Namun, kinerja yang diperoleh tetap dipengaruhi ukuran, kebersihan, luas permukaan, dan perubahan kondisi elektroda selama pengosongan. Percobaan lanjutan dapat membandingkan pasangan logam yang berbeda dengan luas permukaan yang sama dan prosedur pembersihan yang seragam. Dengan desain tersebut, perubahan keluaran dapat dikaitkan lebih jelas dengan jenis elektroda dan tidak bercampur dengan variasi geometri atau kondisi permukaan.

Pemanfaatan bagian jeruk yang belum digunakan juga menjadi arah pengembangan yang relevan. Penelitian saat ini memakai sari buah segar sebagai sumber elektrolit, sedangkan kulit dan ampas belum dievaluasi. Naskah sumber menyarankan pemanfaatan limbah jeruk kasturi atau jenis jeruk lain untuk meningkatkan nilai tambah limbah pertanian. Studi terdahulu pada kulit jeruk dan limbah buah menunjukkan bahwa bagian tersebut tetap dapat mengandung air, asam organik, mineral, dan komponen terlarut yang berpotensi mendukung penghantaran ion (Salaf dkk., 2020; Suriana dkk., 2025). Pengujian limbah jeruk dengan KCl dapat dilakukan dengan prosedur ekstraksi yang terkontrol sehingga perbandingannya dengan sari segar dapat dilakukan pada konsentrasi dan jumlah sel yang sama.

Dari sisi kualitas data, pengembangan berikutnya perlu memperkuat aspek reproduktibilitas. Setiap kombinasi perlakuan sebaiknya diuji dalam beberapa ulangan dan dilaporkan bersama nilai rata-rata serta variasinya. Profil tegangan dan arus selama proses discharge perlu direkam secara berkala, bukan hanya menggunakan satu nilai awal dan durasi padam, sehingga kapasitas dapat dihitung dari perubahan arus terhadap waktu dengan lebih representatif. Pengukuran hambatan internal, suhu larutan, dan kondisi elektroda sebelum serta sesudah pengujian juga akan membantu menjelaskan mengapa konsentrasi KCl tinggi meningkatkan arus tetapi menurunkan tegangan. Perbaikan rancangan tersebut akan membuat hubungan antara komposisi elektrolit dan kinerja bio-baterai dapat dievaluasi dengan dasar yang lebih kuat.

KESIMPULAN

Sari jeruk kasturi dapat berfungsi sebagai elektrolit alami pada bio-baterai Zn-Cu dengan pH 2 dan keluaran listrik terukur bahkan tanpa penambahan KCl. Penambahan KCl meningkatkan konduktivitas dan arus, tetapi tegangan serta daya mencapai kondisi terbaik pada konsentrasi 0,5 M. Kombinasi 250 mL sari jeruk kasturi dan KCl 0,5 M menghasilkan 7,59 V, 13,98 mA, daya 106,11 mW, dan durasi nyala LED 430 menit, sehingga ditetapkan sebagai kondisi optimum. Konsentrasi KCl yang lebih tinggi meningkatkan arus dan konduktivitas tetapi menurunkan tegangan, sedangkan peningkatan volume sari jeruk pada perlakuan KCl cenderung menurunkan kinerja akibat berkurangnya konsentrasi relatif ion tambahan. Hasil ini menegaskan bahwa optimasi bio-baterai perlu mempertimbangkan keseimbangan antarparameter, bukan hanya memaksimalkan jumlah ion dalam elektrolit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, atas dukungan fasilitas laboratorium serta kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan selama pelaksanaan dan penyusunan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Andinata, Y. (2020). Kajian limbah buah dan sayur dengan ilmu agroteknologi sebagai energi alternatif bio baterai. Seminar of Social Sciences Engineering & Humaniora.

Arizona, R., Kurniadi, S., & Fernando, Y. (2021). Direction flow (DC) electric energy production through utilization of banana leather and papaya leather waste to be an environmentally friendly biobaterai. Journal Renewable Energy & Mechanics, 4(1).

Atkins, P., de Paula, J., & Keeler, J. (2023). Atkins' physical chemistry (12th ed.). Oxford University Press.

Badan Pusat Statistik. (2024). Produksi tanaman buah-buahan dan sayuran tahunan menurut provinsi dan jenis tanaman, 2024.

Bramantio, I., Rusdianasari, & Pramito, A. I. A. (2025). Pemanfaatan jeruk (Citrus sinensis) dengan penambahan natrium karbonat (Na_2CO_3) untuk pembuatan bio-baterai. Jurnal Teknologi, 25(3), 204–209.

Dalimunthe, L. H., Fitrya, N., & Wirman, S. P. (2024). Pemanfaatan kulit nanas dengan variasi KCl, gliserol dan air semen sebagai elektrolit untuk aplikasi biobaterai ramah lingkungan. Jurnal Fisika Unand, 13(1), 117–124.

Fitrya, N., Wirman, S. P., & Halwani, P. (2023). Uji karakteristik elektrolit ampas kulit nanas dengan penambahan $MgCl_2$, NaCl, dan KCl. Photon: Jurnal Sains dan Kesehatan, 13(2).

Flowers, P., Theopold, K., Langley, R., & Robinson, W. R. (2019). Chemistry 2e. OpenStax, Rice University.

Harahap. (2016). Sel elektrokimia: karakteristik dan aplikasi. Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik, 1–3.

Hasrolita, W., Rahman, D. Y., Rahmawati, & Sulistyowati, R. (2025). Pengembangan bio-baterai berbasis sari tomat rampai dan NaCl dengan tepung tapioka sebagai matriks elektrolit padatan. Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (Jupiter), 6(2).

Jahro, I. S., Hutauruk, R., Angin, J. R. P., Marpaung, M. E. Y., Sakinah, S., Sijabat, H. P., Sarah, A. S., & Khaira, M. (2025). Identifikasi sifat elektrolit buah-buahan impor melalui uji elektrolisis. Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan, 5(4), 1269–1280.

Jin, C., Nai, J., Sheng, O., Yuan, H., Zhang, W., Tao, X., & Lou, X. W. (2021). Biomass-based materials for green lithium secondary batteries. Zhejiang University of Technology; Nanyang Technological University.

Liu, L., Solin, N., & Inganäs, O. (2021). Bio based batteries. Advanced Energy Materials, 11(43).

Munadi, R., Hasan, T., & Firdha, T. (2022). Identifikasi kandungan kimia buah lemon cui (Citrus microcarpa) asal Ambon dan uji aktivitas sebagai antioksidan. Cokroaminoto Journal of Chemical Science, 5(2).

Osahenvemwen, O. A., Okhaifoh, J. E., & Ifidon, J. O. (2020). Deployment of fruit juices as battery electrolyte. American Journal of Sciences and Engineering Research, 3(4).

Pawarangan, I., Tumewu, A., Mawuntu, V. J., Kumendong, I., & Pungus, S. (2024). Pengaruh konsentrasi molaritas KOH terhadap sifat kelistrikan bio-baterai ampas kopi. Jurnal SOSCIED, 7(2).

Ramadana, A. S., Ballqis, A. S., Khairunnisa, K., Lazulva, L., & Yusbarina, Y. (2022). The potential of bio-battery biomass as an alternative energy source (review article). The 2nd International Conference of Humanities and Social Science (ICHSS).

Salaf, F., Hayat, L., & Ma'ruf, A. (2020). Analisis kulit buah jeruk (Citrus sinensis) sebagai bahan pembuatan elektrolit pada bio-baterai. Jurnal Riset Rekayasa Elektro, 2(1).

Sarah, M., Zelfi, E. R., Kuswara, M. P., & Hasibuan, I. M. (2024). Studi pengaruh variasi konsentrasi garam dapur (NaCl) pada bio-baterai berbasis kulit pisang kepok dan cuka apel. Sumber sebagaimana tercantum dalam naskah skripsi.

Shittu, S. A., Ajagbe, S. A., & Oloruntola, R. F. (2018). Conversion of fruit to battery. International Journal of Scientific & Engineering Research, 9(1).

Silberberg, M. S., & Amateis, P. (2020). Chemistry: The molecular nature of matter and change. McGraw-Hill Education.

Syahwa, S. A. Z. S., Aeni, A. R., & Yuliasari, F. (2025). Karakteristik sifat kelistrikan larutan elektrolit dari sari buah lemon dan sari buah nanas untuk aplikasi biobaterai. Jurnal Penelitian Sains dan Pendidikan, 5(2).

Suriana, I. W., Giriantari, I. A. D., Ariastina, W. G., & Setiawan, I. N. (2025). Citrus peel waste as an electrolyte solution for energy storage in bio-batteries. Journal of Applied Science, Engineering, Technology, and Education, 7(2), 290–299.

Wang, H., Ryu, J., Shao, Y., Murugesan, V., Persson, K., Zavadil, K., Mueller, K. T., & Liu, J. (2021). Advancing electrolyte solution chemistry and interfacial electrochemistry of divalent metal batteries. ChemElectroChem, 8(16), 3013–3029.

Wati, R., Saputra, E., Iswan, J., Yanto Rahman, D., & Sulistyowati, R. (2024). Pengembangan bio-baterai dengan elektrolit padat berbasis tepung tapioka dan serbuk kulit udang air laut sebagai sumber ion. PPSDP Undergraduate Journal of Educational Sciences, 2(2), 521–530.

Zumdahl, S. S., Zumdahl, S. A., & DeCoste, D. J. (2021). Chemistry: An atoms first approach (3rd ed.). Cengage Learning.