

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Politeknik Negeri Sriwijaya selama 4 minggu di Laboratorium Teknik Kimia untuk mengkaji pengaruh variasi waktu fermentasi (3, 5, dan 7 hari) dan jumlah ragi (3, 5, 7,5, dan 10 gram) terhadap kualitas bioetanol dari air kelapa. Parameter yang dianalisis meliputi kadar etanol, pH, viskositas, densitas. Fermentasi menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* pada suhu ruang (± 30 °C), dilanjutkan dengan proses distilasi menggunakan alat konverter yang memiliki satu rangkaian alat lengkap, meliputi tangki fermentor dan sistem disitilasi untuk meningkatkan kemurnian etanol.

4.1 Hasil

Sebelum dilakukan proses fermentasi, dilakukan pengamatan awal terhadap bahan baku yaitu air kelapa. Parameter yang diamati mencakup pH, dan kadar gula pada air kelapa sebagai informasi dasar untuk proses fermentasi. Data pengamatan awal air kelapa sebelum fermentasi, dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Pengamatan Awal Terhadap Air Kelapa Sebelum Fermentasi

Sampel	pH Air Kelapa	Kadar Glukosa (%) Air Kelapa
Air Kelapa	4,5	4,48

Pada Tabel 4.1 memperlihatkan hasil pengamatan awal mengenai sifat air kelapa sebelum proses fermentasi dimulai. Berdasarkan data, pH air kelapa tercatat sebesar 4,5, yang menunjukkan bahwa air kelapa bersifat sedikit asam. Kondisi pH ini mendukung aktivitas mikroorganisme, khususnya khamir (yeast), yang berkembang dengan baik dalam lingkungan asam (Anggraini, Dkk. 2017). Selain itu, kadar glukosa air kelapa tercatat mencapai 4,48%, yang mengindikasikan bahwa air kelapa mengandung gula yang cukup tinggi. Gula ini berfungsi sebagai sumber utama energi bagi mikroorganisme dalam proses fermentasi. Dengan adanya glukosa yang cukup, mikroorganisme dapat mengubahnya menjadi produk fermentasi seperti etanol atau asam organik(Malle, dkk. 2014).

Dalam proses fermentasi air kelapa ini, tidak diperlukan penambahan enzim atau bahan kimia tambahan. Kandungan alami dalam air kelapa, seperti glukosa dan asam organik, sudah cukup untuk mendukung proses fermentasi. Glukosa yang ada dalam air kelapa langsung dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme tanpa perlu dipecah terlebih dahulu menggunakan enzim eksternal. Dengan demikian, proses fermentasi ini berlangsung secara alami dan sederhana, hanya bergantung pada kondisi dan kandungan yang ada dalam air kelapa itu sendiri. Secara keseluruhan, pH dan kadar glukosa air kelapa yang tercatat menunjukkan bahwa air kelapa memiliki potensi yang baik untuk fermentasi tanpa memerlukan tambahan bahan kimia lain (Zhang, dkk. 2018).

Pada tabel 4.2 merupakan hasil pengukuran kadar etanol, pH, viskositas, densitas, dan nilai kalor dari proses fermentasi bioetanol berbahan dasar air kelapa dengan variasi jumlah ragi dan waktu fermentasi:

Tabel 4. 2 Data Hasil Fermentasi Bioetanol Dari Kelapa

Sampel Ke-	Waktu (hari)	Massa Ragi (gr)	Kadar Etanol (%)	pH	Viskositas (poise)	Densitas (g/ml)
1.	3	3	57	5	0,016	0,85484
2.		5	34	5	0,019	0,87300
3.		7,5	18	3	0,032	0,83668
4.		10	30	4	0,022	0,84276
5.		3	33	4	0,021	0,85964
6.	5	5	32	4	0,022	0,84176
7.		7,5	32	4	0,021	0,84444
8.		10	30	4	0,022	0,83538
9.		3	33	4	0,023	0,84745
10.	7	5	30	4	0,025	0,84745
11.		7,5	29	4	0,029	0,85005
12.		10	27	4	0,031	0,84167

Setelah dilakukan proses fermentasi, diperoleh data yang menunjukkan bahwa variasi jumlah ragi dan waktu fermentasi memberikan pengaruh terhadap kadar etanol dan parameter lainnya. Sampel yang difermentasi menggunakan ragi 3 gram selama 3 hari menghasilkan kadar etanol tertinggi, yaitu 57%. Penambahan ragi yang berlebihan justru dapat menurunkan kadar etanol akibat kompetisi substrat dan akumulasi metabolit sekunder yang menghambat pertumbuhan ragi (Khodijah dan Abtokhi 2015). Pada setiap sampel, nilai pH menurun secara bertahap seiring

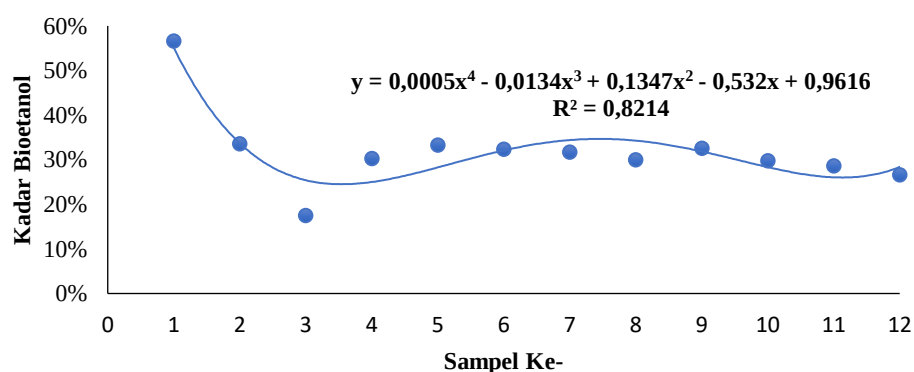
waktu fermentasi. Nilai pH berkisar antara 4 hingga 5, dengan pH tertinggi juga terdapat pada sampel, 3 hari 3 gram. Viskositas cenderung menurun pada sampel dengan kadar etanol rendah karena etanol mengurangi ikatan hidrogen antar molekul air, memungkinkan molekul bergerak lebih bebas. Sebaliknya, pada sampel dengan kadar etanol tinggi, densitas menurun karena etanol memiliki massa jenis lebih rendah dibandingkan air, sehingga meningkatkan proporsi etanol dalam campuran mengurangi massa jenis keseluruhan larutan.

4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Analisis Pengaruh Massa Ragi dan Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol

Pengukuran massa ragi terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan, dilakukan fermentasi dengan variasi massa ragi yaitu 3gr, 5gr, 7,5gr, dan 10gr. Variasi pada massa ragi tersebut dilakukan proses fermentasi dengan variasi waktu juga yaitu selama 3 hari, 5 hari, dan 7 hari. Setelah proses fermentasi selesai, dilakukan analisa kadar bioetanol dari setiap sampel menggunakan alat refraktometer alkohol, dan sampel dengan kadar bioetanol tertinggi di analisa lebih lanjut menggunakan alat *Gas Chromatography- Mass Spectrometry* (GC-MS) sebagai data pendukung bahwa sampel merupakan bioetanol.

Data yang telah diperoleh hasil analisa kemudian diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik agar hubungan antara massa ragi dan kadar bioetanol dapat terlihat lebih jelas. Grafik ini juga dilengkapi dengan kurva regresi untuk memudahkan analisis pola dan kestabilan data. Berikut grafik pengaruh massa ragi terhadap kadar bioetanol dapat dilihat pada **Gambar.4.1**.



Gambar 4. 1 Kadar Bioetanol Terhadap Waktu Fermentasi dan Massa Ragi

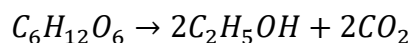
Pada Gambar 4.1 menunjukkan antara massa ragi, terhadap kadar bioetanol yang dihasilkan setelah proses fermentasi. Pada Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa penambahan jumlah ragi mempengaruhi kadar bioetanol, namun tidak selalu menghasilkan korelasi yang linier. Hal ini terlihat dari pola grafik yang tidak membentuk garis lurus, melainkan menunjukkan fluktuasi dengan kenaikan dan penurunan kadar bioetanol.

Dalam grafik ini, digunakan model persamaan polinomial orde 4 untuk memetakan hubungan antara massa ragi dan kadar bioetanol, dengan persamaan:

$$y = 0,0005x^4 - 0,0134x^3 + 0,1347x^2 - 0,532x + 0,9616$$

Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8214 menunjukkan bahwa sekitar 82,14% variasi dalam kadar bioetanol dapat dijelaskan oleh perubahan massa ragi. Namun, sisa 17,86% variasi dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak terukur, seperti kondisi lingkungan fermentasi dan teknik pengukuran. Meskipun nilai R^2 yang tinggi mengindikasikan kecocokan model yang baik, perlu diperhatikan bahwa fluktuasi yang terjadi dapat mempengaruhi akurasi model dalam merepresentasikan pola yang sesungguhnya.

Proses fermentasi glukosa oleh *Saccharomyces cerevisiae* dalam substrat air kelapa secara umum mengikuti reaksi kimia sebagai berikut:



Reaksi ini menunjukkan bahwa satu molekul glukosa dikonversi menjadi dua molekul etanol dan dua molekul karbon dioksida dalam kondisi anaerob.

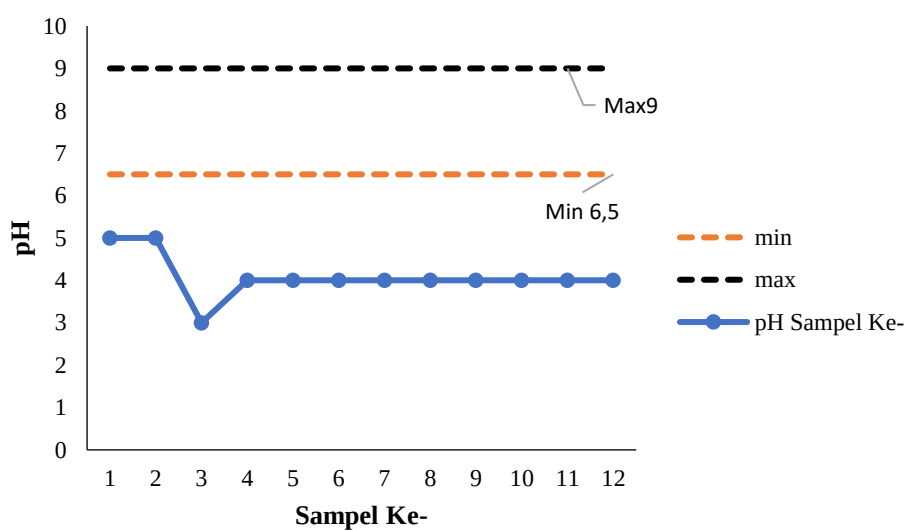
Namun demikian, berdasarkan hasil analisis, kadar etanol tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 57% pada fermentasi 3 hari dengan 3 gram ragi, namun kadar ini masih berada di bawah ambang batas minimal yang ditetapkan oleh SNI 7390:2012, yang mensyaratkan kadar minimal 94% untuk bioetanol bahan bakar. Oleh karena itu, hasil ini menunjukkan bahwa bioetanol yang dihasilkan belum memenuhi standar mutu nasional, dan dibutuhkan tahapan pemurnian lanjutan serta optimasi proses untuk mencapai kualitas yang lebih tinggi.

Waktu fermentasi juga berpengaruh pada sampel dengan massa ragi 7,5 gram, di mana saat fermentasi dengan waktu 3 hari menghasilkan kadar bioetanol yang sangat rendah, yaitu hanya 18%, sedangkan pada waktu 5 hari dan 7 hari

fermentasi dengan massa ragi yang sama yaitu 7,5 gr, menghasilkan kadar yang jauh lebih tinggi, yaitu 32% dan 29%. Nilai 18% ini merupakan hasil yang tidak biasa dan menyimpang dari pola umum. Penurunan ini dapat disebabkan oleh kondisi fermentasi yang tidak stabil, seperti suhu atau pH yang kurang terkontrol, substrat yang tidak homogen, kontaminasi mikroba lain, atau kesalahan teknis seperti fermentor yang tidak tertutup rapat hingga menyebabkan penguapan etanol. Selain itu, aktivitas biologis ragi bisa saja terganggu oleh konsentrasi etanol yang terlalu tinggi lebih awal, atau terjadi stres sel ragi yang memperlambat proses konversi gula menjadi etanol (Amanda. dkk. 2021). Keberadaan titik penyimpangan ini mengindikasikan bahwa dalam proses fermentasi, faktor selain jumlah ragi juga mempengaruhi hasil, sehingga pengendalian variabel lain sangat penting untuk memastikan hasil yang lebih konsisten dan representatif (Febrina. 2021).

4.2.2 Analisis pH sampel terhadap pH Standar (SNI 7390-2012)

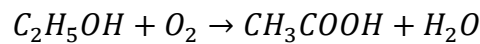
Salah satu parameter penting dalam penilaian kualitas bioetanol adalah nilai pH, yang mempengaruhi stabilitas produk serta menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan yang dapat memengaruhi performa bioetanol sebagai bahan bakar. Berdasarkan standar SNI 7390:2012, nilai pH bioetanol harus berada dalam rentang 6,5 hingga 9. Untuk itu, dilakukan pengukuran pH pada setiap sampel guna memastikan kesesuaian dengan ketentuan standar. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 pH Sampel Terhadap pH Standar SNI 7390:2012

Berdasarkan Gambar 4.3, seluruh sampel menunjukkan nilai pH di bawah batas minimum standar SNI 7390:2012, yaitu 6,5. Nilai pH rata-rata sampel berada pada kisaran 4 hingga 5, yang mengindikasikan bahwa hasil fermentasi menciptakan lingkungan yang cukup asam. Penurunan pH ini kemungkinan disebabkan oleh aktivitas metabolisme ragi selama fermentasi, yang menghasilkan senyawa organik seperti asam asetat atau asam laktat (Harsojuwono, dkk. 2014).

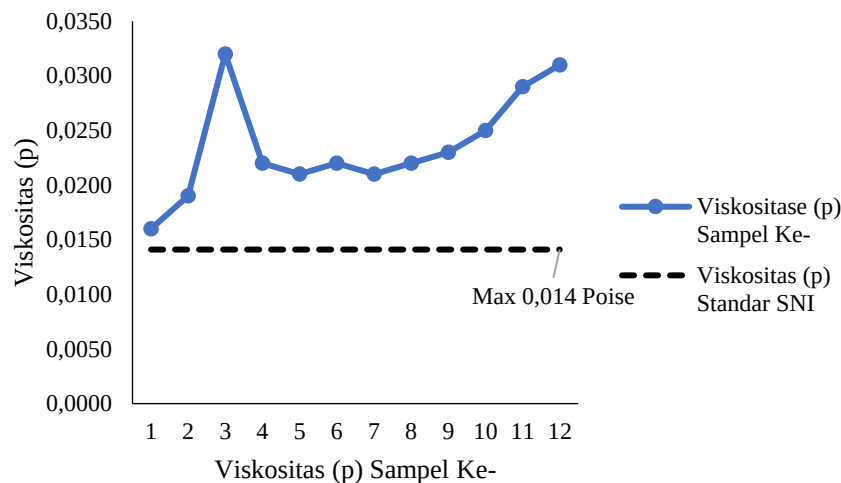
Asam asetat dapat terbentuk melalui jalur oksidatif, terutama jika terdapat sedikit oksigen dalam sistem. Meskipun fermentasi bersifat anaerob, keberadaan oksigen dalam jumlah kecil dapat menyebabkan sebagian etanol teroksidasi menjadi asam asetat:



Kehadiran asam asetat ini dapat menurunkan pH medium fermentasi dan menghambat pertumbuhan ragi jika dalam konsentrasi tinggi (Marlina & Hainun, 2020).

4.2.3 Analisis Viskositas (p) Sampel Terhadap Standar (SNI 06-3565-1994)

Selain kadar etanol dan pH, viskositas juga merupakan parameter penting dalam menilai kualitas bioetanol, terutama jika digunakan sebagai bahan bakar atau campuran. Viskositas mempengaruhi kemudahan aliran fluida dan berperan dalam performa pembakaran serta stabilitas bahan bakar dalam sistem mesin. Berdasarkan SNI 06-3565-1994, nilai viskositas maksimum yang diperbolehkan untuk bioetanol adalah 0,0141 p (poise). Oleh karena itu, pengukuran viskositas dilakukan pada setiap sampel dan dibandingkan dengan nilai standar. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Viskositas (p) Sampel Terhadap Standar (SNI 06-3565-1994)

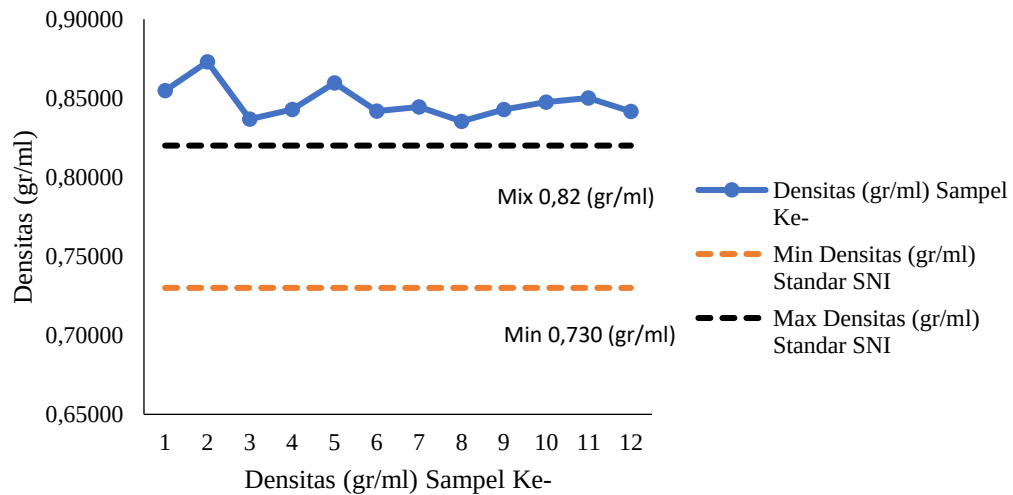
Berdasarkan Gambar 4.4, seluruh sampel menunjukkan viskositas yang melebihi batas maksimum standar SNI 06-3565-1994, yaitu 0,0141 p. Sampel ke-3 memiliki viskositas tertinggi, yaitu sekitar 0,035 p, sementara sampel lainnya bervariasi antara 0,015 hingga 0,033 p. Hal ini mengindikasikan bahwa bioetanol yang dihasilkan belum memenuhi spesifikasi standar viskositas, sehingga masih terlalu kental dibandingkan dengan bioetanol yang sesuai untuk bahan bakar.

Tingginya nilai viskositas ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keberadaan kandungan air atau senyawa organik lain dalam hasil fermentasi, serta pemurnian atau distilasi yang belum optimal. Selain itu, sisa substrat atau zat terlarut lainnya juga dapat mempengaruhi nilai viskositas larutan bioetanol (Adiya, dkk. 2022).

4.2.4 Analisis Densitas Sampel terhadap Batas Standar SNI 06-3565-1994

Pengujian parameter densitas dilakukan sebagai langkah awal untuk menilai apakah karakteristik fisik sampel telah memenuhi standar mutu yang ditetapkan. Densitas merupakan parameter penting dalam evaluasi kestabilan dan konsistensi produk, terutama pada formulasi cair atau semi-padat. Dalam penelitian ini, hasil uji densitas dibandingkan dengan standar acuan nasional, yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3565-1994, yang menetapkan nilai densitas dalam kisaran 0,730 gr/ml hingga 0,820 gr/ml. Grafik berikut menunjukkan perbandingan nilai

densitas setiap sampel terhadap batas minimum dan maksimum yang ditentukan, yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Densitas (gr/ml) sampel terhadap standar SNI 06-3565-1994

Berdasarkan Gambar 4.5, seluruh sampel yang diuji menunjukkan nilai densitas yang melebihi ambang batas maksimum yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu antara 0,730 gr/ml hingga 0,820 gr/ml. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai densitas semua sampel berkisar antara 0,83 gr/ml hingga 0,87 gr/ml, yang berarti tidak ada satu pun sampel yang memenuhi ketentuan standar tersebut. Secara umum, grafik menunjukkan kestabilan nilai densitas antar sampel, meskipun terdapat sedikit fluktuasi, seperti penurunan pada sampel ke-3 dan ke-6. Namun, perubahan tersebut tidak signifikan dan tetap berada di atas batas maksimum. Sampel ke-2 mencapai nilai tertinggi hampir 0,87 gr/ml, sementara nilai terendah berada di sekitar 0,83 gr/ml. Stabilitas ini menunjukkan bahwa formulasi atau proses produksi yang digunakan cukup konsisten, meskipun menghasilkan produk dengan densitas yang relatif tinggi.

Meskipun seluruh sampel melebihi batas maksimum densitas yang ditetapkan oleh SNI 06-3565-1994, beberapa sampel mendekati batas tersebut dan berpotensi disesuaikan tanpa perlu reformulasi besar. Contohnya, sampel dengan densitas 0,83538 gr/ml, yang dihasilkan dari massa ragi 10 gr dan waktu fermentasi 5 hari, hanya sedikit melebihi batas dan dapat dijadikan acuan untuk koreksi. Penyesuaian ringan, seperti pengurangan bahan padat atau peningkatan kadar pelarut, dapat memperbaiki densitas tanpa mengorbankan kualitas produk.