

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Kondisi lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Kesehatan Lingkungan serta workshop Jurusan Kesehatan Lingkungan. Laboratorium Mikrobiologi dimanfaatkan sebagai tempat pelaksanaan pengukuran dan pengamatan parameter fisikokimia *eco enzyme*, seperti pengukuran warna, aroma, pH, dan tingkat kekeruhan. Laboratorium memiliki kondisi ruangan ber-AC dengan suhu 26°C sehingga mendukung pelaksanaan pengukuran secara stabil dan terkendali. Sementara itu, workshop Jurusan Kesehatan Lingkungan digunakan sebagai lokasi pembuatan, fermentasi, dan penyimpanan sampel *eco enzyme* selama penelitian berlangsung. Ruangan workshop memiliki sirkulasi udara yang baik dengan suhu 30°C serta tidak terpapar langsung oleh sinar matahari sehingga mendukung proses fermentasi sampel.

Penelitian pembuatan *eco enzyme* dilakukan pada tanggal 30 Januari 2026 di workshop Jurusan Kesehatan Lingkungan dengan perbandingan gula, bahan organik, dan air sesuai rancangan penelitian. Selama proses fermentasi berlangsung dilakukan pembuangan gas secara berkala sebagai bagian dari kontrol fermentasi untuk mencegah penumpukan gas hasil aktivitas mikroorganisme di dalam wadah fermentasi. Pembuangan gas dilakukan pada tanggal 2 Februari, 4 Februari, 6 Februari, 2 Maret, dan 30 April 2026. Proses panen *eco enzyme* dilakukan pada tanggal 30 April 2026, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran kualitas

fisikokimia yang meliputi uji organoleptik warna dan aroma serta pengukuran pH dan tingkat kekeruhan.

2. Karakteristik bahan dan perlakuan penelitian

Sampel dalam penelitian ini berupa *eco enzyme* yang dibuat menggunakan beberapa jenis bahan organik, yaitu kulit jeruk, sayuran (kubis dan sawi), serta campuran kulit jeruk dan sayuran. Kulit jeruk diperoleh dari limbah pedagang jeruk peras, sedangkan sayuran berupa kubis dan sawi diperoleh dari sisa pedagang sayur yang masih dapat digunakan dan tidak dalam kondisi busuk. Bahan organik yang digunakan berada dalam kondisi segar dan telah dibersihkan sebelum digunakan dalam proses fermentasi.

Penelitian terdiri atas tiga perlakuan, yaitu *eco enzyme* kulit jeruk, *eco enzyme* sayuran, dan *eco enzyme* campuran kulit jeruk serta sayuran. Masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali replikasi dengan komposisi gula, bahan organik, dan air sebesar 1:3:10 serta difermentasikan selama 3 bulan. Perbedaan antar sampel penelitian terletak pada jenis bahan organik yang digunakan selama proses fermentasi. Selama proses fermentasi berlangsung, pada seluruh replikasi ditemukan adanya lapisan jamur putih pada permukaan *eco enzyme*. Jamur putih tersebut merupakan mikroorganisme yang umum muncul selama proses fermentasi dan menunjukkan aktivitas fermentasi masih berlangsung dengan baik serta tidak terjadi pembusukan pada sampel *eco enzyme*.

Karakteristik yang diamati meliputi parameter fisikokimia, yaitu warna, aroma, pH, dan tingkat kekeruhan *eco enzyme*. Pengamatan dilakukan setelah proses fermentasi selesai dan *eco enzyme* dipanen. Parameter pH diukur

menggunakan pH meter, parameter kekeruhan diukur menggunakan turbidimeter, sedangkan warna dan aroma diamati melalui uji organoleptik oleh panelis.

3. Hasil pengamatan berdasarkan variabel penelitian

Tabel 2
Hasil Pengukuran Warna *Eco Enzyme*

Replikasi	Panelis	Hasil Pengukuran Warna		
		Kulit Jeruk	Sayuran	Campuran
1	P1	2	2	3
	P2	1	2	3
	P3	1	2	2
	P4	1	2	3
	P5	1	2	2
	P6	1	2	3
2	P1	2	1	3
	P2	2	1	3
	P3	1	1	2
	P4	1	2	3
	P5	2	3	3
	P6	2	1	3
3	P1	2	1	2
	P2	2	1	2
	P3	2	1	3
	P4	2	1	3
	P5	3	1	2
	P6	2	2	2
Total		30	28	47
Rata-rata		1,67	1,56	2,61

Keterangan :

1 = Kuning

2 = Coklat kekuningan

3 = Coklat muda

4 = Coklat tua

Berdasarkan Tabel 2 di atas *eco enzyme* kulit jeruk dan sayuran cenderung memiliki warna coklat kekuningan, sedangkan *eco enzyme* campuran kulit jeruk dan sayuran cenderung berwarna coklat muda dengan rata-rata skor tertinggi sebesar 2,61.

Tabel 3
Hasil Pengukuran Aroma *Eco Enzyme*

Replikasi	Panelis	Hasil Pengukuran Aroma		
		Kulit Jeruk	Sayuran	Campuran
1	P1	3	3	4
	P2	4	3	2
	P3	3	2	3
	P4	3	1	2
	P5	3	2	3
	P6	4	2	3
2	P1	4	3	4
	P2	3	3	2
	P3	4	2	3
	P4	4	3	4
	P5	4	3	4
	P6	3	2	3
3	P1	1	3	2
	P2	3	2	4
	P3	4	2	4
	P4	3	2	3
	P5	3	2	4
	P6	3	3	3
Total		59	43	57
Rata-rata		3,28	2,39	3,17

Keterangan :

1 = Busuk menyengat

2 = Asam tajam kurang sedap

3 = Asam ringan

4 = Asam segar

Berdasarkan Tabel 3 di atas *eco enzyme* kulit jeruk memiliki rata-rata skor aroma tertinggi sebesar 3,28 dengan aroma cenderung asam segar. *Eco enzyme* campuran memiliki rata-rata skor 3,17 dengan aroma asam ringan, sedangkan *eco enzyme* sayuran memiliki rata-rata skor terendah sebesar 2,39 dengan aroma cenderung asam tajam kurang sedap.

Tabel 4
Hasil Pengukuran pH *Eco Enzyme*

Replikasi	Pengukuran	Hasil Pengukuran pH		
		Kulit Jeruk	Sayuran	Campuran
1	P1	2,07	2,48	2,28
	P2	2,05	2,49	2,18
	P3	1,97	2,46	2,12
	P4	2,03	2,39	2,06
	P5	1,98	2,45	2,18
	P6	1,97	2,44	2,08
2	P1	2,11	2,62	2,18
	P2	2,03	2,46	2,14
	P3	1,99	2,54	2,09
	P4	2,02	2,52	2,01
	P5	2,11	2,42	2,04
	P6	2,06	2,37	2,06
3	P1	2,48	2,50	2,19
	P2	2,23	2,52	2,15
	P3	2,20	2,36	2,03
	P4	2,23	2,37	2,04
	P5	2,18	2,35	2,07
	P6	2,20	2,37	2,09
Total		37,91	44,11	37,99
Rata-rata		2,11	2,45	2,11

Berdasarkan Tabel 4 di atas *eco enzyme* berbahan sayuran memiliki rata-rata pH tertinggi sebesar 2,45, sedangkan *eco enzyme* kulit jeruk dan campuran memiliki rata-rata pH yang sama yaitu 2,11. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memiliki nilai pH di bawah 4 sehingga menunjukkan kondisi larutan bersifat asam. Nilai pH terendah terdapat pada *eco enzyme* kulit jeruk sebesar 1,97 dan tertinggi pada *eco enzyme* sayuran sebesar 2,62.

Tabel 5
Hasil Pengukuran Kekeruhan *Eco Enzyme*

Replikasi	Pengukuran	Hasil Pengukuran Kekeruhan (NTU)		
		Kulit Jeruk	Sayuran	Campuran
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	P1	422	1000	744
	P2	424	1000	718
	P3	424	1000	715
	P4	424	1000	701
	P5	408	1000	724
	P6	409	1000	708

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2	P1	410	698	737
	P2	349	773	798
	P3	411	860	882
	P4	460	1000	1000
	P5	548	1000	1000
	P6	528	1000	973
3	P1	639	781	562
	P2	581	768	593
	P3	562	880	609
	P4	695	980	645
	P5	838	1000	692
	P6	804	945	711
Total		9336	16685	13512
Rata-rata		518,67	926,94	750,67

Berdasarkan Tabel 5 di atas *eco enzyme* berbahan sayuran memiliki rata-rata tingkat kekeruhan tertinggi sebesar 926,94 NTU, sedangkan *eco enzyme* berbahan kulit jeruk memiliki rata-rata tingkat kekeruhan terendah sebesar 518,67 NTU. *Eco enzyme* campuran kulit jeruk dan sayuran memiliki rata-rata tingkat kekeruhan sebesar 750,67 NTU. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan tingkat kekeruhan pada masing-masing perlakuan bahan organik.

4. Hasil analisis data

a. Analisis warna

Perbedaan jenis bahan organik terhadap kualitas fisikokimia *eco enzyme* dilakukan dengan Statistik Uji Beda. Untuk parameter warna *eco enzyme* yang diperoleh melalui penilaian organoleptik dan dinyatakan dalam skala ordinal dianalisis menggunakan uji non-parametrik Kruskal–Wallis untuk mengetahui perbedaan jenis bahan organik terhadap kualitas fisikokimia *eco enzyme*. Hasil analisis dapat dilihat seperti tabel 6.

Tabel 6
Hasil Uji Kruskal Wallis Parameter Warna *Eco Enzyme*

Perlakuan	N	Mean Rank	Chi-Square	df	Asymp.Sig	Keterangan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk	18	22,08	21,997	2	0,000	Ada perbedaan signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Sayuran	18	19,81				
<i>Eco Enzyme</i> Campuran	18	40,61				

Berdasarkan hasil uji Kruskal Wallis diperoleh nilai Asymp. Sig sebesar 0,000 ($p < 0,05$), sehingga terdapat perbedaan signifikan warna *eco enzyme* berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan. Nilai mean rank tertinggi terdapat pada perlakuan *eco enzyme* campuran, yang menunjukkan bahwa perlakuan tersebut memiliki penilaian warna lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya.

Tabel 7
Hasil Uji Lanjut Mann Whitney Parameter Warna *Eco Enzyme*

Perbandingan Perlakuan	Asymp. Sig	Keterangan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk - Sayuran	0,544	Tidak berbeda signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk - Campuran	0,000	Berbeda signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Sayuran - Campuran	0,000	Berbeda signifikan

Berdasarkan hasil uji lanjut Mann Whitney diketahui bahwa perlakuan *eco enzyme* kulit jeruk dan sayuran tidak menunjukkan perbedaan signifikan dengan nilai Asymp. Sig sebesar 0,544 ($p > 0,05$). Namun, perlakuan kulit jeruk dan campuran serta perlakuan sayuran dan campuran menunjukkan perbedaan signifikan dengan nilai Asymp. Sig masing-masing sebesar 0,000 dan 0,000 ($p < 0,05$).

b. Analisis aroma

Analisis terhadap parameter aroma dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis bahan organik terhadap kualitas fisikokimia *eco enzyme*. Data

aroma diperoleh dari hasil penilaian organoleptik panelis dengan skala ordinal, sehingga pengujian statistik menggunakan uji non-parametrik Kruskal–Wallis. Uji tersebut digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan aroma *eco enzyme* pada masing-masing perlakuan. Hasil analisis disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8
Hasil Uji Kruskal Wallis Parameter Aroma *Eco Enzyme*

Perlakuan	N	Mean Rank	Chi-Square	df	Asymp.Sig	Keterangan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk	18	34,11	14,073	2	0,001	Ada perbedaan signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Sayuran	18	17,03				
<i>Eco Enzyme</i> Campuran	18	31,36				

Berdasarkan hasil uji Kruskal Wallis pada parameter aroma diperoleh nilai Asymp. Sig sebesar 0,001 ($p < 0,05$), sehingga terdapat perbedaan signifikan aroma *eco enzyme* berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan. Nilai mean rank tertinggi terdapat pada perlakuan *eco enzyme* kulit jeruk sebesar 34,11, diikuti *eco enzyme* campuran sebesar 31,36, sedangkan mean rank terendah terdapat pada *eco enzyme* sayuran sebesar 17,03. Hal ini menunjukkan bahwa *eco enzyme* kulit jeruk memiliki penilaian aroma yang lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya.

Tabel 9
Hasil Uji Lanjut Mann Whitney Parameter Aroma *Eco Enzyme*

Perbandingan Perlakuan	Asymp. Sig	Keterangan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk - Sayuran	0,000	Berbeda signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk - Campuran	0,616	Tidak berbeda signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Sayuran - Campuran	0,004	Berbeda signifikan

Hasil uji lanjut Mann Whitney menunjukkan bahwa perlakuan *eco enzyme* kulit jeruk dengan sayuran serta sayuran dengan campuran memiliki perbedaan

signifikan ($p < 0,05$). Sementara itu, perlakuan *eco enzyme* kulit jeruk dengan campuran tidak menunjukkan perbedaan signifikan ($p > 0,05$).

c. Analisis pH

Analisis terhadap parameter pH dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis bahan organik terhadap kualitas fisikokimia *eco enzyme*. Data pH diperoleh melalui pengukuran menggunakan pH meter dan termasuk data berskala interval.

Sebelum dilakukan uji beda, data terlebih dahulu diuji normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Hasil uji normalitas menunjukkan nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,010 ($p < 0,05$), sehingga data tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, analisis dilanjutkan menggunakan uji non-parametrik Kruskal–Wallis untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan nilai pH pada masing-masing perlakuan. Hasil analisis disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10
Hasil Uji Kruskal Wallis Parameter pH *Eco Enzyme*

Perlakuan	N	Mean Rank	Chi-Square	df	Asymp.Sig	Keterangan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk	18	17,92	33,040	2	0,000	Ada perbedaan signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Sayuran	18	44,86				
<i>Eco Enzyme</i> Campuran	18	19,72				

Berdasarkan hasil uji Kruskal Wallis pada parameter pH diperoleh nilai Asymp. Sig sebesar 0,000 ($p < 0,05$), sehingga terdapat perbedaan signifikan nilai pH *eco enzyme* berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan. Nilai mean rank tertinggi terdapat pada perlakuan *eco enzyme* sayuran sebesar 44,86, sedangkan *eco enzyme* kulit jeruk dan campuran memiliki mean rank yang lebih rendah. Hal

ini menunjukkan bahwa *eco enzyme* sayuran memiliki karakteristik pH yang berbeda dibandingkan perlakuan lainnya.

Tabel 11
Hasil Uji Lanjut Mann Whitney Parameter pH *Eco Enzyme*

Perbandingan Perlakuan	Asymp. Sig	Keterangan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk - Sayuran	0,000	Berbeda signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk - Campuran	0,486	Tidak berbeda signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Sayuran - Campuran	0,000	Berbeda signifikan

Hasil uji lanjut Mann Whitney menunjukkan bahwa perlakuan *eco enzyme* kulit jeruk dengan sayuran serta sayuran dengan campuran memiliki perbedaan signifikan ($p < 0,05$). Sementara itu, perlakuan *eco enzyme* kulit jeruk dengan campuran tidak menunjukkan perbedaan signifikan ($p > 0,05$).

d. Analisis kekeruhan

Analisis terhadap parameter kekeruhan dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis bahan organik terhadap kualitas fisikokimia *eco enzyme*. Data kekeruhan diperoleh melalui pengukuran menggunakan turbidimeter dan termasuk data berskala rasio. Sebelum dilakukan uji beda, data terlebih dahulu diuji normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Hasil uji normalitas menunjukkan nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,018 ($p < 0,05$), sehingga data tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, analisis dilanjutkan menggunakan uji non-parametrik Kruskal–Wallis untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan tingkat kekeruhan pada masing-masing perlakuan. Hasil analisis disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12
Hasil Uji Kruskal Wallis Parameter Kekeruhan *Eco Enzyme*

Perlakuan	N	Mean Rank	Chi-Square	df	Asymp.Sig	Keterangan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk	18	12,03	33,587	2	0,000	Ada perbedaan signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Sayuran	18	42,22				
<i>Eco Enzyme</i> Campuran	18	28,25				

Berdasarkan hasil uji Kruskal Wallis pada parameter kekeruhan diperoleh nilai Asymp. Sig sebesar 0,000 ($p < 0,05$), sehingga terdapat perbedaan signifikan tingkat kekeruhan *eco enzyme* berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan. Nilai mean rank tertinggi terdapat pada perlakuan *eco enzyme* sayuran sebesar 42,22, diikuti *eco enzyme* campuran sebesar 28,25, dan *eco enzyme* kulit jeruk sebesar 12,03. Hal ini menunjukkan bahwa *eco enzyme* sayuran memiliki tingkat kekeruhan yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

Tabel 13
Hasil Uji Lanjut Mann Whitney Parameter Kekeruhan *Eco Enzyme*

Perbandingan Perlakuan	Asymp. Sig	Keterangan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk - Sayuran	0,000	Berbeda signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Kulit Jeruk - Campuran	0,000	Berbeda signifikan
<i>Eco Enzyme</i> Sayuran - Campuran	0,000	Berbeda signifikan

Hasil uji lanjut Mann Whitney menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memiliki perbedaan signifikan pada parameter kekeruhan ($p < 0,05$). Hal ini ditunjukkan oleh nilai Asymp. Sig sebesar 0,000 pada perbandingan *eco enzyme* kulit jeruk dengan sayuran, kulit jeruk dengan campuran, serta sayuran dengan campuran.

B. Pembahasan

1. Kondisi lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi dan workshop Jurusan Kesehatan Lingkungan. Penggunaan laboratorium sebagai tempat pengukuran parameter fisikokimia bertujuan untuk memperoleh hasil pengamatan yang lebih akurat dan terkontrol. Pengukuran parameter seperti pH dan kekeruhan dilakukan menggunakan alat terstandar berupa pH meter dan turbidimeter sehingga dapat mengurangi kemungkinan kesalahan pengukuran. Kondisi laboratorium yang bersih dan terkontrol juga membantu menjaga stabilitas sampel selama proses analisis berlangsung. Menurut penelitian mengenai pengujian kualitas hasil fermentasi, penggunaan alat ukur terstandar sangat penting untuk memperoleh data yang valid dan reliabel pada pengamatan parameter fisikokimia fermentasi (Resty *et al.*, 2023).

Selain itu, laboratorium mikrobiologi memiliki kondisi lingkungan yang lebih terkontrol dengan suhu 26°C membantu menjaga kestabilan dibandingkan lingkungan terbuka sehingga dapat meminimalkan kontaminasi mikroorganisme lain yang dapat memengaruhi hasil penelitian. Kondisi tersebut penting karena proses fermentasi sangat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme. Apabila terjadi kontaminasi, maka proses pembentukan asam organik dan perubahan karakteristik *eco enzyme* dapat berlangsung tidak optimal. Penelitian tentang fermentasi bahan organik menyebutkan bahwa kondisi lingkungan yang terkontrol mendukung pertumbuhan mikroorganisme fermentatif secara lebih stabil selama proses fermentasi berlangsung (Yuliani *et al.*, 2023).

Proses fermentasi *eco enzyme* dilakukan di workshop Jurusan Kesehatan Lingkungan dengan suhu ruang 30°C. Suhu tersebut termasuk dalam rentang suhu optimum bagi aktivitas mikroorganisme fermentatif, terutama bakteri dan khamir yang berperan dalam penguraian bahan organik. Mikroorganisme fermentasi memanfaatkan kandungan gula sebagai sumber energi untuk menghasilkan metabolit berupa asam organik, seperti asam asetat dan asam laktat. Aktivitas mikroorganisme yang optimal akan memengaruhi karakteristik *eco enzyme* yang dihasilkan, seperti penurunan pH, terbentuknya aroma asam khas fermentasi, perubahan warna, dan tingkat kekeruhan larutan.

Menurut penelitian fermentasi asam asetat, suhu sekitar 28–30°C merupakan suhu optimum untuk aktivitas mikroorganisme fermentatif karena pada suhu tersebut enzim mikroba bekerja secara maksimal dalam menguraikan substrat organik. Apabila suhu terlalu rendah, aktivitas mikroorganisme menjadi lambat sehingga proses fermentasi berlangsung lebih lama. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat bahkan merusak sel mikroorganisme sehingga proses fermentasi tidak berlangsung optimal (Yuliani *et al.*, 2023).

Kondisi suhu ruang selama penelitian juga mendukung terbentuknya asam organik yang menyebabkan *eco enzyme* memiliki pH rendah. Nilai pH yang asam menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung dengan baik. Selain memengaruhi pH, aktivitas mikroorganisme selama fermentasi juga menghasilkan senyawa volatil yang memengaruhi aroma serta menyebabkan degradasi senyawa organik yang berpengaruh terhadap perubahan warna dan tingkat kekeruhan *eco enzyme*. Hal tersebut sejalan dengan penelitian *eco enzyme* dari limbah organik yang menyatakan bahwa kondisi fermentasi yang stabil dapat menghasilkan

karakteristik fisikokimia *eco enzyme* yang lebih baik dan homogen (Santosa *et al.*, 2023).

2. Karakteristik bahan dan perlakuan penelitian

Sampel penelitian berupa *eco enzyme* yang dibuat dari tiga jenis bahan organik, yaitu kulit jeruk, sayuran (sawi dan kubis), serta campuran kulit jeruk dan sayuran. Perbedaan jenis bahan organik tersebut memengaruhi karakteristik *eco enzyme* karena setiap bahan memiliki komposisi kimia dan kandungan senyawa organik yang berbeda, sehingga menghasilkan proses fermentasi yang tidak identik.

Kulit jeruk diketahui mengandung asam sitrat, flavonoid, dan minyak atsiri yang berkontribusi terhadap aroma khas serta meningkatkan tingkat keasaman hasil fermentasi. Kandungan tersebut menyebabkan *eco enzyme* berbahan kulit jeruk cenderung memiliki pH lebih rendah dibandingkan bahan lain (Ikarini *et al.*, 2021). Sementara itu, sayuran seperti sawi dan kubis memiliki kandungan air yang tinggi, serat, serta senyawa organik yang mudah terdegradasi selama fermentasi, sehingga dapat menghasilkan partikel tersuspensi lebih banyak yang berpengaruh terhadap tingkat kekeruhan (Novitasari *et al.*, 2024). Campuran bahan buah dan sayuran menghasilkan karakteristik yang merupakan kombinasi dari kedua bahan tersebut, sehingga variasi pH, warna, aroma, dan kekeruhan menjadi lebih kompleks.

Bahan organik tersebut difermentasi dengan penambahan gula dan air, di mana gula berfungsi sebagai sumber energi utama bagi mikroorganisme dalam proses fermentasi. Gula aren digunakan karena mengandung sukrosa, glukosa, dan fruktosa yang mudah dimanfaatkan mikroorganisme untuk menghasilkan asam

organik seperti asam asetat dan asam laktat (Suharto *et al.*, 2021). Air galon digunakan sebagai pelarut karena memiliki kualitas yang lebih stabil dan minim kontaminan sehingga tidak mengganggu aktivitas mikroorganisme selama fermentasi

Menurut teori fermentasi, proses pembentukan *eco enzyme* dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, yaitu rasio bahan organik-air-gula, jenis gula yang digunakan, serta kualitas sumber air. Rasio bahan yang tidak tepat dapat memengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam menghasilkan enzim dan asam organik (Resty *et al.*, 2023). Selain itu, lingkungan tempat fermentasi seperti suhu ruang berperan penting dalam mengoptimalkan aktivitas mikroorganisme. Suhu ruang (25–30°C) umumnya berada pada kisaran optimum bagi mikroorganisme fermentatif untuk menghasilkan metabolit asam organik (Prameshwari *et al.*, 2024).

Jenis wadah fermentasi juga memengaruhi jalannya proses, di mana kondisi semi-anaerob (tertutup namun dapat mengeluarkan gas) diperlukan untuk menjaga kestabilan fermentasi dan mencegah tekanan berlebih akibat akumulasi gas CO₂. Selama proses fermentasi, gas hasil metabolisme mikroorganisme perlu dikeluarkan secara berkala untuk menjaga kestabilan sistem fermentasi.

Lama fermentasi juga menjadi faktor penting yang menentukan tingkat kematangan *eco enzyme*. Proses fermentasi umumnya berlangsung selama ± 3 bulan hingga reaksi biokimia mencapai kestabilan dan menghasilkan produk yang lebih homogen (Haribowo *et al.*, 2025). Selain itu, volume sampel yang diuji juga harus seragam agar hasil pengukuran pH dan kekeruhan dapat dibandingkan secara valid antar perlakuan.

Selain itu, selama proses fermentasi pada seluruh replikasi ditemukan lapisan jamur putih pada permukaan *eco enzyme*. Munculnya jamur putih menunjukkan bahwa proses fermentasi masih berlangsung dengan baik dan tidak terjadi pembusukan pada sampel *eco enzyme*. Penelitian mengenai *eco enzyme* dari limbah organik menyebutkan bahwa fermentasi *eco enzyme* umumnya menghasilkan cairan berwarna kecoklatan dengan aroma asam segar serta dapat muncul jamur atau cendawan selama proses fermentasi berlangsung (Lubis and Handayani, 2024).

3. Hasil pengamatan berdasarkan variabel penelitian

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perbedaan jenis bahan organik memengaruhi karakteristik fisikokimia *eco enzyme* yang dihasilkan. Parameter yang diamati meliputi warna, aroma, pH, dan kekeruhan. Perbedaan karakteristik tersebut diduga disebabkan oleh kandungan senyawa organik yang berbeda pada masing-masing bahan selama proses fermentasi berlangsung.

Pada parameter warna, *eco enzyme* kulit jeruk dan sayuran cenderung menghasilkan warna kuning kecoklatan, sedangkan *eco enzyme* campuran menghasilkan warna coklat muda. Perubahan warna selama fermentasi dipengaruhi oleh degradasi pigmen alami bahan organik serta reaksi oksidasi yang terjadi selama proses fermentasi. Warna yang dihasilkan juga dapat dipengaruhi oleh kandungan senyawa organik dan aktivitas mikroorganisme selama fermentasi berlangsung (Resty *et al.*, 2023).

Pada parameter aroma, *eco enzyme* kulit jeruk dan campuran memiliki aroma asam ringan khas kulit buah, sedangkan *eco enzyme* sayuran memiliki aroma asam tajam yang kurang sedap. Aroma tersebut terbentuk akibat aktivitas

mikroorganisme yang menghasilkan senyawa volatil dan asam organik selama fermentasi. Aroma *eco enzyme* kulit jeruk cenderung lebih dapat diterima karena kulit jeruk mengandung minyak atsiri yang memberikan aroma khas citrus. (Wahyuni *et al.*, 2025)

Hasil pengukuran pH menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memiliki nilai pH di bawah 4,0 sehingga memenuhi karakteristik *eco enzyme* yang baik. Kondisi asam tersebut menunjukkan bahwa fermentasi berlangsung dengan baik dan menghasilkan asam organik, seperti asam asetat dan asam sitrat (Santosa *et al.*, 2023). *Eco enzyme* sayuran memiliki nilai pH lebih tinggi dibandingkan *eco enzyme* kulit jeruk dan campuran. Hal ini diduga karena kulit jeruk memiliki kandungan asam alami yang lebih tinggi dibandingkan bahan sayuran.

Pada parameter kekeruhan, *eco enzyme* sayuran menunjukkan tingkat kekeruhan tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Tingginya tingkat kekeruhan diduga disebabkan oleh banyaknya partikel tersuspensi dan sisa bahan organik hasil fermentasi sayuran (Rukmini and Herawati, 2023). Sementara itu, *eco enzyme* kulit jeruk memiliki tingkat kekeruhan lebih rendah karena partikel hasil fermentasi yang terbentuk lebih sedikit. *Eco enzyme* campuran menunjukkan tingkat kekeruhan di antara keduanya.

4. Hasil analisis data

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *eco enzyme* campuran kulit jeruk dan sayuran memiliki rata-rata skor warna tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya, yaitu sebesar 2,61 dengan karakteristik warna coklat muda. Sementara itu, *eco enzyme* kulit jeruk dan sayuran cenderung menghasilkan warna kuning kecoklatan dengan rata-rata skor masing-masing sebesar 1,67 dan 1,56. Hasil uji Kruskal-

Wallis menunjukkan nilai Asymp. Sig sebesar 0,000 ($p < 0,05$), sehingga terdapat perbedaan signifikan warna *eco enzyme* berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan.

Warna coklat pada *eco enzyme* merupakan salah satu indikator bahwa proses fermentasi berlangsung dengan baik. Selama fermentasi, mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga menyebabkan perubahan warna larutan menjadi coklat muda hingga coklat tua. Menurut Nusantara (2021) parameter warna dapat digunakan sebagai indikator keberhasilan fermentasi *eco enzyme*, yang umumnya ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi kecoklatan.

Eco enzyme campuran menghasilkan warna yang lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini diduga karena kombinasi kulit jeruk dan sayuran menghasilkan komposisi senyawa organik yang lebih kompleks sehingga proses pembentukan pigmen hasil fermentasi berlangsung lebih optimal. Penelitian Muningggar dkk. (2020) menyatakan bahwa *eco enzyme* dengan bahan campuran menghasilkan karakteristik fisik yang lebih baik dibandingkan penggunaan satu jenis bahan organik saja, ditandai dengan warna larutan yang lebih homogen dan stabil.

Hasil penelitian parameter aroma menunjukkan bahwa *eco enzyme* kulit jeruk memiliki rata-rata skor aroma tertinggi yaitu sebesar 3,28 dengan karakteristik aroma asam ringan hingga asam segar. *Eco enzyme* campuran memiliki rata-rata skor 3,17, sedangkan *eco enzyme* sayuran memiliki rata-rata skor terendah yaitu 2,39 dengan aroma asam tajam kurang sedap. Hasil uji Kruskal-Wallis menunjukkan nilai Asymp. Sig sebesar 0,001 ($p < 0,05$), sehingga terdapat

perbedaan signifikan aroma *eco enzyme* berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan.

Aroma asam segar pada *eco enzyme* menunjukkan proses fermentasi berlangsung secara optimal dan tidak terjadi pembusukan berlebihan. Aroma khas tersebut terbentuk akibat produksi asam organik dan alkohol selama proses fermentasi. Menurut penelitian Larasati dkk. (2020), *eco enzyme* yang baik umumnya memiliki aroma asam segar khas fermentasi karena terbentuknya asam asetat selama proses fermentasi.

Eco enzyme berbahan kulit jeruk menghasilkan aroma yang lebih baik karena kulit jeruk mengandung minyak atsiri dan senyawa aromatik alami yang memberikan aroma segar pada hasil fermentasi. Penelitian Dewi dkk. (2022) menunjukkan bahwa *eco enzyme* berbahan kulit jeruk menghasilkan aroma asam segar khas jeruk akibat kandungan minyak atsiri dan asam organik pada kulit jeruk. Sebaliknya, *eco enzyme* sayuran menghasilkan aroma lebih tajam dan kurang sedap yang diduga berasal dari degradasi senyawa organik dan sulfur pada sayuran selama fermentasi.

Hasil pengukuran parameter pH menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memiliki nilai pH di bawah 4, yaitu *eco enzyme* kulit jeruk sebesar 2,11, sayuran sebesar 2,45, dan campuran sebesar 2,11. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses fermentasi *eco enzyme* berlangsung dengan baik. Hasil analisis statistik menunjukkan terdapat perbedaan signifikan nilai pH berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan ($p < 0,05$).

Nilai pH yang rendah menunjukkan terbentuknya asam organik selama fermentasi, seperti asam asetat dan asam laktat. Kondisi asam menandakan

aktivitas mikroorganisme fermentatif berlangsung optimal. Menurut penelitian Nusantara (2021), *eco enzyme* yang berkualitas umumnya memiliki $\text{pH} \leq 4$ karena terbentuknya asam organik selama fermentasi bahan organik.

Eco enzyme kulit jeruk dan campuran memiliki nilai pH lebih rendah dibandingkan *eco enzyme* sayuran. Hal ini diduga karena kulit jeruk mengandung asam sitrat dan senyawa organik lain yang meningkatkan tingkat keasaman hasil fermentasi. Penelitian Wahyuni dkk. (2025) menyebutkan bahwa kulit jeruk mengandung flavonoid, fenolik, dan asam organik yang dapat memengaruhi karakteristik fisikokimia hasil fermentasi.

Nilai pH yang terlalu rendah menunjukkan kondisi larutan sangat asam akibat tingginya pembentukan asam organik selama fermentasi. Menurut Yuliani dkk. (2023) kondisi fermentasi yang terlalu asam dapat menghambat aktivitas beberapa mikroorganisme fermentatif sehingga proses fermentasi menjadi kurang optimal. Selain itu, derajat keasaman yang terlalu tinggi dapat memengaruhi kestabilan karakteristik fisikokimia hasil fermentasi. Oleh karena itu, *eco enzyme* sayuran dengan pH 2,45 dianggap memiliki tingkat keasaman yang lebih seimbang dibandingkan perlakuan lainnya meskipun seluruh perlakuan masih berada dalam kategori asam dan menunjukkan fermentasi berlangsung baik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *eco enzyme* berbahan sayuran memiliki tingkat kekeruhan tertinggi dengan rata-rata sebesar 926,94 NTU, sedangkan *eco enzyme* kulit jeruk memiliki tingkat kekeruhan terendah sebesar 518,67 NTU. *Eco enzyme* campuran memiliki tingkat kekeruhan sebesar 750,67 NTU. Hasil analisis statistik menunjukkan adanya perbedaan signifikan tingkat kekeruhan *eco enzyme* berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan ($p < 0,05$).

Tingkat kekeruhan dipengaruhi oleh jumlah partikel tersuspensi, sisa bahan organik, dan hasil aktivitas mikroorganisme selama fermentasi. Semakin banyak partikel tersuspensi dalam larutan, maka tingkat kekeruhan akan semakin tinggi. Menurut penelitian Hardiawanto dkk. (2024), kekeruhan *eco enzyme* dapat digunakan sebagai indikator jumlah partikel hasil degradasi bahan organik selama proses fermentasi.

Eco enzyme sayuran memiliki tingkat kekeruhan lebih tinggi karena sayuran mengandung serat dan kadar air yang tinggi sehingga menghasilkan lebih banyak partikel tersuspensi selama fermentasi. Penelitian Supriyani dkk. (2020) menyatakan bahwa limbah sayuran memiliki kandungan air dan serat tinggi yang memengaruhi karakteristik fisik *eco enzyme*, termasuk volume dan kejernihan larutan hasil fermentasi. Sebaliknya, *eco enzyme* kulit jeruk menghasilkan tingkat kekeruhan lebih rendah sehingga larutan terlihat lebih homogen dibandingkan perlakuan lainnya.

Secara keseluruhan, berdasarkan parameter warna, aroma, pH, dan kekeruhan yang diukur, *eco enzyme* campuran menunjukkan kualitas fisikokimia yang relatif lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh skor warna yang lebih tinggi, aroma yang masih dapat diterima panelis, nilai pH yang sesuai dengan karakteristik *eco enzyme*, serta tingkat kekeruhan yang lebih rendah dibandingkan *eco enzyme* sayuran. Berdasarkan hasil analisis statistik, hipotesis penelitian yang menyatakan adanya pengaruh perbedaan jenis bahan organik terhadap kualitas fisikokimia *eco enzyme* dapat diterima.

5. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dapat memengaruhi hasil penelitian, antara lain:

- a. Penelitian hanya menggunakan tiga jenis variasi bahan organik, yaitu kulit jeruk, sayuran (sawi dan kubis), serta campuran kulit jeruk dan sayuran, sehingga hasil penelitian belum dapat menggambarkan karakteristik *eco enzyme* dari jenis bahan organik lainnya.
- b. Parameter yang diamati terbatas pada kualitas fisikokimia meliputi warna, aroma, pH, dan kekeruhan, sehingga belum mencakup parameter lain seperti kandungan mikroorganisme, kadar asam organik, maupun aktivitas antibakteri *eco enzyme*.
- c. Penilaian warna dan aroma dalam penelitian ini dilakukan secara organoleptik oleh panelis tanpa menggunakan standar warna dan aroma sebagai acuan. Kondisi tersebut menyebabkan hasil penilaian masih berpotensi dipengaruhi oleh subjektivitas dan perbedaan persepsi antar panelis. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan standar warna dan aroma yang terukur guna meningkatkan objektivitas dan konsistensi hasil penilaian.
- d. Proses fermentasi dilakukan pada suhu ruang 30°C tanpa pengontrol suhu otomatis, sehingga kemungkinan terjadi perubahan kondisi lingkungan selama fermentasi berlangsung.
- e. Penelitian hanya menggunakan waktu fermentasi selama 90 hari sehingga belum dapat menggambarkan perubahan karakteristik *eco enzyme* pada lama fermentasi yang berbeda.