Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri
http://www.industria.ub.ac.id
ISSN 2252-7877 (Print) ISSN 2548-3582 (Online)
https://doi.org/10.21776/ub.industria.2018.007.01.3

Pengaruh Konsentrasi Sel Awal dan pH Medium pada Fermentasi Xilitol dari Hidrolisat Tandan Kosong Sawit

The Effect of Initial Cell and pH on Xylitol Fermentation from Oil Palm Empty Fruit Bunch

Efri Mardawati[1*], Dara Nadira Daulay[2], Dwi Wahyudha Wira[3], Een Sukarminah[2]
[1)]Department of Agroindustrial Technology, Faculty of Agroindustrial Technology, Universitas Padjadjaran
[2)]Department of Food Technology, Faculty of Agroindustrial Technology, Universitas Padjadjaran,
[3)]Department of Veterinary Medicine, Faculty of Medicine, Universitas Padjadjaran,
Sumedang 40600, Indonesia
[*]efri.mardawati@unpad.ac.id
Received: 22nd December, 2017; 1st Revision: 16th January, 2018; 2nd Revision: 19th February, 2018; Accepted: 19th February, 2018

Abstrak

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dimanfaatkan secara optimal. Kandungan yang cukup besar dari TKKS adalah hemiselulosa. Hemiselulosa dapat dihidrolisis menjadi xilosa, dan xilosa dapat difermentasi menjadi xilitol. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh konsentrasi sel khamir awal dan pH medium pada proses fermentasi xilitol dari hidrolisat TKKS. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dan dianalisis secara deskriptif terhadap variasi konsentrasi sel khamir awal dan pH. Analisis dilakukan dalam 9 perlakuan dengan 2 kali ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa xilitol hanya terbentuk pada perlakuan pH 5 dengan konsentrasi sel awal 10^8 sel/mL pada jam ke 24 dan ke 96. Pada jam ke 24 dihasilkan xilitol sebesar 0,047 g/L dan perolehan xilitol terhadap xilosa 0,045 g/g. Pada jam ke 96 sebesar 0,138 g/L dan perolehan xilitol terhadap xilosa 0,094 g/g.
Kata kunci: konsentrasi sel, pH, tandan kosong kelapa sawit, xilitol

Abstract

Waste of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) can utilize optimally. The essential content of OPEFB was hemicellulose. Hemicellulose can be hydrolyzed into xylose, and the xylose fermented into xylitol. The purpose of this study is to determine the effect of yeast initial cell concentration and medium pH on xylitol fermentation process from OPEFB hydrolysate. The research method used was an experimental method and analyzed descriptively to the variation of yeast initial cell concentration and pH. The analysis was performed in 9 treatments with two replications. The results showed that xylitol was only formed at the treatment with pH 5 and an initial cell concentration of 10^8 cells/mL. At 24 hours xylitol was produced by 0.0474 g/L, and xylitol result to the xylose was 0.454 g/g. At 96 hours xylitol was produced 0.1381 g/L and xylitol yield to the xylose was 0.0938 g/g.
Keywords: *cell concentrations, oil palm empty fruit bunches, pH, xylitol*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Pada tahun 2016, Indonesia memproduksi minyak kelapa sawit sebesar 32,0 juta ton per tahun (GAPKI, 2016). Salah satu jenis limbah padat terbesar yang dihasilkan dari proses produksi minyak kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pada saat ini, TKKS digunakan sebagai mulsa dan bahan baku pupuk organik (Widiastuti & Panji, 2007). Kandungan yang cukup besar (23%) dari TKKS adalah hemiselulosa (Mardawati, Werner, Bley, Kresnowati, & Setiadi, 2014). Hemiselulosa adalah polimer polisakarida heterogen yang tersusun dari unit glukosa, manosa, arabinosa, dan xilosa.

Xilosa adalah bahan baku dalam produksi xilitol. Xilosa yang terkandung dalam hemiselulosa sebesar 80%, sehingga sangat berpotensi untuk dimanfaatkan dalam industri gula xylitol (salah satu gula alkohol). Pemanfaatan xilitol dibidang kesehatan diantaranya adalah gula yang cocok untuk penderita diabetes. Tingkat kemanisan yang setara dengan gula sukrosa, namun dengan *Glycemic Index* rendah (7) serta kalori yang lebih rendah (40%) (Foster-Powell, Holt, & Brand-Miller, 2002).

Upaya meningkatkan produksi xilitol yang efisien dengan biaya yang murah mutlak diperlukan untuk memproduksi xilitol secara komersial. Bahan baku xilosa murni dapat digantikan dengan hidrolisat hemiselulosa (xilan) untuk menekan biaya pemisahan dan pemurnian (Sampaio, Da Silveira, Chaves-Alves, Lopes Passos, & Cavalcante Coelho, 2003). Xilan dapat diproses menjadi gula xilitol melalui proses hidrolisis xilan menjadi xilosa, kemudian dihidrogenasi menjadi xilitol. Xilanase adalah enzim yang dapat menghidrolis xilan menjadi xilosa (Beg *et al*., 2001).

Salah satu hidrolisat yang dapat digunakan ialah hidrolisat dari TKKS. Dalam proses produksi xilitol dari TKKS, faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses fermentasi xilosa menjadi xilitol ialah pH, konsentrasi sel awal, komposisi dan konsentrasi hidrolisat. Menurut Tantra dan Rusdi (2003), dengan adanya peningkatan konsentrasi sel awal, maka akan meningkatkan produksi xilitol. Menurut Puspita (2010), pH medium memengaruhi pertumbuhan sel dan pengaruhnya bervariasi diantara spesies khamir. Penurunan kerja khamir dalam fermentasi dapat terjadi ketika dalam mediumnya tidak ada kontrol pH. Adanya perubahan pH maka dapat memengaruhi produksi xilitol. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh konsentrasi sel khamir awal dan pH medium pada proses fermentasi xilitol dari hidrolisat TKKS.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang diperoleh dari PTPN VIII Kebun Cikasungka Bogor, khamir *Debaryomyces hansenii* ITB CC R85, enzim xilanase *Cellic HTec2*, aquades, agar GYE (*Glucose-Yeast Extract*). Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, tabung reaksi, pipet volumetrik, pipet tetes, *beaker glass*, pemanas, jarum ose, *bulb pipet*, autoklaf, spektrofotometer, *microtube* 1,5 mL, *falcon tube* 1,5 mL, oven, vial, *syringe filter*, HPLC, *incubator shaker*, neraca analitik, sumbat, kapas, *syringe*, kuvet, dan pH meter.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Data penelitian yang dihasilkan dianalisis secara deskriptif terhadap variasi konsentrasi sel khamir awal dan pH. Analisis dilakukan dalam 9 perlakuan dengan 2 kali ulangan. Variasi penelitian yang diberikan adalah konsentrasi sel khamir awal 10^6 sel/mL, 10^7 sel/mL, 10^8 sel/mL dan pH medium 3, 5, 7. Pelaksanaan percobaan terdiri dari persiapan bahan, karakterisasi bahan, hidrolisis TKKS, proses fermentasi dan analisis hasil.

Persiapan Bahan

Persiapan bahan yang dilakukan adalah memperkecil ukuran TKKS menjadi tepung TKKS. Prosedur pengecilan ukuran mengacu pada penelitian Mardawati, Werner, Bley, Kresnowati, & Setiadi (2014). TKKS dibersihkan dengan air mengalir. Kemudian dilakukan pengecilan ukuran dengan dipotong-potong menggunakan pisau. Selanjutnya, TKKS dikeringkan dalam oven pada suhu 60^{o}C selama 24 jam. Bahan yang sudah kering dihancurkan dengan mesin penggiling (*disc mill*). Bahan yang sudah hancur kemudian diayak dan didapatkan tepung TKKS.

Karakterisasi Bahan

Karakterisasi TKKS yang dilakukan adalah uji komposisi kimia. Uji kimia yang dilakukan terdiri dari kadar air, abu, hemiselulosa, selulosa dan lignin. Uji tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah komposisi kimia yang terkandung dalam TKKS berpotensi apabila digunakan sebagai bahan baku produksi xilitol.

Hidrolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit

Hidrolisis TKKS akan menghasilkan hidrolisat xilosa dari TKKS. Pembuatan hidrolisat TKKS dilakukan dengan menimbang tepung TKKS sebanyak 15 gram dan dilarutkan dengan *buffer* asetat pH 5 sebanyak 100 mL dan dicampurkan dalam labu erlenmeyer. Kemudian dilakukan penambahan enzim xilanase sebanyak 10%. Enzim yang digunakan pada penelitian ini adalah enzim xilanase jenis *Cellic HTec2* (Mardawati *et al*., 2014). Inkubasi dilakukan di *incubator shaker* pada suhu 60^{o}C selama 72 jam. Hidrolisat TKKS yang dihasilkan dengan padatan kemudian dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan 6000 rpm selama 20 menit dan dihasilkan hidrolisat yang mengandung xilosa (Gambar 1). Hidrolisat dianalisa konsentrasi xilosa dan glukosa dengan HPLC sebelum digunakan dalam proses fermentasi.

Fermentasi Hidrolisat

Fermentasi dilakukan menggunakan khamir *D. hansenii* ITB CCR85. Berikut tahapan yang dilakukan untuk melakukan proses fermentasi.

<u>Peremajaan Sel Khamir</u>

Peremajaan sel khamir diperlukan agar khamir yang digunakan dalam proses fermentasi adalah sel yang baru dan aktif. Peremajaan sel khamir terdiri atas dua tahap, yaitu pembuatan agar miring dan penanaman biakan baru. Agar yang digunakan pada tahap ini ialah agar GYE. Pada penanaman

biakan baru, khamir lama diinokulasikan secara aseptis pada agar miring GYE baru. Kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 2 hari.

Pembuatan Inokulum Fermentasi

Proses pembuatan inokulum terdiri dari dua tahap yaitu pembuatan medium inokulum dan penanaman inokulum. Dalam prosedur pembuatan inokulum dilakukan pencampuran nutrien dan larutan xilosa. Komposisi nutrien untuk medium inokulum sesuai dengan penelitian yang dilakukan Mardawati *et al.* (2015).

Proses Fermentasi

Proses fermentasi diawali dengan pembuatan medium fermentasi dan proses inokulasi. Larutan gula yang digunakan pada proses fermentasi ialah hidrolisat TKKS. Proses fermentasi berlangsung secara *batch* pada suhu 30°C, kecepatan aduk 450 rpm selama 96 jam dan kondisi aerobik. Kondisi pH fermentasi ialah 3, 5 dan 7. Konsentrasi sel awal yang digunakan sebanyak 10^6 sel/mL, 10^7 sel/mL dan 10^8 sel/mL.

Proses fermentasi diawali dengan pencampuran medium fermentasi sebanyak 500 mL dengan 130 mL hidrolisat TKKS ke dalam erlenmeyer. Kemudian dilakukan sterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Selanjutnya dilakukan pencampuran inokulum fermentasi secara aseptis. Pengambilan sampel dilakukan setiap 24 jam dengan menggunakan tabung vial steril. Sebelum dilakukan analisis pada cairan fermentasi, dilakukan penyaringan menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan aduk 6000 rpm selama 15 menit. Setelah itu, endapan dipisahkan dan dibuang. Supernatan yang tersisa kemudian disaring dengan kertas saring Whattman agar didapatkan cairan fermentasi murni (Mardawati *et al*., 2014). Langkah proses fermentasi dapat dilihat pada Gambar 2.

Prosedur Analisis

1. Analisis komposisi kimia TKKS
   a. Kadar serat meliputi lignin, selulosa dan hemiselulosa dengan metode gravimetri (Chesson, 1981).
   b. Kadar air dengan metode gravimetri (AOAC, 1995).
   c. Kadar abu dengan metode gravimetri (AOAC, 1995).
2. Analisis hidrolisat TKKS

Pengukuran konsentrasi senyawa-senyawa dalam hidrolisat TKKS dengan HPLC meliputi konsentrasi xilosa, konsentrasi glukosa dan konsentasi asam asetat (Sluiter *et al*., 2006).

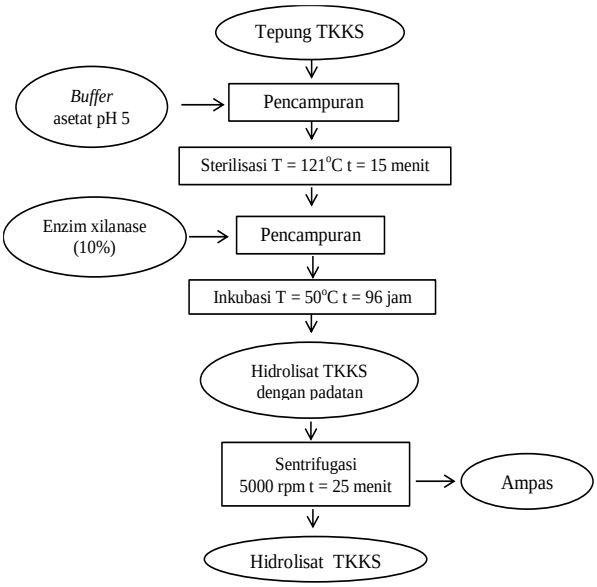
3. Analisis hasil fermentasi hidrolisat TKKS

Pengukuran konsentrasi senyawa-senyawa dalam hasil fermentasi hidrolisat TKKS dengan HPLC meliputi konsentrasi xilitol, konsentrasi etanol dan konsentrasi xilosa, serta konsentrasi glukosa dan konsentasi asam asetat sisa (Sluiter *et al*., 2006). Kemudian dihitung:

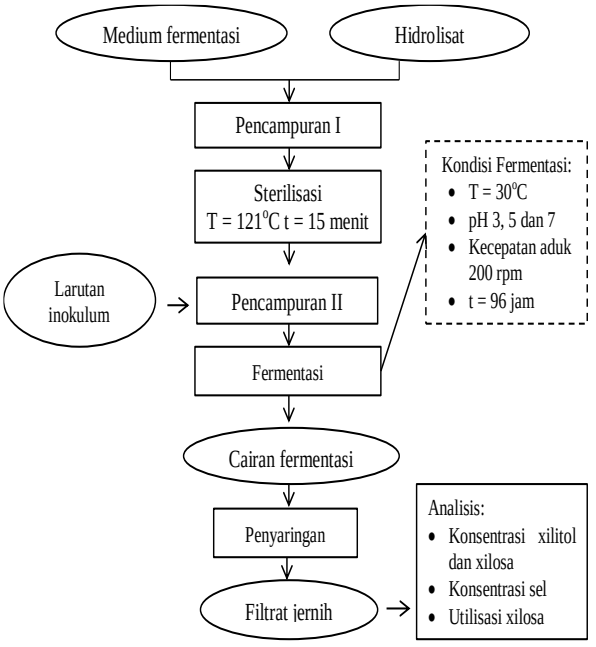
a. Pengukuran biomass *yield* ($Y_{X/S}$) (g/g) dengan menggunakan hasil kurva pertumbuhan sel (sel kering) dan dinyatakan dengan persamaan (1):

$$Y_{X/S} = -\frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{X - X_o}{S_o - S} \qquad (1)$$

dimana X merupakan konsentrasi sel dan S konsentrasi xilosa.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan hidrolisat TKKS



Gambar 2. Diagram alir proses fermentasi

b. Pengukuran product *yield* (YP/S) (g/g) dengan menggunakan hasil analisis komposisi larutan substrat menggunakan HPLC dan dinyatakan dengan persamaan (2):

$$Y_{P/S} = -\frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{P - P_o}{S_o - S} \quad (2)$$

dimana P merupakan konsentrasi xilitol dan S konsentrasi xilosa.

c. Utilisasi substrat (Mardawati *et al*., 2014) Banyak xilosa yang digunakan oleh khamir dalam produksi biomassa dan produk, diperoleh dengan cara membandingkan jumlah xilosa yang digunakan dengan jumlah xilosa awal. Analisis utilisasi substrat dinyatakan dengan persamaan (3):

$$\% \text{ Utilisasi substrat} = \frac{\Delta S}{S_0} = \frac{S - S_0}{S_0} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Komposisi Kimia TKKS

Berdasarkan data pada Tabel 1, kadar hemiselulosa TKKS pada penelitian ini adalah 17,31% dimana nilai ini mendekati hasil penelitian Kayati *et al.* (2016) yang menggunakan TKKS dari Balai Besar Teknologi Pati (B2TP-BPPT) Lampung yaitu sebesar 17,88%. Menurut Kresnowati *et al*. (2015) kadar hemiselulosa TKKS pada umumnya adalah sebesar 22,93-23,67%. Perbedaan nilai hemiselulosa yang terdapat pada TKKS didasarkan pada jenis TKKS yang digunakan, perbedaan kondisi tanam dan iklim. Kadar selulosa dan lignin pada TKKS adalah 39,47% dan 23,26% dimana nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan kadar selulosa TKKS pada penelitian Kayati *et al*. (2016) yaitu 35,20% dan 22,28%.

Tabel 1. Hasil analisis komposisi kimia TKKS

Komponen	% Bobot Kering
Hemiselulosa	17,31 ± 0,559
Selulosa	39,47 ± 0,735
Lignin	23,26 ± 0,997
Kadar air	4,60 ± 0,056
Kadar abu	4,78 ± 0,169

Hasil Analisis Hidrolisat TKKS

Tandan kosong kelapa sawit yang mengandung hemiselulosa ini dihidrolisis untuk mendegradasi xilan pada hemiselulosa menjadi gula xilosa dengan enzim xilanase sebagai katalisator. Hemiselulosa yang didapatkan berdasarkan penelitian ini sebesar 17,31%, maka *yield* hidrolisis yang diperoleh adalah 56,81%. Nilai *yield* hidrolisis ini memiliki arti bahwa 56,81% hemiselulosa yang terkandung dalam substrat TKKS terkonversi menjadi xilosa. Xilosa yang dihasilkan berdasarkan penelitian ini sebesar 1,47 g/L (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah xilosa yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Mardawati *et al*. (2015), kadar xilosa yang dihasilkan dari substrat TKKS sebesar 19,06 g/L. Menurut penelitian Tantra dan Rusdi (2003) kadar xilosa yang dihasilkan dari substrat TKKS sebesar 4,52 g/L. Kadar xilosa yang dihasilkan akan memengaruhi jumlah xilitol yang dihasilkan.

Tabel 2. Konsentrasi hidrolisat TKKS

Komponen	Konsentrasi
Kadar glukosa (g/L)	4,816 ± 0,014
Kadar xilosa (g/L)	1,472 ± 0,021
Kadar asam asetat (g/L)	17,087 ± 0,019

Kadar xilosa yang rendah disebabkan oleh kadar hemiselulosa yang rendah pula sehingga menyebabkan tidak banyaknya xilosa yang terhidrolisis. Rendahnya kadar xilosa juga dapat disebabkan karena kadar lignin pada TKKS yang tinggi dan kadar hemiselulosa yang tidak terlalu tinggi. Kadar lignin yang tinggi pada substrat akan menghambat proses hidrolisis untuk menghasilkan xilosa dikarenakan komponen serat seperti hemiselulosa sebagai komponen utama pembentukan xilosa menjadi xilitol terdapat di dalam lignin (Octavia *et al*., 2011).

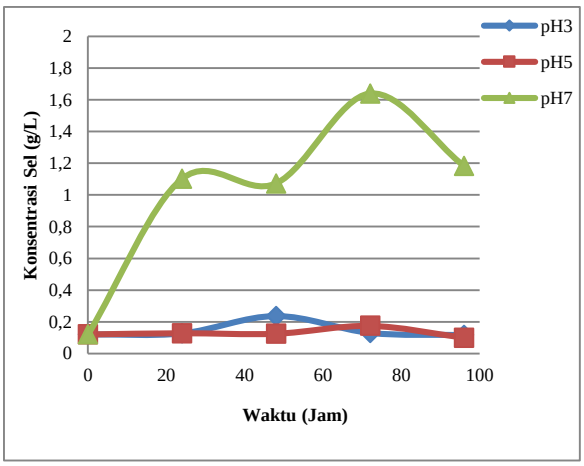
Tingginya kadar asam asetat yang dihasilkan disebabkan oleh adanya penambahan buffer asetat pada hidrolisis enzimatis (Mardawati *et al.*, 2017). Buffer asetat digunakan sebagai larutan yang berfungsi melangsungkan proses hidrolisis serta mengondisikan pH 5. Selain itu, asam asetat dapat terbentuk karena waktu hidrolisis yang lama. Menurut Parajó *et al*. (1998), reaksi hidrolisis harus dilakukan dalam waktu yang singkat agar mengurangi terbentuknya senyawa inhibitor seperti asam furfural dan asam asetat.

Hasil Analisis Fermentasi Hidrolisat TKKS

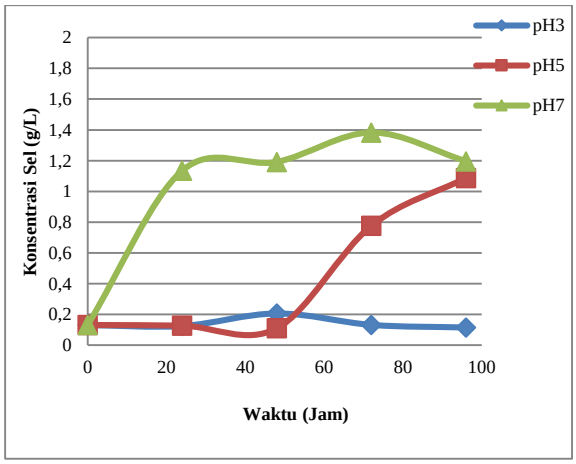
Hidrolisat xilosa hasil hidrolisis enzimatik TKKS kemudian dijadikan substrat utama pada proses fermentasi untuk menghasilkan xilitol. Gambar 3 a, b dan c menunjukkan bahwa fermentasi pada pH 3 dan pH 5 mengalami fase logaritmik pada jam ke 48. Gambar 3 a, b dan c menunjukkan bahwa fermentasi pada pH 7 mengalami fase logaritmik pada jam ke 24. Berdasarkan penelitian Mardawati *et al*. (2017), fermentasi dengan menggunakan substrat tongkol jagung mengalami fase logaritmik dari jam ke 2 sampai ke 24 jam. Berdasarkan penelitian Tantra dan

Rusdi (2003), fermentasi dengan substrat TKKS mengalami fase logaritmik sampai ke jam 46. Pada fase logaritmik kecepatan pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh medium tempat tumbuhnya seperti kandungan nutrien, suhu, pH dan kelembaban udara. Bila pH lingkungan tidak sesuai untuk aktivitas enzim secara optimal, maka khamir tidak maka khamir dapat melakukan metabolisme dengan baik, akibatnya khamir tidak dapat tumbuh dengan optimal (Parajó, Domínguez, & Domínguez, 1998b).

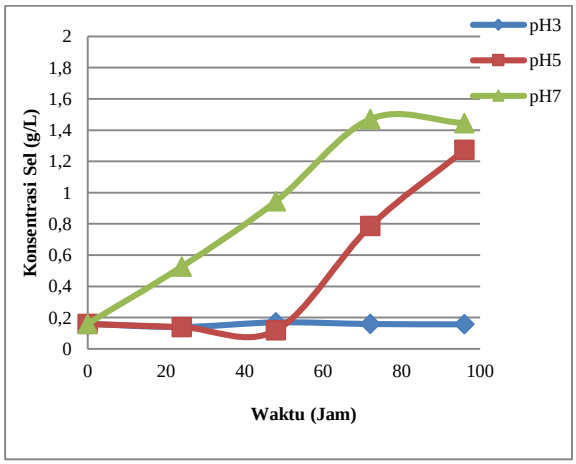
Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh pola pertumbuhan yang sama dengan pola pertumbuhan mikroorganisme pada umumnya. Berdasarkan pola pertumbuhannya, khamir tidak dipengaruhi oleh konsentrasi sel awal, sehingga dapat terlihat pada Gambar 3 a, Gambar 3 b dan Gambar 3 c, perbedaan antara konsentrasi sel awal dengan pertumbuhan *D. hansenii* tidak signifikan.



a. Konsentrasi sel awal 10^6 sel/mL



b. Konsentrasi sel awal 10^7 sel/mL

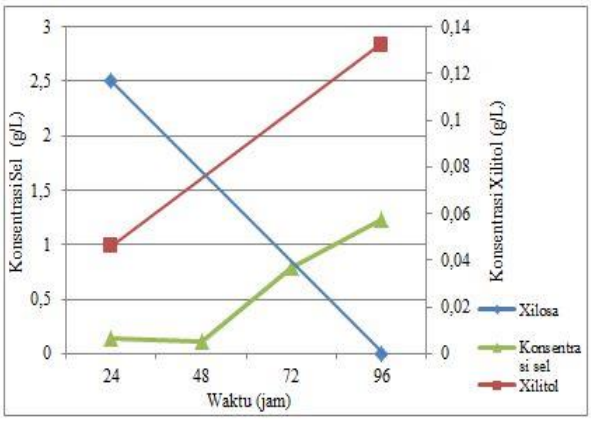


c. Konsentrasi sel awal 10^8 sel/mL)

Gambar 3. Profil pertumbuhan *D. hansenii* pada berbagai pH dan konsentrasi sel

Pembentukan Produk Utilisasi Substrat

Xilitol hanya terbentuk pada perlakuan pH 5 dengan konsentrasi sel 108 sel/mL pada jam ke 24 dan ke 96. Pada jam ke 24 dihasilkan xilitol sebesar 0,047 g/L dan perolehan xilitol terhadap xilosa sebesar 0,045 g/g (Tabel 3). Pada jam ke 96 sebesar 0,138 g/L dan perolehan xilitol terhadap xilosa sebesar 0,094 g/g (Tabel 4). Berdasarkan penelitian Mardawati *et al*. (2015), konsentrasi xilitol dihasilkan sebesar 3,088 g/L dan perolehan xilitol terhadap xilosa 0,24 g/g.



Gambar 4. Grafik konsentrasi sel, konsentrasi xilosa dan xilitol pada pH 5 dan konsentrasi sel awal 10^8 sel/mL

Gambar 4. menunjukkan bahwa produksi xilitol berkorelasi positif terhadap pertumbuhan *D. hansenii*. Semakin tinggi konsentrasi sel, maka xilitol juga semakin terbentuk, namun xilosa semakin berkurang. Dapat terlihat pula, bahwa xilitol sudah mulai diproduksi pada jam ke 24 dengan berkurangnya xilosa dan bertambahnya konsentrasi sel.

Menurut Tantra dan Rusdi (2003), peningkatan pH (pH 7) akan memengaruhi sistem transpor xilosa dari larutan fermentasi menuju dalam sel dan menyebabkan terjadinya pembatasan formasi xilitol. Pembatasan formasi xilitol ini akan menyebabkan terjadinya penurunan perolehan

Tabel 3. Konsentrasi xilosa, glukosa, xilitol, sel, dan perolehan biomassa pada hidrolisat TKKS setelah 24 jam fermentasi

9	Hasil Penelitian								
pH	**3**			**5**			**7**		
Konsentrasi sel awal (sel/mL)	**10^6**	**10^7**	**10^8**	**10^6**	**10^7**	**10^8**	**10^6**	**10^7**	**10^8**
Konsentrasi glukosa awal (g/L)	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014
Konsentrasi glukosa akhir (g/L)	1,098 ± 0,005	1,028 ± 0,002	1,446 ± 0,013	1,247 ± 0,003	1,242 ± 0,007	1,270 ± 0,003	0	0	0
Utilisasi glukosa (%)	77,19	78,66	69,97	74,09	74,22	73,63	100	100	100
Konsentrasi xilosa awal (g/L)	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017
Konsentrasi xilosa akhir (g/L)	0,328 ± 0,003	0,503 ± 0,004	0,462 ± 0,011	0,337 ± 0,008	0,531 ± 0,006	2,516 ± 0,004	0	0	0
Utilisasi xilosa (%)	77,70	65,85	68,62	77,09	63,92	70,89	100	100	100
Konsentrasi xilitol awal (g/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Konsentrasi xilitol akhir (g/L)	0	0	0	0	0	0,047 ± 0,001	0	0	0
Perolehan xilitol terhadap xilosa (g/g) [$Y_{P/X}$]	0	0	0	0	0	0,045 ± 0,002	0	0	0
Konsentrasi akhir sel (g sel/L)	0,126± 0,001	0,127± 0,001	1,101± 0,005	0,125± 0,004	0,127± 0,004	1,134± 0,001	0,139± 0,002	0,139± 0,002	0,526± 0,001
Perolehan biomassa terhadap xilosa (g/g) [$Y_{X/S}$]	0,102± 0,001	0,056± 0,001	1,504± 0,004	0,067± 0,002	1,016± 0,001	1,198± 0,002	0,007± 0,005	0,757± 0,001	0,891± 0,002

Tabel 4. Konsentrasi xilosa, glukosa, xilitol, sel, dan perolehan biomassa pada hidrolisat TKKS setelah 96 jam fermentasi

Keterangan	**Hasil Penelitian**								
pH	**3**			**5**			**7**		
Konsentrasi sel awal (sel/mL)	**10^6**	**10^7**	**10^8**	**10^6**	**10^7**	**10^8**	**10^6**	**10^7**	**10^8**
Konsentrasi glukosa awal (g/L)	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014	4,816 ± 0,014
Konsentrasi glukosa akhir (g/L)	1,035 ± 0,001	1,013 ± 0,001	1,396 ± 0,024	0	0	0	0	0	0
Utilisasi glukosa (%)	78,51	78,97	71,01	100	100	100	100	100	100
Konsentrasi xilosa awal (g/L)	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017	1,472 ± 0,017
Konsentrasi xilosa akhir (g/L)	0,306± 0,002	0,492 ± 0,004	0,436 ± 0,008	0,067 ± 0,001	0	0	0	0	0
Utilisasi xilosa (%)	79,22	66,57	70,39	95,45	100	100	100	100	100
Konsentrasi xilitol awal (g/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Konsentrasi xilitol akhir (g/L)	0	0	0	0	0	0,138 ± 0,002	0	0	0
Perolehan xilitol terhadap xilosa (g/g) [$Y_{P/X}$]	0	0	0	0	0	0,094± 0,001	0	0	0
Konsentrasi akhir sel (g sel/L)	0,116± 0,002	0,099± 0,003	1,182± 0,005	0,116± 0,004	1,087± 0,006	1,195± 0,007	0,156± 0,006	1,274± 0,001	1,445± 0,006
Perolehan biomassa terhadap xilosa (g/g) [$Y_{X/S}$]	0,100± 0,001	0,039± 0,005	1,032± 0,003	0,779± 0,002	0,649± 0,006	0,849± 0,001	0,009± 0,003	0,757± 0,005	0,891± 0,002

xilitol. Penurunan pH (pH 3) juga dapat menyebabkan terjadinya penurunan perolehan xilitol. Hal ini disebabkan oleh terganggunya keseimbangan redoks dari proses bioreduksi, terjadinya perubahan pH intraseluler yang menyebabkan terjadinya penurunan laju reaksi enzimatik formasi xilitol, memengaruhi permeabilitas dari sel ragi dan tidak terjadinya asimilasi mikronutrien karena terjadinya presipitasi mikronutrien.

Pada perlakuan konsentrasi sel 10^6 sel/mL dan 10^7 sel/mL tidak terbentuk xilitol. Hal ini sesuai dengan penelitian Tantra dan Rusdi (2003), dimana xilitol juga tidak terbentuk pada konsentrasi sel 2.10^7 sel/mL. Tidak terbentuknya xilitol dapat disebabkan terjadinya konsumsi xilitol oleh mikroba karena rendahnya kadar xilosa dan glukosa pada bagian akhir fermentasi. Konsumsi xilitol oleh *D. hansenii* juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Parajó *et al*. (1998).

Konsentrasi xilosa akhir sebesar 0 g/L menandakan bahwa semua xilosa sudah terkonversi, sehingga xilitol yang dihasilkan sudah maksimal. Pada perlakuan lain, terdapat xilosa yang masih tersisa menandakan belum semua xilosa terkonversi. Menurut Parajó *et al*. (1998), setiap khamir pada fermentasi xilitol memiliki kecepatan metabolisme yang berbeda-beda untuk mengkonversi xilosa menjadi glukosa. Lambatnya proses konversi xilosa menjadi xilitol pada proses fermentasi hidrolisat dapat disebabkan karena tingginya kandungan glukosa dan keberadaan senyawa inhibitor seperti asam asetat dan furfural (Rahman, Choudhury, & Ahmad, 2006).

Menurut Puspita (2010), selain dihasilkan xilitol dan biomassa sel, juga terbentuk produk samping seperti etanol dan asam asetat. Adanya glukosa yang semakin tinggi dapat meningkatkan produksi etanol. Keadaan ini menyebabkan arah pembentukan produk utama (xilitol) menjadi berkurang, karena glukosa-6-fosfat dalam lintasan heksosa monofosfat untuk menghasilkan NADH/ NADPH yang digunakan untuk biokonversi xilosa menjadi xilitol, digunakan untuk pembentukan etanol. Menurut Gírio *et al*. (2010) pada fermentasi oksidatif pembentukan asam asetat terjadi karena perubahan etanol menjadi asetaldehid dan asetaldehid diubah menjadi asam asetat.

KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh pH medium dan konsentrasi sel awal yang dimasukkan dalam proses fermentasi xilitol. Xilitol hanya terbentuk pada perlakuan pH 5 dengan konsentrasi sel awal 10^8 sel/mL pada jam ke 24 dan ke 96. Pada jam ke 24 dihasilkan xilitol sebesar 0,047 g/L dan perolehan xilitol terhadap xilosa 0,045 g/g. Pada jam ke 96 sebesar 0,138 g/L dan perolehan xilitol terhadap xilosa 0,094 g/g terhadap xilosa.

Xilitol tidak terbentuk pada konsentrasi sel lebih rendah dari 10^8 sel/mL pada pH 3, 5 dan 7 karena terjadinya konsumsi xilitol oleh mikroba akibat rendahnya kadar xilosa dan glukosa pada bagian akhir fermentasi. Xilitol tidak terbentuk pada pH yang lebih tinggi (pH 7) karena akan memengaruhi sistem transpor xilosa dari larutan fermentasi menuju dalam sel dan menyebabkan terjadinya pembatasan formasi xilitol. Xilitol tidak terbentuk pada pH yang lebih rendah (pH 3) karena terganggunya keseimbangan redoks dari proses bioreduksi, terjadinya perubahan pH intraseluler yang menyebabkan terjadinya penurunan laju reaksi enzimatik formasi xilitol, memengaruhi permeabilitas dari sel ragi dan tidak terjadinya asimilasi mikronutrien karena terjadinya presipitasi mikronutrien.

Daftar Pustaka

AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.

Beg, Q. K., Kapoor, M., Mahajan, L., & Hoondal, G. S. (2001). Microbial xylanases and their industrial applications: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *56*(3-4), 326–338. https://doi.org/10.1007/s002530100704

Chesson, A. (1981). Effects of sodium hydroxide on cereal straws in relation to the enhanced degradation of structural polysaccharides by rumen microorganisms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *32*(8), 745–758. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740320802

Foster-Powell, K., Holt, S., & Brand-Miller, J. (2002). International table of glycemic index and glycemic load. *American Society for Clinical Nutrition*, *76*(2), 5–56.

GAPKI. (2016). Refleksi Industri Kelapa Sawit 2015 dan Prospek 2016. Retrieved February 15, 2016, from https://gapki.id/news/397/refleksi-industri-kelapa-sawit-2015-dan-prospek-2016

Gírio, F. M., Fonseca, C., Carvalheiro, F., Duarte, L. C., Marques, S., & Bogel-Łukasik, R. (2010). Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology*, *101*(13), 4775–4800. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.088

Kayati, F. N., Syamsiah, S., Sediawan, W. B., & Sutijan. (2016). Studi kinetika hidrolisis tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan proses fermentasi padat menggunakan jamur Aspergillus niger. *Reaktor*, *16*(1), 1–8.

Kresnowati, M., Mardawati, E., & Setiadi, T. (2015). Production of xylitol from oil palm empty friuts bunch: A case study on bioefinery concept. *Modern Applied Science*, *9*(7), 206–213. https://doi.org/10.5539/mas.v9n7p206

Mardawati, E., Purwadi, R., Kresnowati, M. T. A. P., & Setiadi, T. (2017). Evaluation of the enzymatic hydrolysis process of oil palm empty fruit bunch using crude fungal xylanase. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *12*(18), 5286–5292.

Mardawati, E., Trirakhmadi, A., Kresnowati, M., & Setiadi, T. (2017). Kinetic study on fermentation of xylose for the xylitol production. *JIITA*, *1*(1), 1–6.

Mardawati, E., Werner, A., Bley, T., Kresnowati, M., & Setiadi, T. (2014). The enzymatic hydrolysis of oil palm empty fruit bunches to xylose. *Journal of the Japan Institute of Energy*, *93*, 973–978. https://doi.org/10.3775/jie.93.973

Mardawati, E., Wira, D. W., Kresnowati, M., Purwadi, R., & Setiadi, T. (2015). Microbial production of xylitol from oil palm empty fruit bunches hydrolysate: The effect of glucose concentration. *Journal of the Japan Institute of Energy*, *94*(8), 769–774. https://doi.org/10.3775/jie.94.769

Octavia, S., Soerawidjaja, T. H., Purwadi, R., & Putrawan, I. D. G. A. (2011). Pengolahan Awal Lignoselulosa Menggunakan Amoniak untuk Meningkatkan Perolehan Gula Fermentasi. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia* (pp. B13–1–6). Yogyakarta.

Parajó, J. C., Domínguez, H., & Domínguez, J. M. (1998a). Biotechnological production of xylitol. Part 1: Interest of xylitol and fundamentals of its biosynthesis. *Bioresource Technology*, *65*(3), 191–201. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00038-8

Parajó, J. C., Domínguez, H., & Domínguez, J. M. (1998b). Biotechnological production of xylitol. Part 3: Operation in culture media made from lignocellulose hydrolysates. *Bioresource Technology*, *66*(1), 25–40. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00037-6

Puspita, P. J. (2010). *Optimasi Konsentrasi Xilosa dan Glukosa untuk Produksi Xilitol oleh Candida tropicalis*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Rahman, S. H. A., Choudhury, J. P., & Ahmad, A. L. (2006). Production of xylose from oil palm empty fruit bunch fiber using sulfuric acid. *Biochemical Engineering Journal*, *30*(1), 97–103. https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.02.009

Sampaio, F. C., Da Silveira, W. B., Chaves-Alves, V. M., Lopes Passos, F. M., & Cavalcante Coelho, J. L. (2003). Screening of filamentous fungi for production of xylitol from d-xylose. *Brazilian Journal of Microbiology*, *34*(4), 325–328. https://doi.org/10.1590/S1517-83822003000400007

Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., & Templeton, D. (2006). Determination of Sugars, Bioproducts, and Degradation Products in Liquid Fraction Process Samples. Golden: National Renewable Energy Laboratory.

Tantra, T. M., & Rusdi, D. (2003). *Produksi Xilitol Mikrobial dari Hidrolisat Tandan Kosong Sawit*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Widiastuti, H., & Panji, T. (2007). Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sisa jamur merang (Volvariella volvacea)(TKSJ) sebagai pupuk organik pada pembibitan kelapa sawit. *Menara Perkebunan*, *75*(2), 70–79.