

Prosiding Seminar Nasional
ADIWIDYA7
Pascasarjana

Perspektif Berbagai Bidang Ilmu dalam
Menghadapi Perkembangan Inovasi Teknologi
di Era Industri 4.0

Bandung, 1 November 2019



KATA PENGANTAR

*Bimillahirrohmanirrahim
Assalamualaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah segala puja dan puji syukur kami haturkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan nikmat-Nya sehingga buku Prosiding Seminar Nasional Adiwidya 7 Pascasarjana ITB ini, akhirnya berhasil diterbitkan. Prosiding ini, merupakan kumpulan makalah yang disajikan di dalam rangkaian acara *Call for Paper* (CFP) yang mengambil tema: **“Perspektif Berbagai Bidang Ilmu dalam Menghadapi Perkembangan Inovasi Teknologi di Era Industri 4.0”** yang diselenggarakan pada tanggal 01 November 2019 di Aula Sipil (AISI), kampus ITB Bandung.

CFP ini merupakan salah satu rangkaian agenda acara Adiwidya 7 yang disinergikan dengan agenda Seminar Nasional dan Diskusi Panel (Sendipa). Adiwidya merupakan suatu wadah yang dapat menjadi sarana untuk menerbitkan hasil karya mahasiswa pascasarjana dalam bentuk prosiding paper penelitian dan dapat menjadi media pencerdasan masyarakat umum terkait isu revolusi industri 4.0. Harapan kami dari Adiwidya 7 ini dapat menumbuhkan kesadaran masyarakat dunia dan masyarakat Indonesia pada khususnya mengenai revolusi industri 4.0 untuk kemajuan peradaban suatu bangsa.

Tujuan dari kegiatan ini dalam rangka, menghidupkan budaya akademisi dan literasi bagi mahasiswa, juga dengan harapan dapat meningkatkan kontribusi para mahasiswa pascasarjana dalam upaya menciptakan dan melakukan inovasi dalam bidang sains dan teknologi di era industri 4.0 ini untuk membawa Negara Kesatuan Republik Indonesia menjadi negara yang maju di kancah internasional.

Terima kasih kami ucapkan kepada seluruh penulis yang telah menyumbangkan karyanya, juga kepada seluruh panitia Adiwidya 7 KAMIL pascasarjana ITB secara umum yang sudah bekerja keras merencanakan, mempersiapkan dan melaksanakan acara seminar ini dengan penuh keikhlasan. Juga khususnya kepada tim *Call for Paper* (CFP) yang sudah bekerja keras agar naskah dapat terbit memenuhi kaidah penulisan ilmiah dan ejaan bahasa Indonesia yang disempurnakan dan dari sisi tampilan yang disajikan secara menarik.

Kami mohon maaf, jika dalam penerbitan prosiding ini terdapat kekurangan dan kekeliruan, kepada Allah kami mohon ampun. Kami berharap, semoga prosiding ini memberikan banyak manfaat untuk masyarakat.

Bandung, 20 Maret 2020
Adiwidya 7 2019,

Moh. Ali
Ketua Pelaksana




SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Editor Kepala : Aditya Firman Ihsan
Editor Pelaksana : Jasmine Chanifah Uzdah Bachtiar
Dewan Editor : Nurul Aisyah Salman, Jessica Olifia
Asisten Editor : Baiq Ulfana Syabila, Abdurrahman Adam


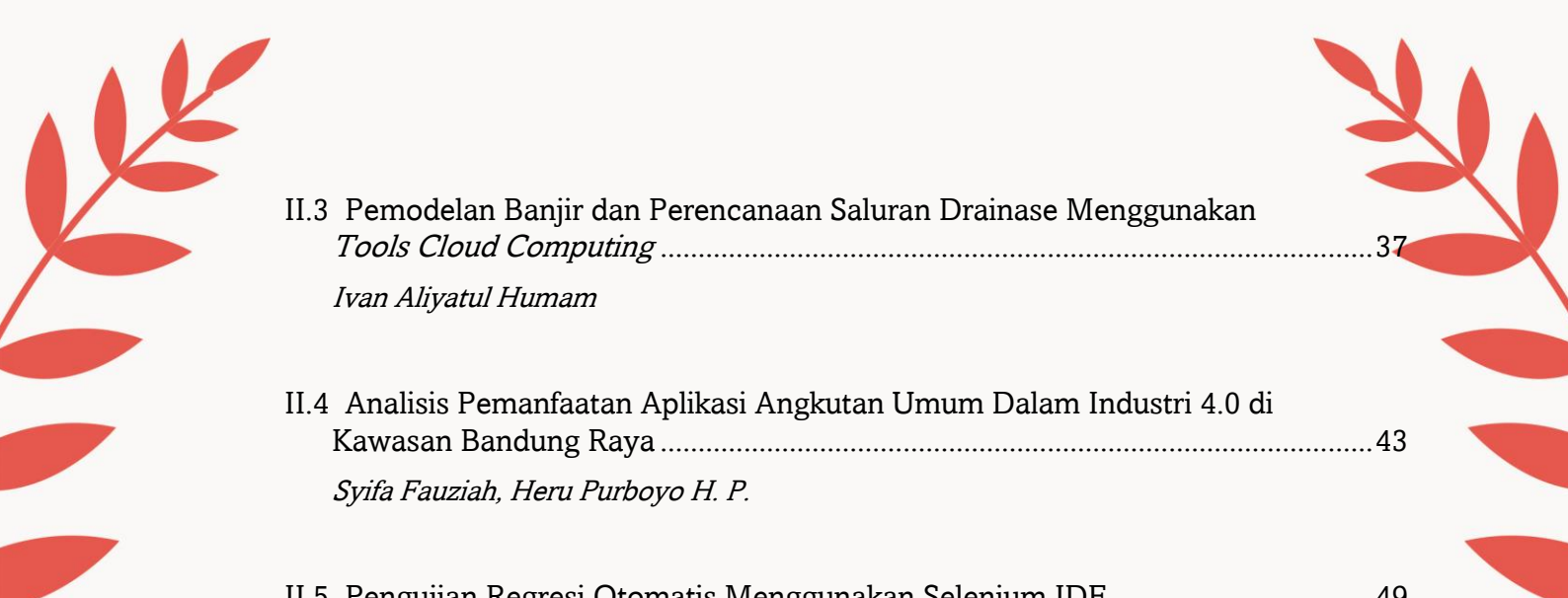
Layout : Ummi Nur Asyifah Bahmi, Putri Faradilla, Hafi Auliya Nurhayati
Desain sampul : Hesti Rosita Dwi Putri
Staf Redaksi : A. Iin Nindy Karlinda K., Arfa Izzati, Arif Efendi, Atika Rahmawati, Helfa Rahmadyani, Jehan Faradika, Nanik Aryani Putri, Togi Haidat Manggara, Zulhendra
Distribusi : Yeni Saro Manalu, Mutiara Qalbi Pebrian

Alamat Redaksi : KAMIL Pasca Sarjana ITB
Gedung Kayu lt.2, Kompleks Masjid Salman ITB, Jalan Ganesha
No.10 Bandung 40132




DAFTAR ISI

| | |
|--|----|
| Chapter I BIOTEKNOLOGI | 1 |
| I.1 Analisis Bioinformatika interaksi Protein Tirosin Fosfatase A (PtpA) dengan Asam Lemak Trans-2-Eikosenoat | 1 |
| <i>Baiq Repika Nurul Furqan, Imam Syahputra Yamin</i> | |
| I.2 <i>Biorefinery</i> Industri Sawit Nasional dalam Upaya Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Sawit (TKS) sebagai Bahan Baku Xilitol | 5 |
| <i>Abdurrahman Adam, Shelvi Putri Ayu, Muhammad Hanief Auliya Lukman</i> | |
| I.3 Strategi Sintesis dan Peningkatan Kadar Zat Aktif Pada Tanaman Kumis Kucing (<i>Orthosiphon aristatus (Blume)</i> Miq. dengan Rekayasa Genetik..... | 11 |
| <i>Fahrauk Faramayuda, Sukrasno, Elfahmi</i> | |
| I.4 Karakterisasi Taksonomi dan Substrat Alami <i>Phythium vexans</i> Sebagai Potensi Sumber Pangan Protein | 19 |
| <i>Istikoyah, I Nyoman Pugeg Aryantha</i> | |
| | |
| Chapter II ELEKTRO DAN INFORMATIKA | 27 |
| II.1 Sistem Monitoring Kualitas Produksi PT. XYZ Berbasis <i>Internet of Things</i> | 27 |
| <i>Mulyani Pratiwi, Teguh Raharjo, Mochammad Aldi Kushendriawan, Kevin Chandra Abimaulana</i> | |
| II.2 Kecerdasan Buatan untuk Rekognisi Audio Alat Musik Berbasis <i>Ciri Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC)</i> | 33 |
| <i>Sinta, Yokanan Wigar Satwika, Miranti Indar Mandasari</i> | |



| | | |
|---|--|----|
| II.3 | Pemodelan Banjir dan Perencanaan Saluran Drainase Menggunakan <i>Tools Cloud Computing</i> | 37 |
| | <i>Ivan Aliyatul Humam</i> | |
| II.4 | Analisis Pemanfaatan Aplikasi Angkutan Umum Dalam Industri 4.0 di Kawasan Bandung Raya | 43 |
| | <i>Syifa Fauziah, Heru Purboyo H. P.</i> | |
| II.5 | Pengujian Regresi Otomatis Menggunakan Selenium IDE..... | 49 |
| | <i>Dwi Ilham Prabowo, Hanson Prihantoro Putro</i> | |
| II.6 | Perbandingan Filter Digital pada <i>Accelerometer</i> untuk Mengoptimalkan Pengukuran Sudut <i>Pitch</i> dan <i>Roll</i> | 55 |
| | <i>Adidin Aidin Maulana, Hendri Maja Saputra, Abdurrahman Nurhakim</i> | |
| Chapter III SOCIAL SCIENCE | | 63 |
| III.1 | <i>Social Impact in Digital Economic Era to Improving Coffee Production at Temanggung District</i> | 63 |
| | <i>Fajar Abdurrafi</i> | |
| III.2 | Konseptualisasi Aplikasi Chatbot sebagai Kanal Interaksi Layanan Pemerintah di Era Industri 4.0 | 71 |
| | <i>Arfive Gandhi</i> | |
| III.3 | Masyarakat Pasca-Literasi sebagai Fenomena Baru Revolusi Digital | 77 |
| | <i>Aditya Firman Ihsan</i> | |
| III.4 | Menyoal Tawaran Revolusi Industri 4.0 pada Interaksi Manusia dan Teknologi, Sebuah Kajian Kritis | 85 |
| | <i>Aditya Firman Ihsan, Muhammad Suryo Panotogamo Abi Suroso</i> | |



Biorefinery Industri Sawit Nasional dalam Upaya Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Sawit (TKS) sebagai Bahan Baku Xilitol

Abdurrahman Adam¹, Shelvi Putri Ayu², Muhammad Hanief Aulia Lukman³

Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

ABSTRACT

Empty fruit bunch of Palm Oil (TKS) is a potential lignocellulosic biomass in Indonesia. This year, TKS production could reach more than 40 million tonnes per year and still under-utilised, especially in palm-oil region producer. Rich content of hemicellulosic inside TKS could be matched with the need of biomass substrate for bio-based production of added-value chemical product xylitol with bio-industry concept. Nowadays, xylitol is conventionally produced by catalytic reaction with thermochemical process which still become consideration because of high cost for production and not assessed as eco-friendly process. Bioprocess technology for xylitol production is one of the best alternative solution for shifting from conventional chemical process' weakness. However, bioprocess as emerging technology still has spaces for continous development. State of the art literature study has shown the development of xylitol fermentantion globally, but still there is lack of study that focus on detailing the application of xylitol production process which utilise the potential of empty fruit bunch of TKS in Indonesia. This review aim to enrich the knowledge of bioprocess technology, especially for the effort of developing the national bio-industry. This application of biorefinery concept in palm oil industry could introduce the sustainable process design of the industry itself. The future outlook of this research has been presented as proposed biorefinery scheme of palm oil industry.

Keywords: Paper review, Palm empty fruit bunch, Xylitol, Fermentation, Biorefinery

ABSTRAK

Tandan kosong sawit (TKS) merupakan biomassa lignoselulosa yang sangat potensial di Indonesia. Produksi TKS per tahun diproyeksi akan mencapai lebih dari 40 juta ton dan belum termanfaatkan dengan baik di daerah-daerah penghasil komoditas kelapa sawit. Potensi TKS yang kaya akan kandungan hemiselulosa dapat dipadukan dengan kebutuhan pasar akan senyawa bernilai tinggi seperti xilitol dengan menggunakan konsep industri berbasis biomassa yang menarik untuk dikembangkan di Indonesia. Xilitol secara konvensional diproduksi menggunakan reaksi katalitik pada tekanan dan suhu tinggi, namun proses ini masih dianggap bermasalah karena mahal biaya produksi dan dampak negatif terhadap lingkungan. Bioproses xilitol telah banyak diteliti sebagai alternatif solusi dari kelemahan proses produksi xilitol secara konvensional. Namun sebagai teknologi baru, bioproses juga masih memiliki tantangan yang harus diselesaikan, terutama dari segi teknologi bioproses yang masih berkembang terus-menerus. Sudah cukup banyak penelitian mengenai proses fermentasi xilitol secara global, namun belum banyak penelitian tinjauan yang berusaha untuk mengkaji capaian *state of the art* dari pengembangan teknologi bioproses xilitol, terutama yang dapat diaplikasikan pada potensi TKS Indonesia. Penelitian tinjauan ini bertujuan untuk memperkaya pemahaman pada bidang bioproses Indonesia, secara khusus terhadap potensi terwujudnya konsep bio-industri nasional. Aplikasi konsep *biorefinery* pada industri sawit dapat menghasilkan desain proses produksi yang berkelanjutan pada industri tersebut. Harapan masa depan dari penelitian ini dirangkum pada suatu usulan skema *biorefinery* industri kelapa sawit.

Kata kunci : Penelitian tinjauan, Tandan kosong sawit, Xilitol, Fermentasi, *Biorefinery*

Kontak Penulis

Abdurrahman Adam

*Mahasiswa Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

Labtek X, Jl. Ganeca no.10 Kode pos 40132

Tel : +62-87876762200, Fax : -

E-mail : abdadam@s.itb.ac.id

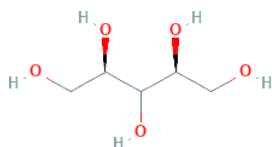
1. Pendahuluan

Komoditas kelapa sawit (*Elaeis Guineensis*) merupakan komoditas yang sangat berkembang pesat di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Pertanian (2019), jumlah produksi minyak kelapa sawit nasional diprediksi akan mencapai 42 juta ton per tahun. Perkembangan industri kelapa sawit diiringi dengan munculnya potensi sumber biomassa lignoselulosa yang besar dan belum dimanfaatkan dengan optimal. Salah satu limbah biomassa terbesar yang dihasilkan adalah tandan kosong sawit (TKS) dengan presentase massa mencapai 21% atau sekitar 30 juta ton per tahun (Hambali & Rivai, 2017).

Dalam konsep *biorefinery*, limbah biomassa merupakan produk samping yang dapat dioptimalkan kembali. TKS kaya akan hemiselulosa sehingga dapat menjadi bahan baku produksi senyawa-senyawa kimia bernilai tinggi (Özüdoğru, Nieder-Heitmann, Haigh, & Görgens, 2019). Salah satu senyawa yang dapat dihasilkan adalah xilitol dari hidrolisat hemiselulosa (Silvério & Chandel, 2012). Produksi xilitol saat ini dilakukan melalui proses termokimia, tetapi proses tersebut menyebabkan masalah lingkungan dan cenderung mahal (Felipe Hernández-Pérez dkk., 2019). Produksi xilitol menggunakan bioproses merupakan salah satu alternatif yang telah diproyeksi sebagai teknologi masa depan yang dapat menanggulangi solusi produksi secara termokimia (Hadi, Kresnowati, & Setiadi, 2016; Nadia, Fauziah, & Mayori, 2017; Özüdoğru, Nieder-Heitmann, Haigh, & Görgens, 2019b; Silvério & Chandel, 2012). Salah satu hambatan dari realisasi konsep ini adalah masih tingginya harga produksi disebabkan sulitnya memurnikan produk (Felipe Hernández-Pérez dkk., 2019). Selain itu, aplikasi dari konsep produksi xilitol secara bioproses menggunakan substrat TKS masih jarang sekali dibahas. Penelitian tinjauan ini bertujuan untuk membahas potensi dari pengolahan biomassa TKS Indonesia menjadi xilitol. Fokus penelitian tinjauan ini adalah pengolahan awal biomassa, fermentasi, serta pemurnian produk xilitol.

2. Xilitol : Senyawa Kimia Bernilai Tinggi dari Biomassa Lignoselulosa

Senyawa xilitol merupakan gula tereduksi dengan struktur kimia pada gambar 1 (*National Center for Biotechnology Information*, 2019).

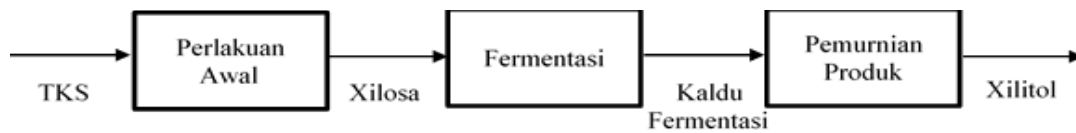


Gambar 1. Struktur Senyawa Xilitol (*National Center for Biotechnology Information*, 2019).

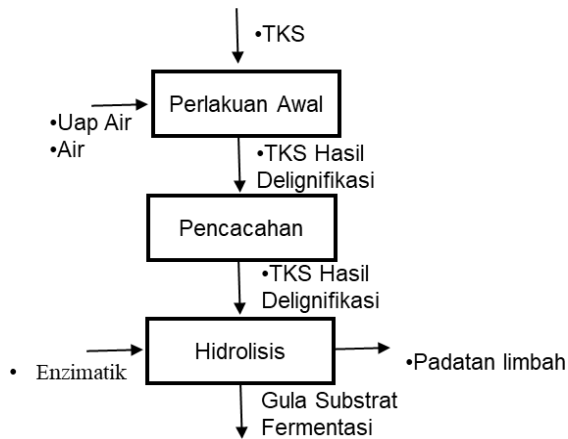
Sejak ditemukan pada tahun 1980, xilitol telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku industri makanan, misalnya sebagai pemanis rendah kalori, dan bahan baku industri farmasi, sebagai obat atau pencegah kerusakan gigi, infeksi telinga, osteoporosis, dll (Silvio Silverio da Silva & Chandel, 2012). Dewasa ini, pasar dari senyawa xilitol sangat berkembang karena tren kehidupan sehat serta luasnya kegunaan xilitol. Hernández-Pérez dkk. (2019) melaporkan nilai pasar xilitol global saat ini telah mencapai 823 juta USD dengan harga xilitol diproyeksikan mencapai \$4-5 kg. Tren ini diproyeksikan akan meningkat dengan nilai *Compound Annual Growth Rate* mencapai 5,7%.

Proses produksi xilitol secara konvensional dilakukan secara termokimia menggunakan bahan baku lignoselulosa yang dihidrolisis oleh asam kuat untuk mendapatkan xilosa, prekursor xilitol. Kemudian xilosa direaksikan di dalam reaktor pada suhu dan tekanan tinggi (80-140°C, 50 atm) sehingga terjadi reaksi hidrogenasi menggunakan bantuan katalis logam (Yadav, Mishra, & Hwang, 2012). Proses ini menghasilkan buangan asam, emisi karbon yang tinggi, serta sulitnya pemisahan yang berdampak pada tingginya harga produk (Awuchi, 2017). Oleh karena itu, penelitian teknologi bioproses, yaitu fermentasi xilosa menjadi xilitol, mulai dikembangkan sebagai alternatif solusi dari kelemahan proses produksi xilitol secara termokimia (Felipe Hernández-Pérez dkk., 2019). Felipe Hernández-Pérez dkk dalam tinjauan pustakanya menilai terdapat empat poin kelebihan dari alternatif produksi xilitol menggunakan bioproses: mikroba akan selektif terhadap substrat xilosa sehingga tidak perlu dimurnikan, kondisi operasi berada pada kondisi ruang sehingga mudah dan murah dioperasikan, proses purifikasi lebih murah karena mikroba juga memanfaatkan pengotor, dan diharapkan xilosa serta glukosa akan lebih efektif dikonversi oleh biokatalis yang digunakan. Secara umum, terdapat tiga tahapan utama proses produksi xylitol (gambar 2).

Sebagai teknologi baru, setiap proses pada bio-industri xilitol memiliki tantangan tersendiri agar dapat diwujudkan dalam bentuk rancangan industri yang layak dan optimal. Tahapan proses produksi akan diulas dengan menitikberatkan tinjauan pada teknologi-teknologi terkini sebagai titik acuan posisi dan potensi realisasi rancangan teknologi bioproses untuk produksi xilitol saat ini.



Gambar 2. Tahapan utama produksi xilitol (Silvério & Chandel, 2012)



Gambar 3. Proses perlakuan awal TKS menjadi substrat fermentasi (Singh & Kalia, 2017).

Perlakuan awal dapat dilakukan menggunakan zat kimia, air panas atau uap air panas. Zat kimia yang sering digunakan yaitu asam kuat seperti HCl dan H₂SO₄. Asam kuat diketahui memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan dapat merusak unit operasi (Felipe Hernández-Pérez dkk., 2019). Begitu pula yang terjadi pada tahapan hidrolisis/sakarifikasi pati menjadi gula sederhana, sehingga banyak referensi merekomendasikan proses enzimatik untuk hidrolisis (Hadi dkk., 2016; Nadia dkk., 2017; Singh & Kalia, 2017).

Proses enzimatik masih jarang digunakan karena harga enzim yang relatif mahal, namun proses enzimatik yang spesifik dapat dimanfaatkan untuk mengoptimasi substrat fermentasi (Mardawati, Purwadi, & Setiadi, 2017). Harapan dari digunakannya proses enzimatik yaitu dapat meningkatkan jumlah produk dan mengurangi jumlah gula pengotor seperti D-arabinosa dan gula pentosa lainnya. Pemodelan reaksi enzimatik terhadap berbagai kondisi operasi dapat menjadi topik penelitian yang memperluas pemahaman tentang konsep optimasi substrat.

Fermentasi TKS

Fermentasi xilitol dapat dilakukan menggunakan berbagai jenis mikroba, namun hasil studi literatur menjelaskan bahwa *Candida tropicalis* merupakan mikroorganisme yang paling optimal untuk memproduksi xilitol (Ur-Rehman, Mushtaq, Zahoor, Jamil, & Murtaza, 2015). Mikroba ini dapat mengonversi xilosa menjadi D-xilitol melalui reaksi oksidasi reduksi dengan enzim *xilosa reductase* dan *xilitol dehydrogenase*. Data pada tabel 1 menunjukkan bahwa perolehan produk xilitol yang dihasilkan oleh khamir *C. tropicalis* merupakan yang

paling besar dengan lama fermentasi yang relatif singkat.

Tabel 1. Produksi xilitol oleh mikroorganisme dalam media xilosa atau campuran gula komersial (Parajo, Herminia, & Jose, 1998)

| Mikroorganisme | Waktu (jam) | P (g/L) | Y _{p/s} (g/g) | Y _{x/s} (g/g) |
|---|-------------|---------|------------------------|------------------------|
| <i>Candida tropicalis</i> HPX2 | 24 | 40 | 0,8 | - |
| <i>Candida guilliermondii</i> FTI-20037 | 78 | 77,2 | 0,74 | 0,048 |
| <i>Debaryomyces hansenii</i> DTIA 77 | 28 | 62,6 | 0,70 | - |
| <i>C. parasitosis</i> ATCC 28474 | - | 1,37 | 0,31 | 0,32 |
| <i>C. guilliermondii</i> NRC 5578 | 406 | 221 | 0,75 | 0,02 |
| <i>C. tropicalis</i> DSM 7524 | 70-800 | 95-220 | 0,5-0,74 | - |
| <i>C. mogii</i> ATCC 18364 | - | - | 0,7 | 0,12 |
| <i>C. boidinii</i> NRRL-Y 17213 | - | - | 0,2 | - |
| <i>D. hansenii</i> NRRL Y-7426 | 48 | 221 | 0,79 | - |

Keterangan: P, konsentrasi xilitol maksimum; Y_{p/s}, produk perolehan; Y_{x/s}, biomassa perolehan

Xilitol umumnya terbuat dari tongkol jagung, namun beberapa jenis tanaman sudah pernah diteliti sebagai bahan baku pembuatan xilitol seperti bagas tebu, eukaliptus, dan tandan kosong kelapa sawit (Ur-Rehman dkk., 2015).

Substrat fermentasi xilitol harus mengandung xilosa yang tinggi, namun konsentrasi xilosa yang tinggi tidak selalu menghasilkan xilitol yang tinggi. Faktor lain yang dapat mempengaruhi konversi yaitu inhibitor ataupun konsumsi substrat untuk pertumbuhan sel mikroorganisme itu sendiri. Jika ke dalam substrat ditambahkan glukosa dengan ratio glukosa:xilosa 1:5, akan didapatkan konsentrasi xilitol meningkat lima kali menjadi 2,85 g/L. Jika dibandingkan, peningkatan produk (Y_{p/s}) dan produktivitas volumetric (Q_p) pada nisbah glukosa dan xilosa 1:5 berturut-turut sebesar 15,69% dan 23,26% (Ambarsari, Suryani, Gozales, & Puspita, 2015). Jumlah penambahan glukosa berbanding lurus dengan jumlah xilitol. Selain itu, fermentasi juga akan dipengaruhi beberapa faktor seperti suhu, pH, kondisi aerasi, konsentrasi substrat, dan keberadaan gula lain selain xilosa (Ambarsari dkk. 2015).

Optimasi medium juga dapat dilakukan dengan

menambahkan ammonium sulfat ke dalam media ragi *C. guilliermondii*. Xilitol dihasilkan sebagai metabolit primer pada fase logaritmik pertumbuhan, dimana konsentrasi xilitol tertinggi dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Ambarsari dkk. (2015) yaitu 0,57 g/L dengan lama fermentasi 72 jam pada suhu 35°C. Produksi xilitol dengan menggunakan mikroba *Candida tropicalis* akan menghasilkan asam asetat pada konsentrasi tinggi yang memberikan efek inhibitor pada pertumbuhannya. Fermentasi dilakukan pada pH 6. Konsentrasi xilitol maksimum dari hasil fermentasi ialah 68,4 g/L pada lama fermentasi 72 jam dan temperatur 30°C. Respirasi sel dan konversi biomassa pada fermentasi xilitol dengan menggunakan ragi berjalan pada kondisi aerob, namun tetap pada kondisi oksigen yang terbatas. 50-60% xilosa akan terkonversi menjadi xilitol (Ur-Rehman et al., 2015).

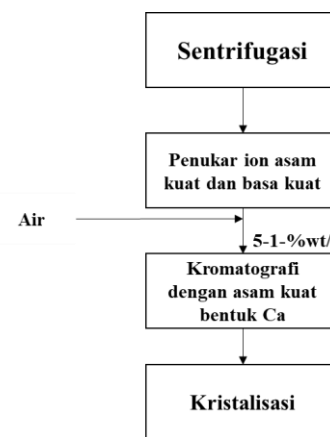
Xilitol dengan menggunakan xilosa hasil hidrolisat TKS sebagai substrat akan terbentuk pada proses fermentasi dengan perolehan xilitol terhadap xilosa adalah 0,094 g/g dan xilitol yang dihasilkan sebesar 0,138 g/L dengan konsentrasi substrat awal adalah 4,816 g/L dan konsentrasi sel awal sebesar 10^8 sel/mL. Fermentasi tersebut terjadi pada kondisi pH 5 dan temperatur 30°C dengan lama fermentasi 96 jam menggunakan khamir *D. hansenii* (Mardawati, Daulay, Wira, & Sukarminah, 2018).

Pemurnian Produk Xilitol

Pemurnian xilitol dari media fermentasi, merupakan tahap akhir untuk memperoleh xilitol dari kaldu hasil fermentasi. Kaldu fermentasi mengandung biomassa, padatan terendapkan, bahan baku sisa, gula antara dan gula alkohol, produk samping asam organik, dan garam anorganik yang ditambahkan dalam proses fermentasi yang perlu dipisahkan untuk memperoleh xilitol. Mekanisme pemurnian xilitol dari media fermentasi terjadi dalam beberapa tahapan proses (gambar 4) (London Patent No. EP 1 075 795 B1, 2000).

Penggunaan resin penukar ion dalam medium sintetik *C. guilliermondii* dapat menghilangkan 97,5% produk samping terlarut dan 99,5% warna, tetapi penukar ion memiliki kelemahan berupa kehilangan xilitol sebesar 15,23 % (Ernesto dkk., 2015).

Beban kerja resin dapat diturunkan dengan penggunaan arang aktif untuk menghilangkan warna, komponen fenol, asam asetat, dan komponen aromatik (Wei, Yuan, Tianxin, & Le, 2010). Penggunaan arang aktif dapat menghilangkan 69% protein dan 79,5% senyawa organik, tetapi dapat mengadsorpsi xilitol sebesar 25-50% (Ernesto dkk., 2015). Metode ini masih mengalami kehilangan produk karena teradsorpsi dan membutuhkan energi yang tinggi (Desiriani, Kresnowati, & Wenten, 2017).



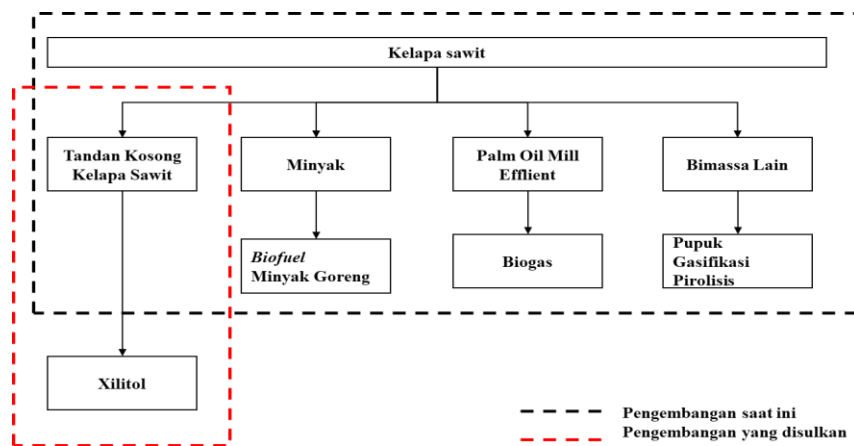
Gambar 4. Tahapan proses pemurnian xilitol (London Patent No. EP 1 075 795 B1, 2000).

Penggunaan membran merupakan pengembangan proses pemisahan xilitol dari media fermentasi. Prinsipnya yaitu dengan adanya gaya dorong berupa perbedaan tekanan. Pemisahan dengan membran dipandang lebih efektif dan memiliki kinerja yang baik untuk proses industri (Desiriani, Kresnowati, & Wenten, 2017).

Pemisahan dilakukan dengan menggunakan membran polisulfon $\bar{\mu} = 10.000$. Kinerja membran dapat mengambil 82,3-90,3% xilitol dari media fermentasi, serta dapat menahan 49,2-53,6% oligopeptida dan peptida. Kristalisasi dari permeat membran dapat memberikan kemurnian senilai 90,3% (Ernesto dkk., 2015).

Terobosan lain dari proses membran adalah penggunaan membran ultrafiltrasi sebagai pengganti proses sentrifugasi diikuti dengan membran elektrodeionisasi untuk menghilangkan garam dan produk samping asam. Didapatkan persentase penghilangan oleh membran sebesar 99% mikroorganisme dan biomassa, 99% pigmen, >46% xilosa dan >99% pengotor ionik termasuk >90% asam asetat, tetapi terjadi kehilangan xilitol sebesar 30-50% (Kresnowati, Regina, Bella, Wardani, & Wenten, 2019). Metode membran dapat menghilangkan alat sentrifugasi dan penukar ion untuk penghilangan senyawa ionik sehingga dapat mengurangi beban energi dan biaya resin untuk penghilangan senyawa ionik.

Kristalisasi xilitol terbaik dilakukan dengan pemekatan larutan xilitol hingga 75% w/v dengan benih kristal 1% dan pendinginan hingga -20°C selama 48 jam menghasilkan kemurnian kristal xilitol sebesar 95% w/w dan perolehan 60,2% total xilitol yang terkristalisasi pada hidrolisat tongkol jagung dan pengotor D-arabinosa (Wei, Yuan, Tianxin, & Le, 2010).



Gambar 5. Usulan skema *Biorefinery* pada Industri Sawit

Referensi pemisahan merujuk pada sumber xilitol dari tongkol jagung sehingga dapat didekati untuk tinjauan pada substrat tandan kosong kelapa sawit yang memiliki kadar hemiselulosa sedikit lebih tinggi sehingga kandungan D-arabinosa lebih banyak. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut, agar dapat menekan kadar D-arabinosa dalam larutan induk kristalisasi xilitol agar perolehan kristalisasi dan kemurnian kristal xilitol meningkat.

3. Usulan Skema *Biorefinery*

Industri minyak sawit dengan bahan baku tandan sawit segar menghasilkan produk utama *crude palm oil* (CPO) 57,4% tandan kosong kelapa sawit 22,2% dengan kadar hemiselulosa 27-29,6%, dan biomassa lain seperti serat 11,1% dan cangkang 9,3% (Hambali & Rivai, 2017; Nadia, Fauziah, & Mayori, 2017b).

Proses yang berjalan saat ini menghasilkan produk minyak yang dapat diolah menjadi minyak goreng dan *biofuel* (Blesvid, Yelmida, & Zultiniar, 2014). Limbah cair POME berpotensi diolah menjadi biogas dan limbah padat biomassa lain dapat digunakan sebagai pupuk, tetapi membutuhkan waktu yang lama (Irvan dkk., 2012). Pengolahan biomasa dapat dilakukan dengan pirolisa menjadi bio-oil atau gasifikasi menjadi *syngas* (Wijianto & Sudarmanta, 2013; Ratnasari, 2011). TKS berpotensi menjadi bahan bakar hasil gasifikasi (Purwantara & Prastowo, 2011). Namun dengan kadar xilosa dalam hemiselulosa yang tinggi, tandan kosong kelapa sawit berpotensi menjadi sumber bahan baku bio-industri xilitol di Indonesia. Adanya bio-industri xilitol (gambar 5) yang terintegrasi dengan industri sawit dapat meningkatkan keberlanjutan industri sawit, serta dapat menanggulangi masalah lingkungan berupa limbah padat TKS yang tidak dimanfaatkan.

Potensi xilitol yang dapat dihasilkan dari TKS dapat dihitung dengan menggunakan basis perhitungan jumlah TKS yang dihasilkan di Kalimantan, yaitu sebanyak 10,53 juta ton per tahun (Hambali & Rivai, 2017). Asumsi

perlakuan awal dapat melepaskan 27% hemiselulosa dari TKS dan menghidrolisis 17% xilan. Hasil perlakuan awal akan didapatkan jumlah xilosa 0,48 juta ton. Selanjutnya fermentasi xilosa dengan perolehan 0,8 g xilitol / g substrat menggunakan *C. tropicalis* menghasilkan massa xilitol sebesar 0,39 juta ton/tahun. Setelah melewati masa purifikasi dengan perolehan total 0,35 g kristal / g xilitol hasil fermentasi, potensi xilitol yang dapat diproduksi adalah 133 juta kg per tahun. dengan kemurnian 96% Apabila diasumsikan harga kristal xilitol adalah \$4 per kg maka didapatkan potensi pendapatan industri sebesar 534 juta USD per tahun. Potensi ini sangat besar jika dapat dimanfaatkan dengan baik.

4. Kesimpulan

Potensi TKS di Indonesia cukup tinggi sehingga TKS dapat dimanfaatkan sebagai substrat fermentasi untuk menghasilkan xilitol menggunakan konsep *biorefinery*. Terdapat banyak alternatif metode perlakuan awal proses produksi xilitol, tetapi proses enzimatik sangat berpotensi untuk digunakan pada proses hidrolisis untuk optimasi substrat fermentasi. Proses fermentasi xilitol menggunakan beberapa mikroorganisme akan menghasilkan perolehan yang berbeda. Khamir *C. tropicalis* memiliki perolehan produk yang paling tinggi dengan lama fermentasi yang lebih singkat jika dibandingkan dengan mikroba lainnya. Metode membran dengan fokus penelitian ke arah konfigurasi membran atau pengembangan membran yang lebih selektif untuk menghasilkan xilitol yang lebih murni dan kehilangan xilitol yang lebih kecil, sehingga perolehan kristal dan kemurnian kristal xilitol yang didapatkan lebih tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. M.T.A.P Kresnowati, Dr. Ardiyan Harimawan serta Ibnu Maulana Hidayatullah, M.T. yang telah memberikan inspirasi pada artikel ini.

Daftar Pustaka

- Ambarsari, L., Suryani, Gozales, S., & Puspita, P. J. (2015). The Addition Effects of Glucose as a Co-substrate on Xylitol Production by *Candida guilliermondii*. *Current Biochemistry*, 2(1), 13–21. <https://doi.org/10.29244/13-21>
- Aoki, Y., & Ono, E. (2000). *London Patent No. EP 1 075 795 B1*.
- Awuchi, C. G. (2017). *SUGAR ALCOHOLS: CHEMISTRY, PRODUCTION, HEALTH CONCERNS AND NUTRITIONAL IMPORTANCE*. (April).
- Blesvid, B., Yelmida, & Zultiniar. (2014). Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Biofuel dengan Katalis Abu TKS Variasi Temperatur dan Berat Katalis. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*.
- Desiriani, R., Kresnowati, M., & Wenten, I. (2017). Membrane-Based Downstream Processing of Microbial Xylitol Production. *International Journal of Technology 2017*, 1393-1401.
- Ernesto, A., Eliana, V. C., Jose, A. B., Marco, G., Joao, B. d., & Attilio, C. (2015). Strategies for Xylitol Purification and Crystalization : A Review. *Taylor and Francis Group*.
- Felipe Hernández-Pérez, A., de Arruda, P. V., Sene, L., da Silva, S. S., Kumar Chandel, A., & de Almeida Felipe, M. das G. (2019). Xylitol bioproduction: state-of-the-art, industrial paradigm shift, and opportunities for integrated biorefineries. *Critical Reviews in Biotechnology*, 39(7), 924–943. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1640658>
- Hadi, K., Kresnowati, M., & Setiadi, T. (2016). Evaluation of Simultaneous Saccharification and Fermentation of Oil Palm Empty Fruit Bunches for Xylitol Production. *International Seminar on Chemical Engineering In Conjunction with Seminar Soehadi Reksowardojo 2016*, 14(3), 559–567. <https://doi.org/10.9767/bcrec.14.3.3754.559-567>
- Hambali, E., & Rivai, M. (2017). The Potential of Palm Oil Waste Biomass in Indonesia in 2020 and 2030. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 65(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/65/1/012050>
- Irvan, Suraya, I., Tiarasti, H., Trisakti, B., Hasibuan, R., & Tomuichi, Y. (2012). Pembuatan Biogas dari Berbagai Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU Vol.1*, 45-48.
- Kresnowati, M. T., Regina, D., Bella, C., Wardani, A. K., & Wenten, I. G. (2019). Combined ultrafiltration and electrodeionization techniques for microbial xylitol purification. *Food and Bioproduct Processing*, 245-252.
- Mardawati, E., Purwadi, R., & Setiadi, T. (2017). Evaluation of the Enzymatic Hydrolysis Process of Oil. 12(18), 5286– 5292.
- Mardawati, E., Daulay, D. N., Wira, D. W., & Sukarminah, E. (2018). The Effect of Initial Cell and pH on Xylitol Fermentation from Oil Palm Empty Fruit Bunch. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 7(1), 23–30. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2018.007.01.3>
- Nadia, A., Fauziah, A., & Mayori, E. (2017). Potential of Lignocellulosic Oil Palm Waste in South Kalimantan for Bioethanol and Xylitol Production. *Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 8(2), 41–51.
- Özüdoğru, H. M. R., Nieder-Heitmann, M., Haigh, K. F., & Görgens, J. F. (2019a). Techno-economic analysis of product biorefineries utilizing sugarcane lignocelluloses: Xylitol, citric acid and glutamic acid scenarios annexed to sugar mills with electricity co-production. *Industrial Crops and Products*, 133(January), 259–268.
- Özüdoğru, H. M. R., Nieder-Heitmann, M., Haigh, K. F., & Görgens, J. F. (2019b). Techno-economic analysis of product biorefineries utilizing sugarcane lignocelluloses: Xylitol, citric acid and glutamic acid scenarios annexed to sugar mills with electricity co-production. *Industrial Crops and Products*, 133(January), 259–268.
- Parajo, J. C., Herminia, D., & Jose, M. (1998). Biotechnological Production of Xylitol Part 2 : Operation in Culture Media made with Commercial Sugars. *Bioresource Technology Vol. 65*, 203-212.
- Purwantara, B., & Prastowo, B. (2011). Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit : Konversi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Perkebunan*, 197-205.
- Ratnasari, F. (2011). Pengolahan Cangkang Kelapa Sawit Dengan Teknik Pirolisis untuk Produksi Bio-Oil. *Universitas DIponegoro, Teknik Kimia. Semarang: Universitas DIponegoro*.
- Silva, Silvio Silverio da, & Chandel, A. K. (2012). D-Xylitol. *Berlin Heidelberg. Silvério, S., & Chandel, A. K. (2012). D-Xylitol (S.S. da Silva & A.K. Chandel, eds.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag*.
- Singh, L., & Kalia, V. C. (2017). Waste biomass management -A holistic approach. In *Waste Biomass Management - A Holistic Approach*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49595-8>
- Sudiyani, Y., Styarini, D., Triwahyuni, E., Sudiyarmanto, Sembiring, K. C., Ariatiawan, Y., ... Han, M. H. (2013). Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot - Scale unit. *Energi Procedia*, 32, 31–38.
- Ur-Rehman, S., Mushtaq, Z., Zahoor, T., Jamil, A., & Murtaza, M. A. (2015). Xylitol: A Review on Bioproduction, Application, Health Benefits, and Related Safety Issues. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11), 1514–1528.
- Wei, J., Yuan, Q., Tianxin, W., & Le, W. (2010). Purification and Crystallization of Xylitol from Fermentation Broth of Corn cob Hydrolysis. *Higher Education Press and Springer-Verlag*.
- Wijianto, A., & Sudarmanta, B. (2013). Karakterisasi Gasifikasi Downdraft Berbahan Baku Cangkang Kelapa Sawit dengan Variasi Gasifying Agent. *Applied Engineering Seminar 2012*.
- Yadav, M., Mishra, D. K., & Hwang, J. (2012). Applied Catalysis A: General Catalytic hydrogenation of xylose to xylitol using ruthenium catalyst on NiO modified TiO₂ support. "Applied Catalysis A, General," 425–426, 110–116.