



Aplikasi sakarifikasi dan fermentasi simultan dalam produksi bioetanol dari rebung bambu

Griselda Happy Ramadhani^{1*}, Khaswar Syamsu², Ika Amalia Kartika²,
Irvan Setiadi Kartawiria³

¹Magister Teknik Industri Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

²Teknologi Industri Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

³Teknik Kimia, Swiss German University, Tangerang, Indonesia

Article history

Diterima:
1 November 2022
Diperbaiki:
16 Desember 2022
Disetujui:
17 Februari 2023

Keyword

Bamboo shoots;
bioethanol;
cultivation;
pre-treatment

ABSTRACT

*Bamboo shoots have a source of cellulose and the potential for bioethanol production. Bamboo shoots also have a low lignin content of 1.8%, which can be done without pre-treatment. Bamboo shoots are one of the materials with the potential for bioethanol production considering the high productivity rate of 8,124 kg/ha/year. The study aimed to analyze data on bioethanol production from bamboo shoots using the SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation) technique with a consortium of microbes, there are *Trichoderma reesei* and *Saccharomyces cerevisiae* and analyze the pre-treatment process to reach more high content of cellulose. Microbes *T. reesei* produce cellulase enzymes that hydrolyze cellulose into simple sugars, while *S. cerevisiae* break down simple sugars into ethanol. Bioethanol synthesis consists of two main stages, namely hydrolysis and fermentation. In previous studies, the hydrolysis and fermentation processes were carried out using the SHF (Separated Hydrolysis Fermentation) method, whereas in this study, the SSF method was expected to produce substrate efficiency, Y_p/s , and a higher bioethanol productivity rate higher than the SHF method. This research used 1 vvm aeration and 125 rpm agitation for 72 hours. In this research, because SSF technique utilize one carbon source it is cellulose which is the cellulose content before pre-treatment are 23.58% must be pre-treatment. The pre-treated bamboo shoots showed that the cellulose content used for this research are 55.09%. The bamboo shoot non-pretreated can be used for the advanced research SSCF (Separated Hydrolysis and Co-Fermentation) because can utilize two carbon sources (cellulose and hemicelullose). The results of SSF technique showed that the highest bioethanol production at 72 hours from bamboo shoots pre-treated was 6.94 g/l with a bioethanol productivity rate of 0.08 g/l/h and a product yield (Y_p/s) of 0.3 g/g. The results of this study indicate that bamboo shoots are a suitable medium for bioethanol production. Bamboo shoots have a potential cellulose content as a substrate for *T. reesei* and have been shown to produce higher bioethanol than the SHF technique with bamboo in previous studies.*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email : ghramadhani@gmail.com

DOI 10.21107/agrointek.v18i2.17294

PENDAHULUAN

Sumber energi merupakan suatu hal yang penting bagi pembangunan di Indonesia. Pemenuhan kebutuhan konsumsi energi di Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil. Menurut data World Oil Meters, terdapat 1,65 triliun barel cadangan minyak di dunia pada tahun 2016. Cadangan minyak bumi di dunia terbukti setara dengan 46,6 kali tingkat konsumsi tahunannya yang berarti cadangan minyak bumi hanya memiliki sisa sekitar 47 tahun atau dengan kata lain cadangan minyak bumi di dunia akan habis dalam kurun waktu 47 tahun, sementara di Indonesia sendiri cadangan minyak diperkirakan akan habis pada tahun 2040.

Bioetanol merupakan salah satu energi alternatif yang potensial sebagai pengganti bahan bakar fosil karena merupakan sumber energi terbarukan (*renewable*). Bahan baku bioetanol dapat berasal dari generasi dua (G2) atau lignoselulosa. Salah satu biomassa dari sumber lignoselulosa yang sering digunakan untuk bahan baku bioetanol ialah bambu. Namun, pada teknologi prosesnya perlu melakukan proses *pre-treatment* (delignifikasi) terlebih dahulu untuk mengurangi kandungan lignin yang dikandung bambu. Diketahui bambu memiliki lignin sebesar 22,9% (Ngakan *et al.* 2017).

Oleh karena itu, alternatif pengganti bahan bakunya ialah dengan menggunakan bambu yang berusia muda yang dikenal dengan rebung. Diketahui rebung memiliki kandungan lignin yang jauh lebih sedikit yaitu sebesar 0,89%. Rebung mengandung jumlah gula non-struktural yang lebih tinggi daripada bambu dewasa. Hal tersebut merupakan salah satu alasan tingginya hasil sakarifikasi bambu yang dihasilkan (Shimokawa *et al.* 2009).

Pada teknologi prosesnya, selama ini produksi bioetanol dari bambu menggunakan metode SHF (*Separated Hydrolysis and Fermentation*). Metode SHF memerlukan waktu yang lebih lama dalam prosesnya karena hidrolisis dan fermentasi dilakukan dalam reaktor terpisah atau *two stage*. Penelitian yang pernah dilakukan oleh Mingxiong *et al.* (2013) dari bahan baku bambu diperoleh *yield* bioetanol sebesar 4,72 g/l. Pada teknik SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) diketahui dapat mencegah penghambatan kerja enzim selama proses hidrolisis (Jayus *et al.* 2017), sehingga diharapkan

dapat memperoleh konsentrasi bioetanol yang lebih tinggi dan menggunakan rebung yang selama ini belum pernah diteliti di Indonesia. Selain itu waktu proses dengan metode SSF bisa lebih singkat karena terjadi secara simultan (Zahroh *et al.* 2021).

Tentunya dalam memproduksi bioetanol membutuhkan enzim. Enzim yang digunakan pada penelitian ini berasal dari mikroba penghasil enzim yaitu *Trichoderma reesei* yang merupakan jenis kapang penghasil enzim selulase untuk menghidrolisis substrat selulosa menjadi komponen gula sederhana. Selain itu, digunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae* yang memiliki enzim invertase untuk mengubah glukosa menjadi etanol (Reis *et al.* 2013).

Pada penelitian ini dilakukan teknik SSF dengan rebung hasil *pre-treatment* karena teknik ini hanya memanfaatkan satu sumber karbon selulosa. Rebung *non-pretreatment* digunakan sebagai bahan baku untuk penelitian lanjutan yaitu sistem ko-fermentasi (SSCF) yang memanfaatkan dua sumber karbon selulosa dan hemiselulosa. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis proses produksi bioetanol dari rebung dengan teknik SSF menggunakan kapang *Trichoderma reesei* dan khamir (*Saccharomyces cerevisiae*) menggunakan bahan baku rebung. Rebung memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku utama dalam produksi bioetanol dan belum pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Adanya penelitian ini, diharapkan akan memberikan kontribusi besar bagi pengembangan penelitian produksi bioetanol sebagai sumber energi baru terbarukan di masa mendatang.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada November 2021 hingga September 2022, bertempat di *Life Science and Technology*, Universitas Swiss German, Tangerang dan Laboratorium Bioindustri Teknik Industri Pertanian, IPB, Bogor.

Persiapan Bahan Baku Rebung Bambu

Rebung yang digunakan ialah rebung bambu kuning dari genus *Bambusa* yang diperoleh dari Perkebunan Bambu Kuning, Kampung Sasak Panjang, Kabupaten Bogor. Rebung dipanen pada usia ± 2 bulan dengan tinggi rebung 20 cm di atas permukaan tanah dan diameter berkisar 7-12 cm. Rebung setelah dipanen, dikupas kulitnya dan

dicuci bersih, kemudian diiris tipis. Setelah itu dikukus selama 10 menit dan dioven selama 24 jam. Setelah kering, rebung dikarakterisasi terlebih dahulu komponen lignoselulosanya dengan metode Chesson (Datta 1981) dan dilakukan analisis proksimat. Proses *pre-treatment* rebung dilakukan dengan mengambil 10 gram direndam menggunakan 200 ml larutan NaOH 20% (b/v). Campuran dipanaskan pada 90 °C selama 4 jam dengan pengadukan terus menerus. Residu padat dicuci dengan air suling sampai pH netral. Kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50 °C selama semalam. Proses pemutihan, residu kering direndam menggunakan larutan NaOH 4% (w/v) pada suhu 50 °C dengan pengadukan terus menerus. Kemudian, 50% H₂O₂ dengan volume NaOH yang sama ditambahkan tetes demi tetes. Proses *bleaching* dilakukan selama 60 menit dengan pengadukan terus menerus. Kemudian dicuci dengan aquades sampai pH netral dan dikeringkan pada suhu 50 °C selama semalam (Wijaya *et al.* 2019).

Persiapan Kultur *Trichoderma reesei* dan *Saccharomyces cerevisiae*

Isolat (*Trichoderma reesei* IPBCC 93 0260) diperoleh dari IPB Culture Collection (IPBCC). Isolat kemudian diremajakan dengan media Potato Dextrose Agar (PDA) sebanyak 3,9 gram dilarutkan dalam 100 ml aquades dan dipanaskan. Kemudian dituangkan dalam tiap tabung reaksi sebanyak 5 ml. Setelah itu disterilisasi autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm selama 15 menit lalu didinginkan pada posisi miring. Kemudian isolat *T. reesei* diinokulasikan satu *loop* jarum ose ke dalam tabung reaksi berisi agar miring yang dilakukan secara aseptik dalam *laminator air flow*, lalu inkubasi pada suhu 30 °C selama 7 hari. Satu *loop* isolat *T. reesei* ditumbuhkan dalam 100 ml media buffer sitrat nutrisi yang terdiri dari 1 g/l *yeast extract*; 1,5 g/l *bacteriological peptone*; 1,4 g/l (NH₄)₂SO₄; 2 g/l KH₂PO₄; 0,005 g/l FeSO₄.7H₂O dalam labu Erlenmeyer 300 ml. Inkubasi dilakukan dalam *incubator shaker* 125 rpm pada suhu 30 °C selama 7 hari untuk menghasilkan enzim selulase.

Isolat (*Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763) diperoleh dari IPBCC diremajakan pada media agar miring PDA lalu diinkubasi selama 1 hari. Setelah itu isolat ditumbuhkan lagi pada media YMGP (*Yeast Malt Peptone Glucose*) sebanyak 50 ml, yang terdiri dari 5 g/l *yeast*

extract, 5 g/l malt, 10 g/l glukosa, dan 5 g/l peptone. Inkubasi dilakukan dalam *incubator shaker* dengan kecepatan putaran 125 rpm, suhu 30 °C selama 24 jam.

Proses Kultivasi *Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)*

Percobaan kultivasi SSF dilakukan pada 10 % (w/v) rebung, dan 10% (v/v) inokulum yang ditambahkan ke dalam substrat. *Trichoderma reesei* dan *Saccharomyces cerevisiae* diinokulasi diawal kultivasi. Selama masa kultivasi, bioreaktor berada dalam kondisi aerobik dengan agitasi 150 rpm, aerasi penuh 1 vvm, pH 5 dan dalam waktu operasi 72 jam.

Parameter Kinetika Kultivasi

Sampel diambil setiap 12 jam selama 72 jam. Parameter yang diukur dan dihitung sebagai indikator kinerja proses budidaya adalah biomassa total (X), kadar bioetanol yang dihasilkan (P), Residu substrat selulosa yang tersisa pada media (S), dan laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_{max}) yang ditunjukkan oleh kemiringan kurva pertumbuhan pada fase eksponensial diperoleh dengan memplot lnX terhadap waktu. *Gas Chromatography and Mass Spectroscopy (GCMS)*, digunakan untuk mengidentifikasi kandungan bioetanol sampel. Hasil bioetanol per substrat (Yp/s) dihitung berdasarkan kemiringan garis regresi antara P-Po (ordinate) dan So-S (absis). Produktivitas Etanol (g/l/h) dihitung berdasarkan nilai kemiringan garis regresi antara produksi bioetanol (g/l) (ordinate) dan waktu pengambilan sampel (absis).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Rebung Bambu Sebagai Medium

Karakterisasi rebung bambu perlu diketahui terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai substrat kultivasi. Adapun kandungan kimia rebung meliputi kadar air, kadar abu, protein kasar, serat kasar, dan lemak kasar.

Tabel 1 Kandungan kimia rebung

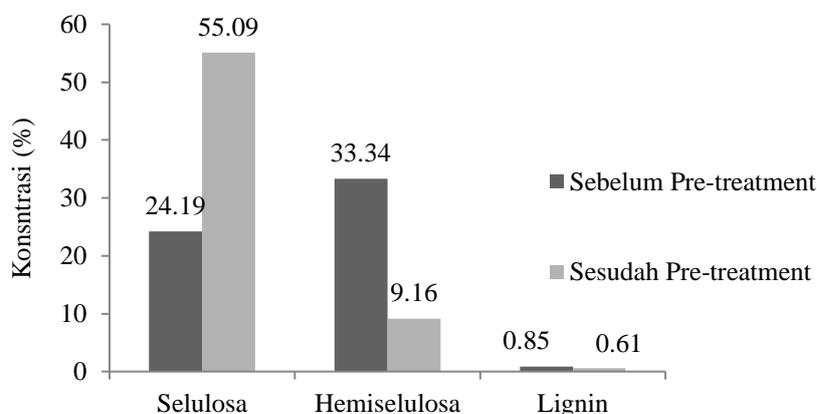
Komponen	Komposisi	
	Literatur	Hasil
Air (%bb)	13,62	16,74
Abu (%bk)	4,16	6,35
Protein kasar (%bk)	19,32	20,82
Serat Kasar (%bk)	24,44	34,45
Lemak Kasar (%bk)	1,46	1,44

Keterangan: bb= berat basah; bk= berat kering (Hanafri *et al.* 2017)

Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa rebung bambu mengandung komponen utama berupa serat kasar yang merupakan golongan polisakarida. Rebung bambu memang memiliki kandungan lignin yang rendah dapat dilihat dari Gambar 1, namun pada penelitian ini dilakukan *pre-treatment* untuk meningkatkan kandungan selulosanya karena pada SSF (*Simultaneous Saccharification and Fermentation*) memanfaatkan sumber selulosa yang cukup tinggi untuk proses kultivasi. Penelitian selanjutnya nanti dengan sistem ko-fermentasi SSCF (*Simultaneous Saccharification and Co-Fermentation*) tidak dilakukan *pre-treatment* karena dapat memanfaatkan dua sumber karbon sekaligus yaitu selulosa dan hemiselulosa. Pada Gambar 1 menunjukkan hasil analisis komponen serat untuk mengetahui kandungan lignoselulosa rebung sebelum dan sesudah proses *pre-treatment*. Proses *pre-treatment* rebung

dilakukan dengan perendaman menggunakan larutan NaOH 20% (w/v), kemudian dipanaskan pada 90 °C selama 4 jam. Pada proses *bleaching*, residu kering direndam menggunakan larutan NaOH 4% (w/v) pada suhu 50 °C dengan pengadukan terus menerus, kemudian 50% H₂O₂ ditambahkan tetes demi tetes.

Gambar 1 menunjukkan penerapan perlakuan hidrotermal dan enzimatis. Komponen utama rebung bambu yang mengalami delignifikasi adalah selulosa (55,09%) yaitu jauh lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi aslinya. Berkurangnya kandungan hemiselulosa ini menyebabkan meningkatnya komponen selulosa pada bahan. Hal ini karena NaOH yang bersifat basa kuat mampu memecah struktur hemiselulosa bahan kemudian melarutkannya (Lutfi 2014). Hal yang sama juga telah dilakukan proses *pre-treatment* baik bambu dan rebung dengan NaOH yang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.



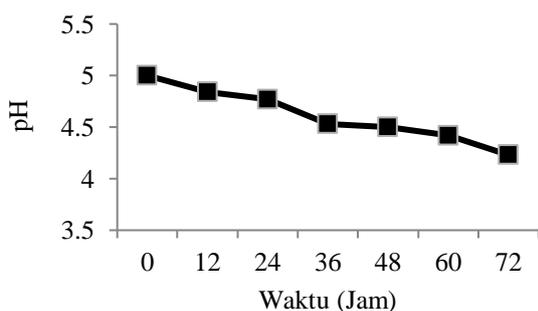
Gambar 1 Komponen lignoselulosa rebung bambu sebelum dan sesudah *pre-treatment* (delignifikasi)

Tabel 2 komponen lignoselulosa sebelum dan sesudah *pre-treatment*

Jenis	Komponen	<i>Pre-treatment</i>	
		Sebelum	Sesudah
Bambu (<i>Dendrocalamus</i>)*	Selulosa (%)	42,2	55,8
	Hemiselulosa (%)	16,1	5,75
	Lignin (%)	27,8	25,03
Rebung (<i>Dendrocalamus</i>)**	Selulosa (%)	33,14	74,34
	Hemiselulosa (%)	22,79	4,82
	Lignin (%)	9,72	0,63

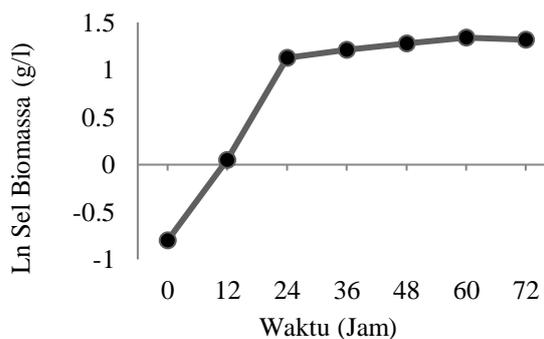
Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)

Teknik SSF merupakan proses konversi yang terjadi secara simultan. Hidrolisis dan fermentasi dapat dilakukan secara bersamaan selama glukosa dapat langsung diubah menjadi etanol, sehingga mengurangi akumulasi selobiosa dan glukosa, sehingga mempercepat hidrolisis selulosa menjadi glukosa (Wright 1988). Dalam penelitian ini, dengan menginokulasikan kapang *T. reesei* dan kamir *S. cerevisiae* yang mengkatalisis hidrolisis polisakarida menjadi gula kemudian memfermentasi gula menjadi bioetanol secara bersamaan, dua proses terjadi secara bersamaan sehingga dinamai sakarifikasi dan fermentasi simultan atau teknik SSF. Dalam proses kultivasi kondisi pH awal dibuat dengan pH 5 hal ini juga menyesuaikan kondisi optimum mikroba selama proses kultivasi berlangsung. Nilai pH ini cukup berpengaruh terhadap aktivitas mikroba dalam menghasilkan enzim. Penurunan pH hingga akhir proses kultivasi seperti yang terlihat pada Gambar 2 menandakan adanya pembentukan senyawa asam dan CO₂ hasil proses respirasi. Penurunan pH seiring dengan penurunan jumlah mikroba namun akumulasi enzim selulase untuk menghidrolisis selulosa menjadi gula tetap berjalan dengan baik.



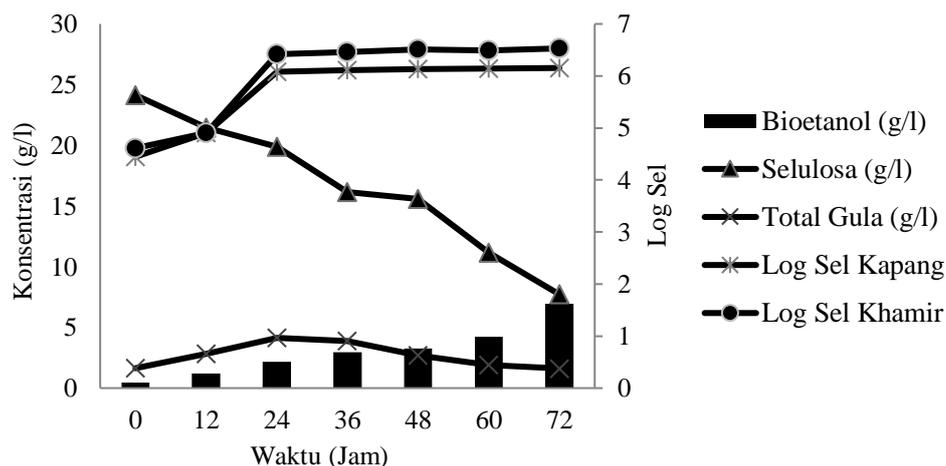
Gambar 2 perubahan pH selama proses kultivasi

Pola pertumbuhan mikroba menunjukkan bahwa fase adaptasi tidak terlihat karena selang pengambilan sampel yang terlalu besar. Pada 0-12 jam terjadi fase percepatan. Fase eksponensial terjadi pada jam ke 12-24, kemudian setelah jam 36 mikroba mengalami perlambatan pertumbuhan dan dalam fase stasioner 48-60 dan mulai memasuki fase kematian pada jam ke-72 (Gambar 3). Adanya aerasi membuat sel-sel tetap mengalami pertumbuhan hingga jam ke-60. Pemberian aerasi akan membantu sel dalam melakukan aktivitas metabolismenya (Syamsu *et al.* 2020).



Gambar 3 Pola pertumbuhan sel selama 72 jam

Selulosa digunakan sebagai substrat untuk *T. reesei* selama proses sakarifikasi berlangsung, dimana enzim selulase menghidrolisis selulosa menjadi gula sederhana. Fase adaptasi *T. reesei* diamati pada 0-12 jam inkubasi kemudian fase eksponensial dapat diamati pada 12-36 jam inkubasi. Kondisi aerobik cocok untuk kapang dalam mempertahankan aktivitas metabolisme seluler dan menghasilkan produk metabolisme. Gambar 3 menunjukkan bahwa seiring dengan *T. reesei* yang mengkonsumsi substrat selulosa, konsentrasi selulosa menurun dan sejalan dengan pertumbuhan *T. reesei* terjadi peningkatan produksi gula. Namun, dalam sakarifikasi dan fermentasi simultan, glukosa atau gula sederhana lainnya kemudian akan digunakan langsung oleh khamir *S. cerevisiae* untuk menghasilkan bioetanol dan sel yang lebih banyak (Syamsu *et al.* 2016), seperti dijelaskan Gambar 3, pada saat yang sama gula digunakan oleh ragi untuk membentuk lebih banyak sel dan bioetanol, sehingga konsentrasi gula mengalami penurunan hingga waktu 72 jam inkubasi. Pada (Gambar 4) dalam kondisi aerob, khamir tetap menghasilkan biomassa dan juga etanol inilah yang dinamakan dengan efek *Crabtree* (Deken 1966) Pada jam ke-24 kandungan gula meningkat, setelah itu mengalami penurunan. Hal ini karena kapang beralih mengkonsumsi gula dan di sisi lain khamir memanfaatkan gula untuk memproduksi etanol (Jasman *et al.* 2018). Proses ini berlangsung dalam kondisi aerob atau respirasi penuh. Pada kondisi aerob inilah khamir menghasilkan biomassa yang lebih tinggi dibandingkan memproduksi etanol. Fermentasi aerobik melibatkan kombinasi respirasi- fermentasi, yang tergantung pada keberadaan oksigen dan konsentrasi sel (Febrianti *et al.* 2017). Selama 72 jam budidaya, produksi bioetanol mencapai 6,94 g/l, hal ini seiring dengan fase eksponensial yang menurun bila dilihat dari grafik, kemudian sel-sel yang terbentuk akan membentuk etanol.



Gambar 4 Hasil produksi bioetanol selama 72 jam

Pertumbuhan mikroba dapat ditentukan dari waktu yang diperlukan mikroba tersebut untuk menggandakan sel-selnya. Waktu yang diperlukan untuk menggandakan massa dan jumlah sel berbeda-beda. Jika dalam suatu lingkungan tersebut interval antara penggandaan massa sel dan jumlah berlangsung konstan, maka mikroba tumbuh pada laju eksponensial. Parameter kinetika kultivasi pada sistem *batch* ini meliputi: laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_x maks), rendemen produk terhadap substrat ($Y_{p/s}$), laju pembentukan etanol ($g/l/h$), dan efisiensi substrat. Data hasil pengukuran kinetika kultivasi dapat dijelaskan lebih rinci pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil kinetika kultivasi teknik SSF

μ_x max (h)	Laju Produksi Etanol (g/l/h)	$Y_{p/s}$ (g/g)	Efisiensi Substrat
0,1±0,006	0,08±0,004	0,3±0,005	68,04±0,007

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pertumbuhan spesifik maksimum (μ_x max) SSF dengan aerasi penuh yaitu 0,01±0,006/h. Tingkat pertumbuhan spesifik maksimum menggabungkan tingkat pertumbuhan spesifik ragi dan jamur. Nilai $Y_{p/s}$ SSF mencapai 0,3±0,005 g/g. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya gula yang digunakan oleh khamir untuk menghasilkan etanol dan hanya sebagian kecil gula yang dialokasikan oleh khamir untuk pertumbuhan dan aktivitas metabolismenya (Li *et al.* 2015). Nilai rendemen $Y_{p/s}$ lebih tinggi dibandingkan penelitian yang pernah dilakukan Syamsu *et al.* (2020), dengan teknik SSF yaitu sebesar 0,17±0,01.

Hasil penelitian ini jika dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu dengan teknik SHF (*Separated Hydrolysis and Fermentation*) dihasilkan etanol yang lebih rendah yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil produksi etanol teknik SSF dan SHF

Teknik Kultivasi	Etanol (g/l)
SSF	6,94
SHF (Mingxiong <i>et al.</i> 2013)	4,72
SHF (Yang <i>et al.</i> 2019)	4,8

Pada penelitian (Mingxiong *et al.* 2013), teknologi fraksinasi lignoselulosa untuk teknik SHF produksi etanol dari residu bambu dilakukan dengan menggunakan *Zymomonas mobilis*. Pada proses ini, konsentrasi etanol tertinggi mencapai 4,72 g/l dari kulit rebung bambu. Pada penelitian Yang *et al.* (2019), bioetanol diproduksi dari bambu hasil *pre-treatment* menunjukkan bahwa pretreatment dapat mendegradasi hemiselulosa dan lignin. Biokonversi maksimum diperoleh pada perlakuan awal dengan larutan NaOH 0,5% pada 170 °C, menghasilkan 4,8 g/l etanol. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Sindhu *et al.* (2019), produksi bioetanol dari bambu melalui teknik SHF dari bambu dilakukan proses *pre-treatment* dengan beberapa mineral dan asam organik pada suhu 121 °C, tekanan 15 lb selama 60 menit. Fermentasi dilakukan dalam *screw capped vial* yang berisi 20 ml hidrolisat tadi dilakukan pada suhu 30 °C selama 72 jam yang sebelumnya telah diinokulasi kultur *S. cerevisiae*. Supernatan yang dihasilkan disaring, kemudian

konsentrasi etanol diketahui dari hasil kromatografi gas dan menghasilkan *yield* bioetanol sebesar 1,76 %. Hasil penelitian menunjukkan dengan teknik SHF menghasilkan kadar etanol yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan pada teknik SHF menghasilkan akumulasi gula selama proses hidrolisis yang dapat menyebabkan terhambatnya kerja dari enzim selulase dan menurunkan efisiensi proses (Margeot *et al.* 2009). Kelemahan lainnya pada teknik SHF adalah resiko kontaminasi yang besar, dan memerlukan waktu yang lebih lama dalam prosesnya karena hidrolisis dan fermentasi dilakukan dalam reaktor secara terpisah atau *two stage* (Sudiyani *et al.* 2019). Maka dari itu, pada penelitian ini dipilihlah teknik SSF dari rebung bambu yang belum pernah diteliti sebelumnya.

KESIMPULAN

Rebung bambu memiliki potensi yang baik dalam produksi bioetanol. Rebung digunakan sebagai medium dalam proses kultivasi dengan kandungan selulosa setelah *pre-treatment* sebesar 55,09%. Penelitian ini menggunakan teknik SSF yang memanfaatkan satu sumber karbon selulosa. Selulosa yang dikandung rebung dimanfaatkan kapang *T. reesei* untuk dihidrolisis menjadi gula sederhana yang kemudian dirombak menjadi etanol oleh khamir *S. cerevisiae*. Proses berlangsung selama 72 jam diawali dengan mikroba pada 0-12 jam berada pada fase adaptasi dan 12-36 jam menunjukkan fase eksponensial, dimana sel-sel berada di titik tertinggi melakukan respirasi dan memperbanyak sel-sel, setelah itu baru memproduksi bioetanol. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa dengan teknik SSF dalam kondisi aerob (aerasi penuh) dan agitasi penuh diperoleh produk akhir etanol sebesar $6,94 \pm 0,00$ g/l. Perolehan rendemen produk terhadap substrat (Yp/s) sebesar $0,3 \pm 0,005$ g/g substrat, laju produktivitas bioetanol sebesar $0,08 \pm 0,004$ g/l/h, dan efisiensi substrat 68,04%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada para staf laboran baik di Laboratorium Bioindustri TIN IPB University dan Laboratorium Swiss German University karena sudah memfasilitasi dan menyediakan segala kebutuhan laboratorium. Tak lupa saya ucapkan terima kasih kepada teman-teman Penghuni Sekretariat Formatip IPB karena telah membantu dalam penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Datta, R. 1981. Acidogenic fermentation of lignocellulose-acid yield and conversion of components. *Biotechnology and Bioengineering*. 23(9): 2167 -2170.
- Deken, R. De. 1966. The Crabtree Effect: A Regulatory System in Yeast. *Microbiology* 44:149–156.
- Febrianti, F., K. Syamsu, and M. Rahayuningsih. 2017. Bioethanol Production From Tofu Waste. *International Journal of Technology* 5:898–908.
- Hanafri, M. I., S. M. Mustafa, and F. Zubair. 2017. Proses Perakitan Trafo Dengan Menggunakan Animasi Multimedia. *Jurnal Sisfotek* 4(1): 7-13
- Jasman, S. H R, and A. S. Ardan. 2018. Pengaruh Lama Inkubasi Dengan *Trichoderma reesei* Terhadap Konsentrasi Gula Terlarut Dalam Bubur Batang Sorgum Manis. *Semnas KPK*:1–4.
- Jayus, J., S. Suwasono, and I. Wijayanti. 2017. Produksi Bioetanol Secara SHF dan SSF Menggunakan *Aspergillus Niger*, *Trichoderma Viride* dan *New Aule Instant Dry Yeast* Pada Media Kulit Ubi Kayu. *Jurnal Agroteknologi* 11(1):61.
- Li, K., X. Wang, J. Wang, and J. Zhang. 2015. Benefits from additives and xylanase during enzymatic hydrolysis of bamboo shoot and mature bamboo. *Bioresource Technology* 192:424–431.
- Lutfi, M. 2014. Analisis Pengaruh Waktu Pretreatment dan Konsentrasi NaOH terhadap Kandungan Selulosa, Lignin dan Hemiselulosa Eceng Gondok Pada Proses *Pre-treatment* Pembuatan Bioetanol. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem* 2(2):110–116.
- Margeot, A., B. Hahn-Hagerdal, M. Edlund, R. Slade, and F. Monot. 2009. New improvements for lignocellulosic ethanol. *Current Opinion in Biotechnology* 20(3):372–380.
- Ngakan, D., K. Putra, T. Gde, T. Nindhia, I. W. Surata, and M. Sucipta. 2017. Potensi bambu swat (*Gigantochloa verticillata*) sebagai material karbon aktif untuk adsorbed natural gas (ANG). *Jurnal Energi Dan Manufaktur* 9(2):174–179.

- Shimokawa, T., M. Ishida, S. Yoshida, and M. Nojiri. 2009. Effects of growth stage on enzymatic saccharification and simultaneous saccharification and fermentation of bamboo shoots for bioethanol production. *Bioresource Technology* 100(24):6651–6654.
- Sindhu, R., M. Kuttiraja, P. Binod, R. K. Sukumaran, and A. Pandey. 2014. Bioethanol production from dilute acid pretreated Indian bamboo variety (*Dendrocalamus* sp.) by separate hydrolysis and fermentation. *Industrial Crops and Products* 52:169–176.
- Syamsu, K., M. Rahayuningsih, and I. Farida. 2016. Direct Ethanol Production from Breadfruit Starch (*Artocarpus communis* Forst.) of Engineered Simultaneous Saccharification. *IJRED* 4(1) :312–325.
- Sudiyani, Y., E. Triwahyuni, D. Burhani, M. Muryanto, S. Aiman, F. Amriani, S. P. Simanungkalit, H. Abimanyu, D. Dahnum, J. A. Laksmono, J. Waluyo, Y. Irawan, A. A. Sari, and A. M. H. Puteri. 2019. *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*.
- Syamsu, K., L. Haditjaroko, and E. A. Syadiah. 2020. Bio-ethanol production from sweet sorghum bagasse by engineered simultaneous saccharification and fermentation technology using *Trichoderma reesei* and *Saccharomyces cerevisiae*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 472(1):0–8.
- Reis, R., B. AP, da S. JC, and C.-A. SR. 2013. Characteristics of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts exhibiting rough colonies and pseudohyphal morphology with respect to alcoholic fermentation. *Brazilian journal of microbiology: [publication of the Brazilian Society for Microbiology]* 44(4):1121–1131.
- Wijaya, C. J., S. Ismadji, H. W. Aparamarta, and S. Gunawan. 2019. Optimization of cellulose nanocrystals from bamboo shoots using Response Surface Methodology. *Heliyon* 5(11):e02807.
- Wright, J.D. 1988 Ethanol from biomass by enzymatic hydrolysis. *Chem. Eng. Prog.* 84: 62-67.
- Yang, H., Z. Shi, G. Xu, Y. Qin, J. Deng, and J. Yang. 2019. Bioethanol production from bamboo with alkali-catalyzed liquid hot water pretreatment. *Bioresource Technology* 274(November 2018):261–266.
- Zahroh, S. F., K. Syamsu, L. Haditjaroko, and I. S. Kartawiria. 2021. Potential and prospect of various raw materials for bioethanol production in Indonesia: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 749(1).1-11.