

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian mengenai pengaruh fermentasi dan penambahan magnesium sulfat (MgSO_4) terhadap kinerja bio-baterai berbasis sari jeruk nipis (*Citrus aurantiifolia*). Pengujian dilakukan beberapa parameter, yaitu pH, konduktivitas, tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan dari setiap perlakuan. Data yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik serta dianalisis untuk mengetahui pengaruh fermentasi dan penambahan MgSO_4 terhadap performa bio-baterai. Pembahasan difokuskan pada perubahan nilai pH dan konduktivitas larutan elektrolit serta hubungannya dengan tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan oleh bio-baterai.

Larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sari jeruk nipis yang telah difermentasi dan ditambahkan magnesium sulfat (MgSO_4) sesuai dengan variasi perlakuan yang telah ditentukan. Larutan tersebut berfungsi sebagai media penghantar ion dalam sistem bio-baterai sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan muatan antara elektroda seng (Zn) dan tembaga (Cu). Adapun larutan elektrolit yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4. 1 Larutan Elektrolit

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan adanya pengaruh fermentasi sari jeruk nipis dan penambahan magnesium sulfat (MgSO_4) terhadap karakteristik elektrolit dan kinerja bio-baterai. Data hasil pengujian yang meliputi nilai pH, konduktivitas, tegangan, arus, dan daya listrik disajikan pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.4

Tabel 4.1 Data Larutan Elektrolit Sari Jeruk Nipis Murni

Sampel	pH murni	pH Fermentasi	Konduktivitas (Ms/cm)	Tegangan (V)	Arus (mA)
Sari Jeruk Nipis Murni	3	2	4,685	2,91	4,75

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran pH dan Konduktivitas Elektrolit pada Variasi Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4

No	Volume Sari Jeruk Nipis (ml)	Waktu Fermentasi (Hari)	Volume MgSO_4 (ml)	pH Fermentasi + MgSO_4	Konduktivitas (Ms/cm)
1.	200 ml	0	25	3	6,850
2.		3		3	7,580
3.		4		3	8,130
4.		5		3	8,740
5.		6		3	9,520
6.		7		3	8,960
7.		0	50	3	7,420
8.		3		3	8,240
9.		4		3	8,950
10.		5		3	9,680
11.		6		3	10,87
12.		7		3	10,20
13.		0	75	3	8,160
14.		3		3	8,940
15.		4		3	9,780
16.		5		3	10,56
17.		6		3	12,28
18.		7		3	11,31

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tegangan, Arus, dan Daya Bio-Baterai pada Variasi Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4 .

No	Volume Sari Jeruk Nipis (ml)	Waktu Fermentasi (Hari)	Volume MgSO_4 (ml)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1.	200 ml	0	25	4,32	12,84	55,47
2.		3		5,18	14,95	77,44
3.		4		5,94	16,02	95,16
4.		5		6,83	17,15	117,13
5.		6		8,15	18,62	151,75
6.		7		7,46	17,54	130,85
7.		0	50	4,85	13,75	66,69
8.		3		5,92	15,82	93,65
9.		4		6,72	16,98	109,40
10.		5		7,59	18,25	138,52
11.		6		9,84	19,34	190,31
12.		7		8,72	18,21	158,79
13.		0	75	5,47	14,62	79,98
14.		3		6,48	16,74	108,48
15.		4		7,21	17,86	128,77
16.		5		8,32	18,93	157,50
17.		6		12,17	20,17	245,67
18.		7		10,36	19,08	197,67

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Nyala Lampu LED Bio-Baterai pada Variasi Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4

No	Volume Sari Jeruk Nipis (ml)	Waktu Fermentasi (Hari)	Volume MgSO_4 (ml)	Nyala Lampu		Durasi Nyala (Menit)
				Terang	Redup	
1.	200 ml	0	25		√	120
2.		3		√		155
3.		4		√		195
4.		5		√		240
5.		6		√		305
6.		7		√		263
7.		0	50		√	131
8.		3		√		189
9.		4		√		225
10.		5		√		278
11.		6		√		318
12.		7		√		320
13.		0	75	√		160
14.		3		√		223
15.		4		√		255
16.		5		√		315
17.		6		√		410
18.		7		√		356

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4 terhadap pH Elektrolit

Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui perubahan tingkat keasaman larutan elektrolit akibat proses fermentasi dan penambahan magnesium sulfat (MgSO_4). Berdasarkan hasil pengujian, pH sari jeruk nipis sebelum fermentasi sebesar 3, kemudian menurun menjadi 2 setelah proses fermentasi. Setelah penambahan MgSO_4 pada seluruh variasi perlakuan, nilai pH kembali meningkat menjadi sekitar 3. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa fermentasi dan penambahan MgSO_4 memberikan pengaruh terhadap karakteristik kimia larutan elektrolit.

Penurunan pH selama fermentasi terjadi karena fermentasi berlangsung secara spontan melalui aktivitas mikroorganisme indigenous yang secara alami terdapat pada permukaan buah jeruk nipis. Mikroorganisme tersebut memanfaatkan gula dan senyawa organik sebagai substrat, kemudian

menghasilkan berbagai metabolit berupa asam organik, seperti asam laktat dan asam asetat. Akumulasi asam organik menyebabkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam larutan meningkat sehingga nilai pH menurun. Semakin tinggi konsentrasi ion H^+ , semakin tinggi pula tingkat keasaman larutan. Hasil ini sejalan dengan dkk. (2024) yang melaporkan bahwa fermentasi spontan pada buah menghasilkan berbagai asam organik yang menyebabkan penurunan pH selama proses fermentasi berlangsung.

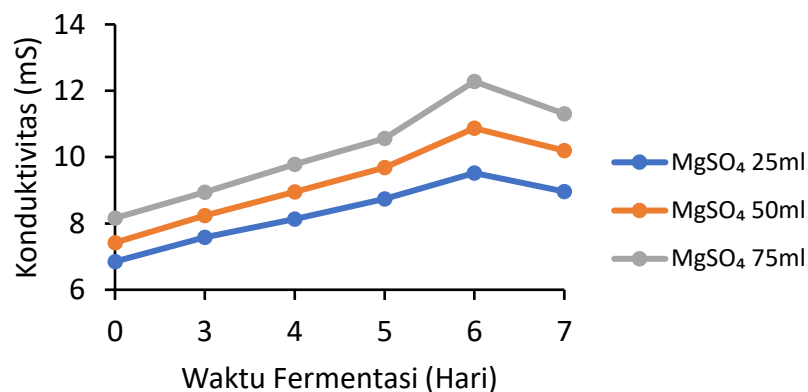
Setelah penambahan $MgSO_4$, nilai pH meningkat kembali menjadi sekitar 3. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan $MgSO_4$ memengaruhi keseimbangan ion di dalam larutan sehingga tingkat keasaman menjadi lebih stabil. Walaupun pH meningkat, larutan tetap memiliki jumlah ion yang cukup untuk mendukung proses elektrokimia karena ion Mg^{2+} dan SO_4^{2-} yang berasal dari $MgSO_4$ turut berperan sebagai penghantar muatan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan pH tidak selalu berbanding lurus dengan kemampuan larutan dalam menghantarkan listrik, karena karakteristik elektrolit juga dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi ion yang terdapat di dalam larutan. Temuan ini didukung oleh Sarah dkk. (2024) yang menyatakan bahwa nilai pH dan komposisi ion dalam elektrolit secara bersama-sama memengaruhi karakteristik bio-baterai.

Perubahan pH yang terjadi selama penelitian menunjukkan bahwa fermentasi berperan dalam meningkatkan keasaman larutan melalui pembentukan asam organik, sedangkan penambahan $MgSO_4$ membantu menstabilkan kondisi larutan tanpa menghilangkan kemampuan elektrolit untuk menghantarkan ion. Dengan demikian, kombinasi fermentasi dan penambahan $MgSO_4$ menghasilkan karakteristik elektrolit yang sesuai untuk mendukung proses reaksi elektrokimia pada bio-baterai berbasis sari jeruk nipis.

4.2.2 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume $MgSO_4$ terhadap Konduktivitas Elektrolit

Pengukuran konduktivitas elektrolit dilakukan untuk mengetahui kemampuan larutan sari jeruk nipis hasil fermentasi dalam menghantarkan arus listrik setelah penambahan $MgSO_4$. Nilai konduktivitas merupakan salah satu parameter penting dalam bio-baterai karena menunjukkan banyaknya ion yang tersedia dalam larutan elektrolit. Semakin tinggi nilai konduktivitas, maka

semakin baik kemampuan larutan dalam menghantarkan arus listrik. Hasil pengukuran konduktivitas pada berbagai variasi waktu fermentasi dan volume MgSO_4 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Fermentasi dan volume MgSO_4 Terhadap Konduktivitas Elektrolit

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa nilai konduktivitas cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu fermentasi dan volume MgSO_4 yang digunakan. Nilai konduktivitas tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-6 dengan penambahan MgSO_4 sebanyak 75 mL yaitu sebesar 12,28 mS/cm. Sementara itu, nilai konduktivitas terendah 6,850 mS/cm. diperoleh pada kontrol (hari ke-0) dengan volume MgSO_4 25 mL.

Peningkatan konduktivitas yang terjadi menunjukkan bahwa proses fermentasi mampu meningkatkan jumlah ion yang terdapat dalam larutan elektrolit. Selama fermentasi berlangsung, senyawa organik dalam sari jeruk nipis mengalami penguraian sehingga menghasilkan ion-ion yang dapat menghantarkan listrik. Selain itu, penambahan MgSO_4 juga menyumbangkan ion Mg^{2+} dan SO_4^{2-} yang turut meningkatkan daya hantar listrik larutan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Bramantio dkk. (2025) yang melaporkan bahwa penambahan garam elektrolit pada bio-baterai berbasis buah mampu meningkatkan tegangan listrik melalui peningkatan jumlah ion aktif di dalam elektrolit.

Namun, pada fermentasi hari ke-7 terjadi penurunan nilai konduktivitas pada seluruh variasi volume MgSO_4 . Nilai konduktivitas pada volume MgSO_4 75 mL menurun dari 12,28 mS/cm menjadi 11,31 mS/cm. Penurunan ini diduga

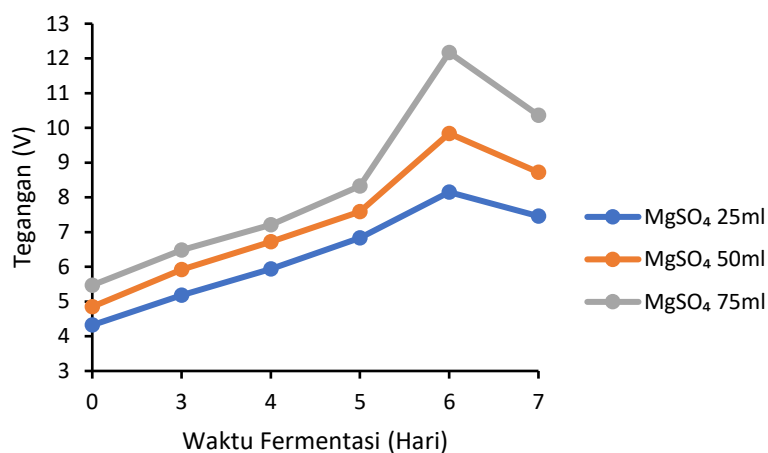
karena proses fermentasi telah melewati kondisi optimum sehingga pembentukan ion dalam larutan mulai berkurang. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Pinem dkk. (2025) yang menyatakan bahwa waktu fermentasi yang melebihi kondisi optimum dapat menurunkan performa bio-baterai akibat menurunnya aktivitas metabolisme mikroorganisme.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian dengan penelitian Mauliza dan Afrida (2024) bahwa lama fermentasi berpengaruh terhadap sifat kelistrikan bio-baterai berbahan ekstrak buah. Selama fermentasi berlangsung terjadi perubahan karakteristik elektrolit akibat terbentuknya ion-ion terlarut yang dapat meningkatkan kemampuan larutan dalam menghantarkan arus listrik. Peningkatan jumlah ion tersebut menyebabkan nilai konduktivitas meningkat hingga mencapai kondisi optimum. Namun, setelah melewati kondisi optimum, nilai konduktivitas cenderung menurun karena aktivitas fermentasi tidak lagi menghasilkan ion secara maksimal. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian ini, dimana nilai konduktivitas meningkat dari hari ke-0 hingga hari ke-6 dan kemudian mengalami penurunan pada hari ke-7.

Peningkatan nilai konduktivitas dari hari ke-0 hingga hari ke-6 menunjukkan bahwa proses fermentasi berpengaruh terhadap karakteristik larutan elektrolit. Selama fermentasi terjadi penguraian senyawa organik yang menghasilkan ion-ion terlarut sehingga kemampuan larutan dalam menghantarkan listrik meningkat. Dengan demikian, proses fermentasi sari jeruk nipis terbukti mampu meningkatkan karakteristik elektrolit yang ditunjukkan melalui peningkatan nilai konduktivitas.

4.2.3 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4 terhadap Tegangan

Pengukuran tegangan dilakukan untuk mengetahui besar beda potensial listrik yang dihasilkan oleh bio-baterai dari sari jeruk nipis terfermentasi dengan penambahan MgSO_4 . Tegangan merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kinerja bio-baterai karena berkaitan dengan kemampuan larutan elektrolit dalam mendukung terjadinya reaksi *redoks* antara elektroda. Hasil pengukuran tegangan pada berbagai variasi waktu fermentasi dan volume MgSO_4 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume MgSO₄ terhadap Tegangan Bio-Baterai

Berdasarkan Gambar 4.3 terlihat bahwa nilai tegangan bio-baterai cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu fermentasi dan volume MgSO₄. Tegangan tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-6 dengan penambahan MgSO₄ sebanyak 75 mL yaitu sebesar 12,17 V. Sementara itu, tegangan terendah diperoleh pada kontrol (hari ke-0) dengan volume MgSO₄ 25 mL yaitu sebesar 4,34 V.

Peningkatan arus listrik dipengaruhi oleh perubahan karakteristik elektrolit selama fermentasi spontan. Pada proses ini, mikroorganisme indigenous yang secara alami terdapat pada permukaan jeruk nipis memanfaatkan senyawa organik sebagai substrat dan menghasilkan berbagai metabolit berupa asam organik. Pembentukan asam organik meningkatkan jumlah ion H⁺ di dalam larutan, sedangkan penambahan MgSO₄ menyumbangkan ion Mg²⁺ dan SO₄²⁻ sehingga jumlah pembawa muatan menjadi semakin besar. Meningkatnya konsentrasi dan mobilitas ion tersebut menyebabkan perpindahan ion di dalam elektrolit berlangsung lebih efektif sehingga arus listrik yang dihasilkan bio-baterai ikut meningkat. Hal ini sesuai dengan Kalikin dan Budkov (2024) yang menjelaskan bahwa konduktivitas listrik larutan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi, mobilitas, dan interaksi antarion di dalam elektrolit, sehingga peningkatan jumlah ion akan meningkatkan kemampuan larutan dalam menghantarkan arus listrik.

Arus listrik terus meningkat hingga fermentasi hari ke-6, kemudian mengalami penurunan pada hari ke-7. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa fermentasi telah melewati fase optimum sehingga aktivitas metabolisme mikroorganisme mulai menurun akibat berkurangnya nutrisi dan meningkatnya akumulasi produk metabolisme. Penurunan aktivitas mikroorganisme menyebabkan pembentukan ion-ion baru tidak lagi berlangsung secara maksimal, sehingga kemampuan elektrolit dalam menghantarkan muatan ikut menurun. Fenomena tersebut sejalan dengan Koumeir dkk (2024) yang menyatakan bahwa efektivitas sistem elektrokimia sangat dipengaruhi oleh karakteristik elektrolit, terutama ketersediaan ion yang berperan dalam proses transfer muatan.

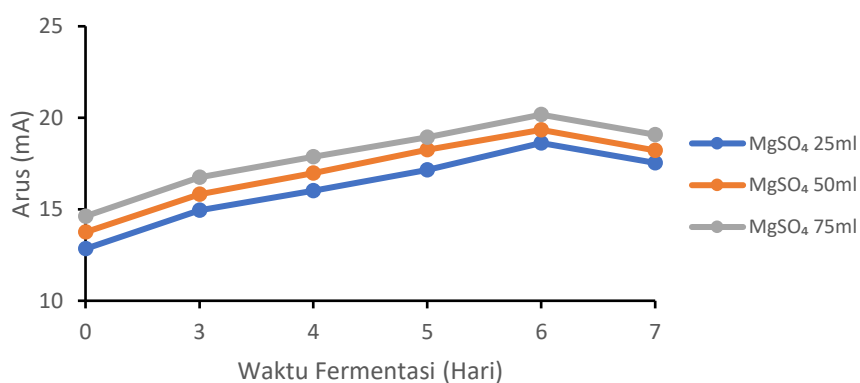
Apabila dibandingkan berdasarkan volume MgSO_4 , penambahan sebanyak 75 mL menghasilkan arus listrik yang lebih tinggi dibandingkan volume 25 mL dan 50 mL pada seluruh variasi waktu fermentasi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar volume MgSO_4 yang ditambahkan, semakin banyak ion Mg^{2+} dan SO_4^{2-} yang tersedia sebagai pembawa muatan sehingga hambatan internal sistem berkurang dan perpindahan elektron berlangsung lebih efektif. Hasil tersebut didukung oleh Suriana dkk. (2025) yang melaporkan bahwa peningkatan jumlah ion pada elektrolit berbasis biomassa berkontribusi terhadap peningkatan performa bio-baterai melalui proses transfer muatan yang lebih efisien. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa fermentasi selama 6 hari dengan penambahan MgSO_4 sebanyak 75 mL merupakan kondisi optimum dalam menghasilkan arus listrik bio-baterai. Kombinasi tersebut menghasilkan karakteristik elektrolit yang mampu mendukung perpindahan ion secara efektif sehingga arus listrik yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

4.2.4 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4 terhadap Arus

Pengukuran arus listrik dilakukan untuk mengetahui jumlah muatan listrik yang mengalir pada rangkaian bio-baterai. Nilai arus merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan kemampuan bio-baterai menghasilkan energi listrik. Semakin besar nilai arus yang dihasilkan, maka semakin baik kemampuan bio-baterai dalam mengalirkan elektron melalui rangkaian. Hasil

pengukuran arus pada berbagai variasi waktu fermentasi dan volume MgSO_4 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.4.

Berdasarkan Gambar 4.4 terlihat bahwa nilai arus bio-baterai cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu fermentasi dan volume MgSO_4 . Arus tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-6 dengan penambahan MgSO_4 sebanyak 75 mL yaitu sebesar 20,17 mA. Sementara itu, arus terendah diperoleh pada kontrol (hari ke-0) dengan volume MgSO_4 25 mL yaitu sebesar 12,84 mA. Peningkatan arus ini menunjukkan bahwa proses fermentasi dan penambahan MgSO_4 mampu meningkatkan kemampuan larutan elektrolit dalam menghantarkan muatan listrik.



Gambar 4.4 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4 terhadap Arus Bio-Baterai

Meningkatnya nilai arus diduga berkaitan dengan bertambahnya jumlah ion yang terbentuk selama proses fermentasi. Semakin banyak ion yang tersedia dalam larutan, maka perpindahan muatan listrik antar elektroda menjadi lebih mudah sehingga arus yang dihasilkan semakin besar. Selain itu, penambahan MgSO_4 juga menyumbangkan ion Mg^{2+} dan SO_4^{2-} yang dapat meningkatkan daya hantar listrik larutan. Kondisi ini sejalan dengan hasil pengukuran konduktivitas yang menunjukkan peningkatan hingga hari ke-6 pada seluruh variasi volume MgSO_4 .

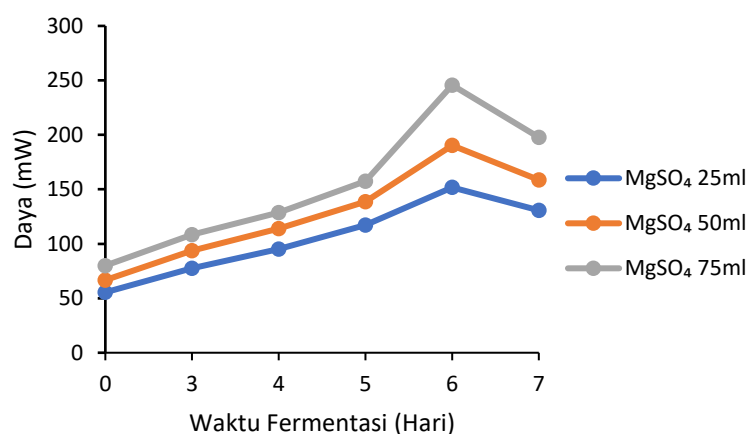
Namun, pada fermentasi hari ke-7 nilai arus mengalami penurunan pada seluruh variasi volume MgSO_4 . Pada volume MgSO_4 75 ml misalnya, arus menurun dari 20,17 mA menjadi 19,08 mA. Penurunan ini diduga karena proses fermentasi telah melewati kondisi optimum sehingga jumlah ion aktif yang

berperan dalam reaksi elektrokimia mulai berkurang. Akibatnya, kemampuan larutan dalam menghantarkan arus listrik juga menurun.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian mengenai bio-baterai berbasis buah mengkudu yang melaporkan bahwa peningkatan waktu fermentasi dapat meningkatkan arus listrik yang dihasilkan hingga mencapai kondisi optimum tertentu. Setelah melewati kondisi optimum, peningkatan performa bio-baterai tidak lagi signifikan karena perubahan kondisi elektrolit selama fermentasi. Selain itu, penelitian Sulistyowati dkk. (2025) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah ion dalam elektrolit dapat meningkatkan arus dan tegangan bio-baterai, sedangkan peningkatan hambatan elektrolit menyebabkan performa listrik menurun.

4.2.5 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4 terhadap Daya

Daya listrik merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kemampuan bio-baterai dalam menghasilkan energi listrik. Nilai daya diperoleh dari hasil perkalian antara tegangan dan arus listrik yang dihasilkan pada setiap perlakuan. Semakin besar nilai daya yang dihasilkan, maka semakin baik kinerja bio-baterai dalam menghasilkan energi listrik. Hasil pengukuran daya pada berbagai variasi waktu fermentasi dan volume MgSO_4 disajikan dalam bentuk grafik untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap daya yang dihasilkan. Dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume MgSO_4 terhadap Daya Bio-Baterai

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa nilai daya bio-baterai mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu fermentasi dan volume MgSO_4 . Daya

tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-6 dengan penambahan MgSO_4 sebanyak 75 mL yaitu sebesar 245,67 mW. Sedangkan daya terendah diperoleh pada kontrol (hari ke-0) dengan volume MgSO_4 25 mL yaitu sebesar 55,75 mW. Peningkatan daya ini menunjukkan bahwa proses fermentasi dan penambahan MgSO_4 mampu meningkatkan kemampuan bio-baterai dalam menghasilkan energi listrik.

Meningkatnya nilai daya dipengaruhi oleh peningkatan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan pada setiap perlakuan. Semakin besar tegangan dan arus yang dihasilkan, maka nilai daya yang diperoleh juga akan semakin besar. Pada penelitian ini, peningkatan daya terjadi seiring dengan meningkatnya konduktivitas elektrolit, yang menunjukkan bahwa semakin banyak ion yang tersedia dalam larutan untuk mendukung proses perpindahan muatan listrik antar elektroda.

Nilai daya tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-6 dengan volume MgSO_4 75 mL. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada perlakuan tersebut proses fermentasi dan penambahan MgSO_4 menghasilkan jumlah ion yang cukup untuk mendukung reaksi elektrokimia secara optimal. Namun, pada fermentasi hari ke-7 nilai daya mengalami penurunan pada seluruh variasi volume MgSO_4 . Sebagai contoh, pada volume MgSO_4 75 mL nilai daya menurun dari 245,67 mW menjadi 197,67 mW. Penurunan ini diduga terjadi karena kondisi fermentasi telah melewati titik optimum sehingga jumlah ion aktif yang berperan dalam reaksi elektrokimia mulai berkurang.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Aprilia dkk. (2025) yang melaporkan bahwa peningkatan konduktivitas elektrolit dapat meningkatkan nilai tegangan dan arus sehingga daya listrik yang dihasilkan bio-baterai menjadi lebih besar. Selain itu, penelitian Sulistyowati dkk. (2025) juga menunjukkan bahwa performa daya bio-baterai sangat dipengaruhi oleh kemampuan larutan elektrolit dalam menghantarkan ion selama proses reaksi elektrokimia. Dengan demikian, semakin tinggi nilai konduktivitas, tegangan, dan arus yang dihasilkan, maka semakin besar pula daya listrik yang dapat dihasilkan oleh bio-baterai.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi fermentasi dan penambahan MgSO_4 mampu meningkatkan kinerja bio-baterai yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai konduktivitas, tegangan, arus, dan daya. Peningkatan tersebut mengindikasikan bertambahnya jumlah ion yang berperan dalam proses penghantaran listrik. Dengan demikian, kombinasi fermentasi dan MgSO_4 memberikan performa yang lebih baik dibandingkan penggunaan sari jeruk nipis tanpa perlakuan.