

PRODUKSI BIOETANOL DARI BIJI SORGUM (*Sorghum bicolor*) MELALUI PROSES HIDROLISIS ENZIMATIS

BIOETHANOL PRODUCTION FROM SORGHUM SEEDS (*Sorghum bicolor*) THROUGH ENZYMATIC HYDROLYSIS PROCESS

**Arni Supriyanti*, Yanuar Sigit Pramana, Palupi Tri Widiyanti, dan Karyawan
Pudjianto**

Badan Riset Inovasi Nasional

*Email korespondensi: arnilampung394@gmail.com

Diterima 26-05-2023, diperbaiki 11-11-2023, disetujui 23-11-2023

ABSTRACT

*Production of carbohydrate-based bioethanol using raw materials derived from starch requires pre-processing. The pretreatment and hydrolysis process of sorghum grains from various sorghum varieties has not been extensively studied in the context of fermenting sorghum into bioethanol. The purpose of the research is to obtain the fermentation conditions so that the bioethanol yield was optimal and could also produce other useful products. The research employed an experimental design, and process efficiency was evaluated based on parameters such as Sugar Consumption Ratio (SCR) and Fermentation Ratio (FR). The concentration of the glucoamylase enzyme was set at 0.2% relative to the total solid (TS) content. The yeast *Saccharomyces cerevisiae* strain Hakken I was used at a concentration of 10% of the fermentation volume. Additional nutrients included NPK (0,012%) and Urea (0,072 %). The liquefaction process occurred at temperatures between 80-90°C for one hour, followed by saccharification at temperatures between 55-60°C for two hours. Fermentation was conducted at temperatures ranging from 28-32°C for a duration of 60 hours. The results revealed that the total sugar content (TS) of the raw materials ranged from 69% to 73% for several sorghum varieties tested. The Sorghum Numbu variety exhibited the highest TS value at 72,81%. Furthermore, the highest process efficiency was achieved with the Numbu sorghum variety, yielding an FR of 86,69% and an SCR of 87,39%.*

Keywords: *bioethanol, fermentation, flour seed sorghum, varieties, yeast*

ABSTRAK

Produksi bioetanol berbasis karbohidrat yang menggunakan bahan baku berasal dari pati memerlukan proses pra pengolahan. Proses pra-pengolahan dan hidrolisis biji sorgum dari berbagai varietas sorgum belum banyak diteliti dalam konteks fermentasi sorgum menjadi bioetanol. Kurangnya penelitian ini telah menghambat kemajuan dalam mengoptimalkan produksi bioetanol karena pengaruh struktur genetik, komposisi kimia, dan sifat fisik biji, yang dapat menghambat biotransformasi pati. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi fermentasi yang optimal untuk memaksimalkan hasil bioetanol selain juga untuk menghasilkan produk samping berharga lainnya. Penelitian ini menggunakan desain eksperimental, dan efisiensi proses dievaluasi berdasarkan parameter seperti Rasio Konsumsi Gula (SCR) dan Rasio Fermentasi (FR). Konsentrasi enzim glucoamylase diatur pada 0,2% relatif terhadap total padatan (TS). Ragam *Saccharomyces cerevisiae* strain Hakken I digunakan dengan konsentrasi 10% dari volume fermentasi. Nutrisi

tambahan meliputi NPK (0,012%) dan Urea (0,072%). Proses liquifikasi dilakukan pada suhu antara 80-90°C selama satu jam, diikuti oleh proses sakarifikasi pada suhu antara 55-60°C selama dua jam. Fermentasi dilakukan pada suhu antara 28-32°C selama 60 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar gula total (TS) bahan baku berkisar antara 69% hingga 73% untuk beberapa varietas sorgum yang diuji. Varietas Sorghum Numbu memiliki nilai TS tertinggi sebesar 72,81%. Selain itu, efisiensi proses tertinggi dicapai dengan varietas sorgum Numbu, menghasilkan FR sebesar 86,69% dan SCR sebesar 87,39%.

Kata kunci: bioethanol, fermentasi, ragi, tepung biji sorgum, varietas

PENDAHULUAN

Penggunaan Bahan Bakar Nabati (BBN) dapat diperoleh dari tanaman, seperti komoditas pertanian. Salah satunya ubi kayu, jagung yang dapat dimanfaatkan untuk produski bioetanol. Maulana & Azis (2016) menyebutkan bahwa, BBN merupakan alternatif sumber energi pengganti minyak bumi yang berasal dari fosil. Sumber BBM adalah *energy hunting*, karena itu ketersediaan energinya terbatas (Maulana & Azis, 2016).

Huda (2017), menyatakan bahwa bioetanol berbahan baku sorgum memiliki beberapa keuntungan antara lain memiliki kadar oksigen sekitar 35% bersih, serta tidak merusak lingkungan karena tidak mengakumulasi karbon dioksida di atmosfer. Biji sorgum merupakan salah satu biomassa yang dapat dijadikan alternatif sumber bahan bakar nabati. Beberapa varietas diantaranya memiliki karakteristik yang berbeda. Komposisi biji sorgum memiliki nutrisi sama atau lebih dibandingkan dengan jenis biji-bijian lain. Biji sorgum memiliki kadar protein sekitar 9,01%, kadar lemak kasar 3,60%, kadar abu 1,49% serta kadar serat kasar 2,50%. (Zubair, 2018). Sorgum memiliki kulit biji yang berwarna putih, merah ataupun berwarna coklat. Sorgum pangan biasanya berwarna putih, sedangkan sorgum coklat kemerahan biasanya dari kultivar Feterita. Warna dan kilau biji merupakan karakteristik khas dari sorgum (Sinta et al., 2022). Kajian biokonversi biji sorgum menjadi etanol perlu dilakukan untuk menentukan biji sorgum mana yang

memiliki efisiensi proses fermentasi tertinggi sehingga diperoleh produk bioetanol dengan harga bersaing.

Produksi bioetanol berbasis karbohidrat yang menggunakan bahan baku berasal dari pati memerlukan beberapa tahapan proses yang pertama proses hidrolisis, tahap kedua proses fermentasi dan tahap ketiga proses distilasi. Di alam tahap hidrolisis, karbohidrat dipecah menjadi monosakarida sehingga dapat difermentasi oleh mikroorganisme untuk menghasilkan bioetanol (Huda, 2017). Sebelum hasil penelitian diterapkan pada skala industri, perlu dilakukan pengujian proses hidrolisis pati ditinjau dari efisiensi proses fermentasi, efisiensi fermentasi menggunakan substrat hidrolisat asam menghasilkan efisiensi fermentasi sekitar 59,01 % sampai 62,72% (v/v) (Arnata et al., 2015). Beberapa varietas biji sorgum memiliki komposisi matriks protein yang berbeda sehingga mempengaruhi efisiensi proses hidrolisis, sehingga perlu dilakukan pengujian pada varietas sorgum yang berbeda. Kebaruan penelitian ini adalah belum ada penelitian tentang penggunaan bahan baku beberapa varietas biji sorgum untuk fermentasi bioetanol. Biji sorgum lebih banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku makanan olahan (Lina & Martius, 2020). Oleh karena itu perlu dilakukannya penelitian ini. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan bioetanol biji sorgum (*Sorghum bicolor*) melalui proses hidrolisis enzimatis pada beberapa varietas sorgum

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan *Jar Fermentor* 2 Liter merk Iwashita Bio-Science dan 30 Lite merk Trade Mark, *Electric mixer*, *Waterbath* GFL, *Autoclave* merk GEA, timbangan analitik Mettler Toledo AB204, labu ukur 200 mL, 1 L, Flask 250 mL ; 500 mL, pipet ukur 10 mL; 20 mL; serta 100 mL, Labu ukur ukuran 500 mL, Kondensor spiral, gelas ukur 200 mL, alcohol meter, *Beaker Glass* 100 mL; 1000 mL dan pH meter, Air (aquadest), *yeast extract*, *malt extract*, *pepton*, *molasses*, *agar*, $(\text{NH}_3)_2\text{SO}_4$ dan glukosa. Enzim α -amylase merk Novozyme dan enzim *glucoamylase* merk Novozyme. *Yeast Saccharomyces cerevisiae* strain Hakken I yang telah dibiakkan dalam media aktif. Nutrisi NPK dan Urea.

Bahan baku yang digunakan substrat yaitu 6 varietas substrat biji sorgum (Numbu, Pasar Jumat (PSJ), Hermada, Tongkol Jantung, Cibodas, dan Buleleng). Yang telah ditepungkan dengan ukuran lolos mesh 20. Massa substrat biji sorgum yang digunakan (gr):

$$\frac{\text{TS awal yang diinginkan}}{\text{TS awal bahan baku}} \times \text{Volume hidrolisis (ml)}$$

Total Sugar (TS) bahan baku awal hidrolisis = 16 % (w/v). Enzim α -amylase (gr) = 0,1% terhadap kandungan Total Sugar (TS)
$$= \frac{0,1}{100} \times \frac{16}{100} \times \text{Volume hidrolisis (ml)}.$$

Enzim *gluco amylase* (ml) = 0,2% terhadap kandungan Total Sugar

(TS)
$$= \frac{0,2}{100} \times \frac{16}{100} \times \text{Volume hidrolisis (ml)} .$$

Dosis yeast = 10% dari volume fermentasi. Nutrisi untuk fermentasi

NPK (gr)
$$= \frac{4}{33.000} \times \text{volume fermentasi (ml)} ,$$

Urea (gr)
$$= \frac{24}{33.000} \times \text{volume fermentasi (ml)}$$

Suhu operasi hidrolisis: Liquefikasi : 80-90°C dijaga selama 1 jam. Sakarifikasi : 55-60°C dijaga selama 2 jam. Suhu operasi fermentasi : 28-32°C. Waktu fermentasi

(inkubasi): 60 jam. Skala hidrolisis fermentasi : flask hingga 20 liter.

Pembuatan Tepung Biji Sorgum

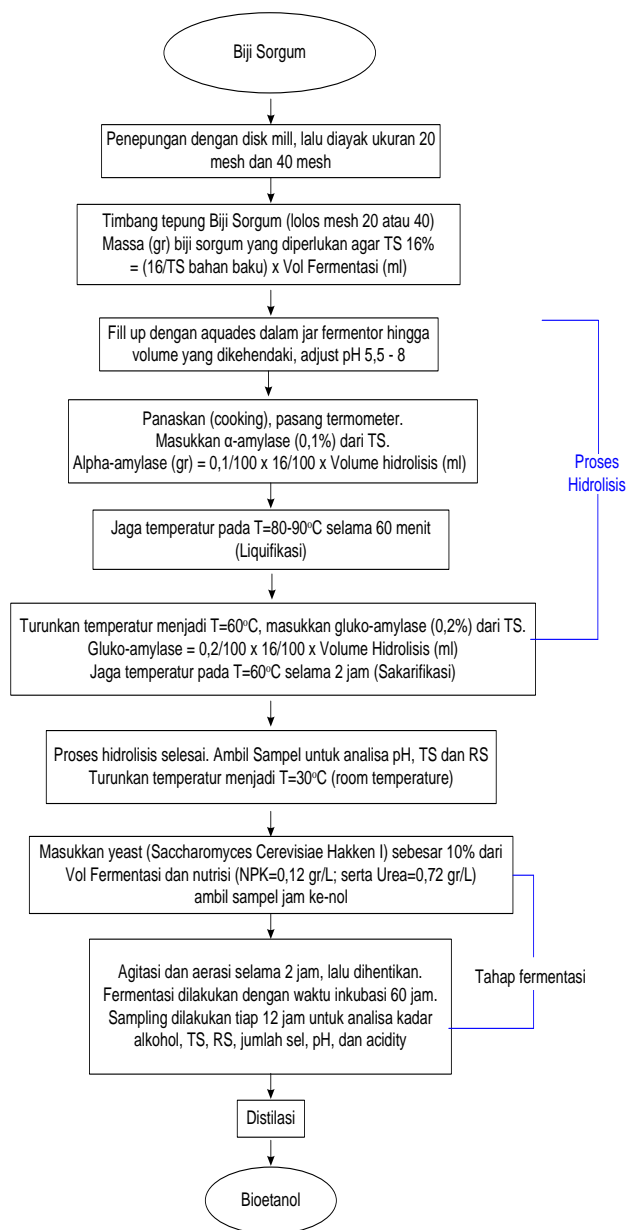
Tepung biji sorgum dihasilkan dengan proses penepungan menggunakan Disk mill. Kemudian, tepung sorgum diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 20 mesh.

Tahapan Hidrolisis serta Tahapan Fermentasi Tepung Biji Sorgum

Tepung biji sorgum dimasukkan ke dalam *Jar Fermentor*, kemudian ditambahkan dengan air dan diaduk hingga homogen. pH suspensi media diatur 5.5 – 5.8 kemudian dilakukan liquefikasi yaitu penambahan enzim α amylase dengan konsentrasi 0.10% terhadap kandungan TS, kemudian dimasak pada suhu gelatinisasi (80 – 90°C), selama 60 menit lalu didinginkan. Sebelum suhu 55 – 60°C dilakukan pengambilan sampel untuk pengukuran pH dan viskositas. Selanjutnya, tahapan sakarifikasi dilakukan pada suhu 55-60 °C selama 2 jam dengan penambahan enzim *Dextrozyme* dengan konsentrasi 0.20%. pengambilan sampel untuk mengetahui nilai *dextrose equivalent* (DE) yang tercapai.

Tahap Fermentasi Bioetanol Biji Sorgum

Proses fermentasi dilakukan secara simultan pada suhu 28 - 32°C. Inokulum *S. cerevisiae* strain Hakken I ditambahkan dengan dosis 10% terhadap volume total fermentasi, kemudian ditambahkan nutrisi berupa Urea dengan dosis 0,072 % dan NPK dengan dosis 0,012 %, dilanjutkan dengan pengadukan selama 2 jam. Setelah diinkubasikan selama 60 jam, proses fermentasi dihentikan. Penetapan efisiensi proses biokonversi pati menjadi bioetanol didasarkan pada parameter *Sugar Consumption Ratio* dan *Fermentation Ratio*.



Gambar 1. Proses Pembuatan Bioetanol dari Biji Sorgum

Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan Microsoft Excel dengan parameter uji berupa *Sugar Consumption Ratio* dan *Fermentation Ratio*, kadar *Total Sugar* (TS) menggunakan metode *Modified Somogyi* prinsip analisisnya titrimetri, senyawa karbohidrat dipecah menjadi monosakarida dengan proses

hidrolisis asam klorida (HCl) dan temperatur. Reduksi Cu^{2+} menjadi Cu^{1+} oleh monosakarida. Monosakarida bebas mengurangi larutan basa dari garam logam untuk membentuk oksida. Kelebihan Cu^{2+} yang tidak tereduksi akan dikuantifikasi dengan titrasi iometri.

Analisis Hasil Fermentasi

Pengambilan sampel dilakukan setiap 12 jam, mulai dari 0 sampai 60 jam, untuk mengukur Total Sugar (TS) dan kadar alkohol.

Perhitungan *Sugar Consumption Ratio*

Sugar Consumption Ratio (SCR) atau rasio konsumsi gula didasari pada sifat yeast yang hanya mengkonsumsi gula sederhana dan tidak mengkonsumsi zat pati sebelum terhidrolisis. SCR dihitung sebagai persentase jumlah glukosa dalam media yang dikonsumsi oleh yeast dengan rumus berikut (Anonymous, 1983) :

$$SCR = \frac{TS_i - TS_f}{TS_i} \times 100\%$$

S C R : *Sugar Consumption Ratio*

TS_i : Total Gula awal dalam media

TS_f : Total Gula akhir dalam media

Efektivitas pembentukan alkohol oleh yeast disebut dengan Rasio Fermentasi, dan dihitung menurut rumus (Anonymous, 1983) sebagai berikut:

$$FR = \frac{V_i \cdot C_{et}}{V_f \cdot TS_i \times (0.6439)} \times 100\%$$

FR : Rasio Fermentasi

V_i : Volume media pada awal fermentasi

V_f : Volume media pada akhir fermentasi

C_{et} : Konsentrasi alkohol (% vv)

TS_i : Total Sugar awal (% wv).

HASIL DAN PEMBAHASAN

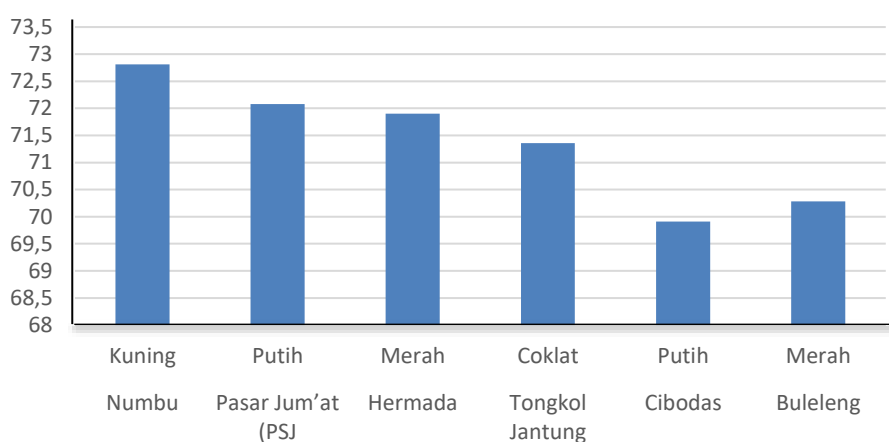
Komposisi *Total Sugar* (TS)

Penelitian ini dilakukan pada beberapa varietas sorgum yang

dibudidayakan masyarakat antara lain kultivar Numbu, Pasar Jum'at (PSJ), Hermada, Tongkol Jantung, Cibodas, dan Buleleng, dengan volume kerja skala flask 20 liter. Berdasarkan Tabel 1. Masing - masing varietas biji sorgum diuji memiliki karakteristik yang berbeda baik warna, kadar gula total (TS%).

Tabel 1. Bahan Baku Varietas Biji Sorgum

Varietas Sorgum	Warna Biji	Total Sugar (TS)
Numbu	Kuning	72,81%
Pasar Jumat (PSJ)	Putih	72,08%
Hermada	Merah	71,90%
Tongkol Jantung	Coklat	71,36%
Cibodas	Putih	69,91%
Buleleng	Merah	70,28%



Gambar 2. Hasil pengukuran *total sugar* (%) dari 6 varietas sorgum

Berdasarkan Gambar 2. diketahui bahwa komposisi TS yang dihasilkan adalah varietas Numbu dengan TS 72,81%. kandungan karbohidrat dalam biji sorgum selaras dengan hasil penelitian Esther et al., (2016), bahwa persentase karbohidrat dengan kandungan pati sekitar 73.80% yang bisa dikonversi sebagai bioetanol.

Faktor yang mempengaruhi proses hidrolisis biji sorgum adalah senyawa tanin yang dapat berikatan dengan protein, sehingga membentuk ikatan kompleks dan larut selama proses ekstraksi dan akan mengendap saat perlakuan asam (Wulandari et al., 2019). Kandungan tanin bervariasi terhadap biji sorgum, penelitian Hong et al. (2020) , mengungkapkan bahwa kadar tanin pada biji sorgum hitam sebesar 11.11 – 136.11 mg/g sorgum. Berdasarkan penelitian Prabawa et al.,

(2023), varietas Numbu memiliki kadar tanin yang lebih rendah dibandingkan varietas Super 2. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian tahun 2013, memperkenalkan 17 varietas unggul sorgum, diantaranya varietas Numbu yang memiliki kadar tanin yang lebih rendah. Kandungan karbohidrat atau *Total Sugar* Numbu dibandingkan dengan varietas Cibodas dikarenakan kadar nutrisi dalam sorgum yang dihasilkan tidak hanya dipengaruhi oleh varietas, tetapi dipengaruhi oleh kondisi lahan penanaman (Suarni & Subagio, 2013) . Nilai *Total Sugar* atau karbohidrat total pada sorgum dalam bentuk pati (Jimoh & Abdullahi, 2017). Pati yang terdapat dalam sorgum sekitar 50 – 73%. Terdiri dari amilosa 20 30%, dan amilopektin 70 – 80% (Dwimargiyanti, 2017). Amilosa dan amilopektin akan mempengaruhi sifat

fisikokimia, termal, dan reologi pati. Keduanya merupakan komponen polimer utama pati. Amilosa berpengaruh terhadap proses gelatinisasi dan retrogradasi pati, viskositas, proses gelasi dan daya cerna R-amilase. Sedangkan amilopektin berpengaruh terhadap gelatinisasi dan retrogradasi pati (Sang et al., 2008).

Proses biokonversi biji sorgum menjadi bioetanol melibatkan berbagai perlakuan mekanik, kimia, fisik dan biologi yang masing-masing mempengaruhi efisiensi proses biokonversi senyawa kompleks pati menjadi bioetanol. Langkah pertama dalam proses ini adalah memberikan perlakuan fisis pada biji sorgum, yaitu penepungan menggunakan *disk mill*. Langkah tersebut dapat memecah jaringan kulit biji yang selanjutnya berpengaruh pada efisiensi tahap hidrolisis senyawa pati dikarenakan *disk mill* memanfaatkan gaya geser dan menginduksi defiberisasi biomassa (Bassey et al., 2022). Semakin kecil ukuran partikel, semakin efisien proses hidrolisis, karena enzim lebih mudah penetrasi dan kontak dengan substrat (Hidayat, 2013). Ukuran partikel tepung biji sorgum yang digunakan adalah tepung biji sorgum yang lolos ayakan 40 mesh. Pemilihan ukuran partikel disesuaikan dengan hasil penggilingan biji

sorgum yang tidak terlalu halus, sehingga tidak diperlukan energi tambahan untuk menghaluskannya kembali.

Tahap selanjutnya dalam proses ini adalah perlakuan kimia dan fisika, yaitu hidrolisis enzimatik pati dengan pemanasan dan pengadukan konstan. Enzim α amilase kemudian dipanaskan hingga suhu 80-90 °C, ditahan selama 60 menit (tahap liquifikasi). Bubur kemudian didinginkan hingga 55 – 60 °C dan enzim glukamilase ditambahkan dan ditahan selama 2 jam (tahap sakarifikasi).

Tahap akhir dari proses ini adalah perlakuan biologis. Yaitu, proses fermentasi menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* strain Hakken I, dengan aerasi dan pengadukan awal selama dua jam pertama, penambahan nutrisi berupa urea dan NPK. Masa inkubasi adalah 60 jam. Selama fermentasi, mikroba menghasilkan enzim yang juga berperan dalam degradasi senyawa tanin, polifenol, dan asam fitat (Setiarto et al., 2017).

Berdasarkan penelitian (Yusra & Putri, 2023), bahwa fermentasi spontan tepung biji sorgum varietas lokal merah melalui perendaman dengan aquadest mampu menguraikan pati dan memperbaiki sifat fisikokimia pati secara efektif.

Tabel 2. Data Pengukuran *Total Sugar*, Kadar etanol, *Fermentation Ratio* dan *Sugar Consumption*

Varietas Sorgum	Total Sugar (TS) Awal	Total Sugar (TS) Akhir	Kadar Etanol	Fermentation Ratio (FR)	Sugar Consumption Ratio (SCR)
Numbu Pasar	16,66%	2,10%	9,3%	86,69%	87,39%
Jumat (PSJ)	15,76%	2,10%	8,7%	85,73%	86,68%
Hermada	14,20%	1,88%	7,8%	85,31%	86,76%
Tongkol Jantung	15,21%	2,03%	7,2%	73,52%	86,65%
Cibodas	15,94%	1,45%	8,8%	85,74%	90,90%
Buleleng	18,84%	2,03%	8,6%	82,45%	87,47%

Pada Tabel 2. menampilkan hasil fermentasi bioetanol dari 6 varietas sorgum, dimana keberhasilan proses fermentasi diketahui dari nilai *Fermentation Rasio* (FR) dan *Sugar Consumpton Rate* (SCR). Terlihat varietas Numbu menghasilkan kadar etanol 9.3% dengan FR 86.69% dan SCR sebesar 87.39%.

Berdasarkan Tabel 2. fermentasi bioetanol terbaik terjadi pada proses yang menggunakan bahan baku tepung sorgum varietas Numbu, dengan FR sebesar 86,69% dan SCR sebesar 87,39%. Proses fermentasi sorgum Numbu, yang merupakan salah satu varietas sorgum manis, mampu menghasilkan gula dengan kadar tinggi dan daya bakar tinggi. Kualitas biji sorgum untuk bioetanol sangat dipengaruhi oleh kandungan karbohidrat dalam biji. Sorgum dikenal memiliki kandungan pati sekitar 78,45%, yang membuatnya menjadi sumber potensial untuk produksi bioetanol (Suarni, 2017). Varietas sorgum Cibodas memiliki FR sebesar 85,74%. Ini bisa disebabkan oleh proses konversi yang lebih lanjut dari alkohol menjadi aldehid. Penelitian sebelumnya Pabendon et al. (2012) telah menunjukkan bahwa genotipe Watar Hammu Putih dari varietas Numbu memiliki persentase etanol yang lebih tinggi dalam larutan dibandingkan dengan genotipe lainnya.

Fermentasi yang menggunakan substrat biji sorgum dan ragi *Saccharomyces cerevisiae*, berdasarkan penelitian Wahono & Damayanti (2011), menunjukkan bahwa waktu kerja optimal untuk *Saccharomyces cerevisiae* (khamir) adalah antara 24 dan 72 jam. Setelah 72 jam, khamir mati dan proses fermentasi selesai. Ini juga diperkuat oleh penurunan keasaman larutan fermentasi karena terbentuknya senyawa asam selama proses fermentasi. Selain itu, sifat kimia dari pati dan tepung sorgum putih berbeda dengan sorgum merah, seperti yang disebutkan

dalam penelitian (Avif & Oktaviana, 2021).

Tahapan hidrolisis enzimatis pati pada tepung sorgum membutuhkan suhu hingga 80°C dengan pengadukan kontinyu. Kontak antara granula pati dalam tepung dengan katalis enzim α amylase dapat terhalang oleh adanya matrik protein, yang kemudian menghambat terjadinya pemotongan ikatan α 1.4 D-Glukosida pada senyawa amilosa dan amylopektin. Ketika suhu gelatinisasi tercapai, viskositas pasta pati meningkat signifikan dan memperlambat proses liquifikasi, sehingga tidak langsung turun. Tingginya viskositas tersebut disebabkan oleh polimerase protein akibat terjadinya kontak antara pati dengan katalis enzim pada saat dipanaskan (Rustiatty, 2018).

Hidrolisis enzimatis menjadi lebih efisien karena sistem kerja enzim yang khusus dan dapat berlangsung pada kondisi asam, dengan fasilitas pendukung yang lebih ekonomis. Pada tahap hidrolisis, kadar gula awal diukur menggunakan metode Modified Somogyi Axelsson (2011).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Kurniadi et al. (2013) menunjukkan bahwa kadar tanin dan gula reduksi dalam tepung sorgum dapat diturunkan melalui fermentasi menggunakan bakteri *Lactobacillus acidophilus* dengan dosis 2.4, 6% v/b, dan waktu inkubasi fermentasi selama 0 jam, 24 jam, 36 jam, dan 48 jam. Hal ini juga mempengaruhi hasil fermentasi dengan peningkatan kadar air, protein terlarut, nilai viskositas, serta derajat putih.

Berdasarkan penelitian Dyartantia et al. (2015), selama reaksi *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF), dekstrin dan proses Liquifikasi diubah menjadi glukosa secara bersamaan menjadi etanol. Reaksi SSF menggunakan katalis Co-mobile (glukoamilase dan ragi). Biji sorgum putih yang diperlakukan

dengan NaOH 0.1 M menghasilkan lebih banyak bioetanol dibandingkan dengan biji sorgum tanpa perlakuan, dengan konsentrasi ragi sebesar 9%. Membuat beads biokatalitik dengan metode co-immobilisasi memungkinkan penggunaan biokatalis ini secara berulang. Produktivitas etanol juga dapat ditingkatkan dengan reaksi SSF yang simultan yang dikatalisasi. Dyartantia et al. (2015) menyatakan bahwa biji sorgum yang digunakan dalam produksi bioetanol harus diolah terlebih dahulu sebelum dapat digunakan dalam produk yang lebih tinggi. Maksimum etanol yang diperoleh menggunakan bahan baku sorgum dengan konsentrasi enzim glukamylase 35% dan ragi 9% adalah 11,48%. Xiao et al. (2021) mengembangkan fermentasi dalam keadaan padat (ASSF) yang mampu menghasilkan etanol dari ampas sorgum manis yang difermentasi.

Menurut penelitian Haryani et al. (2021), peningkatan kadar gula pereduksi sebagai respons terhadap peningkatan konsentrasi pati disebabkan oleh peningkatan jumlah substrat pati yang dapat terhidrolisis. Semakin banyak substrat, semakin banyak interaksi antara enzim dan substrat, yang berarti lebih banyak gula yang terbentuk. Dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*, yeast ini menghasilkan enzim yang mengubah gula pereduksi menjadi etanol. Semakin banyak yeast yang digunakan, semakin banyak enzim zimase yang dihasilkan. Enzim zimase dapat mengubah glukosa dan fruktosa menjadi karbon dioksida dan alkohol. Ini konsisten dengan penelitian yang telah dilakukan pada konsentrasi yang lebih kecil. Menurut pernyataan Novriandi et al. (2016), aktivitas *Saccharomyces cereviceae* dalam mengubah pati sorgum menjadi etanol sangat dipengaruhi oleh penambahan *Cordyceps sinensis*.

Selain itu berdasarkan penelitian Malherbe et al., (2023), sorgum memiliki

lapisan lilin dengan kandungan amilopektin tinggi, sehingga proses bioetanol dengan *consolidated bioprocessing* (CBP) lebih tepat dibandingkan dengan proses SSF.

Biji sorgum mengandung 65–71% pati, yang dapat dihidrolisis menjadi monosakarida seperti glukosa cair dan sirup fruktosa (Zadha & Raharjo, 2013). Monosakarida ini dapat difermentasi menjadi alkohol. Fermentasi pati sangat dipengaruhi oleh konsentrasi inokulum yang ditambahkan, seperti yang disebutkan dalam penelitian Esther et al. (2016), yang menemukan bahwa kondisi optimum fermentasi menggunakan pati sorgum adalah penambahan inokulum *Saccharomyces cerevisiae* sebesar 2,5% dengan waktu fermentasi selama 72 jam, mampu menghasilkan yang menghasilkan bioetanol sebesar 1,329% (v/v).

Dalam produksi bioetanol menggunakan biji sorgum, efisiensi etanol dan profil senyawa volatil sangat dipengaruhi oleh bahan baku, kultivar bahan baku, dan proses fermentasi (Szambelan et al., 2020).

Produksi bioetanol menggunakan biji sorgum umumnya dilakukan pada biji yang memiliki kualitas rendah atau telah terkontaminasi oleh fungi (Subagio & Suryawati, 2013). Biji sorgum yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji sorgum yang tidak terkontaminasi. Proses penghilangan kontaminasi dapat mengakibatkan pengelupasan lapisan aleuron yang kaya akan protein, serat kasar, dan lipid (Setiarto et al., 2017).

Oleh karena itu, karakteristik ini menunjukkan bahwa sorgum manis adalah tanaman yang cocok untuk produksi biofuel dalam kondisi iklim panas dan kering dibandingkan dengan tanaman lain. Selain itu, ampas sorgum juga dapat digunakan sebagai sumber energi, produksi kertas atau papan serat, silase untuk pakan ternak, atau produksi etanol.

KESIMPULAN

Sebanyak enam varietas biji sorgum (*Sorghum bicolor*) telah diuji sebagai bahan baku proses hidrolisis enzimatis untuk menghasilkan bioethanol Kadar Gula Total (TS) bahan baku yang diuji berkisar antara 69 – 73% dengan nilai tertinggi terdapat pada biji sorgum varietas Numbu yaitu 72,81%. Efisiensi proses konversi bioethanol tertinggi juga dicapai biji sorgum varietas Numbu dengan FR 86,69% dan SCR 87,39%. saran untuk penelitian selanjutnya; misalnya terkait dengan : metode ekstraksi, studi lanjut tentang varietas sorgum, optimasi proses, kualitas bioethanol yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepala Balai Besar Teknologi Pati (B2TP) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), anggota tim kegiatan program bioethanol menggunakan biji sorgum yang membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, A. B., Budiyo, A., Diyono, W., & Richana, N. (2018). Optimasi Waktu Fermentasi Produksi Bioethanol Dari Dedak Sorghum Manis (*Sorghum Bicolor* L) Melalui Proses Enzimatis. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 14(2), 67. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v14n2.2017.67-78>
- Avif, A. N., & Oktaviana T. D, A. (2021). Analisis Sifat Kimia Tepung Dan Pati Sorgum Dari Varietas Bioguma Dan Lokal di Provinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. *Lantanida Journal*, 8(2), 178. <https://doi.org/10.22373/lj.v8i2.8120>
- Axelsson, J. (2011). *Separate Hydrolysis and Fermentation of Pretreated Spruce*. Linköping University.
- Bassey, J. B., Odesola, I. F., & Olawuyi, J. A. (2022). A Comparative Technique for Performance Evaluation of Hammer Mill and Disk Mill in Yam Flour Processing. *World Journal of Engineering and Technology*, 10(03), 613–625. <https://doi.org/10.4236/wjet.2022.103040>
- Dyartantia E. R., Margono, Pronolo, S. H., Setiani, B., & Nurhayati, A. (2015). Bioethanol from sorghum grain (*Sorghum bicolor*) with SSF reaction using biocatalyst co-immobilization method of glucoamylase and yeast. *Energy Procedia*, 68, 132–137.
- Esther, F., Bonita, Yenie Elvie, & Muria, S. R. (2016). Produksi Bioethanol Dari Pati Sorgum Dengan Penambahan Tween 80 dan Ekstrak Cordyceps Sinensis Mycelium: Variasi Konsentrasi Inokulum. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 3(1) 1-8.
- Haryani, K., Handayani, H. N. A., Harles, H., & Putri, S. A. (2021). Pengaruh Konsentrasi Pati dan Yeast pada Pembuatan Etanol dari Pati Sorgum Melalui Proses Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) dan Separated Hydrolysis Fermentation (SHF). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 133–139.
- Hidayat, C. (2021). Review: Penggunaan Sorgum sebagai Bahan Pakan Sumber Energi Pengganti Jagung dalam Ransum Ayam Pedaging. *Jurnal Peternakan Indonesia*,

23(3), 262–275. DOI:10.25077/jpi.23.3.262-275.2021

Hidayat, M. R. (2013). Teknologi Pretreatment Bahan Lignoselulosa Dalam Proses Produksi Bioetanol. *Biopropal Industri*, 4(1), 33–48.

Jeevanandhan, S., & Ganesh, D. (2017). Production of Bioethanol from Sweet Sorghum. *International Journal of Advanced Research in Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering and Developing*. 3(1), 482–487.

Kurniadi, M., Andriani, M., Faturrohman, F., & Damayanti, E. (2013). Karakteristik Fisikokimia Tepung Biji Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Terfermentasi Bakteri Asam Laktat *Lactobacillus acidophilus*. *AgriTECH*, 33(3), 288–295/

Lina, E. C., & Martius, W. S. (2020). Sosialisasi Potensi Beberapa Varietas Sorgum Sebagai Bahan Baku Makanan Olahan. *Jurnal Ilmiah Pengembangan Dan Penerapan Ipteks*, 27(No.3), 165–172.

Malherbe, S. J. M., Cripwell, R. A., Favaro, L., van Zyl, W. H., & Viljoen-Bloom, M. (2023). Triticale and sorghum as feedstock for bioethanol production via consolidated bioprocessing. *Renewable Energy*, 206, 498–505. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.047>

Maulana, M., & Azis, M. (2016). Kinerja dan Prospek Pengembangan Bahan Bakar Nabati di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 30(2), 147. <https://doi.org/10.21082/fae.v30n2.2012.147-158>

Nasution, Elmadani., Setiawati, V. Rori. , & Nairfana, I. (2021). Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Mutu Organoleptik, Tingkat Keasaman (Ph) Dan Tingkat Kemanisan Tape Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Food and Agroindustry Journal*, 2(2), 53–61.

Nofita, D., & Dewangga, R. (2021). Optimasi Perbandingan Pelarut Etanol Air Terhadap Kadar Tanin pada Daun Matoa (*Pometia pinnata* J.R & G. Forst) Secara Spektrofotometri. *Chimica et Nature Acta*, 9(3), 102–106. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.24198/cna.v9.n3.36768>

Novriandi, R., Yenjie, E., & Muria, S. R. (2016). Produksi Bioetanol Dari Pati Sorgum Dengan Variasi Penambahan Cordyceps Sinensis Dan Waktu Fermentasi. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–6.

Rustiaty, B. (2018). Optimasi Proses Hidrolisis Biji Sorgum untuk Fermentasi Bioetanol dan Pemanfaatan Komponen Padatnya. *Jurnal Balitbanda Lampung*, 6(2), 157–178.

Selle, P. H., Moss, A. F., Truong, H. H., Khoddami, A., Cadogan, D. J., Godwin, I. D., & Liu, S. Y. (2018). Outlook: Sorghum as a feed grain for Australian chicken-meat production. *Animal Nutrition*, 4(1), 17–30. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.08.007>

Setiarto, R. H. B., Widhyastuti, N., & Saskiawan, I. (2017). Pengaruh Fermentasi Fungi, Bakteri Asam Laktat dan Khamir terhadap Kualitas Nutrisi Tepung Sorgum (Effect of Lactic Acid Bacteria, Fungi and Yeast Fermentation on Nutritional Quality of Sorghum

- Flour). *Agritech*, 36(4), 440. <https://doi.org/10.22146/agritech.16769>
- Sinta, A. G., Kolaka, L., & Damhuri, D. (2022). KARAKTERISASI SORGUM (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Aksesori Badong Asal Desa Amonggedo, Kecamatan Amonggedo, Kabupaten Konawe. *Ampibi: Jurnal Alumni Pendidikan Biologi*, 7(3), 99. <https://doi.org/10.36709/ampibi.v7i3.25043>
- Suarni, S. (2017). Peranan Sifat Fisikokimia Sorgum dalam Diversifikasi Pangan dan Industri serta Prospek Pengembangannya. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 35(3), 99. <https://doi.org/10.21082/jp3.v35n3.2016.p99-110>
- Subagio, H., & Suryawati. (2013). *Sorgum Inovasi Teknologi dan Pengembangan* (Sumarno, D. S. Damardjati, M. Syam, & Hermanto, Eds.). IAARD Press.
- Szambelan, K., Nowak, J., Szwengiel, A., & Jeleń, H. (2020). Comparison of sorghum and maize raw distillates: Factors affecting ethanol efficiency and volatile by-product profile. *Journal of Cereal Science*, 91, 102863. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102863>
- Wulandari, E., Sihombing, F. S. P., Sukarminah, E., & Sunyoto, M. (2019). Karakterisasi Sifat Fungsional Isolat Protein Biji Sorgum Merah (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Varietas Lokal Bandung. *Chimica et Natura Acta*, 7(1), 14. <https://doi.org/10.24198/cna.v7.n1.19683>
- Xiao, M.-Zhao., Sun, Qian., Hong, Si., Chen, W.-Jing., Pang, Bo., Du, Z.-Yan., Yang, W. Bin., Sun, Zhuohua., & Yuan, T. Q. (2021). Sweet sorghum for phytoremediation and bioethanol production. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2(32), 1-23. <https://doi.org/10.1186/s42825-021-00074-z>
- Yusra, S., & Putri, E. (2023). Karakteristik Fisikokimia Tepung Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) Varietas Lokal Merah dengan Fermentasi Spontan. *JURNAL AGROTEKNOLOGI*, 16(02), 163. <https://doi.org/10.19184/jagt.v16i02.35046>
- Zadha, H., Raharjo W. (2013). Isolasi Dekstrin dari Pati Sorgum dengan Proses Hidrolisa Parsial. Menggunakan Enzim α -Amilase. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 2(2), 116 -121.
- Zubair, A. (2018). *SORGUM- Tanaman Multi Manfaat* (A. Zubair, Ed.; 2Edition ed.). Unpad Press.