

ANALISA RESIDU TAPE BERBAHAN PISANG RAJA BULU (*Musa paradisiaca L. var sapientum*)

RESIDUAL ANALYSIS OF TAPE MATERIAL BANANA FEATHER (*Musa Paradisiaca L. var sapientum*)

Amalia Khansa Firdaus¹, Ahmad Qurthobi², Amaliyah R.I.U³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

amaliakhansa@student.telkomuniversity.ac.id¹, qurthobi@telkomuniversity.ac.id²,

amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Pisang raja bulu merupakan salah satu makanan yang mengandung jumlah karbohidrat yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar alkohol, asam laktat dan gas metana yang dihasilkan dari fermentasi pisang raja bulu dengan variasi ragi sebanyak 4, 6, 8 gram dan lama fermentasi selama 1, 3, 5, 7 dan 10 hari. Metode penelitian yang dilakukan yaitu proses fermentasi secara anaerob, dimana dalam metode ini tidak memerlukan udara ataupun oksigen. Setelah itu pisang dikukus selama 30 menit, kemudian dilakukan fermentasi menggunakan ragi *saccharomyces cereviseae* serta proses titrasi dengan cairan NaOH 0,1 N dan 0,1 M untuk mengetahui kadar alkohol juga asam laktat, sedangkan untuk gas metana menggunakan sensor MQ-4. Hasil analisis dari penelitian ini menunjukkan bahwa kadar alkohol tertinggi yang dihasilkan adalah 0.135%, kadar asam laktat yaitu 0.024%, dan hasil kadar gas metana yaitu 665 ppm. Jadi residu dari penelitian fermentasi pisang raja bulu ini belum bisa digunakan atau diolah lebih lanjut sebagai bahan bakar alternatif, karena nilai asam laktat, alkohol, dan gas metana yang di dapatkan dari proses fermentasi belum mencapai kadar yang seharusnya, yaitu untuk kadar minimum dari alkohol/etanol 94,0%-99,5%, dan gas metana kadar minimumnya yaitu 45%.

Kata Kunci: Fermentasi, residu, pisang raja bulu, bahan bakar alternatif.

Abstract

*Banana plantain is one of the foods that contain a high amount of carbohydrates, so it can be used as raw material for making alternative fuels. This study aims to determine the levels of alcohol, lactic acid and methane gas produced by fermenting plantain bananas with 4, 6, 8 grams of yeast variation and 1, 3, 5, 7 and 10 days of fermentation. The research method used is the anaerobic fermentation process, which in this method does not require air or oxygen. After that the bananas were steamed for 30 minutes, then fermented using yeast *Saccharomyces cereviseae* and the titration process with 0.1 N and 0.1 M NaOH liquid to determine the alcohol and lactic acid levels, while for methane gas using the MQ-4 sensor. The results of the analysis of this study indicate that the highest alcohol content produced is 0.135%, while the lactic acid content is 0.024%. And the result of the maximum methane gas content is 665 ppm, so the residue from this research of fermented plantain banana cannot be used or processed further as an alternative fuel, because the value of lactic acid, alcohol, and methane gas obtained from the fermentation process has not reached the level that should be, namely for the minimum level of alcohol/ ethanol 94.0%-99.5%, and the minimum content of methane gas is 45%.*

Keywords: Fermentation, residue, plantain bulu, alternative fuel.

1. Pendahuluan

Hampir seluruh kegiatan yang dilakukan manusia di dunia membutuhkan energi. Energi yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari yaitu berupa bahan bakar minyak, gas, dan listrik. Dimana sumber energi tersebut berasal dari fosil, fosil merupakan bahan utama dari pembuatan bahan bakar yang tidak bisa diperbaharui. Sedangkan kebutuhan energi bahan bakar untuk setiap tahunnya terus meningkat [1,2]. Oleh karena itu Indonesia harus mengembangkan sebuah sumber energi terbarukan, salah satunya yaitu energi alternatif.

Energi alternatif sebagai salah satu hal yang bernilai dan harus dikembangkan agar bisa digunakan oleh seluruh masyarakat. Indonesia merupakan negara tropis yang sangat banyak dalam memproduksi pisang. Seperti yang telah diketahui pada pelaksanaan riset yang telah dilakukan oleh Wenny Harifadillah, dkk (2017) bahwa kulit pisang yang telah di fermentasi secara anaerob dapat memproduksi kandungan hidrogen dengan nilai 47.470 persen [3]. Selain itu dari riset yang telah dilakukan oleh Hikmah, dkk (2019) ternyata kulit pisang raja juga dapat diolah menjadi bioetanol [4].

Untuk dapat memperoleh sebuah bahan bakar alternatif dari fermentasi pisang raja maka harus dilakukan penelitian. Dalam hal ini tujuan penelitian tugas akhir yang dilakukan yaitu untuk mengetahui banyak kandungan gas metana, asam laktat, dan alkohol yang di hasilkan dari fermentasi pisang raja tersebut.

2. Dasar Teori

2.1 Fermentasi

Proses fermentasi pada dasarnya telah dikenal cukup lama oleh manusia yaitu sejak manusia mampu bagaimana cara mengolah dan memanfaatkan ragi (yeast) dalam mengawetkan buah-buahan, mengolah biji-bijian menjadi malt, dan pembuatan roti [5]. Dengan melalui proses fermentasi, manusia dapat mengubah suatu bahan sederhana atau suatu senyawa sederhana menjadi sebuah hasil akhir yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi, hanya dengan memanfaatkan mikroorganisme. Dalam melakukan proses fermentasi, dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan oksigen yaitu fermentasi aerob dan fermentasi anaerob.

2.2 Pisang Raja

Pisang Raja (*Musa paradisiaca L. var sapientum*) Pisang raja atau biasa disebut dengan pisang raja bulu merupakan salah satu tanaman pisang yang banyak ditemukan di daerah Jawa. Pisang raja memiliki ciri-ciri yaitu bentuk buahnya melengkung, berkulit tebal dan kasar, jika sudah matang maka kulitnya akan berubah warna menjadi kuning orange. Daging pada buah tidak memiliki biji dan rasanya manis, pisang raja bisa dikonsumsi secara langsung jika sudah matang tanpa harus diolah terlebih dahulu. Per tandan terdapat sekitar 6 sampai 9 sisir dengan berat yang dimiliki yaitu sekitar 12-16 kg, setiap sisir buah pisang raja terdapat 14-16 buah dan berat setiap buahnya yaitu 92 gram [6].

2.3 Ragi tape

Ragi tape atau yang biasa disebut dengan 'yeast' berawal dari tepung beras yang telah disatukan oleh berbagai macam bahan lain kemudian ragi tersebut mampu meringankan proses fermentasi. Ragi mampu mengganti karbohidrat atau pati menjadi glukosa atau gula sederhana yang kemudian glukosa tersebut diganti kembali menjadi karbohidrat [7]. Untuk memproduksi sebuah alkohol yang berasal dari gula dan pati biasanya digunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae*. supaya pertumbuhan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* dapat optimal maka temperatur yang digunakan adalah 26-28°C, sedangkan untuk pH yang harus digunakan supaya pertumbuhan pada sel khamir dapat optimal yaitu sekitar 4,5-5,5 [8].

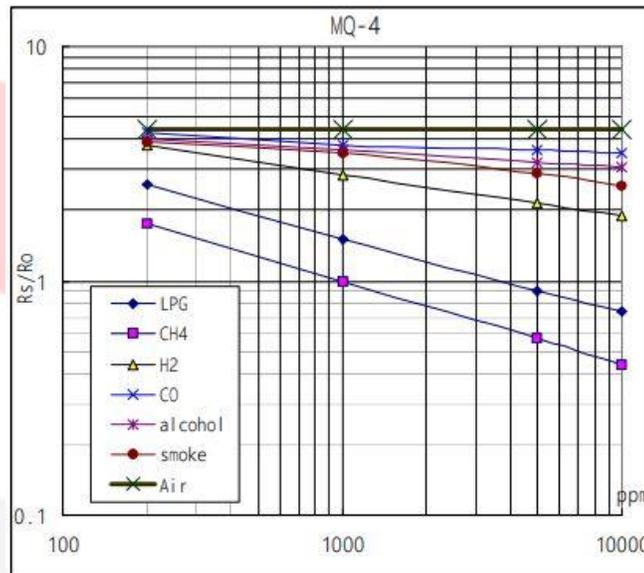
2.4 Alkohol

Alkohol adalah nama umum untuk sebuah senyawa hidrokarbon yang memiliki rumus umum $C_nH_{(2n+1)}OH$ [9]. Alkohol yang didapatkan dari tahap proses fermentasi pada umumnya akan menghasilkan berbagai jenis gas, diantaranya adalah aldehyde dan gas karbon dioksida (yang dihasilkan oleh perubahan glukosa menjadi etanol/bioetanol). Volume gas karbon dioksida mencapai 35 persen sehingga dapat menghasilkan etanol/bioetanol yang berkualitas baik [10].

2.5 Asam Laktat

Asam laktat atau dalam bahasa kimianya disebut dengan 2-hydroxypropanoic ($\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$) adalah sebuah senyawa kimia yang biasa digunakan dalam dunia industri. Biasanya dalam dunia industri asam laktat dapat digunakan untuk berbagai macam produk yaitu makanan, kosmetik, farmasi, dan bahkan asam laktat bisa juga digunakan sebagai zat pembersih pada industri kimia [11].

3. Pembahasan

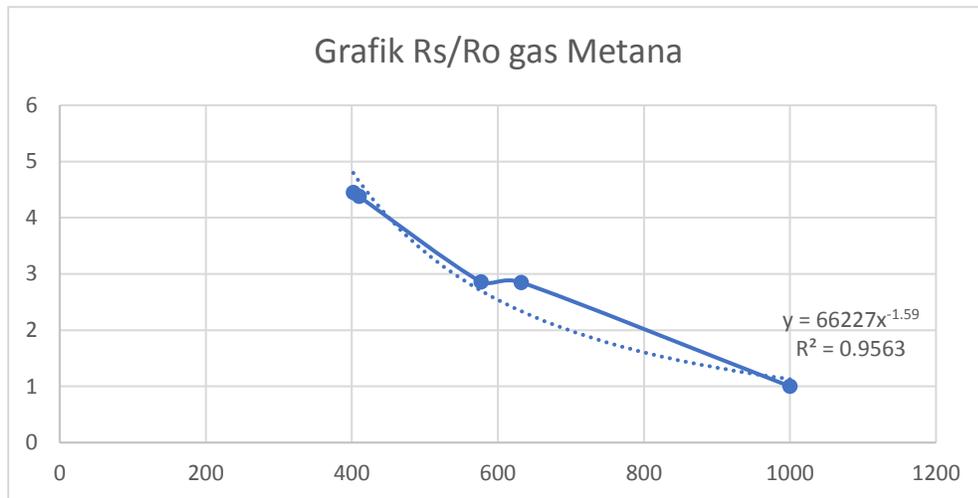


Gambar 1 Data Sheet MQ-4

ppm	rs	rs/ro
402	3.25	4.45
410	3.2	4.38
577	2.09	2.86
632	2.05	2.85
1000	0.73	1

Tabel 1 Data Hasil Pengamatan Hubungan Rs/Ro Dengan Konsentrasi Gas

Tabel diatas merupakan data yang didapatkan dari hasil kalibrasi yang telah dilakukan, kemudian data dimasukan ke dalam Ms. Excel untuk diolah supaya mendapatkan hasil atau fungsi dalam bentuk matematikanya.



Gambar 2 Grafik RS/Ro Terhadap Konsentrasi Gas Metana Sensor

Kalibrasi sensor gas MQ-4 dilakukan dengan cara mendeteksi gas metana hasil dari proses fermentasi tape pisang raja bulu. Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai korelasi yang didapatkan yaitu 0.9563, atau dapat diartikan bahwa tingkat keakuratan sensor gas MQ-4 95.63%. Seperti yang telah kita ketahui bahwa jika suatu alat atau metode memiliki nilai korelasi lebih dari 80% maka alat ataupun metode tersebut layak untuk digunakan.

3.1 Pengamatan Kadar Alkohol, Asam Laktat, Dan Gas Metana

Data dari hasil pengamatan yang didapat merupakan penelitian eksperimen dalam menguji kadar alkohol, dan kadar asam laktat yang didapatkan untuk pembuatan bahan bakar alternatif melalui proses fermentasi pisang raja bulu, dimana hasil fermentasi pisang raja bulu tetap bisa dikonsumsi oleh manusia adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengamatan Fermentasi 1 hari

Hari	Berat Pisang (Gram)	Variasi ragi (Gram)	Suhu (°C)	Kandungan Gas (PPm)	Kadar Alkohol (%)	Kadar Asam Laktat (%)
1	540	4	29.1	645	0.028	0.006
	554.7	6	27.3	464	0.028	0.005
	568.5	8	27.5	503	0.032	0.006

Menurut data pengujian pada tabel 2 dengan variasi ragi yang diberikan menunjukkan variasi ragi terkecil yaitu 4 gram mengandung kadar alkohol sebesar 0.028%, dan asam laktat 0.006%, untuk variasi ragi 6 gram kandungan kadar alkohol yang didapatkan sebanyak 0.028%, dan asam laktat 0.005%. Sedangkan variasi ragi terbesar yang diberikan yaitu 8 gram mengandung kadar alkohol sebanyak 0.032% dan asam laktat 0.006% dengan waktu fermentasi selama 1 hari

Hari	Berat Pisang (Gram)	Variasi ragi (Gram)	Suhu (°C)	Kandungan Gas (PPm)	Kadar Alkohol (%)	Kadar Asam Laktat (%)
3	518.6	4	27.8	465	0.057	0.010
	510.5	6	28.3	520	0.057	0.011
	510.9	8	29.7	665	0.036	0.008

Tabel 3 Hasil Pengamatan Fermentasi 3 hari

Menurut data pengujian pada tabel 3 dengan variasi ragi yang diberikan menunjukkan variasi ragi terkecil yaitu 4 gram mengandung kadar alkohol sebesar 0.057%, dan asam laktat 0.010%, untuk variasi ragi 6 gram kandungan kadar alkohol yang didapatkan sebanyak 0.057%, dan asam laktat 0.011%. Sedangkan variasi ragi terbesar yang diberikan yaitu 8 gram mengandung kadar alkohol sebanyak 0.032% dan asam laktat 0.008% dengan waktu fermentasi selama 3 hari.

Hari	Berat Pisang (Gram)	Variasi ragi (Gram)	Suhu (°C)	Kandungan Gas (PPm)	Kadar Alkohol (%)	Kadar Asam Laktat (%)
5	506.2	4	27	445	0.029	0.006
	599.4	6	27.5	533	0.016	0.010
	578.7	8	28.3	466	0.019	0.004

Tabel 4 Hasil Pengamatan Fermentasi 5 hari

Menurut data pengujian pada tabel 4 dengan variasi ragi yang diberikan menunjukkan variasi ragi terkecil

yaitu 4 gram mengandung kadar alkohol sebesar 0.029%, dan asam laktat 0.006%, untuk variasi ragi 6 gram kandungan kadar alkohol yang didapatkan sebanyak 0.016%, dan asam laktat 0.010%. Sedangkan variasi ragi terbesar yang diberikan yaitu 8 gram mengandung kadar alkohol sebanyak 0.019% dan asam laktat 0.004% dengan waktu fermentasi selama 5 hari.

Hari	Berat Pisang (Gram)	Variasi ragi (Gram)	Suhu (°C)	Kandungan Gas (PPm)	Kadar Alkohol (%)	Kadar Asam Laktat (%)
7	557	4	28.8	538	0.015	0.004
	567.2	6	27.1	410	0.016	0.003
	533.3	8	28.7	505	0.013	0.002

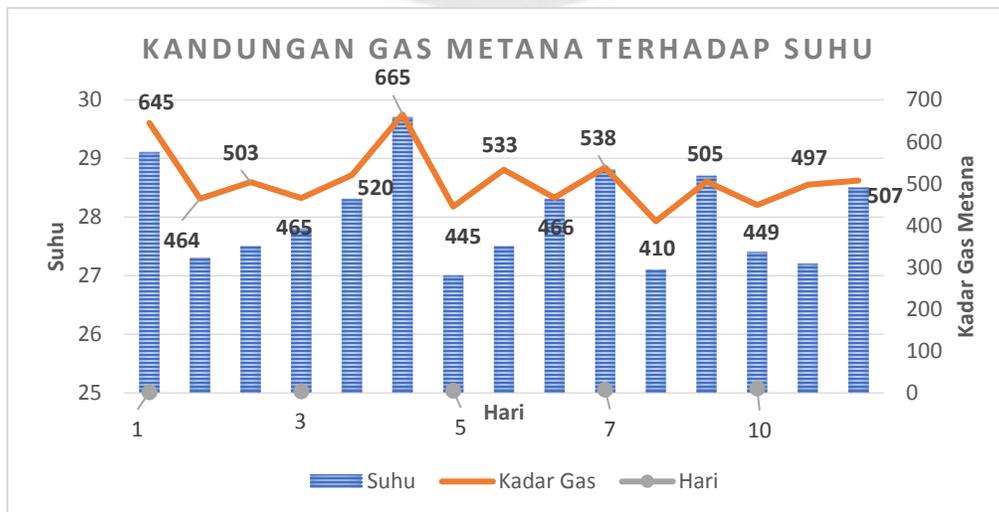
Tabel 5 Hasil Pengamatan Fermentasi 7 hari

Menurut data pengujian pada tabel 5 dengan variasi ragi yang diberikan menunjukkan variasi ragi terkecil yaitu 4 gram mengandung kadar alkohol sebesar 0.015%, dan asam laktat 0.004%, untuk variasi ragi 6 gram kandungan kadar alkohol yang didapatkan sebanyak 0.016%, dan asam laktat 0.003%. Sedangkan variasi ragi terbesar yang diberikan yaitu 8 gram mengandung kadar alkohol sebanyak 0.013% dan asam laktat 0.002% dengan waktu fermentasi selama 7 hari.

Hari	Berat Pisang (Gram)	Variasi ragi (Gram)	Suhu (°C)	Kandungan Gas (PPm)	Kadar Alkohol (%)	Kadar Asam Laktat (%)
10	536.9	4	27.4	449	0.025	0.003
	511.4	6	27.2	497	0.133	0.024
	543.3	8	28.5	507	0.135	0.024

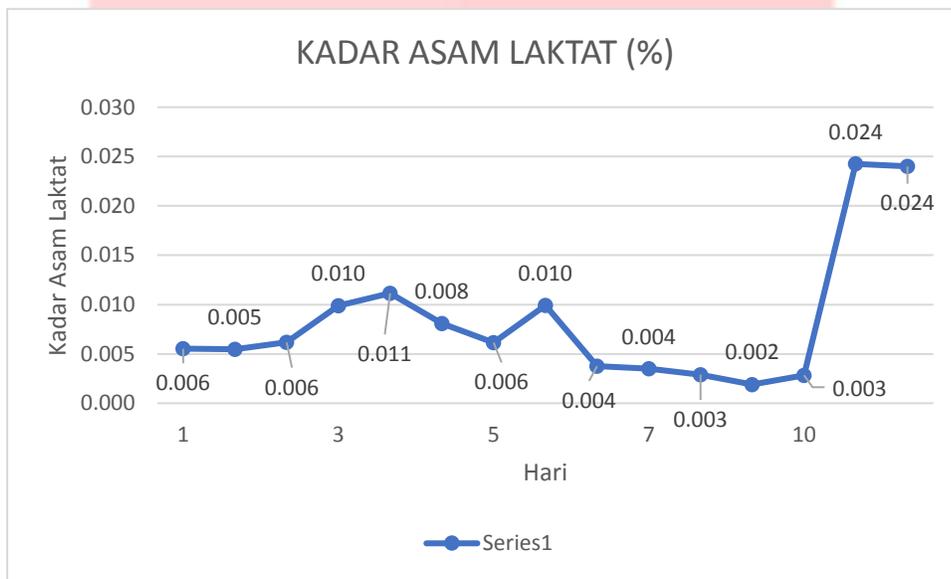
Tabel 6 Hasil Pengamatan Fermentasi 10 hari

Menurut data pengujian pada tabel 6 dengan variasi ragi yang diberikan menunjukkan variasi ragi terkecil yaitu 4 gram mengandung kadar alkohol sebesar 0.025%, dan asam laktat 0.003%, untuk variasi ragi 6 gram kandungan kadar alkohol yang didapatkan sebanyak 0.133%, dan asam laktat 0.024%. Sedangkan variasi ragi



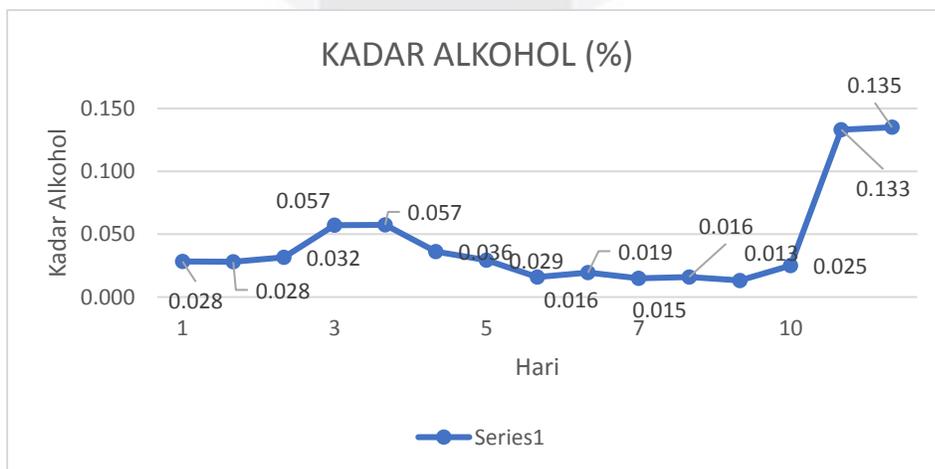
terbesar yang diberikan yaitu 8 gram mengandung kadar alkohol sebanyak 0.135% dan asam laktat 0.024% dengan waktu fermentasi selama 10 hari.

Dapat dilihat pada gambar 3 grafik diatas bahwa gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari proses fermentasi pisang raja bulu dengan variasi ragi yang berbeda dan lama waktu fermentasi yang berbeda menunjukkan bahwa gas yang dihasilkan tidak stabil. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor salah satunya yaitu faktor dari suhu ruangan yang tidak konstan. Karena penelitian ini menggunakan reaktor sederhana yang berbahan dasar tanah liat, dimana tanah liat sendiri bersifat dapat menyerap udara dari luar. Dan jika dilihat berdasarkan produksi gas yang dihasilkan terhadap suhu bahwa semakin tinggi suhu menyebabkan produksi gas yang dihasilkan juga meningkat dan begitu juga sebaliknya, jika suhu rendah akan menghasilkan gas metana yang sedikit. Dan dari data yang di dapatkan kadar gas metana yang dihasilkan dari proses fermentasi pisang raja bulu belum bisa diolah lebih lanjut sebagai bahan bakar alternatif karena pada dasarnya kadar minimal gas metana yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yaitu 45%.



Gambar 4 Hasil Grafik Kadar Asam Laktat

Pada gambar 4 grafik diatas menunjukkan bahwa kadar asam laktat paling tinggi terjadi pada hari kesepuluh. Hal ini terjadi karena lama dari proses fermentasi yang dilakukan, dimana semakin lama proses fermentasi maka pertumbuhan mikroorganisme terutama bakteri asam laktat akan menghasilkan asam laktat yang banyak. Sesuai dengan yang dikatakan oleh Abubakar et al (2000) bahwa proses fermentasi yang memakan waktu yang semakin lama akan menyebabkan bakteri asam laktat menjadi semakin aktif dan menghasilkan kadar asam laktat yang semakin banyak.



Gambar 5 Hasil Grafik Kadar Alkohol

Dapat dilihat pada gambar grafik diatas kadar alkohol yang paling tinggi terletak pada hari kesepuluh dimana memiliki kadar alkohol sebesar 0.135%, hal ini terjadi karena semakin banyak ragi yang diberikan maka kadar alkohol yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Dan jika proses fermentasi dilakukan dalam waktu yang cukup lama maka, proses fermentasi akan menghasilkan mikroorganismenya yang semakin banyak juga, dimana tugas atau fungsi mikroorganismenya dalam proses fermentasi yaitu merubah pati menjadi glukosa kemudian glukosa yang sudah dihasilkan tersebut akan diubah lagi menjadi alkohol. Oleh karena itu kadar alkohol yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Berdasarkan SNI 7390:2012 bahwa kadar etanol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif memiliki kadar minimum sebesar 94,0%-99,5%. Etanol yang dihasilkan dari fermentasi pisang raja bulu pada penelitian ini masih belum dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif (bioetanol).

3.2 Kestimbangan Massa

Prinsip dari kestimbangan massa yaitu massa yang masuk ke dalam suatu proses akan sama dengan total massa yang keluar setelah proses tersebut selesai. Dan pada umumnya perubahan yang terjadi yaitu perubahan wujud massa yang dimasukan (*input*) dalam suatu proses menjadi bentuk lain pada saat menjadi keluaran (*output*)[12].



Gambar 6 Diagram Kestimbangan Massa

Berikut merupakan tabel diagram kestimbangan massa:

Tabel 7 Diagram Kestimbangan Massa

Hari	Massa Pisang Sebelum Kukus (gram)	Massa Pisang sebelum fermentasi tanpa kulit (gram)	Massa Pisang Setelah Fermentasi (gram)	Kestimbangan massa (gram)	Gas Metana (g/m ³)	Liquid (ml)
1	514.3	315.5	281.8	33.7	0.423	35
	500	292	278.4	3.6	0.304	46
	527.6	307.2	283.1	24.2	0.329	50
3	539.8	320.7	275	45.7	0.305	47
	538.8	318.3	284.4	33.9	0.341	63
	547	335.5	304.5	31	0.436	78

5	524.2	267.8	229.1	38.7	0.292	88
	525.1	328.2	263.3	64.9	0.349	89
	533	332.5	312.8	19.7	0.306	87
7	563.4	354.5	296.5	58	0.353	81
	577.8	353.1	292.8	60.3	0.269	92
	570.8	302	236.8	65.2	0.331	72
10	536.9	319.7	283.1	36.6	0.295	90
	511.4	310	275.2	34.8	0.333	62
	543.3	325.8	297.6	28.2	0.326	80

Berdasarkan data yang di dapatkan pada tabel diatas bahwa, massa pisang raja bulu sebelum dan setelah difermentasi mengalami perubahan. Hal ini wajar terjadi karena pada proses fermentasi massa pisang raja bulu berubah menjadi beberapa objek lain seperti gas, ataupun liquid. Dan untuk kesetimbangan massa yang dihasilkan dari proses fermentasi pisang raja bulu yaitu “*steady state process*” karena adanya massa akumulasi yang dihasilkan dari proses fermentasi pisang raja bulu tersebut. Dan untuk liquid yang dihasilkan dari proses fermentasi ini tergantung dari massa pisang yang digunakan, semakin banyak massa pisang maka semakin banyak juga liquid yang akan dihasilkan dari proses fermentasi tersebut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa kadar alkohol yang paling maksimal didapatkan sebesar 0.135%, sedangkan untuk kadar asam laktat yang di dapatkan 0.024%. Dan hasil kadar gas metana paling maksimal yaitu 665 ppm. Dari data yang ada dapat disimpulkan bahwa residu yang dihasilkan dari proses fermentasi pisang raja bulu belum bisa digunakan atau diolah lebih lanjut sebagai bahan bakar alternatif, karena nilai asam laktat, alkohol, dan gas metana yang di dapatkan dari proses fermentasi belum mencapai kadar yang seharusnya, yaitu untuk kadar minimum dari alkohol/etanol 94,0%-99,5%, dan gas metana kadar minimumnya yaitu 45%.

REFERENSI

- [1] G. Anggaretno, I. Rochani, and H. Supomo, ‘Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl₃’, *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Sep. 2012, doi: 10.12962/j23373539.v1i1.1619.
- [2] J. K. Casper, *Fossil Fuels and Pollution: The Future of Air Quality*. Infobase Publishing, 2010.
- [3] W. Harifadillah.a, *ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP PRODUKSI HIDROGEN PADA REAKTOR ANAEROB DENGAN SUBSTRAT KULIT PISANG*. Universitas Telkom, 2017. Accessed: Nov. 27, 2020. [Online]. Available: /home/catalog/id/136811/slug/analisis-pengaruh-temperatur-terhadap-produksi-hidrogen-pada-reaktor-anaerob-dengan-substrat-kulit-pisang.html
- [4] Hikmah, Hilda Nur Fadhillah, Muhammad Noor dan Meilana Dharma Putra, ‘BIOETANOL HASIL FERMENTASI KULIT PISANG KEPOK (Musa paradisiaca) DENGAN VARIASI RAGI MELALUI HIDROLISIS ASAM SULFAT’, vol. Vol. 15 No. 2, p. Halaman 195-203, Agustus 2019.
- [5] ‘Teknologi Fermentasi pada Industri Peternakan - Zaenal Bachruddin - Google Books’. https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=jyRYDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=+++Bachruddin,+Zaenal.+2014.+Teknologi+Fermentasi+Pada+Industri+Peternakan.+Yogyakarta:+Gajah+Mada+University+Press.&ots=LpAnHCZ6Hx&sig=mjDCAz8G2MO_8oZWbnm7wrDeKdw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (accessed Nov. 19, 2020).
- [6] *Berkebun Pisang Secara Intensif*. Niaga Swadaya.
- [7] 1417021020 Benny Hartanto, ‘KARAKTERISTIK KEFIR SUSU KEDELAI DENGAN INOKULUM RAGI TAPE’, Jun. 28, 2018. <http://digilib.unila.ac.id/32643/> (accessed Dec. 27, 2020).
- [8] R. Juwita, ‘(Saccharum officinarum L) SELAMA PROSES FERMENTASI’, p. 46, 2012.
- [9] R. Emy Monica, *Potensi Kulit Pisang Kepok Kuning (Musa paradisiaca L) Sebagai Bahan Tambahan Dalam Pembuatan Es Krim*.
- [10] C. fandeli, *Bisnis Konservasi: Pendekatan Baru Dalam Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan*

Lingkungan Hidup. UGM PRESS, 2018.

- [11] W. D. SAFITRI, 'Pengaruh Waktu Pengeringan Oven dan Konsentrasi Asam Laktat Terhadap Kualitas Pati Termodifikasi dari Tapioka (Effect of Drying Time using Oven and Lactic Acid Concentration on Quality of Tapioca Modified Starch)', undip, 2018.
- [12] A. Hartari, 'Satuan, Dimensi, Kesetimbangan Massa, dan Energi', p. 21.

