



KARAKTERISASI BIOETANOL DARI PELEPAH KELAPA SAWIT

Muhammad*, Sulhatun, Jalaluddin, Meriatna, Sri Awalina Marpaung

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

Korespondensi: e-mail: mhdtk@unimal.ac.id

Abstrak

*Kelapa sawit merupakan tumbuhan industri/perkebunan yang berguna sebagai penghasil minyak makan, minyak industri maupun bahan bakar. Salah satu pemanfaatan limbah padat kelapa sawit adalah dengan memanfaatkan pelepahnya menjadi sumber energi terbarukan sebagai bahan bakar alternatif seperti dalam pembuatan bioetanol. Bioetanol merupakan etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula) yang dilanjutkan dengan proses destilasi. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah pelepah kelapa sawit menjadi bioetanol dengan parameter pengujian kadar bioetanol, densitas, viskositas, dan pH. Pelepah kelapa sawit dididignifikasi menggunakan NaOH 2,5 M selanjutnya dihidrolisih menggunakan H_2SO_4 2 M lalu difermentasi menggunakan *saccharomyces cerevisiae* dengan variasi berat 2 gr, 3,5 gr, 5 gr, 6,5 gr, dan 8 gr dan variasi waktu 3 hari, 5 hari, dan 7 hari setelah itu bioetanol yang diperoleh dimurnikan dengan proses distilasi. Kadar bioetanol terendah pada waktu fermentasi 3 hari sebesar 15,6503% dan tertinggi sebesar 40,3773%, untuk waktu fermentasi 5 hari kadar terendah sebesar 16,0684% dan tertinggi sebesar 42,2380%, untuk waktu fermentasi 7 hari kadar terendah sebesar 20,7628% dan tertinggi sebesar 36,5855%. Densitas bioetanol terendah pada waktu fermentasi 3 hari sebesar 0,9269 gr dan tertinggi 0,9704 gr, untuk waktu fermentasi 5 hari densitas terendah sebesar 0,9127 gr dan tertinggi 0,9698 gr, untuk waktu fermentasi 7 hari densitas terendah sebesar 0,9312 gr dan tertinggi 0,9643 gr. Viskositas bioetanol pada waktu fermentasi 3 hari sebesar 0,66 cP dan tertinggi 0,85 cP, untuk waktu fermentasi 5 hari viskositas terendah sebesar 0,67 cP dan tertinggi 0,89 cP, untuk waktu fermentasi 7 hari viskositas terendah sebesar 0,69 cP dan tertinggi 0,81 cP. pH bioetanol yang diperoleh berkisar antara 6-6,4 untuk waktu fermentasi 3, 5, dan 7 hari. Kesimpulan yang didapat ialah Pelepah kelapa sawit mengasilkan kadar bioetanol tertinggi dengan kadar bioetanol sebesar 42,24 %, berat ragi terbaik dalam proses fermentasi menghasilkan kadar bioetanol tertinggi didapat pada berat 8 gram, dan lamanya masa fermentasi terbaik yang menghasilkan kadar bioetanol tertinggi didapat pada waktu fermentasi selama 5 hari.*

Kata kunci: Bioetanol, Densitas, Energi alternatif, Pelepah kelapa sawit, pH, dan Viskositas.

DOI : <http://dx.doi.org/10.29103/jtku.v12i1.11620>

1. Pendahuluan

Bioetanol merupakan cairan biokimia dari proses fermentasi gula dari sumber glukosa, selulosa, pati dan karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme. Keuntungan maupun kelebihan dari penggunaan bioetanol yaitu dapat diproduksi terus menerus, ramah lingkungan, serta dapat digunakan sebagai bahan baku industri kimia, kosmetik, farmasi dan sebagai bahan bakar (Masfufatun, 2012).

Bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam menjadi sumber utama untuk memenuhi permintaan energi dunia. Namun, secara bertahap bahan bakar ini akan habis karena merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Selain itu, masalah lingkungan dan ekologi yang serius terus meningkat karena eksploitasi dan penggunaan bahan bakar fosil tersebut (Kumneadklang et al., 2015).

Sumber energi alternatif sudah waktunya untuk segera dikembangkan di Indonesia. Hal ini sejalan dengan meningkatnya konsumsi bahan bakar konvensional (minyak bumi), dan harganya cenderung mahal karena tidak ada keseimbangan permintaan (demand) dan penawaran (supply). Terbatasnya sumber energi fosil menyebabkan perlunya pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi salah satunya adalah bioethanol (Ni'mah et al., 2015).

Kelapa sawit adalah tumbuhan industri/perkebunan yang berguna sebagai penghasil minyak masak, minyak industri maupun bahan bakar. Pohon kelapa sawit terdiri dari dua spesies yaitu *elaeis guineensis* dan *elaeis oleifera* yang digunakan untuk pertanian komersil dalam pengeluaran minyak kelapa sawit. Pohon kelapa sawit *elaeis guineensis*, berasal dari Afrika barat diantara Angola dan Gambia, pohon kelapa sawit *elaeis oleifers*, berasal dari Amerika tengah dan Amerika selatan. Kelapa sawit menjadi populer setelah revolusi industri pada akhir abad ke-19 yang menyebabkan tingginya permintaan minyak nabati untuk bahan pangan dan industri sabun (Direktorat Jendral Perkebunan, 2019).

Limbah kelapa sawit adalah sisa-sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit. Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang, janjang, dan fiber (sabut). Tandan kosong adalah rangka antar buah, sedangkan cangkang adalah kulit buah. Di antara cangkang terdapat serabut yang disebut fiber. Limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan kelapa sawit antara lain janjang kosong, limbah cair, limbah solid (padatan) dan cangkang.

Natasha, (2012) dalam Parapat, (2019) melaporkan bahwa pelepah kelapa sawit merupakan salah satu limbah padat pengolahan minyak sawit yang belum maksimum pemanfaatannya. Produksi pelepah sebanyak 22 batang per pohon per tahun dimana berat daging pelepah sekitar 2,2 kg dan biomassa pelepah sawit dalam setahun mencapai 6,3 ton/hektar. Pelepah kelapa sawit biasanya digunakan sebagai bahan pakan untuk hewan ternak. Kandungan senyawa kimia penyusun pada pelepah kelapa sawit terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin secara berurutan yaitu 31,7%, 33,9%, dan 17,4%.

Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula) yang dilanjutkan dengan proses destilasi. Proses destilasi dapat menghasilkan etanol dengan kadar 95% volume, untuk digunakan sebagai bahan bakar (*biofuel*) perlu lebih dimurnikan lagi hingga mencapai 99% yang lazim disebut *Fuel Grade Ethanol* (FGE). Proses pemurnian dengan prinsip dehidrasi umumnya dilakukan dengan metode *Molecular Sieve*, untuk memisahkan air dari senyawa etanol (Roni et al., 2020).

Bioetanol dapat menjadi campuran dalam bahan bakar, menjadi bahan dasar industri farmasi, dan berbagai industri. Mengingat pemanfaatan bioetanol atau etanol beraneka ragam, sehingga grade etanol yang dimanfaatkan harus berbeda sesuai penggunaannya. Etanol yang mempunyai grade 90-96,5% dapat digunakan pada industri. Etanol yang memiliki grade 96-99,5% dapat digunakan sebagai campuran minuman keras dan bahan dasar industri farmasi. Tingginya kemurnian etanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan adalah 99,5-100%. Perbedaan besarnya grade akan berpengaruh

terhadap proses konversi karbohidrat menjadi glukosa larut dalam air (Yuda et al., 2018).

Perlakuan biomassa lignoselulosa harus dilakukan untuk mendapatkan hasil yang tinggi, hal ini penting guna untuk pengembangan teknologi biokonversi dalam skala komersial. Sebagian kecil selulosa memiliki struktur *amorf*, rantai hemiselulosa membentuk ikatan hidrogen dengan mikrofiber selulosa membentuk matriks yang diperkuat dengan lignin. Adanya lignin membuat kompleks lignoselulosa tidak dapat dihidrolisis secara langsung dengan enzim. Dengan cara ini, faktor-faktor seperti derajat kristalinitas selulosa, luas permukaan yang tersedia (porositas bahan), perlindungan selulosa oleh lignin, penutup tipe polong yang ditawarkan oleh hemiselulosa ke selulosa, dan karakter heterogen dari partikel biomassa berkontribusi dalam penguraian dari bahan lignoselulosa ke hidrolisis. Selain itu, hubungan antar struktur biomassa dan komposisinya menambah faktor yang menyiratkan lebih banyak variabilitas yang ditunjukkan oleh bahan-bahan ini terkait daya cerna mereka (Mosier et al., 2005).

Hidrolisis merupakan reaksi kimia yang memecah molekul menjadi dua bagian dengan penambahan molekul air (H₂O), dengan tujuan untuk mengkonversi polisakarida menjadi monomer-monomer sederhana. Satu bagian dari molekul memiliki ion hidrogen (H⁺) dan bagian lain memiliki ion hidroksil (OH⁻). Umumnya hidrolisis ini terjadi saat garam dari asam lemah atau basa lemah (atau keduanya) terlarut di dalam air. Reaksi umumnya yakni sebagai berikut :



Akan tetapi, dalam kondisi normal hanya beberapa reaksi yang dapat terjadi antara air dengan komponen organik. Penambahan asam, basa, atau enzim umumnya dilakukan untuk membuat reaksi hidrolisis dapat terjadi pada kondisi penambahan air tidak memberikan efek hidrolisis. Asam, basa maupun enzim dalam reaksi hidrolisis disebut sebagai katalis, yakni zat yang dapat mempercepat terjadinya reaksi (Lowry et al., 1951).

Fermentasi adalah proses metabolisme yang menghasilkan energi dari gula dan molekul organik lain serta tidak memerlukan oksigen atau sistem transfer elektron. Setelah glukosa diubah menjadi asam piruvat melalui proses glikolisis, pada beberapa makhluk hidup seperti bakteri, asam piruvat dapat diubah menjadi produk fermentasi. Proses glikolisis menghasilkan ATP dalam jumlah kecil, namun jumlah tersebut cukup bagi suplai energi mikroorganisme (Sari & Santosa, 2013).

Mikroorganisme yang paling banyak digunakan untuk produksi bahan bakar etanol adalah spesies *Saccharomyces cerevisiae* yang mengubah heksosa, seperti glukosa dan fruktosa, menjadi piruvat melalui glikolisis, yang akhirnya direduksi menjadi etanol menghasilkan dua mol ATP untuk setiap molekul heksosa yang dikonsumsi secara anaerobik (Pratiwi et al., 2021).

S. cerevisiae mengubah heksosa menjadi piruvat melalui glikolisis, yang dekarboksilasi untuk mendapatkan asetaldehida yang akhirnya direduksi menjadi etanol menghasilkan dua mol adenosin trifosfat (ATP) untuk setiap mol heksosa yang dikonsumsi dalam kondisi anaerobik. Mikroorganisme ini juga memiliki kemampuan untuk mengubah heksosa menjadi CO₂ melalui respirasi aerobik. Salah satu dari dua proses dapat disukai tergantung pada konsentrasi oksigen dalam media kultur dan sumber karbon (Pratiwi et al., 2021).

Dalam kasus terakhir, sebagian besar biomassa terbentuk dan merupakan dasar untuk produksi ragi roti skala besar. Selain kemampuannya untuk ditanam di bawah kondisi anaerobik, ragi memiliki keunggulan dalam mentolerir konsentrasi etanol yang relatif tinggi (hingga 150 g / L). Di bawah konsentrasi 30 g / L penghambatan dapat diabaikan (Pratiwi et al., 2021).

Distilasi dilakukan untuk memisahkan etanol dari air. Titik didih etanol murni adalah 78°C sedangkan air adalah 100°C (kondisi standar). Dengan memanaskan larutan pada suhu rentang 78° - 100°C akan mengakibatkan sebagian besar etanol menguap, dan melalui unit kondensasi, akan bisa dihasilkan etanol dengan konsentrasi 95% volume (Sudiyani et al., 2019).

2. Bahan dan Metode

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain adalah pelepah kelapa sawit, NaOH 2,5 M, ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*), *Aquadest*, H₂SO₄. Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain oven, alkohol meter, blender, spatula, *thermometer*, *beaker glass*, labu leher tiga, gelas ukur, kertas saring, karet penghisap, labu ukur, statif dan klem, pH meter, botol *fermentor* 100 ml, *erlenmeyer* 250 ml, *picnometer*, ayakan 40 *mesh*, alat destilasi, *aluminium foil*, *viscometer*, neraca analitik, dan *spectrophotometer*. Penelitian ini terdiri dari lima tahap yaitu tahap *Pretreatment* fisik, delignifikasi pelepah kelapa sawit, hidrolisis, proses fermentasi dan proses distilasi.

Tahap pertama yaitu *pretreatment* fisik, pelepah kelapa sawit dibersihkan dan dipotong dengan ukuran ± 2 cm kemudian dioven dengan suhu 120°C lalu dihaluskan menggunakan blender setelah itu diayak dengan ayakan 40 *mesh*.

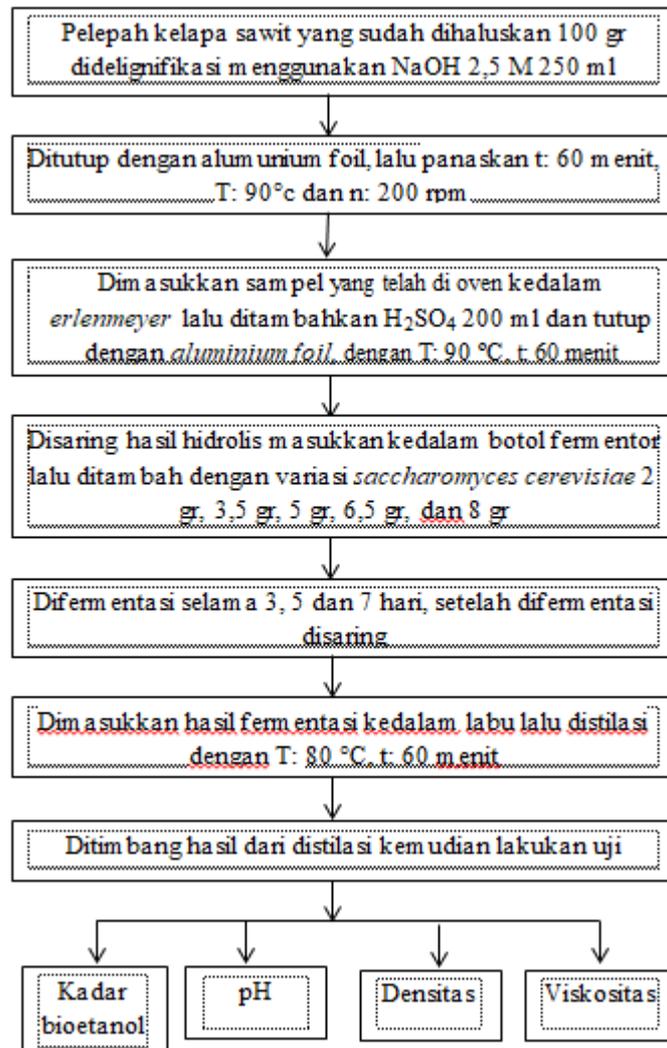
Tahap kedua yaitu delignifikasi dimana pelepah kelapa sawit sebanyak 100 gr ditambahkan NaOH 2,5 M 250 ml dipanaskan selama 1 jam pada suhu 90°C dan pengadukan 200 rpm. Ampas hasil campuran dipisah dan dicuci menggunakan *aquadest* lalu dioven selama 1 jam pada suhu 105°C.

Tahap ketiga yaitu hidrolisis, sampel ditambah dengan H₂SO₄ 200 ml dipanaskan pada suhu 90 °C selama 1 jam dan dengan pengadukan 200 rpm. Lalu campuran didinginkan dan disaring.

Tahap keempat yaitu fermentasi, hasil hidrolisa ditambahkan dengan larutan NaOH hingga pH nya menjadi 4. Filtrat ditambahkan *Saccharomyces cerevisiae* dengan variasi berat 2 gr, 3,5 gr, 5 gr, 6,5 gr, dan 8 gr. Lalu difermentasi selama 3, 5, dan 7 hari kemudian dilakukan penyaringan.

Tahap kelima yaitu distilasi, hasil fermentasi dimasukkan kedalam labu leher tiga kemudian didistilasi pada suhu 80 °C selama 1 jam. Hasil distilasi ditimbang dan dilakukan pengujian.

Blok diagram pembuatan bioetanol dari pelepah kelapa sawit



3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Analisa Kadar Bioetanol, Densitas, Viskositas, dan pH pada pelepah kelapa sawit menggunakan bantuan *saccharomyces cerevisiae*

Hasil bioetanol dari pelepah kelapa sawit menggunakan metode fermentasi dengan bantuan *saccharomyces cerevisiae*, setelah didapatkan sampel, kemudian disusun dalam bentuk tabel. Variable yang dianalisa adalah kadar bioetanol, densitas, viskositas dan pH.

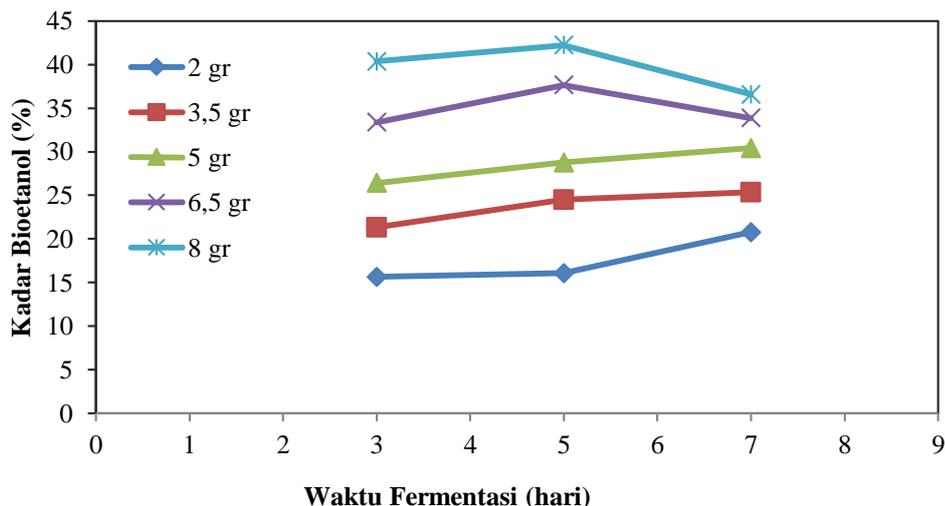
Tabel 3.1 Data Hasil Penelitian Pembuatan Bioetanol

Waktu Fermentasi (hari)	Berat Ragi (gr)	Kadar Bioetanol (%)	Densitas (gr/ml)	Viskositas (cP)	pH
3 hari	2 gr	15,6503	0,9704	0,66	6,4
	3,5 gr	21,3354	0,9619	0,69	6,3
	5 gr	26,4235	0,9537	0,71	6,3
	6,5 gr	33,3608	0,9411	0,79	6,2
	8 gr	40,3773	0,9269	0,85	6,2
5 hari	2 gr	16,0684	0,9698	0,67	6,3
	3,5 gr	24,4876	0,9569	0,71	6,3
	5 gr	28,7753	0,9496	0,72	6,2
	6,5 gr	37,6372	0,9326	0,83	6,2
	8 gr	42,2380	0,9127	0,89	6
7 hari	2 gr	20,7628	0,9643	0,69	6,3
	3,5 gr	25,3454	0,9555	0,71	6,3
	5 gr	30,4118	0,9409	0,74	6,2
	6,5 gr	33,8785	0,9401	0,79	6,2
	8 gr	36,5855	0,9312	0,81	6,1

Sumber: (penulis, 2022)

3.2 Pengaruh Waktu Fermentasi dan Berat Ragi Terhadap Kadar Bioetanol

Grafik hubungan waktu fermentasi dan kada rragi terhadap kadar bioethanol dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:

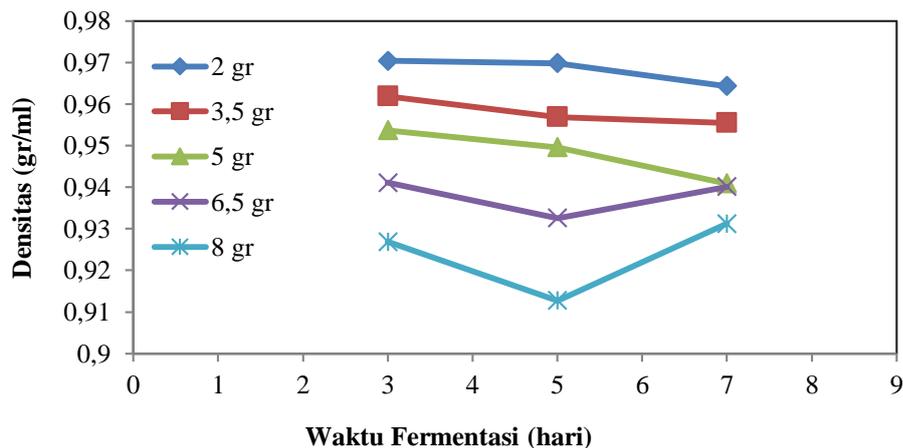


Gambar 3.1 Hubungan Pengaruh waktu fermentasi dan berat ragi terhadap kadar bioetanol

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa waktu fermentasi dan berat ragi sangat berpengaruh terhadap kadar bioetanol, dimana semakin lama waktu fermentasi dan banyaknya ragi maka semakin tinggi kadar bioetanol yang diperoleh. Semakin tinggi berat ragi maka semakin banyak jumlah mikroorganisme yang melakukan penguraian glukosa menjadi etanol dan semakin lama waktu fermentasi maka *Saccharomyces Cerevisiae* semakin aktif untuk berkembang biak sehingga semakin meningkatnya jumlah mikroba maka semakin banyak pula glukosa terkonversi menjadi bioetanol sehingga bioetanol yang dihasilkan semakin banyak. Temuan yang senada pernah dilaporkan oleh (Danil, 2020). Hasil terbaik penelitian ini diperoleh dengan kondisi operasi berat ragi 8 gram dengan lama fermentasi 5 hari dimana kadar bioetanol pelepah kelapa sawit sebesar 42,2380%

3.3 Hubungan Pengaruh Waktu Fermentasi dan Berat Ragi terhadap Densitas

Grafik hubungan waktu fermentasi dan kadar ragi terhadap densitas bioetanol dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut:



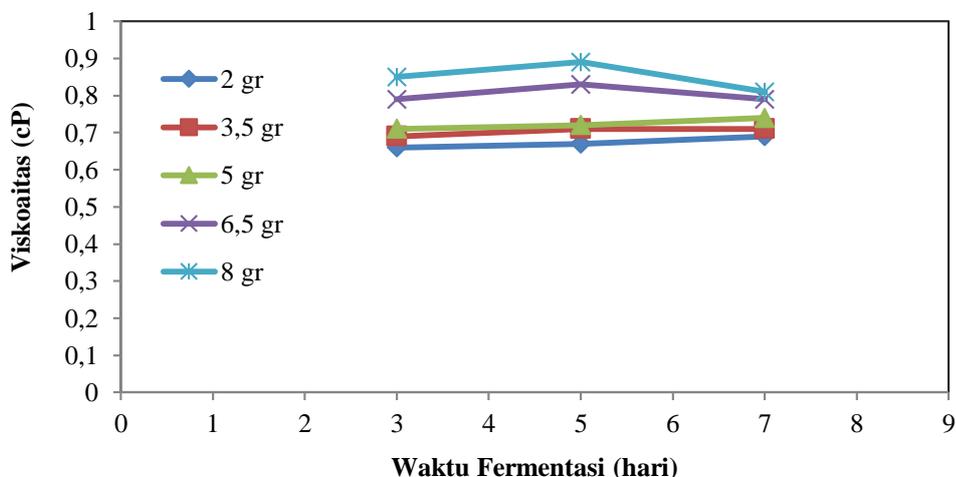
Gambar 3.2 Hubungan Pengaruh Waktu Fermentasi dan Berat Ragi terhadap Densitas

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa waktu fermentasi dan berat ragi sangat berpengaruh terhadap densitas bioetanol, dimana semakin lama waktu fermentasi dan semakin banyak ragi maka kadar densitas yang diperoleh semakin rendah. Hal ini berbanding terbalik dengan gambar 3.1 bahwasanya waktu fermentasi dan berat ragi mempengaruhi kadar bioetanol yang dihasilkan dimana semakin lama waktu fermentasi dan banyaknya ragi maka kadar bioetanol semakin tinggi. Densitas berbanding terbalik dengan kadar bioetanol, semakin tinggi densitas bioetanol maka semakin rendah kualitas bioetanol.

Dari grafik dapat dilihat bahwa kadar densitas mengalami penurunan sampai hari ke-7, hal tersebut dikarenakan semakin banyak jumlah ragi yang diberikan dan meningkatnya waktu fermentasi, maka kesempatan bakteri lebih lama berinteraksi untuk mengurai glukosa menjadi bioetanol. Dengan meningkatnya jumlah bioetanol ini maka produksi air dari hasil fermentasi menurun, sehingga mengakibatkan densitas produk semakin rendah. Temuan yang senada pernah dilaporkan oleh (Maryana et al., 2020). Hasil terbaik penelitian ini diperoleh pada kadar bioetanol 42,2380 % dengan densitas 0,9127 gr/ml.

3.4 Hubungan Pengaruh Waktu Fermentasi dan Berat Ragi terhadap Viskositas

Grafik hubungan waktu fermentasi dan kadar ragi terhadap viskositas bioetanol dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Hubungan Pengaruh Waktu Fermentasi dan Berat Ragi terhadap Viskositas

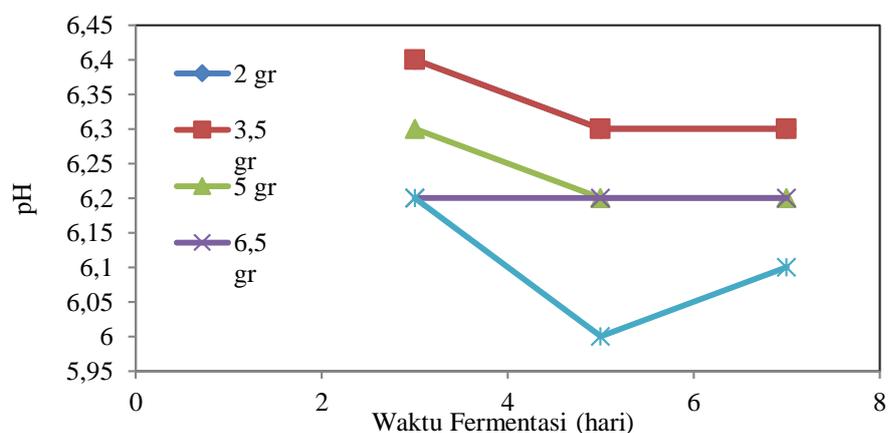
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa viskositas atau kekentalan adalah gesekan yang terjadi pada zat cair karena adanya gaya kohesi. Viskositas atau kekentalan juga terjadi pada gas sebagai hasil tumbukan antara molekul-molekul gas. Viskositas juga berkaitan dengan kadar bioetanol yaitu semakin tinggi konsentrasi suatu larutan maka akan semakin tinggi pula viskositas atau kekentalan larutan tersebut.

Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa viskositas bioetanol mengalami kenaikan seiring dengan naiknya jumlah ragi yang dipakai dan semakin lama waktu fermentasi. Namun untuk waktu fermentasi, viskositas hanya naik sampai hari ke 5 saja. Hal ini disebabkan karena semakin berat ragi maka semakin banyak *Saccharomyces Cerevisiae* yang digunakan dalam pembentukan bioetanol dan semakin lama waktu fermentasi maka semakin lama waktu kontak mikroorganisme untuk mengubah glukosa menjadi bioetanol. Meningkatnya kadar bioetanol menyebabkan viskositas semakin tinggi karena air yang diproduksi semakin rendah. Temuan serupa pernah dilaporkan (Lestari et al., 2018). Untuk lama fermentasi 7 hari viskositas mengalami penurunan hal ini disebabkan karena pada hari tersebut mikroorganisme berada difase kematian

(Amalia et al., 2009). Viskositas terbaik diperoleh pada kondisi operasional berat ragi 8 gram dan lama fermentasi 5 hari dengan nilai viskositas 0,89 cp.

3.5 Hubungan Pengaruh Waktu Fermentasi dan Berat Ragi terhadap pH

Grafik hubungan waktu fermentasi dan kadar ragi terhadap pH bioetanol dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut :



Gambar 3.4 Hubungan Pengaruh Waktu Fermentasi dan Berat Ragi terhadap pH

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa pH (*Power of Hydrogen*) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaaan yang dimiliki oleh suatu larutan. pH dari media sangat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganismenya. Setiap mikroorganismenya mempunyai pH minimal, maksimal, dan optimal untuk pertumbuhannya. Untuk *yeast*, pH optimal untuk pertumbuhannya ialah berkisar antara 4,0 sampai 6,0.

Pada gambar dapat disimpulkan bahwa semakin berat kadar ragi yang digunakan dan semakin lama waktu fermentasi, maka pH bioetanol yang dihasilkan semakin menurun. Perubahan pH dalam fermentasi disebabkan karena dalam aktivitasnya sel khamir selain menghasilkan etanol sebagai metabolit primer juga menghasilkan asam-asam organik seperti asam malat, asam tartarat, asam sitrat, asam laktat, asam asetat, asam butirat dan asam propionat sebagai hasil sampingan, asam ini menurunkan pH medium. Dalam penelitian ini produk fermentasi yang dihasilkan adalah alkohol. Alkohol bersifat asam, sehingga ketika jumlah mikroorganismenya dan waktu fermentasi ditambah maka akan semakin banyak alkohol yang terbentuk. Temuan yang senada pernah dilaporkan oleh (Azizah et

al., 2012). pH terkecil diperoleh pada sabut kelapa hijau yang diperoleh pada berat ragi 8 gram dengan lama fermentasi 5 hari yaitu 6,0.

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pelepah kelapa sawit menghasilkan kadar bioetanol tertinggi, dengan kadar bioetanol sebesar 42,24 %.
2. Pengaruh berat ragi terbaik dalam proses fermentasi yang menghasilkan kadar bioethanol tertinggi diperoleh pada berat ragi 8 gram
3. Lamanya masa fermentasi terbaik yang menghasilkan kadar bioethanol tertinggi didapat pada waktu fermentasi selama 5 hari.

Adapun saran untuk meningkatkan kadar bioetanol, maka diperlukan penelitian lebih lanjut seperti dengan penggunaan mikroorganisme lain agar dapat dikaji untuk mendapatkan hasil bioetanol yang lebih baik.

5. Daftar Pustaka

- Amalia, Y., Muria, S. R., & Chairul. (2009). *Pembuatan Bioetanol dari Limbah Padat Sagu menggunakan Enzim Selulase dan Yeast Saccharomyces Cerevisiae dengan Proses Simultaneous Sacharificatian and Fermentation (SSF)*. 1, 12.
- Azizah, N., Al-bAARI, A., & Mulyani, S. (2012). Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Alkohol, pH, dan Produksi Gas pada Proses Fermentasi Bioetanol dari Whey dengan Substitusi Kulit Nanas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 1(2), 72–77.
- Danil, M. (2020). Pengaruh lama fermentasi dan dosis ragi terhadap kadar bioetanol pada fermentasi limbah tapioka padat kering. *AGRILAND Jurnal Ilmu Pertanian*, 8(1), 111–115. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/agriland>
- Direktorat Jendral Perkebunan. (2019). Statistik Perkebunan Indonesia 2018-2020. *Secretariate of Directorate General of Estates*, 1–82.
- Kumneadklang, S., Larpkiattaworn, S., Niyasom, C., & O-Thong, S. (2015). Bioethanol Production from Oil Palm Frond by Simultaneous

Saccharification and Fermentation. In *Energy Procedia* (Vol. 79). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.567>

Lestari, M. W., Priyo Bintoro, V., & Rizqiati, H. (2018). Pengaruh Lama Fermentasi terhadap Tingkat Keasaman, Viskositas, Kadar Alkohol, dan Mutu Hedonik Kefir Air Kelapa Effect of Fermentation Time on Acidity, Viscosity, Alcohol Concentration, and Hedonic Quality of Coconut (*Cocos nucifera*) Water Kefir. *Jurnal Teknologi Pangan*, 2(1), 8–13.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *The Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265–275. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(19)52451-6)

Maryana, T., Silsia, D., & Budiyanto. (2020). Pengaruh Konsentrasi dan Jenis Ragi pada Produksi Bioetanol dari Ampas Tebu. In *ejournal.Universitas Bengkulu* (Vol. 1, Issue 10).

Masfufatun. (2012). *Produksi Etanol dari Hidrolisat Carboxy Methyl Cellulose (CMC)*. Cmc.

Mosier, N., Hendrickson, R., Ho, N., Sedlak, M., & Ladisch, M. R. (2005). Optimization of pH controlled liquid hot water pretreatment of corn stover. *Bioresource Technology*, 96(18 SPEC. ISS.), 1986–1993. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.013>

Ni'mah, L., Ardiyanto, A., & Zainuddin, M. (2015). Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Serat Kelapa Sawit Melalui Proses Pretreatment , Hidrolisis. *Jurnal Info Teknik*, 16(2), 227–242.

Parapat, S. H. (2019). *Minat Kelompok Tani Dalam Pemanfaatan Pelepah Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) Sebagai Usaha Pakan Ternak Di Kecamatan Besitang Kabupaten Langkat*. 1–139.

Pratiwi, N., Fatia, I., & Yani, W. P. (2021). *Tinjauan Literatur : Industri Alkohol menggunakan Immobilisasi Sel (Literature Review : Alcohol Industry Using Cell Immobilization)*. 1300–1311.

Roni, K. A., Susanto, T., Pratama, I., & Herawati, N. (2020). Peningkatan Kadar Bioetanol Dari Kulit Nanas Dengan Adsorben Dari Limbah Katalis Bekas Cracking Pertamina Ru Iii Plaju Yang Teraktivasi Secara Fisika. *Majalah TEGI*, 12(1), 29. <https://doi.org/10.46559/tegi.v12i1.6026>

Sudiyani, Y., Triwahyuni, E., Burhani, D., Muryanto, M., Aiman, S., Amriani, F., Simanungkalit, S. P., Abimanyu, H., Dahnum, D., Laksmono, J. A., Waluyo, J., Irawan, Y., Sari, A. A., & Puteri, A. M. H. (2019). Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif. In [Http://Penerbit.Lipi.Go.Id/Data/Naskah1573012692](http://Penerbit.Lipi.Go.Id/Data/Naskah1573012692). lipipress.lipi.go.id

Wikrama Yuda, I. G. Y., Mahaputra Wijaya, I. M., & Suwariani, N. P. (2018). Studi Pengaruh pH Awal Media dan Konsentrasi Substrat pada Proses Fermentasi Produksi Bioetanol dari Hidrolisat Tepung Biji Kluwih (*Actinocarpus Communis*) dengan Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 6(2), 115. <https://doi.org/10.24843/jrma.2018.v06.i02.p03>