



**FORUM GURU BESAR**  
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



# **Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung**



## **TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK PENGOLAHAN BIOMASSA**

**Menuju Indonesia Berbasis Bioekonomi**

**Profesor Made Tri Ari Penia Kresnowati**

**Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Bandung**

**Aula Barat ITB  
24 Agustus 2024**



Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK  
PENGOLAHAN BIOMASSA:**  
Menuju Indonesia Berbasis Bioekonomi





Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK  
PENGOLAHAN BIOMASSA:  
Menuju Indonesia Berbasis Bioekonomi**

**Prof. Made Tri Ari Penia Kresnowati**

24 Agustus 2024  
Aula Barat ITB



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit

*Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:*  
***Teknologi Bioproses untuk Pengolahan Biomassa:***  
***Menuju Indonesia Berbasis Bioekonomi***

Penulis : Prof. Made Tri Ari Penia Kresnowati  
Reviewer : Prof. Wawan Dhewanto

Editor Bahasa : Rina Lestari  
Cetakan I : 2024

ISBN : 978-623-297-544-6  
e-ISBN : 978-623-297-543-9 (PDF)

**ITB**  **PRESS**

📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132  
☎ +62 22 20469057  
🌐 [www.itbpress.id](http://www.itbpress.id)  
✉ [office@itbpress.id](mailto:office@itbpress.id)  
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92  
APPTI No. 005.062.1.10.2018

# PRAKATA

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Alhamdulillahirobbil ‘aalamiin, segala puji dan syukur bagi Allah Swt., Tuhan Yang Maha Esa, Maha Kuasa, Pemilik, Pencipta, dan Pengatur alam semesta. Penulis bersyukur atas rahmat, karunia, dan izin-Nya sehingga buku orasi ilmiah ini dapat dituliskan. Orasi ilmiah ini merupakan salah satu tanggung jawab akademik atas jabatan Guru Besar dalam bidang ilmu Teknologi Bioproses di Institut Teknologi Bandung. Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Forum Guru Besar ITB atas kesempatan yang diberikan dalam penyusunan buku ini yang disampaikan dalam acara orasi ilmiah Guru Besar. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada seluruh pihak yang membantu dan mendukung penyelesaian karya ini.

Buku ini menyampaikan paparan umum tentang hasil penelitian penulis di bidang penerapan teknologi bioproses untuk pengolahan biomassa untuk menjawab permasalahan – permasalahan bidang pangan dan energi.

Penulis berharap semoga tulisan ini memberikan gambaran komprehensif sehingga dapat menambah wawasan, menjadi sumber inspirasi, dan membangkitkan semangat bagi seluruh insan merah-putih, generasi emas Indonesia, khususnya para akademisi dan peneliti dalam menghadapi tantangan di masa depan.

Akhir kata, sekali lagi penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan masukan, inspirasi, dukungan, dan bantuan sehingga buku ini dapat selesai ditulis sesuai harapan.

V

Bandung, Agustus 2024

Made Tri Ari Penia Kresnowati



# SINOPSIS

Indonesia merupakan salah satu negara dengan keragaman hayati terbesar di dunia. Namun sayangnya kekayaan tersebut belum menjadi sumber kesejahteraan bagi masyarakat Indonesia. Tingkat penguasaan teknologi pemanfaatan dan pengolahan potensi kekayaan alam Indonesia tersebut masih terbatas. Indonesia masih banyak mengimpor bahan, produk antara untuk digunakan dalam berbagai industri di Indonesia dan juga masih banyak mengimpor produk akhir atau produk jadi untuk dapat dikonsumsi langsung oleh masyarakat Indonesia. Hal ini secara langsung ataupun tidak langsung dapat memengaruhi ketahanan serta kedaulatan bangsa Indonesia.

Naskah ini menguraikan beberapa contoh pengembangan teknologi bioproses, yaitu teknologi pengolahan bahan baku menjadi produk atau jasa menggunakan proses - proses biologis baik berupa sel hidup secara keseluruhan ataupun sebagian komponen sel hidup seperti enzim, untuk pengolahan biomassa Indonesia dalam rangka menjawab permasalahan-permasalahan yang dihadapi bangsa Indonesia, khususnya dalam bidang pangan dan energi. Pembahasan difokuskan kepada 3 jenis biomassa yang tersedia secara melimpah di Indonesia, yaitu cokelat/kakao, singkong, dan Tandan Kosong Sawit (TKS).

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kakao terbesar di dunia. Sayangnya biji kakao masih dihargai rendah karena keterbatasan kualitasnya. Dalam tulisan ini diuraikan penerapan *metabolic profiling* dan pengembangan proses fermentasi biji kakao untuk meningkatkan kualitas biji kakao.

Saat ini singkong merupakan tanaman pangan yang diproduksi kedua terbesar di Indonesia, dan sangat berpotensi untuk dimanfaatkan untuk menjaga ketahanan pangan nasional. Pemanfaatan singkong di industri pangan saat ini cukup terbatas, singkong perlu diolah lanjut agar dapat dimanfaatkan secara meluas oleh industri pangan. Dalam tulisan ini diuraikan pengembangan teknologi bioproses untuk memperluas potensi pemanfaatan singkong di industri pangan yang telah dilakukan secara sistematis dari skala lab sampai ke skala komersial.

Saat ini kelapa sawit merupakan komoditas unggulan perkebunan Indonesia. Indonesia merupakan negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Selain menghasilkan minyak, industri kelapa sawit juga menghasilkan berbagai jenis biomassa di antaranya tandan kosong sawit, cangkang, dan serat sawit. Saat ini sebagian besar tandan kosong sawit dikembalikan ke kebun sebagai pengembur tanah (mulsa). Dalam tulisan ini diuraikan pengembangan teknologi bioproses untuk memperluas potensi pemanfaatan tandan kosong sawit berdasarkan konsep kilang biomassa (*biorefinery*). Berbagai potensi produk diuraikan, terutama yang berkaitan dengan produk-produk pangan dan energi, meliputi bioetanol, xilitol, vanilin, karoten, dan enzim, berikut analisis potensi penerapan kilang biomassa terintegrasi untuk meningkatkan keekonomian proses.

Sebagai penutup diuraikan beberapa contoh topik yang perlu terus diteliti dan dikembangkan, berikut tantangan-tantangan yang masih harus dijawab. Hal ini menunjukkan bahwa kerja kita masih jauh dari selesai. Potensi biomassa Indonesia sangatlah besar dan kita bergandeng tangan, bekerja sama mengembangkan inovasi-inovasi teknologi untuk kemaslahatan bangsa. Membangun Indonesia berbasis bioekonomi. Semoga Allah meridai niat dan usaha kita.

# DAFTAR ISI

PRAKATA.....	V
SINOPSIS .....	VII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR GAMBAR.....	XI
1. PENDAHULUAN.....	1
2. TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK PENGOLAHAN KAKAO .....	5
2.1 Kakao .....	5
2.2 <i>Metabolit Profiling</i> Biji Kakao .....	7
2.3 Pengembangan Teknologi Fermentasi Kakao.....	9
3. TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK PENGOLAHAN SINGKONG .....	13
3.1 Singkong .....	13
3.2 Pengembangan Teknologi Produksi Fercaf .....	14
3.3 Pengembangan Produk Turunan Fercaf .....	21
3.4 Analisis Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) Fercaf.....	23
3.5 Pengembangan Produk Pangan Turunan Singkong Lainnya .....	25
4. TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK PENGOLAHAN TANDAN KOSONG SAWIT .....	27
4.1 Tandan Kosong Sawit .....	27
4.2 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Bioetanol .....	28
4.3 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Bioetanol melalui Rute Kombinasi Termokimia - Biologis.....	32
4.4 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Xilitol .....	34
4.5 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Vanilin .....	38
4.6 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Enzim.....	40
4.7 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Karoten .....	41
4.8 Kilang Biomassa Terintegrasi Tandan Kosong Sawit .....	42
5. PENUTUP.....	45
6. UCAPAN TERIMA KASIH .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	55
CURRICULUM VITAE .....	63





# DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b>	Beberapa mikroba yang umum digunakan di industri bioproses: <i>E.coli</i> (a) dan <i>S.cerevisiae</i> (b) [sumber wikipedia].....	2
<b>Gambar 2</b>	Perbandingan struktur aspartam (kiri) dan beta aspartam (kanan).....	4
<b>Gambar 3</b>	Buah dan biji kakao (a - b), contoh produk-produk turunan kakao.....	5
<b>Gambar 4</b>	Luas lahan perkebunan, produksi dan produktivitas kakao Indonesia (diolah dari data Pusdatin Kementerian Pertanian: <a href="https://11ap.pertanian.go.id/portalstatistik">https://11ap.pertanian.go.id/portalstatistik</a> ). .....	6
<b>Gambar 5</b>	Diagram alir proses pengolahan biji kakao: tahapan fermentasi dan pengeringan dilakukan oleh petani, pemanggangan dan pemrosesan lanjut dilakukan oleh industri.....	7
<b>Gambar 6</b>	Perbandingan biji kakao yang diolah dengan berbagai metode pemrosesan: biji tidak difermentasi, tidak disangrai (a), biji hasil fermentasi lapangan, tidak disangrai (b), biji hasil fermentasi lab, tidak disangrai (c), biji tidak difermentasi, disangrai (d), biji hasil fermentasi lapangan, disangrai (e), biji hasil fermentasi lab, disangrai (f), hasil PCA menunjukkan bahwa keenam jenis sampel tersebut memiliki komposisi senyawa metabolit yang berbeda (g) (Kresnowati dkk, 2017a).....	8
<b>Gambar 7</b>	Pelaksanaan fermentasi biji kakao: fermentasi kotak, salah satu alternatif metode fermentasi di lapangan (a), dan fermentasi di lab (b).....	10
<b>Gambar 8</b>	Pengaruh penambahan berbagai variasi kultur starter terhadap fermentasi biji kakao: dinamika populasi ragi (a), dinamika populasi bakteri asam laktat (b), dinamika populasi bakteri asam asetat (c), indeks fermentasi (d); (Ki - kontrol, R - ragi, L - bakteri asam laktat, A - bakteri asam asetat) (Kresnowati dan Febriami, 2016).....	11
<b>Gambar 9</b>	Umbi singkong.....	13

<b>Gambar 10</b>	Produksi dan produktivitas padi, jagung, ubi jalar, dan singkong 2001 – 2015 (diolah dari data Badan Pusat Statistik: <a href="https://www.bps.go.id/id">https://www.bps.go.id/id</a> ). .....	14
<b>Gambar 11</b>	Pelaksanaan fermentasi potongan singkong untuk produksi tepung mocaf secara tradisional. ....	16
<b>Gambar 12</b>	Contoh desain reaktor untuk fermentasi potongan singkong untuk produksi Fercaf dari skala lab, sampai dengan 3 kg singkong/batch (a - b); skala semi pilot, sampai dengan 1 kuintal/hari (c - d); skala pilot, sampai dengan 1 ton/hari (e - f). ....	17
<b>Gambar 13</b>	Contoh kemasan produk Fercaf produksi PT CIE79 yang beredar di pasaran. ....	18
<b>Gambar 14</b>	<b>Diagram Alir Proses Produksi Fercaf dari Umbi Singkong</b> .....	20
<b>Gambar 15</b>	Penggunaan pilot plant produksi Fercaf sebagai media pembelajaran pada mata kuliah Evaluasi Kinerja Pabrik Pangan. ....	21
<b>Gambar 16</b>	Pengembangan roti berbahan baku fercaf, dengan berbagai aditif pembentuk struktur. (a) kontrol (terigu), (b) roti bebas gluten fercaf – tepung beras dengan perbandingan 2:1, (c) roti bebas gluten fercaf – tepung beras dengan perbandingan 2:1 dengan aditif xanthan gum 3%, (d) roti bebas gluten fercaf – tepung beras dengan perbandingan 2:1 dengan aditif agar 2%, (e) roti bebas gluten fercaf – tepung beras dengan perbandingan 2:1 dengan aditif karagenan 5% (Lestari dkk., 2019) .....	22
<b>Gambar 17</b>	Pengembangan produk sereal sarapan berbasis fercaf, beberapa variasi sereal berbahan baku fercaf dengan berbagai aditif (a), hasil uji organoleptik produk yang dikembangkan: secara keseluruhan tingkat penerimaan responden terhadap rasa dan penampilan cukup tinggi, tingkat penerimaan responden terhadap tekstur produk terbaik adalah untuk produk yang dibuat menggunakan 100% fercaf (b) (Pertwi dan Rahmayanthie, 2023). ....	23
<b>Gambar 18</b>	Analisis TKT berikut konsekuensinya (Kresnowati dan Bindar, 2021) .....	24
<b>Gambar 19</b>	Pohon sawit, tandan kosong sawit, dan buah sawit. ....	27

<b>Gambar 20</b>	Susunan selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada bahan lignoselulosa (Wang dkk, 2017). .....	28
<b>Gambar 21</b>	Perkembangan teknologi bioetanol dari generasi 1 sampai generasi 4.....	29
<b>Gambar 22</b>	Pabrik pilot pengolahan tandan kosong sawit yang dikembangkan dengan kerja sama dengan PT ReKayasa Industri dan Balai Besar Industri Agro .....	31
<b>Gambar 23</b>	Diagram alir proses tandan kosong sawit menjadi bioetanol melalui rute .....	32
<b>Gambar 24</b>	Konfigurasi bioreaktor yang dilengkapi dengan kontaktor membran <i>hollow fiber</i> untuk fermentasi syngas (Anggraini dkk, 2019). .....	33
<b>Gambar 25</b>	Simulasi konfigurasi fermentasi batch berulang untuk fermentasi singas menjadi etanol (Krista dan Kresnowati, 2022). .....	34
<b>Gambar 26</b>	Rumus molekul xilitol dan contoh aplikasinya .....	34
<b>Gambar 27</b>	Diagram alir proses pengolahan tandan kosong sawit menjadi xilitol.....	35
<b>Gambar 28</b>	Simulasi konfigurasi <i>Simultaneous Sacharification and Fermentation</i> untuk produksi xilitol dari tandan kosong sawit (Hidayatullah dkk, 2021). .....	37
<b>Gambar 29</b>	Alternatif konfigurasi proses hilir xilitol mikrobial (Kresnowati dkk, 2015). .....	38
<b>Gambar 30</b>	Set up eksperimen berbasis membran untuk proses pemisahan dan pemurnian xilitol: ultrafiltrasi untuk pemisahan (a), membran distilasi untuk pemekatan (b). .....	38
<b>Gambar 31</b>	Rumus molekul vanilin dan beberapa contoh aplikasinya. ....	39
<b>Gambar 32</b>	Rumus molekul $\beta$ -karoten dan diagram alir proses produksi karoten dari tandan kosong sawit melalui fermentasi fasa padat. ....	41
<b>Gambar 33</b>	Fermentasi fasa padat tandan kosong sawit untuk produksi karoten: tandan kosong sawit berjamur jingga (a-b), fermentasi fasa padat dengan <i>Neurospora sp.</i> pada skala lab (c), bioreaktor drum untuk pelaksanaan fermentasi fasa padat (d), ekstrak karoten (e) .....	42

<b>Gambar 34</b>	Alternatif proses kilang biomassa terintegrasi untuk fraksionasi komponen lignoselulosa tandan kosong sawit (Mariyana dkk, 2021).....	43
<b>Gambar 35</b>	Analisis neraca massa gabungan <i>pretreatment</i> organosolv - <i>steam explosion</i> untuk kilang biomassa terintegrasi (Kresnowati dkk, 2024). .....	44

# 1. PENDAHULUAN

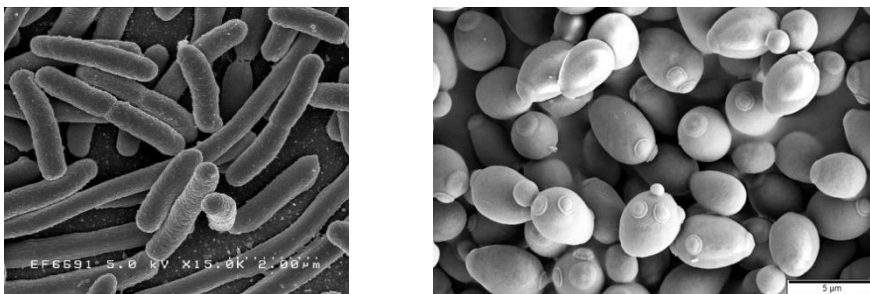
Teknologi bioproses adalah teknologi pengolahan bahan baku menjadi produk atau jasa menggunakan proses-proses biologis. Proses-proses biologis yang dimaksud dapat berupa sel hidup seperti sel mikroba (bakteri, jamur, algae) maupun sel tingkat tinggi (kultur jaringan tumbuhan, kultur jaringan hewan, atau sel punca/stem sel), atau komponen dari sel hidup seperti enzim. Ragam produk yang dihasilkan dapat berupa biomassa atau sel hidup itu sendiri seperti ragi roti, ragi (*starter*) tempe, bakteri (*starter*) yogurt, jamur pangan: jamur tiram, jamur merang, jamur kancing, dan lain-lain, ataupun konsentrat bakteri untuk pengurai limbah; ataupun produk-produk metabolit seperti etanol, asam-asam organik (asam laktat, asam asetat, asam sitrat, dan lain-lain), asam-asam amino (glutamat, lisin, fenilalanin, dan lain-lain), senyawa-senyawa antibiotik, vitamin, enzim, dan lain-lain. Contoh jasa yang dimaksud di antaranya meliputi jasa proses pengolahan limbah.

Pemanfaatan proses-proses biologis untuk pengolahan bahan baku menjadi produk telah berlangsung sejak lama. Pemanfaatan ragi untuk pembuatan roti dan minuman beralkohol misalnya, dapat ditelusuri sampai ke peradaban manusia kuno. Bukti tertua berupa sebuah tempayan tembikar berisi anggur dengan bahan tambahan resin pohon pistacia telah ditemukan di sebuah perkampungan Neolitik di pegunungan Zagros, Iran Utara. Tempayan tembikar tersebut tertelusur berasal dari tahun 5400–5500 SM (McGovern dkk, 1996). Sebuah laporan arkeologi lainnya menguraikan penemuan tablet tanah liat Babilonia dari masa Urukagina, Raja Lagash, yang mencatat keberadaan roti pada masa sekitar 2600 SM (Trivedi dkk, 1986). Contoh penerapan bioproses di Indonesia adalah untuk pembuatan tempe. Tempe merupakan makanan produk fermentasi khas Indonesia yang berkembang untuk memenuhi kebutuhan protein secara murah. Walaupun tidak setua roti dan minuman beralkohol, dalam berbagai pustaka keberadaan makanan khas Indonesia ini sudah tercatat dalam Serat Centhini dari masa kerajaan Mataram (Romulo dan Surya, 2021).

Sejarah mencatatkan berbagai milestone perkembangan teknologi bioproses (Stanburry dkk., 2017). Beberapa di antaranya diuraikan sebagai berikut. Inovasi penyediaan udara proses (aerasi) dan penyediaan substrat secara bertahap (*fed batch*) pada proses fermentasi yang ditujukan untuk meningkatkan kinerja proses, ditemukan pada proses fermentasi untuk

memproduksi biomassa ragi. Inovasi sistem reaktor untuk menyelenggarakan proses fermentasi secara aseptik yang ditujukan untuk meningkatkan kinerja proses, ditemukan pada proses fermentasi aseton-butanol yang sangat rentan kontaminasi. Industrialisasi produksi penisilin selalu dicatatkan sebagai langkah besar dalam perkembangan teknologi bioproses. Dikarenakan penisilin dihasilkan pada konsentrasi kecil, industrialisasi penisilin mendorong perkembangan sistem bioreaktor kompleks untuk memfasilitasi penyelenggaraan fermentasi secara aseptik pada skala besar. Industrialisasi penisilin juga mendorong proses pemuliaan mikroba untuk menghasilkan produk yang diinginkan dengan konsentrasi yang lebih besar.

Saat ini teknologi bioproses telah diterapkan di berbagai industri. Tidak hanya industri minuman keras atau roti, tetapi juga di industri makanan lainnya, industri farmasi, atau untuk produksi bahan-bahan kimia. Mikroba yang digunakan meliputi *Escherichia coli*, *Corynebacterium*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, dan *Pseudomonas* sebagai platform bakteri utama, *Saccharomyces* sebagai ragi yang sering digunakan, serta *Aspergillus* dan *Penicillium* sebagai platform utama jamur.



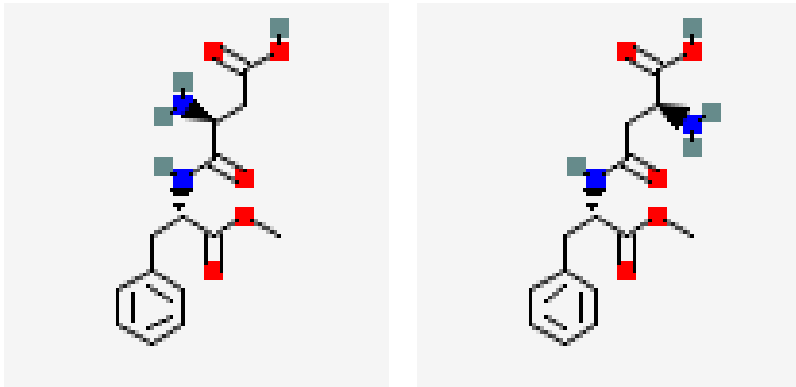
**Gambar 1** Beberapa mikroba yang umum digunakan di industri bioproses: *E.coli* (a) dan *S.cerevisiae* (b) [sumber wikipedia]

Penerapan bioproses di berbagai bidang seringkali dikelompokkan menjadi berbagai warna bioteknologi. Bioteknologi merah untuk penerapan bioproses di bidang kesehatan. Bioteknologi hijau untuk penerapan bioproses di bidang pertanian. Bioteknologi biru untuk penerapan bioproses yang berhubungan dengan perairan/laut. Bioteknologi putih untuk penerapan bioproses di industri kimia.

Teknologi bioproses menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan teknologi proses kimia. Umumnya proses-proses biologis dapat dioperasikan pada temperatur dan tekanan moderat dan tanpa membutuhkan

katalis logam (berat) yang berpotensi mencemarkan lingkungan. Dengan demikian proses-proses biologis dapat dengan mudah diterapkan pada berbagai skala industri, dari UMKM sampai skala besar, tanpa dukungan utilitas dan infrastruktur yang kompleks. Sebaliknya, umumnya proses-proses kimia harus dilakukan pada temperatur dan tekanan tinggi dan membutuhkan katalis logam (berat). Pelaksanaan proses kimia perlu didukung dengan sarana utilitas yang memadai untuk memfasilitasi tercapainya temperatur operasi yang tinggi dan perlu didukung dengan infrastruktur yang cukup kompleks untuk menjamin keamanan pelaksanaan reaksi bertekanan tinggi. Proses fermentasi xilosa untuk menghasilkan xilitol yang merupakan proses biologis, dapat dilakukan dengan bantuan ragi seperti *Candida utilis*, *C. tropicalis*, *C. guilliermondi*, *C. mogii*, *Debaromyces hansenii*, *Pachysolen tannophilus*, dan *Pichia stipitis*, pada rentang temperatur 30-37°C (Parajó dkk, 1998; Burhan dkk, 2019) dan tekanan ambien. Proses hidrogenasi katalitik, yang merupakan proses kimia, untuk mengkonversi xilosa menjadi xilitol dapat dilakukan dengan mengontakkan xilosa dengan gas hidrogen dengan kehadiran katalis logam ruthenium pada temperatur 100-140 °C dan tekanan 5,5 Mpa (Yadav dkk, 2012). Literatur lain menyebutkan penggunaan katalis-katalis logam lainnya seperti platinum, palladium, atau nikel, juga pada temperatur dan tekanan tinggi (Baudel dkk, 2005).

Keunggulan lainnya adalah proses-proses biologis umumnya berlangsung secara spesifik, mengolah bahan baku tertentu menjadi produk tertentu. Proses enzimatik dapat secara stereospesifik mengkatalisis reaksi antara fenilalanin metil ester dan asam aspartat menjadi aspartam, yang memiliki tingkat kemanisan 200 kali daripada gula biasa, tanpa disertai pembentukan beta - aspartam, isomernya yang pahit (West, 2007). Pelaksanaan proses secara kimiawi umumnya tidak dapat menghasilkan satu jenis stereoisomer yang spesifik.



**Gambar 2** Perbandingan struktur aspartam (kiri) dan beta aspartam (kanan).

Dalam uraian selanjutnya akan disampaikan beberapa contoh pengembangan teknologi bioproses untuk pengolahan biomassa khas Indonesia.



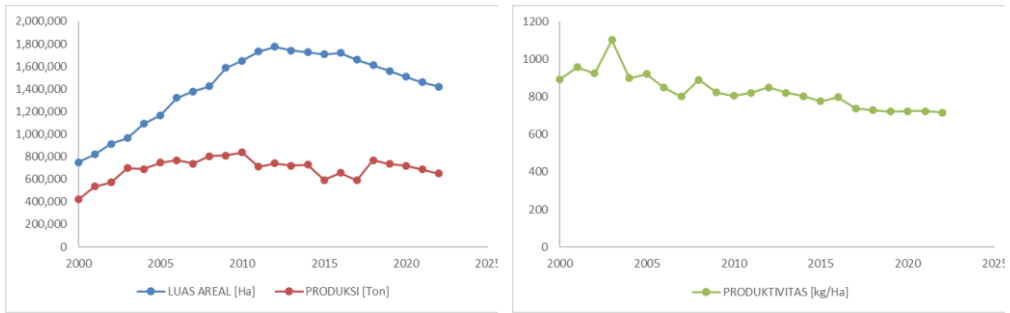
## 2 TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK PENGOLAHAN KAKAO

### 2.1 Kakao

Kakao atau cokelat (*Theobroma cacao*) merupakan bahan dasar pembuatan coklat yang merupakan salah satu makanan yang sangat digemari di seluruh penjuru dunia. Tanaman kakao merupakan tanaman perennial (tahunan). Buah kakao dipanen untuk diambil bijinya yang kemudian diolah melalui serangkaian tahapan proses menjadi produk/bahan antara, yaitu bubuk cokelat dan lemak cokelat. Bahan-bahan ini kemudian diolah lanjut menjadi berbagai produk pangan seperti cokelat batangan, minuman cokelat, ataupun sebagai perisa produk makanan dan minuman. Selain itu cokelat juga banyak digunakan di industri kosmetika.



**Gambar 3** Buah dan biji kakao (a - b), contoh produk-produk turunan kakao.

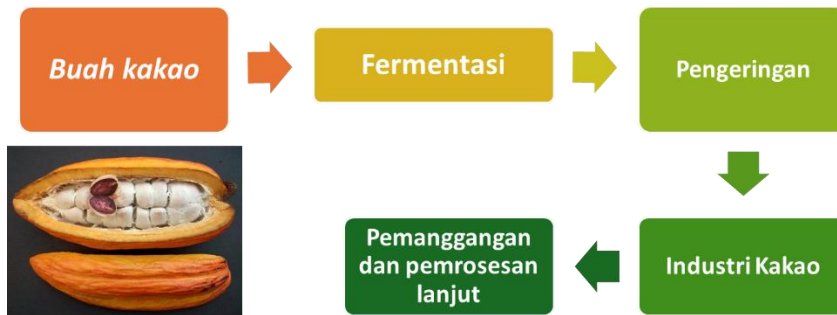


**Gambar 4** Luas lahan perkebunan, produksi dan produktivitas kakao Indonesia (diolah dari data Pusdatin Kementerian Pertanian: <https://11ap.pertanian.go.id/portalstatistik>).

Tanaman kakao berasal dari Amerika Selatan. Saat ini produksi kakao didominasi oleh negara-negara tropis di Afrika, seperti Pantai Gading, Ghana, dan Kamerun. Kakao juga merupakan komoditas unggulan perkebunan di Indonesia. Total produksi kakao Indonesia berada di kisaran 600–700 ton/pertahun (gambar 4) dan merupakan produsen kakao terbesar ketiga di dunia, setelah Pantai Gading dan Ghana. Produksi kakao Pantai Gading, Ghana, dan Indonesia berturut – turut menyumbang sebesar 39%, 19%, dan 12% dari total produksi kakao dunia (sumber data: faostat fao.org/faostat). Trend produksi kakao, produktivitas, dan luas lahan perkebunan kakao di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 4. Selama 10 tahun terakhir luas lahan perkebunan dan produktivitas kakao Indonesia menunjukkan trend penurunan. Hal ini terkait kerentanan penyakit dan alih fungsi lahan perkebunan menjadi tanaman-tanaman yang lebih produktif dan menguntungkan. Secara umum terjadi penurunan produksi kakao dunia sementara trend permintaan pasar terhadap produk – produk turunan coklat terus meningkat.

Walaupun menghasilkan biji kakao dalam jumlah besar, biji kakao Indonesia di pasaran internasional dihargai rendah. Hal ini antara lain disebabkan biji kakao Indonesia didominasi oleh biji-biji tanpa fermentasi, kadar kotoran tinggi, terkontaminasi serangga, jamur, atau mikotoksin, serta cita rasa yang lemah. Perlu dikembangkan teknologi pemrosesan biji kakao yang aplikatif sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomi kakao Indonesia.

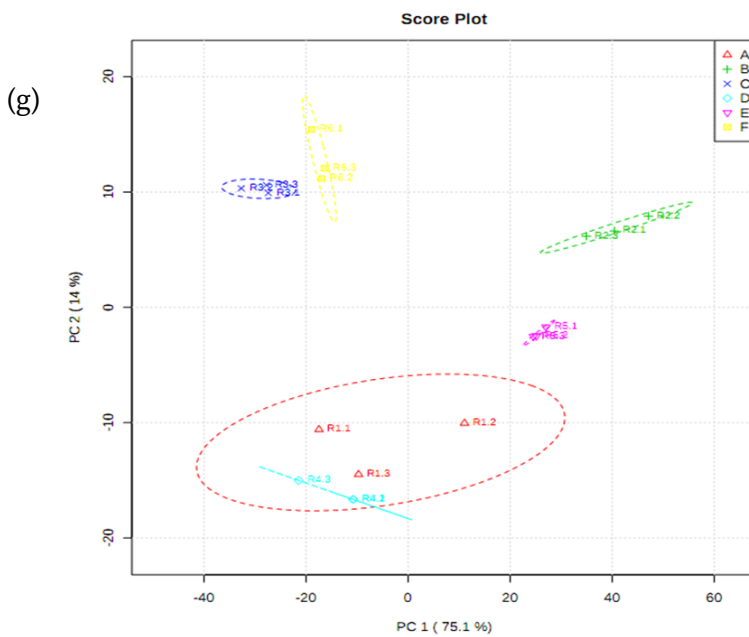
## 2.2 Metabolit Profiling Biji Kakao



**Gambar 5** Diagram alir proses pengolahan biji kakao: tahapan fermentasi dan pengeringan dilakukan oleh petani, pemanggangan dan pemrosesan lanjut dilakukan oleh industri.

Tahapan – tahapan pemrosesan kakao dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian utama, yaitu tahapan pengolahan di kebun dan tahapan pengolahan di industri. Tahapan pengolahan pasca panen buah kakao di kebun meliputi pemeraman, pembelahan, fermentasi, perendaman dan pencucian, pengeringan, seleksi biji, dan penyimpanan. Tahapan pengolahan biji kakao di industri diawali dengan pemanggangan, diikuti dengan rangkaian tahapan pengecilan ukuran serta fraksinasi menjadi lemak kakao (*cacao butter*) dan padatan kakao (*cacao powder*). Di antara tahapan-tahapan proses tersebut fermentasi, pengeringan, dan pemanggangan merupakan tahapan-tahapan utama dalam pembentukan aroma dan rasa biji kakao (Lambert, 2007). Keberhasilan proses pengeringan biji kakao berpengaruh terhadap peluang pertumbuhan jamur dan pembentukan mikotoksin, di lain pihak keberhasilan proses pengeringan biji kakao juga ditentukan oleh dilakukan/tidaknya proses fermentasi biji kakao sebelumnya (Supriatna dan Kresnowati, 2014).

Pertanyaan yang perlu dijawab dalam hal ini adalah bagaimana proses fermentasi memengaruhi cita rasa dan aroma biji kakao. Cita rasa dan aroma sangatlah ditentukan oleh jenis dan komposisi senyawa-senyawa penyusun bahan atau produk tersebut. Dalam hal ini cita rasa dan aroma biji kakao ditentukan oleh jenis dan komposisi senyawa-senyawa metabolit penyusun biji kakao.



**Gambar 6** Perbandingan biji kakao yang diolah dengan berbagai metode pemrosesan: biji tidak difermentasi, tidak disangrai (a), biji hasil fermentasi lapangan, tidak disangrai (b), biji hasil fermentasi lab, tidak disangrai (c), biji tidak difermentasi, disangrai (d), biji hasil fermentasi lapangan, disangrai (e), biji hasil fermentasi lab, disangrai (f), hasil PCA menunjukkan bahwa keenam jenis sampel tersebut memiliki komposisi senyawa metabolit yang berbeda (g) (Kresnowati dkk, 2017a).

Untuk mendapatkan gambaran menyeluruh terhadap jenis dan komposisi senyawa-senyawa metabolit penyusun biji kakao dapat dilakukan analisis pemetaan metabolit misalnya dengan metode kromatografi gas yang dikombinasikan dengan spektroskopi massa (GC-MS). Keberadaan setiap senyawa yang ada dalam biji kakao dapat terdeteksi, walaupun identitasnya belum dapat 100% dipastikan. Analisis semi kuantitatif dapat dilakukan untuk membandingkan kandungan senyawa – senyawa tersebut di berbagai sampel dengan penambahan standard internal pada setiap sampel yang dianalisis, walaupun konsentrasi senyawa – senyawa tersebut secara akurat belum dapat dipastikan. Hasil yang diperoleh dapat dianalisis menggunakan metode – metode analisis multi variat seperti *Principal Component Analysis* (PCA). Perbandingan antara 6 jenis sampel biji kakao yang diolah dengan kombinasi proses pengolahan yang berbeda, fermentasi di kebun dan fermentasi di lab serta disangrai/dipanggang atau tidak, menunjukkan sampel-sampel tersebut memiliki perbedaan komposisi senyawa metabolit (Kresnowati dkk, 2017a). Lebih lanjut pengelompokan (*clustering*) sampel biji kakao berdasarkan karakteristik metabolomiknya menunjukkan bahwa sampel yang tidak difermentasi, baik disangrai ataupun tidak, berada pada kelompok yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa proses fermentasi biji kakao sangat berpengaruh terhadap pembentukan senyawa-senyawa metabolit pembawa aroma dan rasa (Gambar 6 (g)).

### 2.3 Pengembangan Teknologi Fermentasi Kakao

Gambar 6 menunjukkan bahwa fermentasi biji kakao memengaruhi komposisi senyawa metabolit biji kakao. Beberapa metode pelaksanaan fermentasi biji kakao di lapangan dapat dilakukan meliputi fermentasi kotak (Gambar 6(a)) atau fermentasi tumpuk. Untuk meniru fenomena yang terjadi di lapangan, pelaksanaan fermentasi biji kakao di laboratorium dilakukan dalam labu-labu erlenmeyer yang diletakkan pada inkubator yang dilengkapi dengan sistem pengendalian temperatur (Gambar 6(b)).

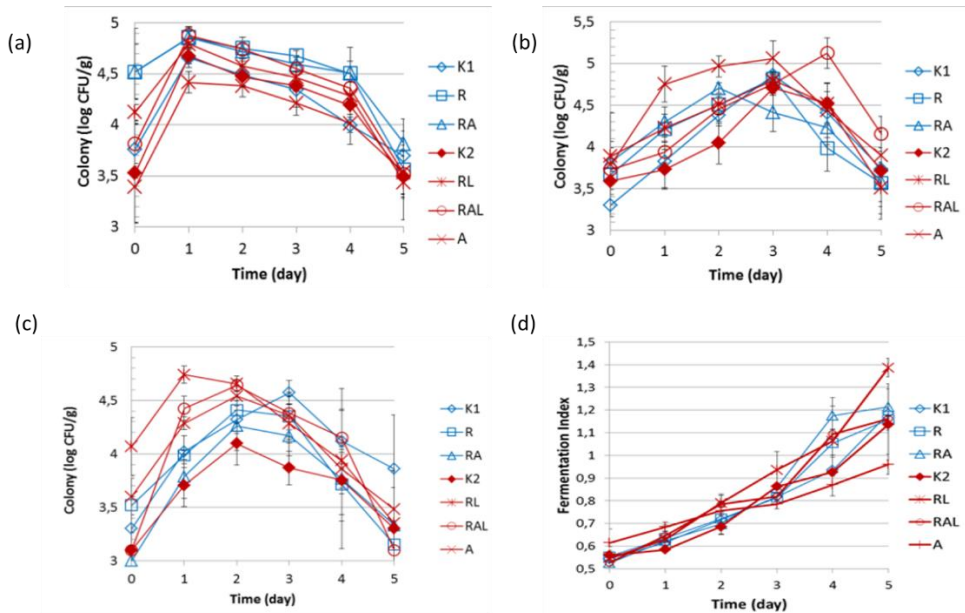
Fermentasi biji kakao merupakan rangkaian reaksi yang kompleks dimulai dari penguraian selaput lendir biji kakao, menghasilkan panas dan produk-produk metabolit sehingga secara keseluruhan menyebabkan kematian biji kakao sehingga tidak dapat bergerminasi dan menyebabkan terbentuknya berbagai senyawa prekursor pembawa rasa dan aroma yang

spesifik (Lambert, 2007). Fermentasi biji kakao dapat berlangsung selama beberapa hari. Lamanya proses fermentasi merupakan salah satu penyebab keengganan masyarakat melakukan proses fermentasi.



**Gambar 7** Pelaksanaan fermentasi biji kakao: fermentasi kotak, salah satu alternatif metode fermentasi di lapangan (a), dan fermentasi di lab (b).

Pertanyaan selanjutnya yang perlu dijawab adalah bagaimana metode fermentasi yang tepat untuk memperoleh biji kakao yang berkualitas, termasuk di antaranya memperpendek waktu fermentasi. Fermentasi dapat terjadi secara spontan, melibatkan spesies-spesies mikroba indigeneous pada biji kakao. Pelaksanaan proses fermentasi dapat direkayasa, misalnya dengan menambahkan starter kultur mikroba tertentu. Termasuk dalam pertanyaan ini adalah apakah komposisi mikroba dalam starter kultur yang digunakan untuk proses fermentasi biji kakao akan memengaruhi kualitas biji kakao yang dihasilkan. Berbagai kombinasi starter kultur dicobakan, meliputi kombinasi ragi, bakteri asam laktat, dan bakteri asam asetat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa komposisi starter kultur memengaruhi dinamika populasi mikroba selama proses fermentasi dan kinerja proses fermentasi biji kakao, yang ditandai dengan perubahan indeks fermentasi yang terukur (Kresnowati dkk, 2013, Cempaka dkk., 2014, Kresnowati dan Febriami, 2016). Penambahan *starter* tertentu dapat mempercepat durasi proses fermentasi yang diperlukan. Pelaksanaan proses fermentasi dapat dirancang sedemikian rupa, dengan menentukan komposisi starter kultur yang digunakan, untuk memperoleh kualitas produk tertentu yang diinginkan.



**Gambar 8** Pengaruh penambahan berbagai variasi kultur starter terhadap fermentasi biji kakao: dinamika populasi ragi (a), dinamika populasi bakteri asam laktat (b), dinamika populasi bakteri asam asetat (c), indeks fermentasi (d); (Ki – kontrol, R – ragi, L – bakteri asam laktat, A – bakteri asam asetat) (Kresnowati dan Febriami, 2016).





## 3 TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK PENGOLAHAN SINGKONG

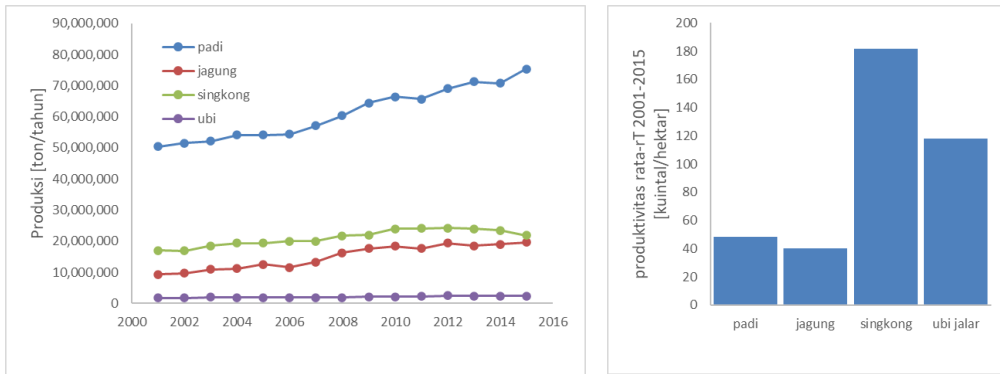
### 3.1 Singkong

Singkong (*Manihot esculenta*, Crantz) merupakan tanaman jenis umbi-umbian yang banyak tumbuh di daerah tropis dan subtropis. Singkong merupakan tumbuhan perdu yang berasal dari dataran Amerika Latin. Di negara-negara berkembang seperti di Afrika Barat, singkong merupakan salah satu makanan pokok yang dikonsumsi di negara tersebut (Montagnac, 2009). Singkong merupakan tumbuhan yang tumbuh di lebih dari 90 negara dan menjadi sumber energi terbesar keempat setelah nasi, gula, dan jagung (Heuberger, 2005).

Saat ini padi, jagung, ubi jalar, dan singkong merupakan komoditas tanaman pangan utama di Indonesia. Dibandingkan dengan padi dan jagung, produktivitas tanaman singkong jauh lebih besar. Rata-rata produktivitas tanaman singkong di Indonesia antara tahun 2006-2015 mencapai 20 ton/hektar, lebih besar daripada rata-rata produktivitas padi 5 ton/hektar dan rata-rata produktivitas jagung 4,4 ton/hektar (data diolah dari BPS: <https://www.bps.go.id/id> dan Pusdatin Kementerian Pertanian: <https://11ap.pertanian.go.id/portalstatistik/>). Angka produktivitas tanaman singkong juga masih dapat ditingkatkan hingga 50-80 ton/hektar melalui budidaya singkong intensif.



Gambar 9 Umbi singkong



**Gambar 10** Produksi dan produktivitas padi, jagung, ubi jalar, dan singkong 2001 – 2015 (diolah dari data Badan Pusat Statistik: <https://www.bps.go.id/id>).

### 3.2 Pengembangan Teknologi Produksi Fercaf

Data menunjukkan bahwa pada tahun 2023 jumlah penduduk Indonesia adalah sebesar 278 juta jiwa (BPS: <https://www.bps.go.id/id>, <https://data.worldbank.org>). Sebagai negara dengan jumlah penduduk terbanyak keempat di dunia, bangsa Indonesia bertanggung jawab untuk menjamin ketahanan pangan bagi rakyatnya. Mempertimbangkan tingkat pertumbuhan penduduk Indonesia dan trend luas panen padi di Indonesia, Indonesia perlu mempersiapkan diri untuk diversifikasi bahan pangan untuk menjamin ketahanan pangan Indonesia. Mempertimbangkan trend produksi dan produktivitas singkong di Indonesia (Gambar 8), singkong merupakan bahan pangan yang potensial untuk menjaga ketahanan pangan nasional di masa depan.

Saat ini pemanfaatan umbi singkong, khususnya sebagai bahan pangan, cukup terbatas. Singkong umumnya dimanfaatkan langsung: direbus, digoreng, dibuat kripik singkong, atau dijadikan aneka panganan olahan tradisional. Hal ini umumnya terkait dengan masa simpan umbi singkong yang singkat, hanya sekitar 2-3 hari, dan kandungan senyawa glukosida sianogenik yang mengakibatkan rasa pahit dan bersifat toksik (Blagbrough dkk, 2010). Untuk memperpanjang masa pakainya, menghilangkan toksisitasnya, meningkatkan nilai tambahnya, ataupun memfasilitasi penggunaan lanjutnya singkong perlu diolah lanjut, misalnya dengan penepungan.

Produk tepung singkong yang banyak beredar di pasaran adalah tepung tapioka dan tepung galek. Tepung tapioka diperoleh melalui proses hasil

ekstraksi kandungan pati dari singkong. Struktur tepungnya lemah, bersifat kohesif, membentuk pasta elastis ketika dipanaskan serta gel ketika didinginkan (Abbas dan Khalil, 2010). Karakteristik ini memiliki penggunaan yang terbatas pada industri pangan. Tepung galek merupakan produk penepungan umbi singkong yang dikeringkan. Tepung ini masih memiliki aroma singkong yang khas, berwarna kekuningan, dan kadar glukosida sianogenik yang signifikan, yang membatasi pemanfaatannya pada industri pangan.

Pemrosesan potongan singkong dengan fermentasi sebelum pengeringan dan penepungan dapat menurunkan kandungan senyawa glukosida sianogenik, menetralkan aroma, serta menghilangkan warna kekuningan pada tepung yang dihasilkan (Brauman dkk., 1996; Putri dkk., 2012, Wahjuningsih, 2011, Kresnowati dkk., 2014). Di Afrika tepung yang dihasilkan dikenal dengan nama Fufu, Gari (Blagbrough, 2010). Di Indonesia, metode pengolahan ini diperkenalkan oleh Achmad Subagyo dari Universitas Jember (Subagio, 2008) dan produk yang dihasilkan dikenal di pasaran dengan nama tepung mocaf. Aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi mengakibatkan penguraian polimer karbohidrat rantai panjang menjadi polimer yang lebih pendek serta merusak dinding sel singkong yang mengakibatkan penurunan kadar glukosida sianogenik (Kresnowati dkk., 2015a). Aktivitas mikroorganisme selama fermentasi juga mengakibatkan degradasi pigmen warna dan protein yang menyebabkan warna kekuningan (Zulaidah, 2011). Proses fermentasi potongan singkong menghasilkan asam organik yang akan menurunkan pH sistem hingga pH optimal untuk aktivitas enzim linamarase endogenous sehingga mengakibatkan penurunan kadar glukosida sianogenik pada potongan singkong (Meitha dkk., 2016, Kresnowati dkk., 2019a). Selain itu asam organik yang dihasilkan selama proses fermentasi menetralkan aroma khas singkong. Rangkaian penelitian telah dilakukan dalam rangka pengembangan proses produksi tepung singkong terfermentasi yang berkualitas. Untuk membedakan dengan tepung mocaf yang ada di pasaran, tepung singkong terfermentasi yang dihasilkan dilabeli tepung mocaf generasi kedua atau FERCAF (*Fermented Cassava Flour*). Tepung yang dihasilkan memiliki karakteristik yang unik dengan potensi penggunaan yang cukup luas dalam industri pangan. Salah satu potensi yang diunggulkan adalah karakteristik 'bebas gluten'.

Pertanyaan pertama yang perlu dijawab adalah bagaimana memfasilitasi pelaksanaan proses fermentasi potongan singkong secara efisien dan higienis. Pertanyaan ini diajukan untuk merespons kondisi di masyarakat yang meletakkan potongan singkong dalam karung lalu direndam dalam kolam/bak terbuka untuk fermentasi (Gambar 11). Proses fermentasi singkong dilakukan tanpa pengendalian, berlangsung lama, dan menggunakan banyak air. Untuk menjawab pertanyaan ini dilakukanlah perancang fermentor sedemikian rupa sehingga memfasilitasi terjadinya kontak yang memadai antara mikroba dan potongan singkong melalui sirkulasi kaldu fermentasi tapi dengan penggunaan air yang efisien. Proses fermentasi juga dapat dilaksanakan secara higienis. Desain reaktor juga dilakukan sedemikian rupa sehingga serta memungkinkan dilaksanakannya proses fermentasi potongan singkong secara semi kontinu dan terotomatisasi pada skala industri (Kresnowati dkk., 2014, Meitha dkk., 2016, Lestari dkk., 2015). Selain itu juga dilakukan optimasi kondisi operasi fermentasi (Kresnowati dkk., 2014, Meitha dkk., 2014, Lestari dkk., 2015). Perkembangan desain fermentor fercaf pada berbagai skala ditunjukkan pada Gambar 10. Rancangan fermentor ini telah dipatenkan (Kresnowati dkk., 2016a) dan juga telah dicobakan secara komersil di PT CIE79, Bangka.



**Gambar 11** Pelaksanaan fermentasi potongan singkong untuk produksi tepung mocaf secara tradisional.



**Gambar 12** Contoh desain reaktor untuk fermentasi potongan singkong untuk produksi Fercaf dari skala lab, sampai dengan 3 kg singkong/batch (a - b); skala semi pilot, sampai dengan 1 kuintal/hari (c - d); skala pilot, sampai dengan 1 ton/hari (e - f).



**Gambar 13** Contoh kemasan produk Fercaf produksi PT CIE79 yang beredar di pasaran.

Pertanyaan kedua yang perlu dijawab adalah bagaimana memfasilitasi pelaksanaan proses fermentasi potongan singkong dengan terstandar. Pertanyaan ini diajukan untuk merespons harga starter mocaf yang cukup mahal serta aksesibilitasnya yang terbatas. Selain itu masyarakat melakukan fermentasi dengan *starter* seadanya, bahkan dari survei sederhana yang dilakukan ditemui adanya *starter* mocaf yang tidak mengandung mikroba aktif. Penelitian dilakukan untuk memetakan pengaruh komposisi mikroba yang digunakan sebagai starter (inokulum) fermentasi potongan singkong terhadap kinerja proses dan kualitas tepung yang dihasilkan.

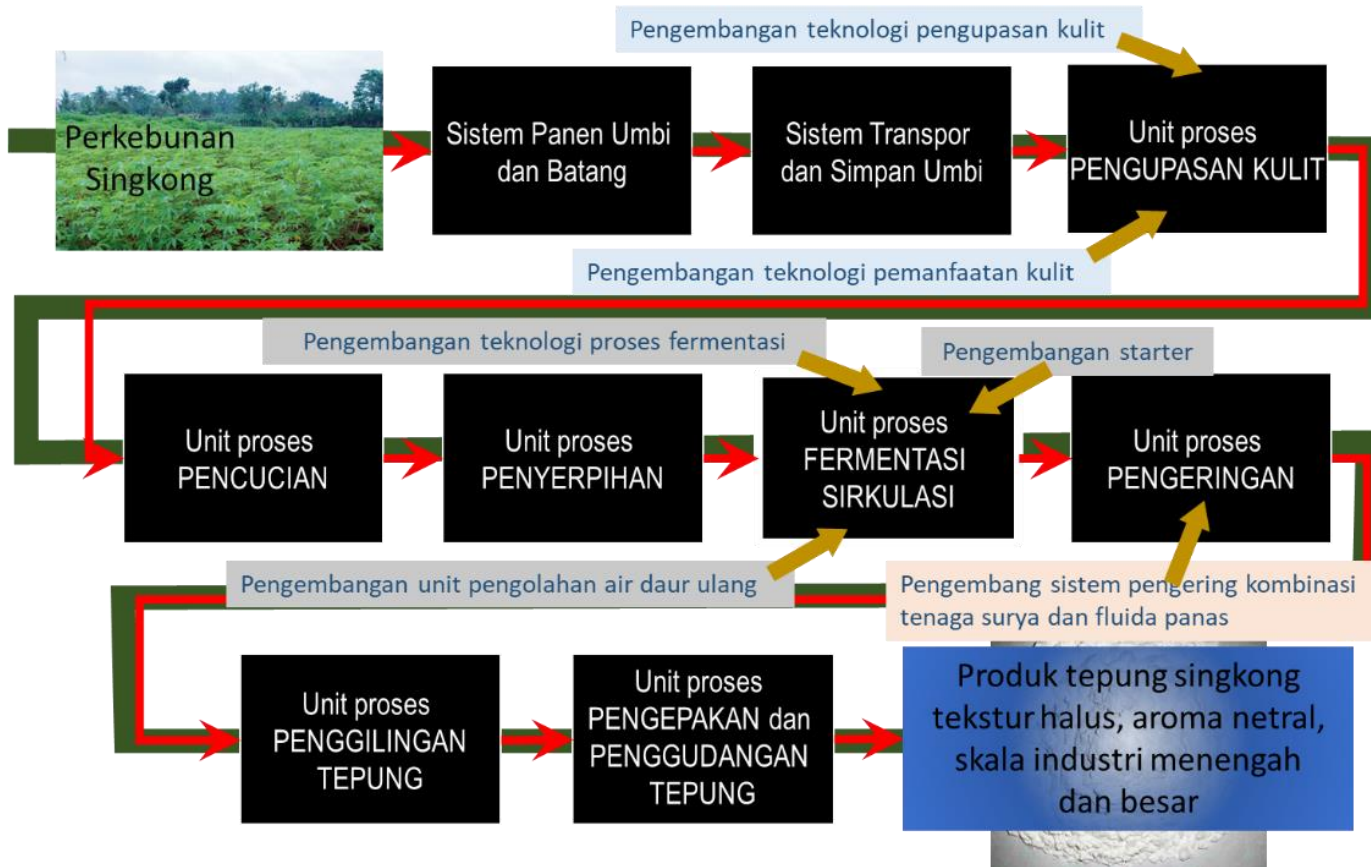
Kombinasi mikroba yang digunakan meliputi *Bacillus subtilis*, bakteri asam laktat *Lactobacillus plantarum*, serta jamur *Aspergillus oryzae*. Fermentasi asam laktat umum terjadi dalam pemrosesan pangan, mengakibatkan penurunan pH dan memberikan efek pengawetan. *Bacillus* ditambahkan untuk membantu penguraian serat dan meningkatkan ketercernaan produk yang dihasilkan. Jamur *Aspergillus* ditambahkan untuk meningkatkan kandungan protein produk yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa komposisi starter kultur memengaruhi kinerja proses fermentasi potongan singkong dan karakteristik produk Fercaf yang dihasilkan (Kresnowati dkk, 2019a, Kresnowati dkk, 2015a). Pelaksanaan

proses fermentasi dapat dirancang sedemikian rupa, dengan menentukan komposisi *starter* kultur yang digunakan, untuk memperoleh kualitas produk tertentu yang diinginkan.

Penelitian dilanjutkan dengan pengembangan metode untuk memproduksi *starter* fercaf yang siap untuk digunakan, khususnya fermentasi fasa padat yang diikuti dengan pengeringan menggunakan oven konvensional dan oven vakum sehingga diperoleh metode pemrosesan yang ekonomis namun dengan tingkat viabilitas mikroba yang tinggi (Kresnowati dkk., 2018, Burhan dkk, 2017). Selain itu juga dikembangkan metode penyiapan starter yang dapat diterapkan oleh industri usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) (Setiadi dan Kresnowati, 2024) sehingga komponen biaya untuk pengadaan starter dalam produksi tepung singkong terfermentasi oleh UMKM dapat ditekan.

Pertanyaan selanjutnya yang perlu dijawab adalah bagaimana kesiapan unit-unit proses lainnya yang juga diperlukan untuk memproduksi fercaf. Tahapan-tahapan proses pembuatan fercaf dari bahan baku umbi singkong meliputi pengupasan kulit, pencucian, pemotongan/penyerpihan, fermentasi, pengeringan, dan penggilingan. Diagram alir proses produksi fercaf dari bahan baku singkong sampai menjadi tepung disajikan pada Gambar 13. Contoh proses yang merupakan salah satu titik kritis adalah pengeringan potongan singkong terfermentasi. Pengeringan perlu dilakukan untuk mencapai nilai kadar air produk tertentu, yang mana nilai ini akan menentukan masa simpan produk tersebut. Untuk menghemat biaya, pada industri UMKM potongan singkong terfermentasi dikeringkan dengan bantuan energi matahari dengan cara memaparkannya di udara terbuka. Pengeringan ini dapat dilakukan secara murah, namun berjalan tanpa pengendalian dan sangat bergantung pada kondisi cuaca sehingga waktu pengeringan tidak menentu. Selain itu pengeringan yang tidak sempurna dapat memicu pertumbuhan jamur yang tidak diinginkan. Secara umum proses produksi tidak dijalankan secara higienis, sehingga tidaklah





**Gambar 14** Diagram Alir Proses Produksi Fercaf dari Umbi Singkong



mengherankan kalau produk tepung yang dihasilkan tidak memenuhi standar mutu produk pangan terkait jumlah paparan mikroba patogen yang diizinkan. Waktu pengeringan berpotensi menjadi *bottleneck* proses produksi fercaf. Dengan metode produksi ini kapasitas produksi tepung mocaf sangat rendah.

Selain itu juga diperlukan pengembangan unit proses pengupasan dan pemotongan umbi singkong sehingga diperoleh potongan singkong bersih dengan ukuran yang tepat untuk difermentasi. Keseluruhan rangkaian proses telah dibangun pada skala pilot digunakan sebagai media pembelajaran pada mata kuliah Evaluasi Kinerja Pabrik Pangan pada program studi sarjana Teknik Pangan, Fakultas Teknologi Industri, ITB (Gambar 15).

### Cassava based Food Teaching Factory Kampus ITB Jatinangor

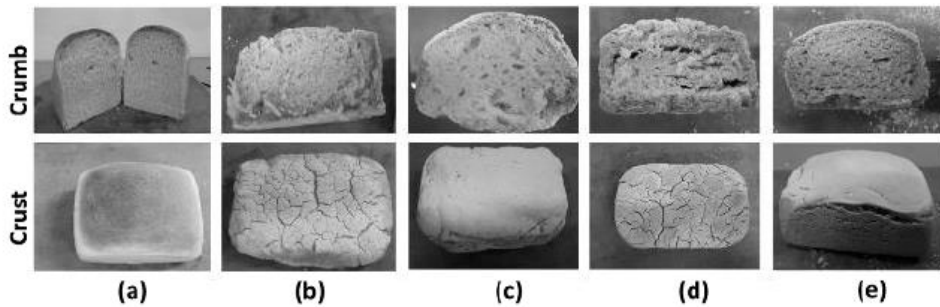


**Gambar 15** Penggunaan pilot plant produksi Fercaf sebagai media pembelajaran pada mata kuliah Evaluasi Kinerja Pabrik Pangan.

### 3.3 Pengembangan Produk Turunan Fercaf

Pertanyaan yang tak kalah penting untuk dijawab adalah bagaimana mengomersialisasi produk fercaf yang dihasilkan. Walaupun dikembangkan dengan semangat untuk mewujudkan ketahanan pangan Indonesia, fercaf adalah produk baru yang bersifat *technology driven*. Fercaf memiliki karakteristik spesifik yang tidak persis sama dengan tepung – tepung lainnya yang sudah mendominasi pasar nasional seperti tepung terigu, tepung beras, tepung tapioka, ataupun tepung maizena. Untuk memperkenalkan produk ini, perlu dilakukan pengembangan produk-produk pangan berbasis fercaf yang dapat langsung dinikmati oleh konsumen.

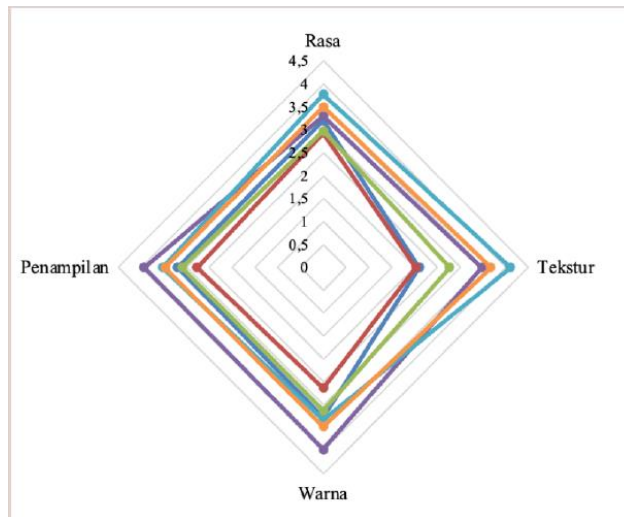
Keunggulan Fercaf dibanding tepung terigu yang banyak digunakan di masyarakat adalah fercaf tidak mengandung gluten (*gluten free*). Di lain pihak ketiadaan gluten juga merupakan tantangan karena gluten merupakan protein pengikat, pembentuk struktur pada roti, mie, dan aplikasi lainnya. Oleh karena itu untuk penerapan fercaf sebagai bahan baku roti atau mie *gluten free*, perlu ditambahkan bahan – bahan lain yang memiliki fungsi serupa dengan gluten pada terigu. Penelitian yang dilakukan penggunaan fercaf untuk pembuatan roti tawar, mie, dan juga sereal sarapan; juga produksi dan uji potensi berbagai bahan aditif pengganti gluten, mulai dari tepung porang, glutation, dan zein; serta bahan aditif hidrokoloid yang umum digunakan lainnya seperti HPMC, CMC, dan xantan gum.



**Gambar 16** Pengembangan roti berbahan baku fercaf, dengan berbagai aditif pembentuk struktur. (a) kontrol (terigu), (b) roti bebas gluten fercaf – tepung beras dengan perbandingan 2:1, (c) roti bebas gluten fercaf – tepung beras dengan perbandingan 2:1 dengan aditif xanthan gum 3%, (d) roti bebas gluten fercaf – tepung beras dengan perbandingan 2:1 dengan aditif agar 2%, (e) roti bebas gluten fercaf – tepung beras dengan perbandingan 2:1 dengan aditif karagenan 5% (Lestari dkk., 2019)



(b)

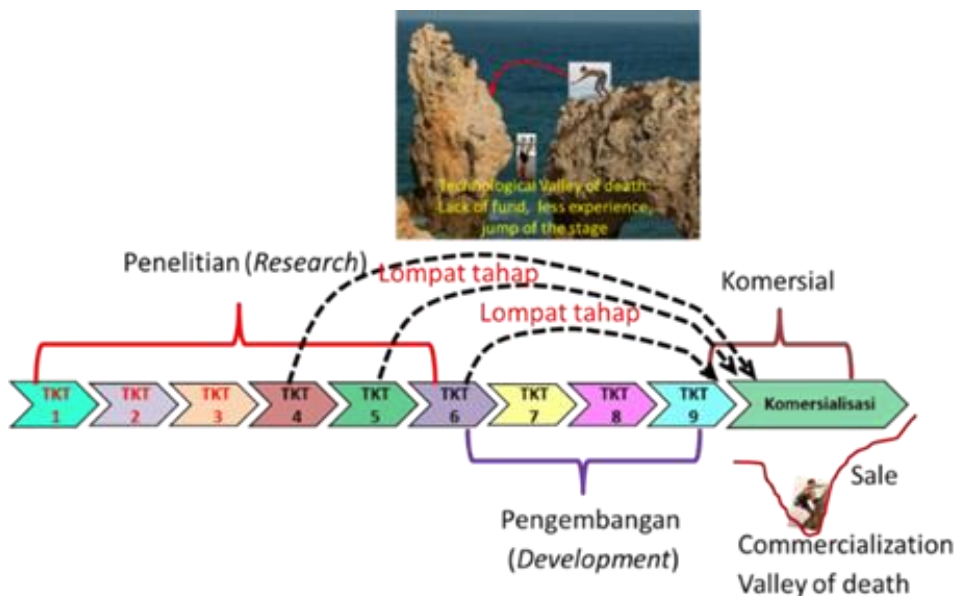


**Gambar 17** Pengembangan produk sereal sarapan berbasis fercaf, beberapa variasi sereal berbahan baku fercaf dengan berbagai aditif (a), hasil uji organoleptik produk yang dikembangkan: secara keseluruhan tingkat penerimaan responden terhadap rasa dan penampilan cukup tinggi, tingkat penerimaan responden terhadap tekstur produk terbaik adalah untuk produk yang dibuat menggunakan 100% fercaf (b) (Pertiwi dan Rahmayanthie, 2023).

### 3.4 Analisis Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) Fercaf

Pengembangan teknologi dan produk perlu dilakukan secara bertahap untuk menuju komersial. Disepakati terdapat sembilan tahap pengembangan teknologi dan produk, bermula dari kelompok tahapan riset: mulai dari perumusan ide riset (Tahap 1) sampai ke riset produksi secara semi-komersial (Tahap 6), dilanjutkan dengan kelompok tahapan pengembangan: sistem teknologi produksi mendekati kondisi komersial (Tahap 7) sampai ke sistem produksi komersial (Tahap 9). Loncat tahap dapat berkonsekuensi kepada kondisi jatuh ke Lembah Kematian Teknologi (*technological valley of death*). (Gambar 18).

Secara keseluruhan pengembangan teknologi produksi fercaf telah dilakukan dan melalui seluruh siklus Tingkat Kesiapterapan Teknologi 1 sampai dengan 9, sebagaimana diuraikan pada Tabel 1. Selain waktu dan biaya, faktor manusia: kepemimpinan, jejaring kerja sama dan lembaga merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan teknologi tersebut. Walaupun telah mengikuti tahapan-tahapan pengembangan TKT secara runut, tahapan komersialisasi tetaplah merupakan aspek yang penting dalam pengembangan suatu teknologi baru.



**Gambar 18** Analisis TKT berikut konsekuensinya (Kresnowati dan Bindar, 2021)

**Tabel 1** Analisis TKT produksi fercaf (Kresnowati dan Bindar, 2021)

TKT	Uraian tahapan pengembangan teknologi	Pengembangan teknologi produksi fercaf
1	Perumusan ide produk atau teknologi	Ide produksi tepung singkong dengan mutu baik melalui proses fermentasi
2	Riset dasar tentang ide yang sudah dirumuskan di skala laboratorium	Percobaan awal produksi tepung singkong terfermentasi di skala lab, karakterisasi produk
3	Riset awal aplikasi dari riset dasar skala bangku	Optimasi berbagai parameter operasi produksi fercaf, pada skala lab (sampai dengan 5 kg/batch)
4	Riset produksi skala pilot	Desain dan pembuatan reaktor fermentasi singkong skala semi pilot (72 kg/hari)
5	Riset sistem teknologi produksi skala persiapan semi komersial	Desain dan pengujian sistem proses produksi fercaf pada skala semi pilot (72 kg/hari)
6	Riset sistem teknologi produksi skala semi komersial	Desain sistem proses produksi fercaf pada skala pilot (sampai dengan 1000 kg/hari)
7	Pengembangan sistem teknologi produksi mendekati kondisi komersial	Pembuatan dan pengujian sistem proses produksi fercaf pada skala pilot (sampai dengan 1000 kg/hari)
8	Pengembangan sistem teknologi produksi untuk uji komersial	Desain, pembuatan, dan pengujian sistem produksi fercaf pada skala komersial di Bangka (kerja sama dengan PT CIE 79)
9	Pengembangan sistem teknologi produksi komersial, pematangan keamanan dan keandalan operasi, pencapaian kapasitas produksi dan peningkatan efisiensi sistem produksi	Pengoperasian sistem produksi fercaf pada skala komersial di Bangka (kerja sama dengan PT CIE 79)

### **3.5 Pengembangan Produk Pangan Turunan Singkong Lainnya**

Pengembangan produk tepung berbasis singkong lainnya juga dilakukan. Tepung peuyeum merupakan alternatif tepung singkong lainnya yang dikembangkan (Kresnowati dkk., 2021). Tahapan proses yang dilakukan meliputi penyiapan umbi singkong dan fermentasi singkong menjadi peuyeum, kemudian diikuti dengan pengeringan peuyeum dan penepungan. Kondisi operasi proses fermentasi peuyeum dimodifikasi sedemikian rupa sehingga peuyeum yang dihasilkan dapat diolah lanjut menjadi tepung.

Tepung peuyeum memiliki karakteristik yang khas, berbeda dengan dengan produk tepung turunan singkong lainnya seperti fercaf, tapioka, ataupun gaplek. Sebagaimana cita rasa khas peuyeum, tepung peuyeum cenderung memiliki rasa manis disertai dengan aroma dan rasa khas peuyeum. Karakteristik ini berpotensi menawarkan keunggulan pemakaian gula atau bahan pemanis yang lebih sedikit ketika diaplikasikan, misalnya dalam pembuatan kue. Tepung peuyeum memperkaya khazanah tepung karbohidrat Indonesia.



## 4. TEKNOLOGI BIOPROSES UNTUK PENGOLAHAN TANDAN KOSONG SAWIT

### 4.1 Tandan Kosong Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan komoditas unggulan perkebunan Indonesia. Walaupun kelapa sawit bukan tanaman asli Indonesia, melainkan berasal dari Amerika Selatan, beberapa tahun terakhir Indonesia telah mencatatkan diri sebagai produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Data menunjukkan luas perkebunan dan produksi kelapa sawit selama 10 tahun terakhir terus meningkat, hingga mencapai 16,8 juta hektar dan 46,8 juta ton pada tahun 2022 (Pusdatin, Kementerian Pertanian: <https://11ap.pertanian.go.id/portalstatistik/>). Mempertimbangkan hal tersebut, sudah selayaknya bangsa Indonesia memiliki tanggung jawab untuk mengembangkan teknologi-teknologi yang berkaitan dengan pemrosesan dan pemanfaatan kelapa sawit.

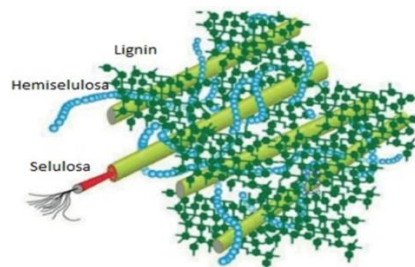


**Gambar 19** Pohon sawit, tandan kosong sawit, dan buah sawit.

Selain produk utama minyak sawit dan minyak inti sawit, industri kelapa sawit juga menghasilkan banyak limbah biomassa. Dalam pengolahan tandan buah segar menjadi minyak sawit, juga akan dihasilkan 21 kg tandan kosong sawit, 14,4 kg serat, dan 6,4 kg cangkang sawit per 100 kg tandan buah segar yang diolah (Hambali dkk., 2010). Selain itu di kebun juga akan dihasilkan pelepah sawit dan batang sawit hasil regenerasi pohon sawit. Mempertimbangkan ketersediaannya yang melimpah, limbah biomassa ini dapat dipandang sebagai sumber bahan baku yang potensial.



Tandan kosong sawit merupakan bahan lignoselulosa dengan komposisi spesifik yang tergantung kepada sifat genetik pohon kelapa sawit dan kondisi lingkungan pertumbuhan pohon kelapa sawit, termasuk cuaca dan iklim. Walaupun terdapat perbedaan komposisi, komponen utama penyusun tandan kosong sawit adalah polimer karbohidrat selulosa dan hemiselulosa, yang diikat oleh lignin (Gambar 20). Komposisi selulosa berkisar antara 23 – 43%, adapun komposisi hemiselulosa berkisar antara 17-33%, sementara lignin dapat menyusun 10-41% dari tandan kosong sawit (Chang dkk., 2014, Sun dkk., 1999, Omar dkk., 2011, Mardawati dkk., 2015). Sisanya meliputi senyawa – senyawa ekstraktif dan abu. Saat ini sebagian besar tandan kosong sawit dikembalikan ke kebun sebagai penggembur (mulsa) atau dikembalikan ke kebun setelah diolah menjadi kompos. Mempertimbangkan kandungan tandan kosong sawit, bahan ini berpotensi untuk diolah menjadi berbagai produk yang memiliki nilai tambah, dengan konsep *biorefinery* (kilang biomassa). Uraian berikut secara spesifik akan membahas tentang potensi pengolahan tandan kosong sawit menjadi produk–produk yang bernilai tambah.



**Gambar 20** Susunan selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada bahan lignoselulosa (Wang dkk, 2017).

## 4.2 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Bioetanol

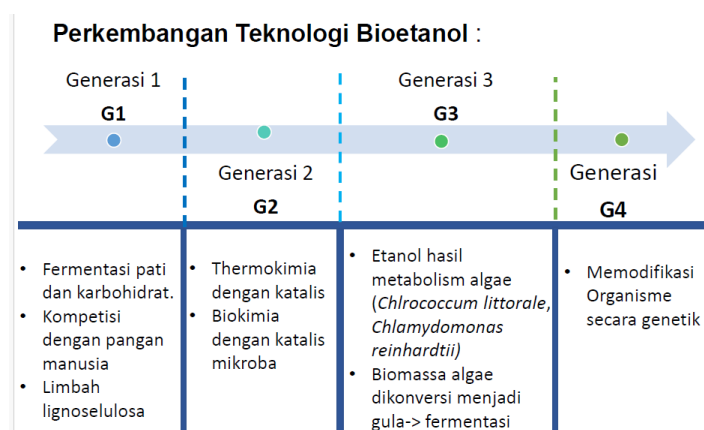
Untuk mengantisipasi ketersediaan bahan bakar fosil serta sebagai bentuk kepedulian terhadap efek pemanasan global, perlu dicari sumber bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Bioetanol merupakan salah satu jenis bahan bakar nabati (BBN) yang diusulkan.

Tandan kosong sawit sebagai bahan lignoselulosa memiliki kandungan gula beratom karbon 6 (glukosa) dan gula beratom karbon 5 (xilosa) dalam bentuk selulosa dan hemiselulosa sehingga potensial untuk dijadikan bahan baku bioetanol generasi 2. Berbeda dengan teknologi bioetanol generasi 1 yang sudah mapan, pada pengolahan bioetanol generasi 2 diperlukan tahapan



tambahan, yaitu perlakuan pendahuluan/*pretreatment* biomassa lignoselulosa dan hidrolisis, sebelum dilakukan fermentasi. Tahapan perlakuan pendahuluan dilakukan untuk merusak (dekonstruksi) struktur kokoh lignoselulosa sehingga selulosa dan hemiselulosa dapat lebih mudah diakses oleh enzim yang bertugas untuk menghidrolisis polimer karbohidrat menjadi gula-gula sederhana. Selanjutnya gula-gula tersebut dapat difermentasi menggunakan platform mikroba ragi *Saccharomyces cerevisiae* atau bakteri *Zymomonas mobilis* yang sudah umum digunakan dalam teknologi bioetanol generasi 1 ataupun menggunakan mikroba lainnya yang sudah direkayasa agar juga dapat memfermentasi gula berat atom karbon 5 menjadi etanol secara optimal. Perbedaan teknologi proses bioetanol generasi 1 dan 2 ditunjukkan pada Gambar 21.

Pertanyaan yang perlu dijawab dalam rangka memanfaatkan tandan kosong sawit sebagai bahan baku bioetanol generasi 2 adalah bagaimana menyelenggarakan proses *pretreatment* dan hidrolisis secara optimal untuk menghasilkan hidrolisat umpan proses fermentasi sehingga dalam proses fermentasi dapat dihasilkan bioetanol dengan konsentrasi tinggi. Mengingat bioetanol merupakan *bulk chemicals* yang akan digunakan sebagai bahan bakar, maka proses produksi perlu dapat dilakukan dengan biaya yang murah sehingga dapat dihasilkan produk dengan harga jual yang kompetitif.



**Gambar 21** Perkembangan teknologi bioetanol dari generasi 1 sampai generasi 4.

Berbagai metode *pretreatment* biomassa lignoselulosa telah dikembangkan (Chakraborty dkk, 2024). Beberapa contoh dari dekonstruksi lignoselulosa yang umum digunakan antara lain adalah secara fisik seperti melalui pengecilan ukuran secara mekanik dan ultrasonikasi, secara kimiawi

melalui perlakuan asam, perlakuan basa, organosolv, ataupun menggunakan pelarut-pelarut inovatif hijau seperti *Ionic Liquid* dan *Deep Eutectic Solvents (DES)*, secara fisika - kimiawi melalui *steam explosion*, *ammonia fiber explosion*, atau hidrotermal/ autohidrolisis, ataupun secara biologis menggunakan jamur pendelignifikasi seperti jamur lapuk putih *Trametes sp.*, *Marasmius sp.*, atau *Pycnoporus sp.* Lebih jauh tantangan penyelenggaraan proses *pretreatment* tandan kosong sawit dapat dirumuskan menjadi proses yang menggunakan bahan kimia minimal dan kondisi moderat tapi dapat merusak struktur lignin secara efektif sehingga menghasilkan tingkat digestibilitas oleh enzim yang tinggi. Setiap biomassa lignoselulosa memiliki karakter yang spesifik, sehingga metode *pretreatment* terpilih perlu secara spesifik di-*tune-in* untuk mengolah biomassa tandan kosong sawit.

Proses hidrolisis bahan lignoselulosa dapat dilakukan secara kimiawi ataupun secara enzimatik. Namun demikian proses hidrolisis enzimatik umumnya dipilih karena bersifat lebih spesifik dan tidak menghasilkan senyawa-senyawa yang berpotensi menjadi inhibitor pada proses fermentasi etanol. Enzim yang digunakan adalah kompleks enzim selulase untuk memutus ikatan glikosidik antar monomer glukosa pada selulosa. Tantangan pelaksanaan proses hidrolisis tandan kosong sawit adalah rancangan konfigurasi proses untuk menghasilkan hidrolisat dengan konsentrasi gula yang tinggi, rancangan bioreaktor yang dapat memfasilitasi terjadinya reaksi 2 fasa antara padatan tandan kosong sawit dan cairan enzim secara optimal, serta penyediaan enzim selulase yang memiliki kinerja baik dalam menghidrolisis tandan kosong sawit dengan harga yang terjangkau. Penelitian yang dilakukan menghasilkan konfigurasi proses hidrolisis tandan kosong sawit secara *fedbatch* dapat menghasilkan konsentrasi gula yang tinggi pada hidrolisat (Sugiharto dkk, 2016).

Rangkaian penelitian yang dilakukan merupakan bagian kerja sama dengan PT ReKayasa Industri, sehingga konfigurasi proses yang diperoleh sudah dipatenkan dan juga diujicobakan pada skala bangku dan dalam proses untuk diujicobakan pada skala pilot. Fasilitas pilot untuk pengolahan tandan kosong sawit, saat ini difokuskan sampai memproduksi gula-gula sederhana glukosa dan xilosa, telah dibangun dengan kerja sama antara Balai Besar Industri Agro (Kementrian Perindustrian) dan Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) di Bogor (Gambar 22).

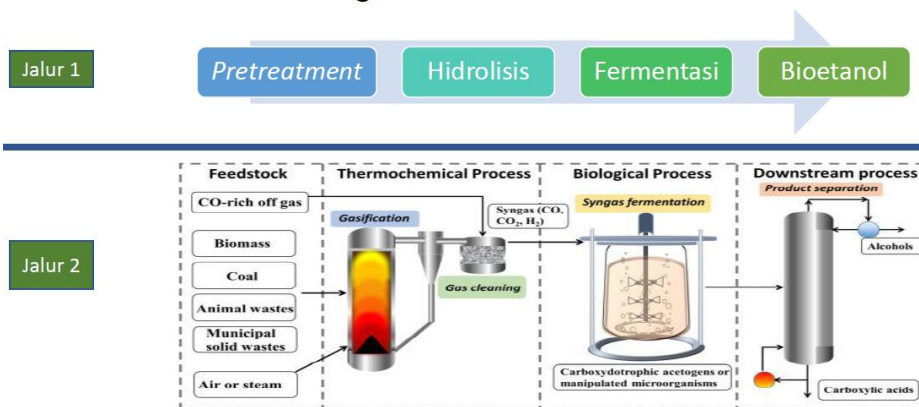


**Gambar 22** Pabrik pilot pengolahan tandan kosong sawit yang dikembangkan dengan kerja sama dengan PT Rekayasa Industri dan Balai Besar Industri Agro

### 4.3 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Bioetanol melalui Rute Kombinasi Termokimia – Biologis

Selain melalui rute bioproses, konversi bahan lignoselulosa menjadi bioetanol dapat dilakukan melalui rute alternatif, yaitu kombinasi proses termokimia dan proses fermentasi. Tahapan proses pada rute ini diawali dengan proses gasifikasi bahan lignoselulosa untuk memperoleh gas sintetik (*syngas*), diikuti dengan proses fermentasi *syngas* menjadi bioetanol (Mukti dkk, 2023). Melalui rute ini seluruh bahan lignoselulosa dapat termanfaatkan menjadi *syngas*. Konversi lanjut *syngas* melalui fermentasi dapat dilakukan pada kondisi tekanan dan tempatur yang moderat, tanpa katalis yang mahal. Fermentasi *syngas* menjadi bioetanol merupakan *emerging technology*, dengan tantangan tingkat utilisasi *syngas* secara maksimal dan selektivitas konversi *syngas* menjadi etanol yang tinggi.

#### Fermentasi Biomassa Lignoselulosa



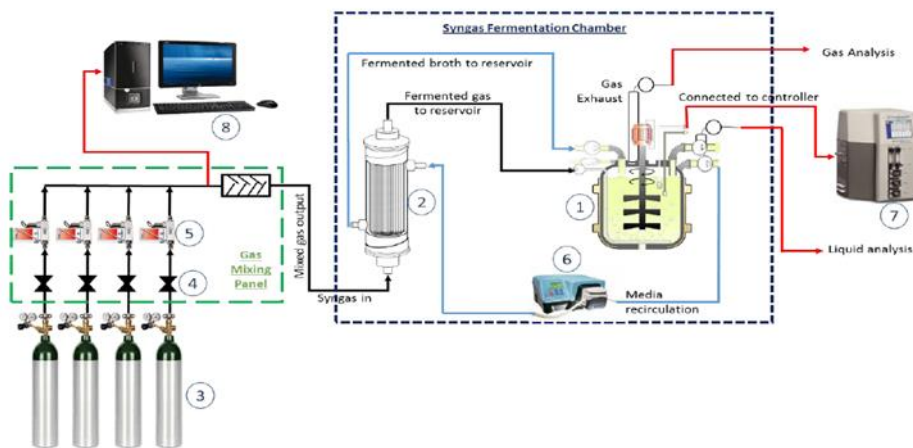
Gambar 23 Diagram alir proses tandan kosong sawit menjadi bioetanol melalui rute kombinasi.

Pertanyaan pertama yang perlu dijawab adalah mikroba apakah yang dapat digunakan untuk melakukan proses fermentasi *syngas* menjadi bioetanol secara optimal. Tidak banyak mikroba yang dapat memanfaatkan gas CO dan CO<sub>2</sub> sebagai substratnya. Beberapa spesies *Clostridium sp.* dilaporkan dapat memanfaatkan rute metabolisme Wood-Ljungdahl selama pertumbuhannya, memanfaatkan CO/CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> sebagai substrat dan memproduksi berbagai ragam senyawa metabolit (Ragdalei dan Pierce, 2008). Tantangan berikutnya adalah spesies mikroba tersebut bersifat *strickly anaerob* yang tidak dapat tumbuh apabila ada oksigen. Memperhatikan hal tersebut dicobakan kemampuan beberapa spesies *Clostridium*, yaitu

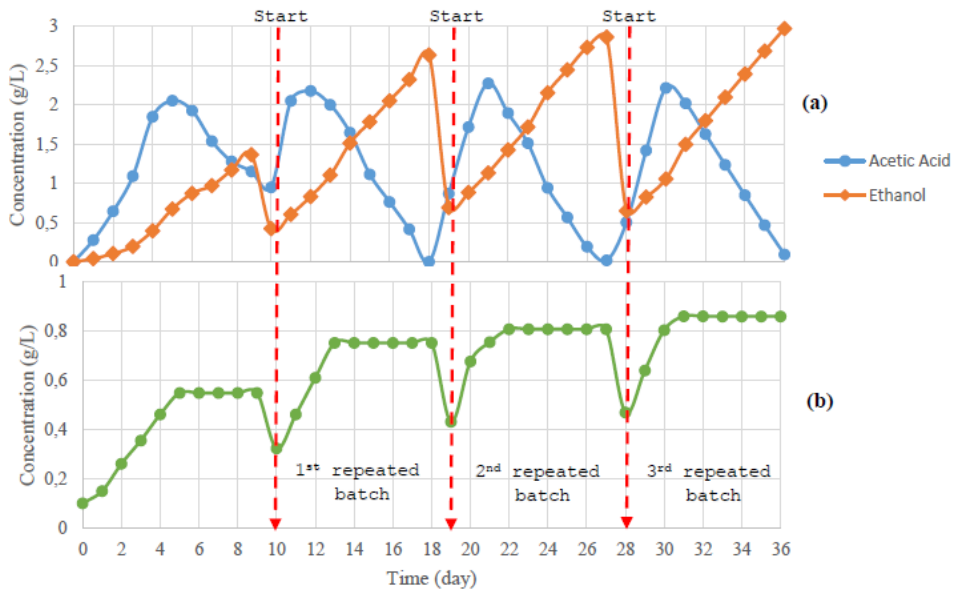
*Clostridium ljungdahlii*, *C. ragsdalei*, dan *C. carboxidovorans* dalam mengkonversi CO dan CO<sub>2</sub> menjadi etanol (Anggraini dkk, 2018).

Pertanyaan yang perlu dijawab selanjutnya adalah bagaimana desain dan konfigurasi reaktor yang dapat memfasilitasi pelaksanaan reaksi di mana substrat berada pada fasa gas sementara mikroba ada di fasa cair secara optimal serta pemilihan strain yang dapat mengkonversi CO dan CO<sub>2</sub> menjadi etanol secara efisien. Tantangan terkait pertama adalah merancang desain reaktor yang memadai untuk dapat memfasilitasi perpindahan fasa CO dan CO<sub>2</sub> dari umpan yang berupa fasa gas menjadi terlarut di kaldu fermentasi, tempat larutnya biomassa sel mikroba. Hal ini menjadi tantangan karena CO memiliki tingkat kelarutan yang kecil dalam air. Desain bioreaktor yang diusulkan adalah kombinasi modul membran *hollow fiber* dan fermentor berpengaduk (Gambar 24). Membran *hollow fiber* berfungsi sebagai kontaktor untuk meningkatkan perpindahan massa CO dari fasa gas ke fasa cair. Konfigurasi ini terbukti dapat meningkatkan perpindahan massa hingga 6 kali lipat dibandingkan dengan fermentor berpengaduk tanpa penambahan membran kontaktor (Keryanti dkk., 2019).

Tantangan selanjutnya adalah bagaimana merancang konfigurasi proses fermentasi yang tepat untuk meningkatkan utilisasi CO/CO<sub>2</sub> dan konversinya menjadi bioetanol. Di antaranya diusulkan konfigurasi fermentasi batch berulang untuk mengakumulasi mikroba di dalam reaktor dan meningkatkan konversi substrat menjadi bioetanol (Krista dan Kresnowati, 2022).



**Gambar 24** Konfigurasi bioreaktor yang dilengkapi dengan kontaktor membran *hollow fiber* untuk fermentasi syngas (Anggraini dkk, 2019).



**Gambar 25** Simulasi konfigurasi fermentasi batch berulang untuk fermentasi singas menjadi etanol (Krista dan Kresnowati, 2022).

#### 4.4 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Xilitol

Xilitol merupakan senyawa gula alkohol dengan rumus molekul  $C_5H_{12}O_5$ . Xilitol merupakan pemanis alami dengan tingkat kemanisan yang setara dengan gula sukrosa, tetapi memiliki indeks glikemik dan nilai kalor yang jauh lebih rendah daripada gula sukrosa. Xilitol tidak mengalami reaksi Maillard (pencoklatan saat pemanasan akibat keberadaan protein) dan memiliki panas pelarutan yang negatif sehingga menyebabkan sensasi ‘dingin’ di mulut (Parajo dkk., 1998). Secara keseluruhan, xilitol menawarkan karakteristik yang menarik untuk digunakan sebagai pemanis di industri pangan.

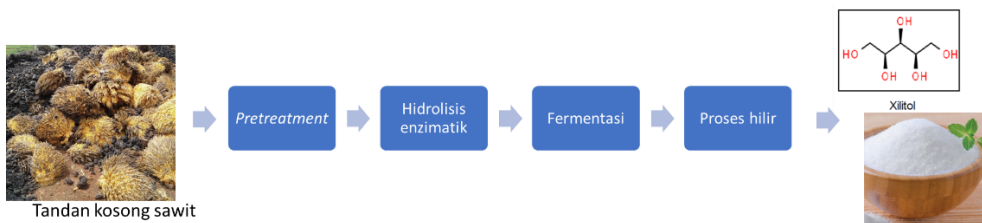


**Gambar 26** Rumus molekul xilitol dan contoh aplikasinya



Xilitol dapat diperoleh dari bahan-bahan alami yang mengandung xilitol, seperti selada, kembang kol (*cauliflower*), plum kuning, frambozen (*raspberry*), stroberi, anggur, dan pisang. Namun demikian kadar xilitol dalam bahan – bahan tersebut sangat rendah (di bawah 900 mg/100 g bahan baku) sehingga proses produksi xilitol melalui ekstraksi bahan-bahan tersebut tidak ekonomis (Da Silva dan Chandel , 2012).

Tandan kosong sawit sebagai bahan lignoselulosa memiliki kandungan gula beratom karbon 5 (xilosa) dalam bentuk hemiselulosa sehingga potensial untuk dijadikan bahan baku xilitol (Kresnowati dkk., 2015b). Tahapan produksi xilitol dari tandan kosong sawit meliputi perlakuan untuk merusak struktur kokoh (dekonstruksi) lignoselulosa sehingga hemiselulosa dapat lebih mudah dihidrolisis menjadi xilosa dan gula-gula sederhana lainnya, diikuti dengan reduksi xilosa menjadi xilitol melalui fermentasi. Produksi xilitol menggunakan rute bioproses ini menawarkan keunggulan dibandingkan dengan rute kimia. Di antaranya proses hidrolisis enzimatik dan fermentasi dijalankan pada kondisi lunak, rentang temperatur 40-60 °C untuk hidrolisis dan 30-37 °C untuk fermentasi; proses hidrolisis enzimatik bersifat spesifik sehingga tidak dihasilkan senyawa-senyawa yang berpotensi menjadi inhibitor pada proses fermentasi serta proses reduksi melalui fermentasi berlangsung secara cukup spesifik sehingga larutan hidrolisat dapat langsung diumpankan tanpa perlu dimurnikan untuk memperoleh xilosa murni terlebih dahulu.



**Gambar 27** Diagram alir proses pengolahan tandan kosong sawit menjadi xilitol.

Pertanyaan yang perlu dijawab dimulai dari bagaimana proses fermentasi mikroba apa yang dapat digunakan untuk memfermentasi gula xilosa menjadi xilitol secara efektif. Pertanyaan ini mencakup jenis mikroba yang dapat digunakan dan kondisi operasi yang diterapkan. Studi awal produksi xilitol mikrobial dilakukan untuk mengevaluasi potensi ragi *Debaryomyces hansenii*, *Candida*, atau *Pichia* dalam memproduksi xilitol (Kresnowati dkk, 2012) dan

mengevaluasi pengaruh kondisi operasi, khususnya konsentrasi inokulum dan pH terhadap produksi xilitol (Kresnowati 2016b).

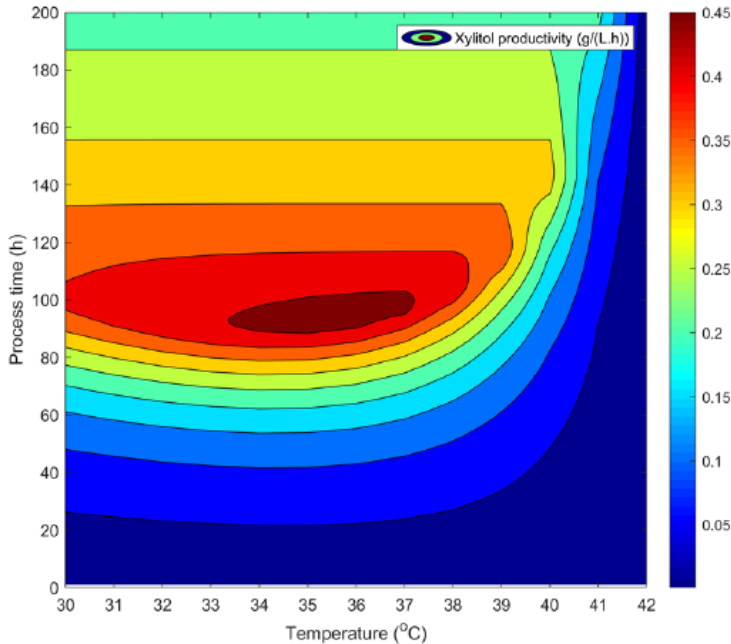
Pertanyaan lain yang perlu dijawab adalah apakah metode *pretreatment* yang tepat. Hemiselulosa merupakan komponen yang paling lemah pada lignoselulosa sehingga metode *pretreatment* yang kurang tepat berpotensi merusak hemiselulosa sehingga xilosa tidak dapat dimanfaatkan. Tantangan lainnya adalah aspek lingkungan, misalnya *pretreatment* basa akan berdampak kebutuhan proses tambahan untuk menetralkan pH. Hal ini mengakibatkan kebutuhan bahan kimia tambahan dan pembentukan limbah padat B3 gipsum. Metode *pretreatment* yang dievaluasi meliputi *pretreatment* kimia dengan asam lemah atau dengan basa lemah serta *pretreatment* fisika – kimia melalui autohidrolisis/hidrotermal (Harahap dan Kresnowati, 2018).

Pertanyaan yang perlu dijawab adalah bagaimana menyelenggarakan proses hidrolisis enzimatis dan fermentasi yang tepat untuk menghasilkan xilitol secara optimal. Tantangan yang dihadapi adalah kinerja reaksi hidrolisis enzimatis umumnya diinhibisi oleh kehadiran produk yang dihasilkan. Dalam hal ini kehadiran xilosa sebagai produk dari hidrolisis hemiselulosa dapat menghambat kinerja reaksi hidrolisis yang berlangsung. Untuk menjawab pertanyaan ini diusulkan konfigurasi reaksi hidrolisis hemiselulosa tandan kosong sawit menjadi xilosa dan fermentasi xilosa menjadi xilitol secara simultan (*Simultaneous Sacharification and Fermentation* atau SSF) (Burhan dkk., 2019; Hidayatullah dkk., 2021). Selain meningkatkan kinerja reaksi hidrolisis, pelaksanaan kedua reaksi secara simultan dan terintegrasi dapat meningkatkan keekonomian proses karena dilakukan dalam 1 reaktor yang sama. Selanjutnya kondisi operasi proses yang dapat dioptimasi meliputi penentuan temperatur proses, waktu inokulasi atau awal dilakukannya fermentasi xilitol.

Pertanyaan lain yang perlu dijawab adalah bagaimana konfigurasi proses hilir yang tepat agar dapat menghasilkan produk kristal xilitol bermutu dari kaldu fermentasi xilitol menggunakan substrat hidrolisat tandan kosong sawit. Tantangan yang dihadapi adalah tandan kosong sawit merupakan bahan lignoselulosa dengan kandungan yang kompleks, dalam proses *pretreatment* juga dihasilkan senyawa-senyawa turunan lignin, dalam proses fermentasi juga dihasilkan sel-sel ragi dan metabolit lainnya, selain itu xilitol umumnya dihasilkan dalam konsentrasi yang relatif rendah. Secara

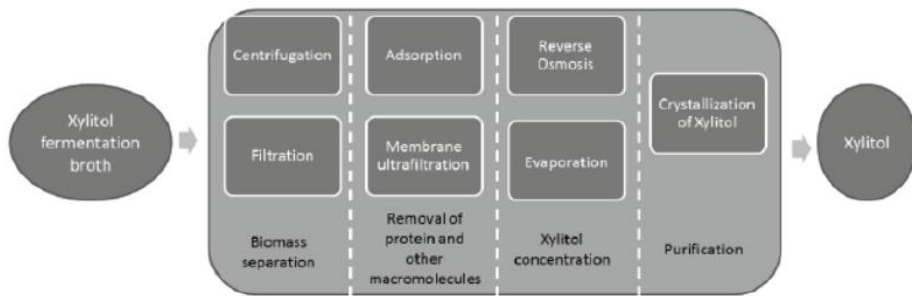


keseluruhan diperlukan rangkaian proses pemisahan, pemekatan, dan pemurnian xilitol. Alternatif proses yang dapat dilakukan untuk proses hilir (pemisahan dan pemurnian xilitol) diuraikan dalam Gambar 28.

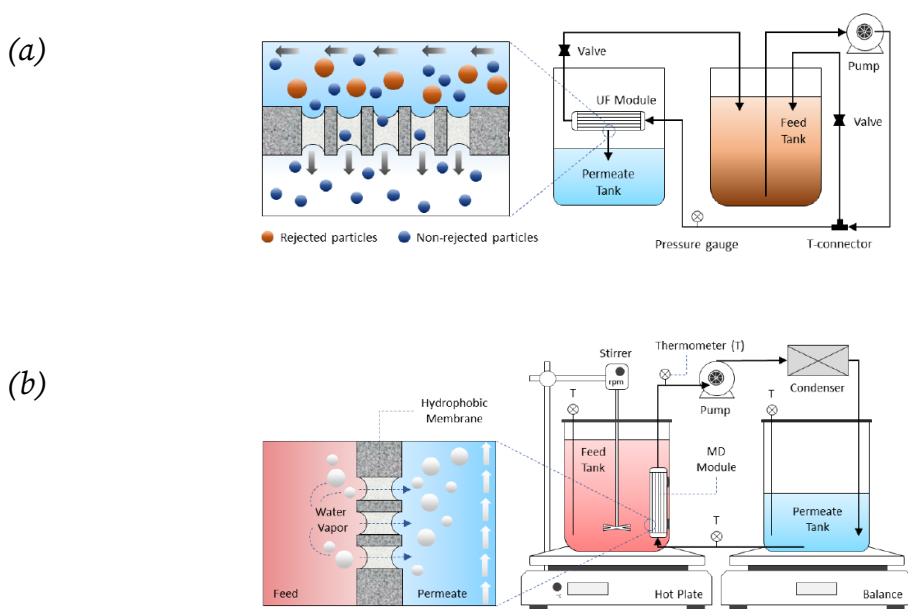


**Gambar 28** Simulasi konfigurasi *Simultaneous Sacharification and Fermentation* untuk produksi xilitol dari tandan kosong sawit (Hidayatullah dkk, 2021).

Sebagai langkah awal, dilakukan karakterisasi proses kristalisasi xilitol dari kaldu fermentasi ragi yang menggunakan substrat hidrolisat tandan kosong sawit (Kresnowati dkk., 2021c). Selanjutnya diusulkan konfigurasi proses hilir berbasis membran, proses inovatif yang menawarkan keunggulan ekonomis untuk memisahkan dan memurnikan xilitol mikrobial dari tandan kosong sawit. Ultrafiltrasi untuk memisahkan xilitol dari sel dan makromolekul yang terkandung pada kaldu fermentasi, elektrodeionisasi untuk memurnikan xilitol, dan membran distilasi untuk memekatkan xilitol, sebelum dilakukan proses kristalisasi (Desiriani dkk., 2024, Julian dkk., 2024, Kresnowati dkk., 2019b).



**Gambar 29** Alternatif konfigurasi proses hilir xilitol mikrobal (Kresnowati dkk, 2015).

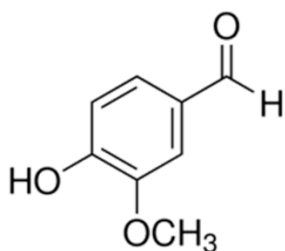


**Gambar 30** Set up eksperimen berbasis membran untuk proses pemisahan dan pemurnian xilitol: ultrafiltrasi untuk pemisahan (a), membran distilasi untuk pemekatan (b).

## 4.5 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Vanilin

Vanillin merupakan bahan perisa pangan yang paling populer di dunia dan dimanfaatkan secara luas pada industri makanan, minuman, parfum, dan kosmetik. Selain itu, vanillin memiliki sifat antioksidan, antimikroba, dan anti-karsinogenik sehingga berpotensi pula dimanfaatkan dalam industri obat-obatan. Secara kimiawi vanillin merupakan senyawa aromatik yang memiliki rantai samping gugus aldehyd, hidroksil, dan eter, dengan rumus molekul  $C_8H_8O_3$ .

Vanillin alami diproduksi dari biji polong tanaman *Vanillus planifolia*, *V. tahitensis*, serta *V. pompona* yang diawetkan (*cured pods*) melalui proses ekstraksi dengan pelarut etanol-air. Untuk memenuhi kebutuhan pasar diproduksi vanilin sintetik menggunakan bahan baku senyawa turunan minyak bumi, guaikol. Lignin yang merupakan polimer aromatik dengan struktur yang kompleks dan heterogen juga telah dieksplorasi sebagai bahan baku produksi lignin. Namun vanilin sintetik yang diproduksi secara kimiawi dikenal memiliki kualitas yang rendah dan dihargai jauh lebih murah daripada vanilin alami. Vanilin sintetik yang dihasilkan melalui konversi biologis dihargai lebih baik daripada vanilin sintetik kimiawi. Produksi vanilin mikrobial menggunakan lignin sebagai bahan baku menjadi alternatif yang menarik. Beberapa jamur yang dilaporkan dapat mengolah lignin menjadi vanilin antara lain kombinasi *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium* atau kombinasi *Aspergillus niger* dan *Pycnoporus cinnabarinus* (Zulkarnain dkk, 2018, Zheng dkk, 2007). Tandan kosong sawit merupakan sumber lignin yang potensial di Indonesia.



**Gambar 31** Rumus molekul vanilin dan beberapa contoh aplikasinya.

Pertanyaan yang perlu dijawab terkait topik ini adalah bagaimana memproduksi vanilin mikrobial menggunakan bahan baku tandan kosong sawit. Metode delignifikasi yang tepat diperlukan agar potongan lignin yang diperoleh kaya akan vanilin atau dapat digunakan oleh mikroba yang tepat untuk dikonversi menjadi vanilin. Tantangan yang dihadapi adalah proses delignifikasi yang umum dilakukan umumnya memotong lignin secara acak sehingga perlu dipelajari apakah senyawa-senyawa turunan lignin yang diperoleh masih dapat dimanfaatkan.

'*Biological funneling*' merupakan salah satu alternatif di mana campuran lignin yang bersifat heterogen terkonversi menjadi suatu senyawa intermediate, kemudian dari senyawa intermediate inilah dipilih jalur metabolik sesuai produk yang diinginkan (Muhammad dan Kresnowati, 2024).

## 4.6 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Enzim

Proses konversi tandan kosong sawit atau bahan lignoselulosa lainnya menjadi bioetanol dan xilitol seperti telah diuraikan sebelumnya memerlukan tahapan hidrolisis. Enzim yang diperlukan meliputi enzim selulase untuk menghidrolisis selulosa dan enzim xilanase untuk menghidrolisis hemiselulosa. Survei internet menunjukkan rentang harga enzim selulase dan xilanase bervariasi dari 1,5 – 130 US\$/kg, bergantung pada aktivitas spesifik enzim, kemurnian, dan skala pembeliannya. Biaya enzim pada proses hidrolisis memberikan kontribusi yang sangat signifikan pada keseluruhan biaya operasional proses. Di lain pihak produksi enzim – enzim ini dikuasai oleh beberapa perusahaan tertentu saja sehingga aksesibilitasnya sangat terbatas. Pertanyaan yang perlu dijawab adalah bagaimana memproduksi enzim selulase dan xilanase yang tepat guna secara efisien dan ekonomis.

Pemilihan jenis mikroba yang akan digunakan sebagai platform produksi enzim merupakan hal krusial yang perlu dilakukan. Studi awal dilakukan untuk menentukan jamur yang potensial untuk memproduksi xilanase, menggunakan *Trichoderma viride*, *Aspergillus niger*, dan *Penicillium sp.* (Mardawati dkk, 2018). Studi serupa dilakukan untuk menentukan jamur yang potensial untuk memproduksi selulase menggunakan *T. viride* dan *T. reesei* (Wonoputri dkk, 2018). Umumnya kedua jenis enzim tersebut dihasilkan secara bersamaan. Pemetaan kondisi operasi yang tepat untuk memproduksi salah satunya secara selektif sangat diperlukan.

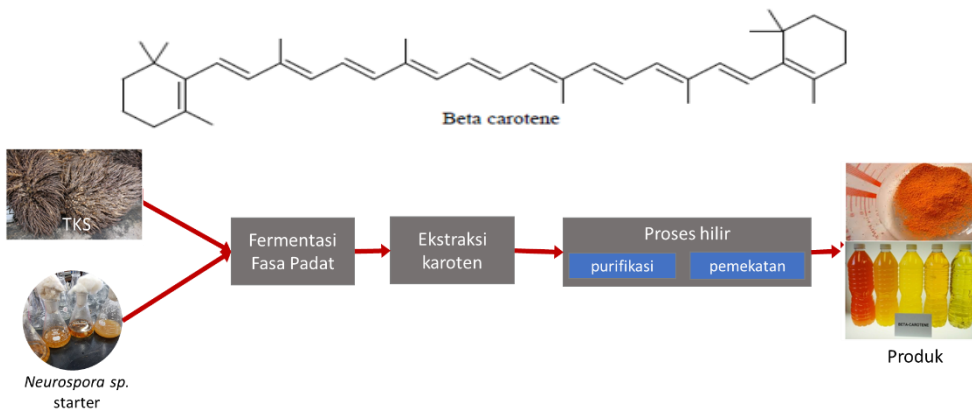
Mempertimbangkan kompleksitas struktur tandan kosong sawit sebagai substrat proses hidrolisis, penggunaan tandan kosong sawit sebagai inducer atau substrat pada proses produksi enzim akan meningkatkan spesifisitas enzim yang dihasilkan. Fermentasi fasa padat, di mana mikroba ditumbuhkan pada padatan substrat tanpa atau dengan air bebas yang sangat terbatas, merupakan usulan metode fermentasi yang menarik untuk dicobakan pada proses produksi enzim selulase atau xilanase. Tantangan penerapan fermentasi fasa padat adalah walaupun metode ini telah lama digunakan, namun teknologi fermentasi fasa padat belum banyak berkembang. Berbagai aspek yang memengaruhi kinerja produksi enzim perlu dipelajari secara komprehensif. Pada produksi enzim xilanase perlakuan pendahuluan substrat padat dan kondisi operasi fermentasi yang meliputi pengudaraan, pengadukan, kelembaban, penghomogenan spora, ketersediaan xilan,

penambahan xilosa dan waktu inkubasi memengaruhi aktivitas enzim yang dihasilkan (Meilany dkk, 2020; Meilany, 2020).

#### 4.7 Pengolahan Tandan Kosong Sawit menjadi Karoten

Karoten merupakan senyawa organik golongan terpen yang memiliki 40 atom karbon. Karoten menyerap sinar ultraviolet, violet, biru, oranye, merah, dan kuning. Khususnya  $\beta$ -karoten memiliki nilai nutrisi sebagai provitamin A, sementara seluruh senyawa karoten merupakan senyawa antioksidan. Karoten umum digunakan sebagai pewarna pangan, suplemen nutrasetikal, dan kosmetik (Bhosale dan Bernstein 2005; Schmidt-Dannert 2000; Mortensen 2009).

Minyak sawit memiliki kandungan karoten yang tinggi (Rodriguez-Amaya, 2001). Limbah pengolahan sawit seperti tandan kosong sawit, serta, dan cangkang sawit juga masih mengandung karoten (Masni, 2004). Pertumbuhan jamur alami berwarna jingga selama penyimpanan tandan kosong sawit di tempat pembuangan sampah dekat pabrik kelapa sawit menunjukkan bahwa tandan kosong sawit merupakan substrat potensial untuk pertumbuhan jamur dan keberadaan jamur tersebut dapat meningkatkan kandungan karotenoid tandan kosong sawit (Kresnowati dkk, 2020). Pertanyaan yang perlu dijawab adalah bagaimana metode fermentasi tandan kosong sawit yang tepat agar dapat menghasilkan karoten secara optimal.



**Gambar 32** Rumus molekul  $\beta$ -karoten dan diagram alir proses produksi karoten dari tandan kosong sawit melalui fermentasi fasa padat.



**Gambar 33** Fermentasi fasa padat tandan kosong sawit untuk produksi karoten: tandan kosong sawit berjamur jingga (a-b), fermentasi fasa padat dengan *Neurospora sp.* pada skala lab (c), bioreaktor drum untuk pelaksanaan fermentasi fasa padat (d), ekstrak karoten (e) .

Sekali lagi fermentasi fasa padat, di mana mikroba ditumbuhkan pada padatan substrat tanpa atau dengan air bebas yang sangat terbatas, merupakan usulan metode fermentasi yang menarik untuk dicobakan pada proses karoten menggunakan substrat tandan kosong sawit. Tantangan selanjutnya adalah menentukan kondisi operasi dan rancangan fermentor yang tepat untuk memfasilitasi produksi karoten secara optimal. Sebuah fermentor berbentuk drum berpengaduk dikembangkan untuk fermentasi fasa padat tandan kosong sawit untuk memproduksi karoten.

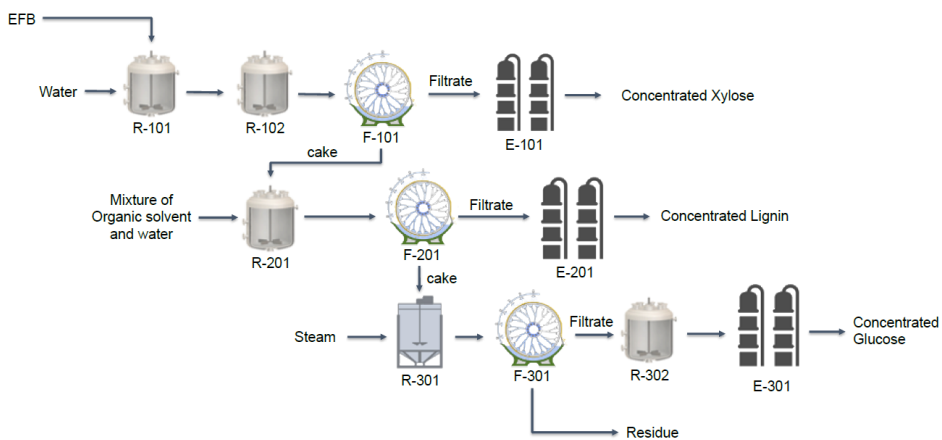
#### 4.8 Kilang Biomassa Terintegrasi Tandan Kosong Sawit

Uraian di atas menunjukkan bahwa kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin, bahkan sisa minyak dalam tandan kosong sawit dapat dimanfaatkan, di antaranya menjadi selulosa dari tandan kosong sawit dapat diolah untuk menjadi bioetanol, kandungan hemiselulosa dari tandan kosong sawit dapat diolah untuk menjadi xilitol, kandungan lignin dari tandan kosong sawit dapat diolah menjadi vanilin, tandan kosong sawit secara keseluruhan dapat digunakan sebagai induser atau substrat untuk produksi enzim selulase dan xilanase, sisa minyak dan gula dalam tandan kosong sawit dapat digunakan untuk produksi karoten. Pertanyaan selanjutnya yang perlu dijawab adalah bagaimana agar seluruh komponen tandan kosong sawit tersebut dapat

dimanfaatkan secara simultan. Konsep ini dinamai kilang biomassa terintegrasi (*integrated biorefinery*).

Pemanfaatan tandan kosong sawit perlu dilakukan secara menyeluruh untuk meningkatkan keekonomian proses yang dikembangkan. Sebagai gambaran keekonomian proses pengolahan tandan kosong sawit untuk produksi bioetanol sebagai bahan bakar, *bulk chemicals* dengan nilai tambah yang relatif rendah, dapat ditingkatkan dengan juga memanfaatkan komponen hemiselulosa dari tandan kosong sawit tersebut untuk produksi xilitol atau memanfaatkan komponen lignin dari tandan kosong sawit tersebut untuk memproduksi vanilin.

Sebuah studi teoretis tentang kelayakan proses fraksinasi tandan kosong sawit menjadi xilosa, lignin, dan glukosa melalui rangkaian proses *pretreatment* hidrotermal – hidrolisis enzimatik untuk menghasilkan xilosa, *pretreatment* organosolv untuk mengambil lignin, dan *pretreatment steam explosion* – hidrolisis enzimatik untuk memperoleh glukosa (Gambar 34) menunjukkan bahwa pada kapasitas pengolahan tandan kosong sawit sebanyak 60 kilo ton/tahun dapat diperoleh tingkat *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 12,4% dan *payback periode* 7 tahun (Mariyana dkk., 2021). Simulasi ini dilakukan dengan asumsi harga jual glukosa, xilosa, dan lignin masing – masing 113, 308,7, dan 594 US\$/ton.

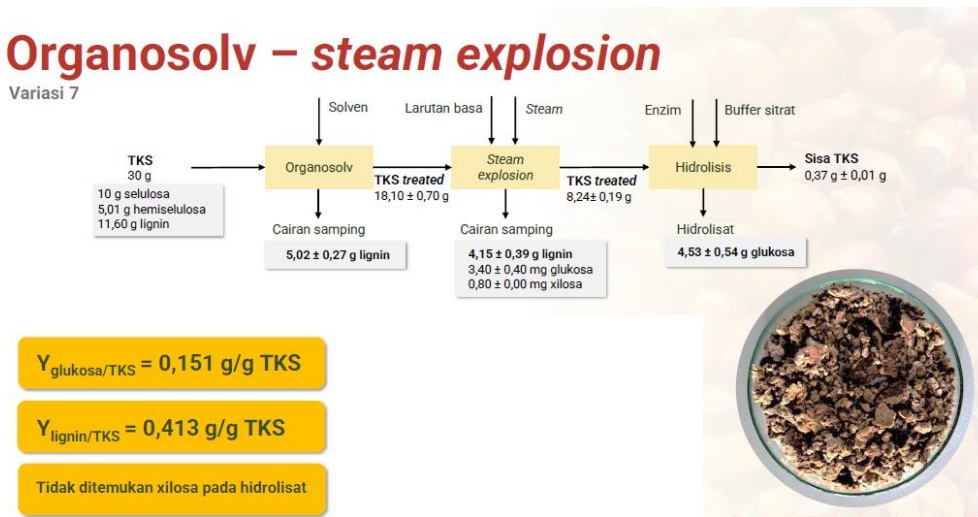


**Gambar 34** Alternatif proses kilang biomassa terintegrasi untuk fraksinasi komponen lignoselulosa tandan kosong sawit (Mariyana dkk, 2021).



Untuk dapat mewujudkan konsep kilang biomassa terintegrasi, konfigurasi proses yang tepat perlu dirancang sedemikian rupa agar seluruh komponen tandan kosong sawit dapat dimanfaatkan secara optimal. Tantangan yang dihadapi adalah suatu jenis *pretreatment* dapat merusak komponen lignoselulosa sehingga tidak dapat dimanfaatkan lagi. Metode *pretreatment* melalui perlakuan asam encer misalnya, cenderung menghasilkan lebih banyak asam – asam alifatik (seperti asam format dan asam asetat), senyawa furan (seperti furfural), yang berpotensi menjadi inhibitor pada proses hidrolisis enzimatik dan fermentasi daripada metode *pretreatment* lainnya (Hidayatullah, 2021).

Lebih lanjut studi laboratorium perlu dilakukan untuk memperoleh data yang akurat tentang perolehan dan persentase kehilangan masing – masing komponen lignoselulosa dari setiap konfigurasi *pretreatment* yang diterapkan. Salah satu usulan konfigurasi proses *pretreatment* organosolv – *steam explosion* seperti disajikan pada Gambar 35. Analisis neraca massa yang dilakukan menunjukkan bahwa pada konfigurasi *pretreatment* ini hampir seluruh kandungan lignin tandan kosong sawit dapat dipulihkan, tetapi demikian tidak ada xilosa yang dapat diperoleh dari konfigurasi *pretreatment* ini.



**Gambar 35** Analisis neraca massa gabungan *pretreatment* organosolv – *steam explosion* untuk kilang biomassa terintegrasi (Kresnowati dkk, 2024).



## 5. Penutup

Potensi biomassa Indonesia sangatlah besar dan beragam. Anugerah kekayaan ini patut disyukuri dengan penguasaan berbagai teknologi pengolahan biomassa, terutama untuk jenis-jenis biomassa yang merupakan komoditas unggulan Indonesia, sehingga kita dapat berdiri tegak dan berdaulat sebagai bangsa.

Teknologi bioproses merupakan alternatif teknologi pemrosesan yang memanfaatkan proses-proses biologis menggunakan sel hidup seperti mikroba maupun komponen sel hidup seperti enzim. Secara umum teknologi bioproses menawarkan keunggulan dapat dioperasikan pada kondisi moderat, sehingga dengan mudah dapat diterapkan pada berbagai skala, dan spesivitas yang tinggi. Dalam naskah ini telah disajikan beberapa contoh pengembangan teknologi bioproses untuk pengolahan biomassa yang dominan di Indonesia, yaitu kakao atau coklat, singkong, dan tandan kosong kelapa sawit.

Pengembangan teknologi bioproses untuk pengolahan kakao telah diinisiasi. Pemetaan komposisi metabolit biji kakao menunjukkan perbedaan yang signifikan antara biji kakao dengan perlakuan fermentasi dan penyangraian/pemangangan (*roasting*) yang berbeda. Hal ini menegaskan pentingnya proses fermentasi dalam pembentukan aroma dan rasa biji kakao. Penambahan starter mikroba dapat mempercepat pelaksanaan proses fermentasi dan komposisi starter mikroba akan memengaruhi kualitas hasil fermentasi biji kakao. Perancangan bioreaktor serta prosedur pelaksanaan fermentasi yang tepat dapat mendorong dilaksanakannya proses fermentasi oleh kelompok-kelompok petani sehingga dapat meningkatkan kualitas produk dan diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan petani. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan memvariasikan berbagai komposisi starter mikroba dan menganalisis profil metabolit biji kakao yang dihasilkan. Hal ini akan membuka peluang inovasi produk-produk khusus (*specialty products*) baru.

Pengembangan teknologi pengolahan singkong telah dilakukan secara sistematis mulai dari level laboratorium hingga level industri/komersial melewati TKT 1 sampai 9 secara runut dan secara komprehensif, baik dari sisi teknologi maupun produk-produk turunannya. Selain waktu dan biaya, faktor

manusia: kepemimpinan, jejaring kerja sama dan lembaga merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan teknologi tersebut. Pengembangan produk – produk turunan fercaaf yang merupakan produk – produk final yang dapat secara langsung dikonsumsi oleh masyarakat perlu terus dilakukan untuk memfasilitasi komersialisasi teknologi fercaaf, dalam rangka meningkatkan kemandirian pangan bangsa Indonesia.

Pengembangan teknologi bioproses untuk pengolahan tandan kosong sawit telah dilakukan untuk beberapa produk yang potensial. Pengembangan proses, secara menyeluruh, ini perlu terus ditekuni hingga diperoleh proses – proses yang terbukti. Proses–proses tersebut perlu diintegrasikan dalam suatu rancangan proses yang lebih besar dan menyeluruh (kilang biomassa terintegrasi/*integrated biorefinery*) agar dapat dilaksanakan secara ekonomis pada skala komersil.

Pengembangan teknologi bioproses untuk pengolahan biomassa unggulan Indonesia lainnya perlu terus dilakukan. Biomassa sumber karbohidrat umumnya memiliki karakteristik spesifik yang dapat membatasi potensi pemanfaatannya. Sebagai contoh ubi jalar memiliki aroma dan warna yang khas, porang memiliki kandungan asam oksalat yang tinggi, demikian pula dengan sumber–sumber karbohidrat potensial khas Indonesia lainnya seperti ubi cilembu, sorgum, hanjeli, sukun, biji nangka. Pengembangan teknologi bioproses dalam pengolahan umbi–umbian dan sumber karbohidrat potensial khas Indonesia perlu dikembangkan lanjut sehingga dapat memperluas potensi penggunaannya di industri pangan.

Dalam kaitannya dengan penerapan konsep ekonomi sirkular pengembangan teknologi bioproses dapat dilakukan untuk mengolah sumber – sumber bahan baku yang saat ini masih dianggap kurang lazim. Biomassa limbah pertanian dapat diolah menjadi bahan kemasan, misalnya batang tomat dapat diolah sebagai bahan kemasan cerdas (*smart packaging*) buah tomat sehingga juga memberi nilai tambah memperpanjang waktu simpan buah tomat tersebut dan meningkatkan keekonomian industri tersebut secara keseluruhan. Biomassa limbah industri perikanan dapat diolah menjadi sumber bahan *nutraceutical*, misalnya tulang ikan dapat diolah sebagai bahan baku produksi gelatin yang banyak digunakan di industri pangan dan farmasi. Selain menerapkan konsep ekonomi sirkular, pengembangan gelatin dari tulang ikan juga akan menunjang pengembangan industri pangan dan farmasi

halal di Indonesia, dan menunjang pengembangan perekonomian halal di Indonesia secara keseluruhan.

Dalam beberapa contoh juga ditunjukkan potensi penggunaan metode fermentasi fasa padat untuk pengolahan biomass (fermentasi fasa padat untuk produksi enzim selulase dan xilanase, fermentasi fasa padat untuk produksi karoten, fermentasi biji kakao). Walaupun belum banyak dikembangkan lanjut, metode fermentasi ini menawarkan banyak keunggulan seperti kemudahan dalam aspek sterilisasi, penggunaan air yang terbatas, serta tidak banyak menghasilkan limbah. Mengingat wujud biomassa yang berupa padatan dan umumnya tidak larut dalam air, metode fermentasi ini perlu dikembangkan lanjut untuk mengolah biomassa. Pengembangan yang dapat dilakukan meliputi rancangan jenis dan konfigurasi bioreaktor yang sesuai, juga pengembangan sensor dan metode pengendalian parameter-parameter operasi yang penting. Walaupun masih sangat menantang pengembangan dan simulasi model fermentasi fasa padat akan membantu mempercepat penerapan fermentasi fasa padat untuk pengolahan biomassa di Indonesia.

Untuk mengaplikasikan hasil penelitian di skala laboratorium pada skala industri, perlu dilakukan peningkatan skala (*scale up*) secara bertahap dari skala laboratorium, skala bangku, skala pilot, sampai skala industri. Hal ini merupakan tantangan tersendiri, khususnya mengingat bahwa selain aspek – aspek teknis operasi, proses-proses biologis juga melibatkan sel hidup seperti mikroba. Hal yang menjadi *bottleneck* dapat berbeda pada setiap tahapannya, dan hal ini perlu ditinjau secara komprehensif untuk mencegah terjadinya kegagalan, jatuh ke lembah kematian teknologi (Gambar 17). Di lain pihak, untuk meneliti mekanisme yang terjadi praktik-praktik yang telah dilakukan pada skala besar, seperti proses pengomposan atau fermentasi biji kakao, perlu dilakukan pengecilan skala (*scale down*) yang juga tidak sederhana untuk dilakukan.

Pada penelitian fermentasi biji kakao juga dilakukan analisis metabolomik terhadap biji kakao dan menegaskan pentingnya proses fermentasi terhadap pembentukan rasa dan aroma biji kakao. Analisis metabolomik dapat dilakukan terhadap biomassa – biomassa lainnya, terutama yang berkaitan dengan komoditas pangan. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk merancang dan memperbaiki proses pengolahan biomassa tersebut dan dapat dihasilkan produk-produk inovatif baru.

Akhirul kata, potensi biomassa Indonesia sangatlah besar marilah kita bergandeng tangan, bekerja sama mengembangkan inovasi-inovasi teknologi untuk kemaslahatan bangsa. Membangun Indonesia berbasis bioekonomi. Semoga Allah meridai niat dan usaha kita.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt., atas segala nikmat, karunia, dan rahmat yang telah dikaruniakan-Nya, serta secara khusus atas amanah sebagai Guru Besar di Institut Teknologi Bandung (ITB) dalam bidang Teknologi Bioproses.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat Rektorat dan Pimpinan Institut Teknologi Bandung, Pimpinan dan Anggota Senat Akademik ITB, Pimpinan dan anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyampaikan orasi ilmiah pada forum yang sangat terhormat ini.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada semua pihak yang telah mendukung karier saya selama ini sehingga dapat mencapai jabatan akademik Guru Besar di ITB. Penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan nama ataupun gelar dan penulis juga mohon maaf sebesar-besarnya kepada pihak-pihak lain yang turut berperan namun luput, belum tertulis dalam uraian ini.

Terima kasih saya yang tak ternilai kepada kedua orang tua penulis yang terkasih, ayahanda I Nyoman Susila dan ibunda Dien Sukardinah, serta ibu mertua saya Retno Widjjaningsih; yang telah dengan tulus dan tak kenal lelah senantiasa mendoakan dan mendukung saya. Terima kasih yang tulus kepada keluarga kecil penulis yang tercinta: suami Wawan Dhewanto dan anak-anak saya Thaariq Ibrahim Kresnodhewanto, Shiddiq Bagassakho Kresnodhewanto, serta Idris Shalahuddin Wira Kresnodhewanto yang selalu setia menemani, memberikan dukungan penuh dan mewarnai hidup saya sehingga menjadi sumber kekuatan dan inspirasi bagi penulis dalam mencapai hal-hal baik di kehidupan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih untuk kakak I Putu Dwi Wiska Susetio dan Ierma Vitriani, adik Ratna Dhamayanti dan Kartika Ryan Sanjaya, adik Mahendra Wardhana dan Awalia Rachmawati beserta seluruh keluarga atas doa dan dukungannya.

Dekanat dan Pimpinan Fakultas Teknologi Industri ITB, Prof. Brian Yulianto, Prof. Yogi Wibisono Budhi. dan Prof. Ari Widyanti yang sedari awal mendorong dan mengawal proses pengusulan guru besar saya sejak dari awal di ITB hingga menjadi Guru Besar.

Ir. Wibowo M.H. Suryowijoyo (alm), M.Sc, Drs. Achmad Ali Syamsuriputra (alm), Prof. Tjandra Setiadi, Prof. Yazid Bindar, Prof. I G Wenten, dan Prof. Dwiwahju Sasongko yang telah berperan sebagai mentor, menyemangati, menginspirasi, mendorong dan mendukung penulis untuk menjadi dosen yang lebih baik.

Prof. J.J. Heijnen, Dr. Walter van Gulik, dan Dr. Wouter van Winden, promotor dan pembimbing penulis selama studi S-2 dan S-3 di TU Delft, Belanda, yang telah dan memberi contoh bagaimana menjadi pendidik dan peneliti yang baik.

Dr. Garreth Forde dan Prof. Xiao Dong Chen, yang menjadi *host* dan supervisor penulis ketika melakukan riset post doctoral di Monash University, Australia.

Dr. Ramaraj Boopathy dari Nicholls State University USA, Prof. Misri Gozan (Teknik Kimia UI), Prof. Nyoman Widiasta (Teknik Kimia Undip), Teh Prof. Fenny Martha Dwivany (SITH ITB), Prof. Ketut Wikantika (FITB ITB), Prof. Tjandra Setiadi (KK Produk Teknik Kimia Berkelanjutan FTI ITB), dan Prof. Yazid Bindar (KK Teknik Pangan dan Kemurgi FTI ITB) yang telah memberikan rekomendasi guru besar untuk penulis.

Dr. Tatang Hernas Sorawidjaja, Prof. Herri Susanto, Prof. Subagjo, Prof. Danu Ariono, Prof. Mubiar Purwasasmita (alm), Ir. G. Handi Argasetya (alm), dan seluruh guru-guru penulis di Teknik Kimia ITB yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Bapak/Ibu guru penulis di SMAN 3 Bandung, SMP dan SD Taruna Bakti Bandung.

Prof. Lienda Aliwarga, Prof. Ronny Purwadi, Dr. Dianika Lestari, Dr. Dian Shofinita, Dr. Helen Julian, Dr. Burhannudin Sutisna, Dr. Daniel Pramudita, dan Giovanni Arneldi Sumampouw, M.Sc., rekan-rekan seperjuangan di program studi Teknik Pangan FTI ITB yang telah dan selalu bahu-membahu bergotong-royong membangun dan mengembangkan program studi kita tercinta.

Prof. Lienda Aliwarga, Prof. Yazid Bindar, Prof. Ronny Purwadi, Dr. Dianika Lestari, Dr. Meiti Pratiwi, Dr. Dian Shofinita, Dr. Astri Nuristyami, Dr. Aqsho, Dr. Burhannudin Sutisna, dan Dr. Daniel Pramudita, rekan-rekan

seperjuangan di Kelompok Keahlian Teknik Pangan dan Kemurgi FTI ITB. Juga Prof. Tirto Prakoso, Dr. C.B. Rasrendra, Dr. Antonius Indarto, Dr. Jenny Rizkiana yang selalu aktif menyemarakkan atmosfir akademik di FTI Jatinangor.

Dr. Harry Devianto, Dr. Antonius Indarto, Dr. Elvi Restiawaty, Dr. Iwan Prasetyo, Dr. Mohammad Kemal Agusta, Dr. Made Andriani, Dr. Wisnu Aribowo, Dr. Khoirul Muslim, Dr. Hasrini Sari, dan Dr. Estiyanti Ekawati, rekan – rekan seperjuangan kaprodi di lingkungan FTI dengan masa jabatan yang beririsan dengan penulis.

Dr. Ukan Sukandar, Prof. Tjandra Setiadi, Prof. Ronny Purwadi, Dr. Ardiyan Harimawan, Dr. Vita Wonoputri, Dr. Guntur Adisurya, dan adik – adik penjaga lab (Teh Dewi, Ratna, dan Wahyu) yang senantiasa bekerja sama menyemarakkan aktivitas di Lab Rekayasa Bioproses Teknik Kimia ITB.

Haryo Satriyo Tomo, S.T, M.T., Dr. Adyati Pradini Yudison, Dr. Kania Dewi, Mbak Egi, dan Mbak Fira, rekan-rekan tim pengujian masker, Lab Udara FTSL ITB.

Prof. Tati Suryati Syamsudin, Dr. Ilma Nugrahani, Prof. Zeily Nurachman, dan teman-teman di Pusat Kajian Halal ITB.

Dr. Sri Harjati Suhardi, Dr. Ernawati Giri Rahman dan teman-teman di Pusat Penelitian Biosains dan Bioteknologi ITB yang sudah menerima penulis dengan tangan terbuka.

Prof. Udin Hasanudin dan Dr. Tanto Pratondo Utomo (Unila), Prof. Agus Yodi Gunawan (FMIPA ITB), Prof. Agus Dana Permana dan Dr. Azzania Fibriani (SITH ITB), Dr. Catur Riani (SF ITB) untuk diskusi dan kolaborasi riset yang telah dilakukan.

Ir. Pantjoro Sunu Wasisto dari PT. CIE79 dan Pak Daryono dari PT. Swasembada Pangan Lokal untuk kerja sama pengembangan dan komersialisasi fercaf.

Dr. Azka Azkiya Choliq, Dr. Rina Mariyana, Nur Aini Merdekawati, S.Si. serta teman – teman Research & Development PT Rekayasa Industri dan Dr. Krisna Septiningrum dari BBIA Kemenperin, teman-teman seperjuangan untuk mewujudkan bioetanol dan *biorefinery* tandan kosong sawit.

Ir. Thomas Darmawan, Prof. Mukund Karwe, Prof. Agung Hendriadi, Ir. Eddy Kemenady, M.M., M.P, Ir. Hartono Atmadja, M.M., Edmon Chairul, S.T., MBA, Filda Citra Yusgiantoro, S.T., MBM, MBA, Ph.D, rekan-rekan anggota Advisory Board program studi Teknik Pangan atas diskusi, masukan, dan dukungannya untuk pengembangan prodi Teknik Pangan FTI ITB.

L'Oreal FWIS dan komunitas L'Oreal FWIS *sisterhood*, teman-teman seperjuangan wanita peneliti.

Seluruh rekan-rekan sejawat dosen-dosen staf akademik Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Program Studi Sarjana Teknik Bioenergi dan Kemurgi, Program Sarjana Studi Teknik Pangan, Program Studi Magister dan Doktor Teknik Kimia, FTI ITB atas kebersamaannya selama ini yang menciptakan suasana guyub, bahagia dan riang gembira di komunitas kita.

Seluruh staf tenaga kependidikan Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Program Studi Sarjana Teknik Bioenergi dan Kemurgi, Program Sarjana Studi Teknik Pangan, Program Studi Magister dan Doktor Teknik Kimia, FTI ITB atas bantuan dan dukungannya selama ini.

Para alumni dan mahasiswa S-3 yang penulis bimbing, Dr. Efri Mardawati, Dr. Astri Nuristyami, Dr. Dyah Meilany (alm), Dr. Ibnu Hidayatullah, Dr. Rustam, Noviani Arifina Istiqomah, Saepul Adnan, Adelina Manurung, Rifah Ediaty, Umi Rofiqoh, Aida Nur Ramadhani, dan Nia Ariani Putri yang merupakan pasukan ilmiah, bersama mengembangkan keilmuan yang saya alami selama ini. Demikian pula para alumni dan mahasiswa S-2 dan S-1 bimbingan penulis yang tidak dapat penulis tuliskan satu per satu di sini.

Teman – teman alumni TU Delft, Belanda dan komunitas Indonesia di Belanda untuk persaudaraannya yang tidak lekang oleh waktu.

Teman – teman Teknik Kimia ITB 95 untuk pertemanannya, selalu siap sedia membantu almamaternya.

Seluruh anggota komunitas ibu-ibu muda 'Emak Modis', komunitas dosen muda 'Cuan Ki', komunitas ibu-ibu 'Rumah Harmoni', teman-teman Kokesma ITB, teman – teman SMAN3 95, dan teman-teman '*parents*' baseball SAF dan baseball/softball Gorgeous yang telah mewarnai hari-hari penulis dengan aktivitas selain akademik.



Keluarga besar Soekardiman dan keluarga besar Ketut Nara, untuk kekompakan dan kebersamaannya dalam kebaikan.

Keluarga besar Kanayakan.

Eyang-eyang pengurus yayasan dan para guru di Bunda Ganesha, tempat penulis mempercayakan anak-anak sejak bayi sampai Taman Kanak-Kanak selama 16 tahun terakhir sehingga memungkinkan penulis memiliki '*me time*' untuk berkiprah dan berkontribusi sebagai dosen di ITB.



# DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, K.A., Khalil, S.K. (2010). Modified Starches and Their Usage in Selected Food Products. *Journal of Agriculture Science*, 2(2):90–100.
- Anggraini, I.D., Keryanti, Kresnowati, M.T.A.P., Purwadi, R., Noda, R., Watanabe, T., Setiadi, T., Bioethanol production via syngas fermentation of clostridium ljungdahlii in a hollow fiber membrane supported bioreactor, *International Journal of Technology*, 2019, Vol. 10(3), hal. 481-490, DOI: <https://dx.doi.org/10.14716/ijtech.v10i3.2913>
- Anggraini, Irika, Kresnowati, M.T.A.P., Purwadi, Ronny, Setiadi, Tjandra, Bioethanol Production via Syngas Fermentation, The 24th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2017), MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 156, article number 03025, EDP Sciences, DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815603025>
- Baudel, H., Abreu, C., & Zaror, C. (2005). Xylitol production via catalytic hydrogenation of sugarcane bagasse dissolving pulp liquid effluents over Ru/C catalyst. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 80(2), 230-233. <http://dx.doi.org/10.1002/jctb.1155>
- Bhosale P, Bernstein PS (2005) Microbial xanthophylls. *Appl Microbiol Biotechnol* 68(4):445–455. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0032-8>
- Blagbrough, I.S., Bayoumi, S.A.L., Rowan, M.G., Beeching, J.R. (2010) Cassava: An Appraisal of Its Phytochemistry and Its Biotechnological Prospects. *Journal of Phytochemistry*, 71, 1940–1951.
- Brauman, A., Kéléké, S., Malonga, M., Miambi, E., Ampe, F. (1996). Microbiological and biochemical characterization of cassava retting, a traditional lactic acid fermentation for foo-foo (cassava flour) production. *Applied Environmental Microbiology*, 62, 2854.
- Burhan, K.H., Kresnowati, M.T.A.P., Setiadi, T., Evaluation of Simultaneous Saccharification and Fermentation of Oil Palm Empty Fruit Bunch for Xylitol Production, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 2019, vol. 14(3), hal. 559-567, DOI: <https://doi.org/10.9767/bcrec.14.3.3754.559-567>
- Burhan, K.H., Ricky, Rudly, C., Kresnowati, M.T.A.P., Evaluation of Solid State Fermentation and Conventional Oven Drying for Development of Microbial Starter for Fermented Cassava Flour Production, *Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo*, 2017
- Cempaka, L., Aliwarga, L., Purwo, S., Kresnowati, M.T.A.P., Dynamics of Cocoa Bean Pulp Degradation during Cocoa Bean Fermentation: Effects

- of Yeast Starter Culture Addition, *J. Math. Fund. Sci.*, Vol. 46(1), 2014, hal. 14-25
- Chang, S. H. (2014). An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production. *Biomass and Bioenergy*, 62, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.002>
- da Silva, S.S., Chandel, A.K. 2012. D-Xylitol: Fermentative Production, Application and Commercialization, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31887-0>
- Desiriani, R., Kresnowati, M.T.A.P., Julian, H., Wenten, I G. Membrane-based processes for xylitol production from oil palm empty fruit bunches hydrolysate fermentation broth. *Journal of Food Science and Technology*. 2024 submitted
- Hambali, Erliza. "Peran teknologi proses agroindustri dalam pengembangan industri hilir kelapa sawit." (2010).
- Harahap, B.M., Kresnowati, M.T.A.P., Moderate pretreatment of oil palm empty fruit bunches for optimal production of xylitol via enzymatic hydrolysis and fermentation, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-017-0299-x>
- Hidayatullah, I.M. (2021): Pengaruh senyawa turunan lignoselulosa dan strategi peningkatan produktivitas pada fermentasi xilitol dari hidrolisat tandan kosong kelapa sawit, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Hidayatullah, I.M., Makertihartha, I G.B.N., Setiadi, T., Kresnowati, M.T.A.P. Modelling Based Analysis and Optimization of Simultaneous Saccharification and Fermentation for the Production of Lignocellulosic-Based Xylitol, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 2021, 16 (4), 857-868, <https://doi.org/10.9767/bcrec.16.4.11807.857-868>
- Heuberger, C.; "Cyanide content of cassava and fermented products with focus on attiek' e' and attiek' e garba", Disertasi Doktor, Swiss Federal Institute of Technology, 2005
- Julian, H., Salam, W.Q., Kresnowati, M.T.A.P. Concentration and Crystallization of Microbial Xylitol from Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) using Submerged Direct Contact Membrane Distillation (DCMD) *Journal of Food Engineering* 2024 submitted
- Keryanti, Kresnowati, M.T.A.P., Setiadi, T., Evaluation of gas mass transfer in reactor for syngas fermentation, *AIP Conference Proceedings*, 2019, 2085, 1, 20008, <https://doi.org/10.1063/1.5094986>

- Krista, G.M., Kresnowati, M.T.A.P. Modeling the synthetic gas fermentation for bioethanol production, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022, 963, 012013, doi:10.1088/1755-1315/963/1/012013
- Kresnowati, M.T.A.P., Manurung, A., Ilman, H.N., Kiranaseta, P. Quantitative Assesment of Integrated Biorefinery of Oil Palm Empty Fruit Bunches for The Realization of Circular Economy. Final Report Asahi Foundation Research Grant. 2024
- Kresnowati, M.T.A.P., Bindar, Y., Memahami Pengembangan Teknologi Dan Produk Industri Proses Dari Tahap Riset Ke Tahap Komersial: Studi Kasus Pengembangan Industri Fercaf, Jurnal Sositologi (2021a) Vol. 2 (2) , doi: <https://doi.org/10.5614/sostek.itbj.2021.20.2.2> (ISSN: 1858-3474 E-ISSN: 2443-258X)
- Kresnowati, M.T.A.P., Bindar, Y., Adeline, Hermanto, P., Metode Produksi Tepung Peuyeum Dari Umbi Singkong Sebagai Bahan Baku Produk Pangan, didaftarkan untuk paten Indonesia P00202105955 (2021b)
- Kresnowati, M.T.A.P, Dwinta, F., Zukriwati, S. Downstream Processing of Xylitol from Oil Palm Empty Fruit Bunch Hydrolysate, Jurnal Teknik Kimia Indonesia, 2021c
- Kresnowati, M.T.A.P., Lestari, D., Anshori, M., Jafar, R.M. Production of carotenoids from oil palm empty fruit bunches, IOP Conf. Ser.:Earth Environ. Sci. (2020) 460 012025, DOI: 10.1088/1755-1315/460/1/012025
- Kresnowati, M.T.A.P., Turyanto, L., Zaenuddin, A., Trihatmoko, K., Effects of Microbial Starter Composition on Nutritional Contents and Pasting Properties of Fermented Cassava Flour, ASEAN Journal of Chemical Engineering, 2019a, vol. 19 (1), hal. 12-24, DOI: <https://doi.org/10.22146/ajche.50871>
- Kresnowati, M.T.A.P., Regina, D., Bella, C., Wardani, A.K., Wenten, I.G., Combined ultrafiltration and electrodeionization techniques for microbial xylitol purification, Food and Bioproducts Processing, 2019b, Vol. 114, hal. 245-252, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.01.005>
- Kresnowati, M.T.A.P., Bindar, Y., Rahmina, F., Development of Instant Microbial Starter for Production of Fermented Cassava Flour: Effect of Vacuum Drying Temperature, Carrier Media, and Storage Temperature, Journal of Engineering and Technological Sciences, 2018, Vol. 50(6), hal. 832 – 840, DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.6.6
- Kresnowati, M.T.A.P., Fitriana, H.N., Purwadi, R. Mapping the Effects of Cocoa Post Harvest Processing on Cocoa Bean Quality by Metabolic Profiling Method Using GC/MS, Reaktor, 2017a, 17(3), DOI: <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.3.132-139>

- Kresnowati, M.T.A.P., Desiriani, R., Wenten, I.G., Ultrafiltration of Hemicellulose Hydrolysate Fermentation Broth, AIP Conference Proceeding, 2017b, 1818 (1), 020024
- Kresnowati, M.T.A.P., Febriami, H., Mapping The Effects Of Starter Culture Addition On Cocoa Bean Fermentation, ASEAN Eng J Part B, Vol. 5, No. 1; 2016
- Kresnowati, M.T.A.P., Bindar, Y., Aliwarga, L., Lestari, D., Adzqia, F., Dwianto, L.N., Hazar, M. Fermentor Untuk Memproduksi Tepung Singkong Terfermentasi 2016a (P00201607709), paten Indonesia Granted
- Kresnowati, M.T.A.P., Setiadi, T., Tantra, T.M., Rusdi, D., Microbial Production of Xylitol from Oil Palm Empty Fruit Bunch Hydrolysate: Effects of Inoculum and pH, J. Eng. Technol. Sci. Vol. 48, No. 5, 2016b
- Kresnowati, M.T.A.P., Listianingrum, Zaenudin, A., Trihatmoko, K, The Effect of Microbial Starter Composition on Nutritional Content of Fermented Cassava Flour, AIP Proceeding vol. 1669, International Conference of Chemical and Material Engineering, Semarang, 2015a
- Kresnowati, M.T.A.P., Mardawati, E., Setiadi, T., Production of Xylitol from Oil Palm Empty Fruits Bunch: A Case Study on Bio refinery Concept, Modern Applied Science; Vol. 9, No. 7; 2015b
- Kresnowati, M.T.A.P., Bindar, Y., Aliwarga, L., Lestari, D., Prasetya, N., Tanujaya, A. R. Effects of Retting Media Circulation and Temperature on the Fermentation Process in Soft-Texture and Low Cyanogenic Content Cassava Flour Production, ASEAN Journal of Chemical Engineering, vol. 14(2), 2014, hal. 67-75
- Kresnowati, M.T.A.P., Suryani, L., Affifah, M. Improvement of Cocoa Beans Fermentation by LAB Starter Addition, Journal of Medical and Bioengineering Vol. 2, No. 4, 2013
- Kresnowati, M., Ardina, A. B., & Oetomo, V. P. (2012). From Palm Oil Waste to Valuable Products: Microbial Production of Xylitol 19th Regional Symposium of Chemical Engineering, Bali, Indonesia
- Lambert, S., Cocoa Fermentation: General Aspects, 2007, <http://www.canacacao.org>.
- Lestari, D., Bindar, Y., Kresnowati, M.T.A.P., Aurinda, D.A., Gunawan, E. Effect of Hydrodynamic Flow Modes in Cassava Chips Retting Fermentor for Production of Fermented Cassava Flour, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia: Sustainable Energy and Mineral Processing for National Competitiveness, Yogyakarta, 12-13 Oktober 2015
- Lestari, D., Kresnowati, M.T.A.P., Rahmani, A., Aliwarga, L., and Bindar, Y., Effect of Hydrocolloid on Characteristics of Gluten Free Bread from Rice

- Flour and Fermented Cassava Flour (Fercaf), *Reaktor*, 2019, 19(3), 89-95, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.19.3.89-95>.
- Mardawati, E., Kresnowati, M.T.A.P., Purwadi, R., Bindar, Y., Setiadi, T., Fungal Production of Xylanase from Oil Palm Empty Fruit Bunches via Solid State Cultivation, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2018, Vol. 8(6), hal. 2539-2546
- Mardawati, E., Wira, D.W., Kresnowati, M.T.A.P., Purwadi, R., Setiadi, T., Microbial Production of Xylitol from Oil Palm Empty Fruit Bunches Hydrolysate: The Effect of Glucose Concentration, *Journal of the Japan Institute of Energy*, 94, 2015, hal. 769-774
- Mariyana, R., Choliq, A.A., Rahmanto, K.A., Nugroho, Y., Purwadi, R., Kresnowati, M.T.A.P., Septiningrum, K., Dabukke, F.B.M.; Integrated Biorefinery Technology: Monetization of Oil Palm Empty Fruit Bunch to Biofuel & Bio-based Chemicals, and Beyond, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* (2021) 1143 012053, doi:10.1088/1757-899X/1143/1/012053
- Masni (2004) Study on utilization of palm oil mill wastes as a source of carotenoid, dissertation IPB University
- McGovern, P.E., Glusker, D.L., Exner, L.J., Volgt, M.M. 1996. Neolithic esinated wine. *Nature*. 381: 480-481
- Meilany, D. (2020): Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Produksi Xilanase Melalui Fermentasi Fasa Padat, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung. Rodriguez-Amaya, 2001
- Meilany, D., Anugeraheni, D., Aziz, A., Kresnowati, M.T.A.P., Setiadi, T., The Effects of Operational Conditions in Scaling Up of Xylanase Enzyme Production for Xylitol Production, *Reaktor* (2020), Vol. 20(1), hal. 32-37, DOI: <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.20.1.32-37>
- Meitha, A., Bindar, Y., Kresnowati, M.T.A.P., Effects of Cassava Chips Fermentation Conditions on The Produced Flour Properties, *AJChE* 2016, Vol. 16, No. 1, 50 – 58
- Montagnac, J.A.; Davis, C.R.; Tanumihardjo, S.A., Processing Techniques to Reduce Toxicity and Anttnutrients of Cassava for Use as a Staple Food, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 8 (2009), 17-27.
- Mortensen A (2009) Supplements. In: Britton G, Liaaen-Jensen F, Pfander H (eds) *Carotenoids: nutrition and health*, vol 5. Ch.4. Birkhauser Verlag Basel, pp 67–82. ISBN 978-3-7643-7500-3
- Muhammad, S.A., Kresnowati, M.T.A.P. Preliminary study of biological route of vanilin production from palm oil empty fruit bunch (EFB) delignification liquor. *AIP Conf. Proc.* 7 March 2024; 3073 (1): 040002. <https://doi.org/10.1063/5.0196016>

- Mukti, R., Kresnowati, M.T.A.P., Setiadi, T. Challenges in Syngas Fermentation for Bioethanol Production: Syngas Composition. *Engineering Chemistry*, 2023, 1, 9-19
- Omar, R., Idris, A., Yunus, R., Khalid, K., & Aida Isma, M. I. (2011). Characterization of empty fruit bunch for microwave-assisted pyrolysis. *Fuel*, 90(4), 1536–1544. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.01.023>
- Parajó, J.C., Domínguez, H., Domínguez, J.M. Biotechnological production of xylitol. Part 2: Operation in culture media made with commercial sugars, *Bioresource Technology*, 1998 Volume 65, Issue 3, [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00036-4)
- Pertiwi, L.A., Rahmayanthie, J.E. 2023. Pengembangan Produk Pangan Sarapan Fercap Dengan Metode Ekstrusi. Skripsi Program Studi Sarjana Teknik Pangan ITB
- Prasenjit Chakraborty, Ramesh Kumar, Sankha Chakraborty, Shouvik Saha, Sujoy Chattaraj, Somagni Roy, Avishek Banerjee, Suraj K. Tripathy, Alak Kumar Ghosh, Byong-Hun Jeon, Technological advancements in the pretreatment of lignocellulosic biomass for effective valorization: A review of challenges and prospects, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 137, 2024, Pages 29-60, ISSN 1226-086X, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2024.03.025>.
- Putri, W.D.R, Haryadi, Marseno, D.W. and Cahyanto, M.N. (2012). Role of lactic acid bacteria on structural and physicochemical properties of sour cassava starch, *APCBEE Procedia*, 2, 104.
- Ragsdale, S.W., Pierce, E. Acetogenesis and the Wood-Ljungdahl Pathway of CO<sub>2</sub> Fixation. *Biochim Biophys Acta* 1784, 1873–1898 (2008).
- Rodriguez-Amaya DB (2001) A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI Human Nutrition Institute, One Thomas Circle, NW, Washington DC, 20005-5802
- Romulo, A., Surya, R. Tempe: A traditional fermented food of Indonesia and its health benefits, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, Volume 26, 2021, 100413, <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100413>.
- Setiadi, T., Kresnowati, M.T.A.P. Boost the Economy with Fermented Cassava Flour in Islaminur Pempasa (ed) *Upcycling Empowerment Managing Waste And Empowering Community 2024* ITB Press
- Schmidt-Dannert C (2000) Engineering novel carotenoids in microorganisms. *Curr Opin Biotechnol* 11(3):255–261. [https://doi.org/10.1016/s0958-1669\(00\)00093-8](https://doi.org/10.1016/s0958-1669(00)00093-8)



- Stanburry, Whittaker, Hall, Principles of Fermentation Technology, 3rd ed. Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2017
- Stuart west;2007, Production of flavours, flavour enhancers and other protein-based speciality products; in robert rastall (editor) Novel Enzyme Technology for Food Applications, Woodhead Publishing, Pages 183-204, <https://doi.org/10.1533/9781845693718.2.183>
- Subagio, A. (2018). Modified Cassava Flour (MOCAL): The future of food security based on local potential, *Majalah Pangan*, 50, 92
- Sugiharto YE, Harimawan A, Kresnowati MT, Purwadi R, Mariyana R, Andry, Fitriana HN, Hosen HF. Enzyme feeding strategies for better fed-batch enzymatic hydrolysis of empty fruit bunch. *Bioresour Technol.* 2016 May;207:175-9. doi: 10.1016/j.biortech.2016.01.113. Epub 2016 Feb 6. PMID: 26881335.
- Sun, R., Tomkinson, J., & Bolton, J., "Effects of precipitation pH on the physico-chemical properties of the lignins isolated from the black liquor of oil palm empty fruit bunch fibre pulping", *Polymer Degradation and Stability* 63(1999), 195–200.
- Supriatna, A., Kresnowati, M.T.A.P. Preliminary Study On Cocoa Beans Drying Process: The Effects Of Fermentation And Water Content On Fungal Growth And Aflatoxin Production. Proceeding the Regional Conference on Chemical Engineering , Yogyakarta, December 2-3, 2014, ISBN: 978-602-71398-0-0
- Trivedi, N.B., Jacobson, G.K., Tesch, W. 1986. Bakers'yeast. *CRC Crit. Rev. Biotechnol.* 4(1): 75-104
- Wahjuningsih, S.R. (2011). HCN decrease during the review process in making flour natural fermentation Mocal, *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 8(2), 84.
- Yadav, M., Mishra, D.K., Hwang, J.-S. (2012). Catalytic hydrogenation of xylose to xylitol using ruthenium catalyst on NiO modified TiO<sub>2</sub> support. *Applied Catalysis A: General*, 425-426: 110-116;
- Zulaidah, A. (2011). Biological modification of cassava using BIMO-CF starter to make wheat-substitute-modified flour. Semarang, Indonesia: Diponegoro University: MSc Thesis.
- Wang, S., Dai, G., Yang, H., dan Luo, Z. (2017): Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review, *Progress in Energy and Combustion Science*, 62, 33–86. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004>
- Wonoputri,V., Subiantoro, Kresnowati, M.T.A.P., Purwadi, R., Solid State Fermentation Parameters Effect on Cellulase Production from Empty Fruit Bunch, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13 (3)

2018, 553-559, DOI: <https://doi.org/10.9767/bcrec.13.3.1964.553-559>, ISSN 1978-2993

Zheng, L., Zheng, P., Sun, Z., Bai, Y., Wang, J., & Guo, X. (2007). Production of vanillin from waste residue of rice bran oil by *Aspergillus niger* and *Pycnoporus cinnabarinus*. *Bioresource Technology*, 98(5), 1115–1119. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2006.03.028>

Zulkarnain, A., Bahrin, E. K., Ramli, N., Phang, L. Y., & Abd-Aziz, S. (2018). Alkaline Hydrolysate of Oil Palm Empty Fruit Bunch as Potential Substrate for Biovanillin Production via Two-Step Bioconversion. *Waste and Biomass Valorization*, 9(1), 13–23. <https://doi.org/10.1007/S12649-016-9745-4/TABLES/7>

# CURRICULUM VITAE



Nama : Made Tri Ari Penia Kresnowati  
Tempat/tgl lahir : Bandung, 5 Mei 1977  
Kel. Keahlian : Teknik Pangan dan Kemurgi  
Alamat Kantor : Program Studi Teknik Pangan FTI  
ITB,  
Labtek 2A, kampus Jatiningor  
Jl. Raya Jatiningor KM. 20.75 -  
Sumedang  
Lab. Rekayasa Bioproses, Teknik  
Kimia FTI ITB,  
Gedung Labtek X  
Jalan Ganesha 10 - Bandung  
Nama Suami : Wawan Dhewanto  
Nama Anak : Thaariq Ibrahim Kresnodhewanto,  
Shiddiq Bagassakho'  
Kresnodhewanto,  
Idris Shalahuddin Wira  
Kresnodhewanto

## I. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Program Studi Profesi Insinyur, ITB, 2020
2. Doktor Teknologi Bioproses, Delft University of Technology (TU Delft), 2006
3. Master (Bio)chemical Engineering, TU Delft, 2002
4. Sarjana Teknik Kimia, ITB, 1995

## II. RIWAYAT KERJA DI ITB

1. GKM Prodi Teknik Kimia/Teknik Pangan, 2013 – 2020
2. GKM Fakultas Teknologi Industri, 2016 - 2020
3. Tim Penilai Angka Kredit, 2020 – 2023
4. Kepala Laboratorium Penelitian Teknik Pangan, 2019 – 2020
5. Kepala Laboratorium Pabrik Pangan Pendidikan, 2021 - sekarang
6. Ketua Program Studi Teknik Pangan 2021 – 2022, 2023 - 2024

### **III. RIWAYAT KEPANGKATAN**

1. Calon Pegawai Negeri Sipil, Golongan III/c, Januari 2008
2. Penata, Golongan IIIc, Februari 2012
3. Penata Tk I, Golongan IIIId, April 2019
4. Pembina, Golongan IVa, April 2021
5. Pembina Tk I, Golongan IVb, April 2023

### **IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL**

1. Lektor, Februari 2012
2. Lektor Kepala, Juli 2018
3. Guru Besar, September 2023

### **V. KEGIATAN PENELITIAN**

1. Quantitative Assesment of Integrated Biorefinery of Oil Palm Empty Fruit Bunches for The Realization of Circular Economy (2023), Asahi Foundation Grant
2. Studi Pemanfaatan Prolamin Jagung sebagai Protein Pembentuk Struktur Mie Pasta berbasis Tepung Singkong (2023), Riset ITB
3. Produksi Gelatin Halal Alternatif dari Ikan Patin (2020 - 2023), PPMI ITB
4. Pengembangan Proses Fermentasi Syngas untuk Produksi Bahan Baku Nabati (2020 - 2021), Riset Unggulan DIKTI
5. Produksi Pewarna Alami Pangan Beta Karoten dari Tandan Kosong Sawit (2019 - 2021), Riset Unggulan DIKTI
6. Pemurnian dan Kristalisasi Xilitol Mikrobial dari Hidrolisat Bahan Lignoselulosa menggunakan Teknologi Membran (2020 - 2021), World Class Research DIKTI
7. Rekayasa Proses Hidrolisis Tandan Kosong Sawit Untuk Produksi Green Xilitol (2018), BPD Sawit
8. Penerapan Proses Berbasis Membran untuk Proses Hilir Produksi Xilitol Mikrobial dari Tandan Kosong Sawit (2017), Riset Unggulan DIKTI
9. Pengembangan Proses Produksi Tepung Fercaf Secara Semi Kontinyu pada Skala Pilot (2016 - 2017), Riset Program Pengembangan Teknologi Industri

10. Pemberian Bantuan Dana Grant Riset Kelapa Sawit dalam rangka Mendukung Penelitian dan Pengembangan Kelapa Sawit terkait: Rekayasa Proses Hidrolis Tandan Kosong Sawit untuk Produksi Green Xylitol (2015), Riset Strategis Nasional
11. Pengembangan Model Proses Fermentasi Biji Kakao dalam Rangka Peningkatan Mutu Biji Kakao Olahan Indonesia (2015), Riset ITB
12. Penerapan Sistem Identifikasi Fingerprinting Metabolik Untuk Memetakan Proses Fermentasi Biji Kakao dalam Rangka Peningkatan Mutu Biji Kakao Olahan Indonesia (2014), Riset ITB
13. Pengembangan Fermentor Sirkulasi untuk Produksi Tepung Singkong Tekstur Halus Aroma Netral Kandungan Sianida Rendah dan Terukur Dengan Pemenuhan Kondisi Produksi Higienis (2013 - 2015), MP3EI
14. Pengembangan metode fermentasi dan sistem identifikasi fingerprinting metabolik untuk peningkatan mutu biji kakao olahan Indonesia (2013), Riset ITB
15. Produksi Green Xylitol: Pengolahan Biomasa Limbah Kelapa Sawit Secara Terpadu Menjadi Bioetanol dan Bahan - Bahan Kimia Yang Bernilai (2012 - 2014), Riset ITB
16. Pengolahan Limbah Industri Biodiesel Menjadi produk Bernilai: Langkah Awal Menuju Biorefinery (2009), Riset ITB
17. Bioreaktor Sel Punca untuk Produksi Sel Darah (2008 – 2010), FWIS Unesco L'Oreal International Research Fellow, Endeavour Research Fellowships
18. Produksi Enzim Selulase (2022), PT Rekayasa Industri
19. Optimasi Desain Reaktor Pengolahan Tandan Kosong Sawit Untuk Produksi Bioetanol Dan Berbagai Produk Bernilai Tambah (2019 – 2021), PT Rekayasa Industri
20. Pengembangan Fermentor untuk Produksi Tepung Singkong Terfermentasi (2015 – 2016), PT Cassava Industrial Estate 79
21. Proyek Penelitian Perlakuan Awal Tandan Kosong Sawit dengan Basa Encer (2013 – 2015), PT Rekayasa Industri
22. Fermentasi Hidrolisat Tandan Kosong Kelapa Sawit Hasil Perlakuan Awal dengan Basa Encer (2013 – 2015), PT Rekayasa Industri
23. Studi kelayakan bioetanol lignoselulosa (2012), PT Rekayasa Industri
24. Produksi xylosa dari tandan kosong sawit (2007), PT Ecogreen Oleochemicals Batam

## VI. PUBLIKASI

1. FERMENTOR UNTUK MEMPRODUKSI TEPUNG SINGKONG TERFERMENTASI (P00201607709), Granted
2. KONDISI OPERASI PERLAKUAN AWAL DAN STRATEGI PENGUMPANAN SUBSTRAT PADA HIDROLISIS ENZIMATIK SECARA FED-BATCH UNTUK PRODUKSI GLUKOSA DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (P00201803638; International PCT Patent No.PCT/IB 2019/054125)
3. METODE PRODUKSI TEPUNG PEUYEUM DARI UMBI SINGKONG SEBAGAI BAHAN BAKU PRODUK PANGAN (P00202105955)
4. Adnan, S., **Kresnowati, M. T. A. P.**, Marlina, M., Bindar, Y. Preliminary evaluation of halal gelatin production from Indonesian local fish by hydrothermal, AIP Conf. Proc. 3073, 030002, 2024, <https://doi.org/10.1063/5.0196017>
5. Muhammad, S.A., **Kresnowati, M.T.A.P.** Preliminary study of biological route of vanilin production from palm oil empty fruit bunch (EFB) delignification liquor, AIP Conf. Proc. 3073, 040002, 2024, <https://doi.org/10.1063/5.0196016>
6. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Lestari, D. Carotene Production from Biomass Waste in Lubis, M. A. R. et al. (eds.), Biomass Conversion and Sustainable Biorefinery, Green Energy and Technology, 2024, Springer, [https://doi.org/10.1007/978-981-99-7769-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-99-7769-7_12)
7. Mukti, R., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T. Challenges in Syngas Fermentation for Bioethanol Production: Syngas Composition. Engineering Chemistry, 2023, 1, 9-19
8. Istiqomah, N.A., Krista, G.M., Mukti, R., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T. Enhance the Growth of Clostridium ljungdahlii Microbial Cells by Modifying the Medium Composition and Trace Metals, Engineering Chemistry, 2023, 1, 21-29
9. Gunawan, A.Y., **Kresnowati, M.T.A.P.** Data dimensionality reduction technique for clustering problem of metabolomics data, Heliyon, 2022, Volume 8, Issue 6, e09715, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09715>
10. Salam, W.Q., Julian, H., **Kresnowati, M.T.A.P.** Fermentation Based Sugar-Alcohol Downstream Processing: A Review, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022, 1034, 012059, doi: 10.1088/1755-1315/1034/1/012059

11. Simanjuntak, B., Julian, H., **Kresnowati, M.T.A.P.** Downstream Process of Xylanase Production from Oil Palm Empty Fruit Bunches: A Review, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022, 1034, 012046, doi: 10.1088/1755-1315/1034/1/012046
12. Anshori, M., Jafar, R.M., Lestari, D., **Kresnowati, M.T.A.P.** Production of Carotenoids from Oil Palm Empty Fruit Bunches: Selection of Extraction Methods, Journal of Engineering and Technological Sciences, 2022, Vol. 54(3), DOI: <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2022.54.3.3>
13. Krista, G.M., **Kresnowati, M.T.A.P.** Modeling the synthetic gas fermentation for bioethanol production, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022, 963, 012013, doi:10.1088/1755-1315/963/1/012013
14. Hidayatullah, I.M., Makertihartha, I G.B.N., Setiadi, T., **Kresnowati, M.T.A.P.** Modelling Based Analysis and Optimization of Simultaneous Saccharification and Fermentation for the Production of Lignocellulosic-Based Xylitol, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 2021, 16 (4), 857-868, <https://doi.org/10.9767/bcrec.16.4.11807.857-868>
15. Hidayatullah, I.M., Al Husna, M.D., Radian, H., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Suhardi, S.H., Setiadi, T., Boopathy, R. Combining biodelignification and hydrothermal pretreatment of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) for monomeric sugar production, Bioresource Technology Reports, 2021, Volume 15, 100808, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100808>, ISSN 2589-014X
16. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Bindar, Y., Memahami Pengembangan Teknologi Dan Produk Industri Proses Dari Tahap Riset Ke Tahap Komersial: Studi Kasus Pengembangan Industri Fercaf, Jurnal Sositologi (2021) Vol. 2 (2) , doi: <https://doi.org/10.5614/sostek.itbj.2021.20.2.2> (ISSN: 1858-3474 E-ISSN: 2443-258X)
17. Istiqomah, N.A., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T., Syngas fermentation for production of ethanol, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2021) 1143 012014, doi:10.1088/1757-899X/1143/1/012014 (online ISSN: 1757-899X, Print ISSN: 1757-8981)
18. Meilany, D., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T., Evaluation of Heat Distribution and Aeration On Xylanase Production From Oil Palm

- Empty Fruit Bunches Using Tray Bioreactor, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2021) 1143 012013, doi:10.1088/1757-899X/1143/1/012013
19. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Affandi, C.R., Pratiwi, C., Preliminary Evaluation of Halal Protein Hydrolysate Production in Indonesia, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2021) 1143 012040, doi:10.1088/1757-899X/1143/1/012040
  20. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Januardi, D. C., Utomo, S.V., Estimation of Xylose Recovery from Lignocellulosic Biomass, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2021) 1143 012022, doi:10.1088/1757-899X/1143/1/012022
  21. Mariyana, R., Choliq, A.A., Rahmanto, K.A., Nugroho, Y., Purwadi, R., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Septiningrum, K., Dabukke, F.B.M.; Integrated Biorefinery Technology: Monetization of Oil Palm Empty Fruit Bunch to Biofuel & Bio-based Chemicals, and Beyond, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2021) 1143 012053, doi:10.1088/1757-899X/1143/1/012053
  22. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Dwinta, F., Zukriwati, S. Downstream Processing of Xylitol from Oil Palm Empty Fruit Bunch Hydrolysate, Jurnal Teknik Kimia Indonesia, 2021
  23. Rustam, Gunawan, A.Y., **Kresnowati, M.T.A.P.** Artificial Neural Network Approach for the Identification of Clove Buds Origin Based on Metabolites Composition, Acta Polytechnica (2020), 60(5):440–447, <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0440>
  24. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Lestari, D., Anshori, M., Jafar, R.M. Production of carotenoids from oil palm empty fruit bunches, IOP Conf. Ser.:Earth Environ. Sci. (2020) 460 012025, DOI: 10.1088/1755-1315/460/1/012025
  25. Meilany, D., Anugeraheni, D., Aziz, A., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T., The Effects of Operational Conditions in Scaling Up of Xylanase Enzyme Production for Xylitol Production, Reaktor (2020), Vol. 20(1), hal. 32-37, DOI: <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.20.1.32-37>
  26. Meilany, D., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T., Boopathy, R., Optimization of Xylose Recovery in Oil Palm Empty Fruit Bunches for Xylitol Production, Applied Science (2020), 10, 1391, doi: 10.3390/app10041391
  27. Maulana Hidayatullah, I., Setiadi, T., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Boopathy, R., Xylanase Inhibition by the Derivatives of Lignocellulosic Material, Bioresources Technology (2020), 122740, doi: <https://doi.org/10.1016/j.2020.122740>



28. Rustam, Gunawan, A.Y., **Kresnowati, M.T.A.P.**, The hard c-means algorithm for clustering Indonesian plantation commodity based on metabolites composition, IOP Conference Series: Journal of Physics Conference Series 1315 (2019), 012085, DOI: 10.1088/1742-6596/1315/1/012085
29. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Ikhsan, N.A., Nursa'adah, R.S., Santosa, N.N., Susanto, Y.W., Evaluation of Glutathione Production Method using *Saccharomyces cerevisiae*, IOP Conference Series: Material Science and Engineering 543 (2019), 012004. doi:10.1088/1757-899X/543/1/012004
30. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Turyanto, L., Zaenuddin, A., Trihatmoko, K., Effects of Microbial Starter Composition on Nutritional Contents and Pasting Properties of Fermented Cassava Flour, ASEAN Journal of Chemical Engineering, 2019, vol. 19 (1), hal. 12-24, DOI: <https://doi.org/10.22146/ajche.50871>
31. Burhan, K.H., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T., Evaluation of Simultaneous Saccharification and Fermentation of Oil Palm Empty Fruit Bunch for Xylitol Production, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 2019, vol. 14(3), hal. 559-567, DOI: <https://doi.org/10.9767/bcrec.14.3.3754.559-567>
32. Istyami, A.N., Purwadi, R., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Prakoso, T., Soerawidjaja, T.H., Performances of Free and Immobilized Frangipani (*Plumeria Rubra*) Latex Lipase in Palm Oil Lipolysis, International Journal of Technology (2019) Vol. 10(3), hal. 463-471, DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i3.2904>
33. Anggraini, I.D., Keryanti, **Kresnowati, M.T.A.P.**, Purwadi, R., Noda, R., Watanabe, T., Setiadi, T., Bioethanol production via syngas fermentation of *Clostridium ljungdahlii* in a hollow fiber membrane supported bioreactor, International Journal of Technology, 2019, Vol. 10(3), hal. 481-490, DOI: <https://dx.doi.org/10.14716/ijtech.v10i3.2913>
34. Handojo, L., Wardani, A.K., Regina, D., Bella, C., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Wenten, I.G., Electro-membrane processes for organic acid recovery, RSC Advances, 2019, Vol. 9(14), hal. 7854-7869, DOI: 10.1039/c8ra09227c
35. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Regina, D., Bella, C., Wardani, A.K., Wenten, I.G., Combined ultrafiltration and electrodeionization techniques for

- microbial xylitol purification, Food and Bioproducts Processing, 2019, Vol. 114, hal. 245-252, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.01.005>
36. Lestari, D., Yessica, Elvina, **Kresnowati, M.T.A.P.**, Shelf-life Evaluation of Packaged Fermented Cassava Flour, Journal of Engineering and Technological Sciences, 2019, Vol. 51(1), hal. 64 – 82, DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.1.5
  37. Lestari, D., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Rahmani, A., Aliwarga, L., and Bindar, Y., Effect of Hydrocolloid on Characteristics of Gluten Free Bread from Rice Flour and Fermented Cassava Flour (Fercaf), Reaktor, 2019, 19(3), 89-95, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.19.3.89-95>.
  38. Keryanti, **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T., Evaluation of gas mass transfer in reactor for syngas fermentation, AIP Conference Proceedings, 2019, 2085, 1, 20008, <https://doi.org/10.1063/1.5094986>
  39. Yusuf, A.A.I.S, **Kresnowati, M.T.A.P.**, Evaluation of surfactant addition to enzymatic hydrolysis of oil palm empty fruit bunch (OPEFB), AIP Conference Proceedings, 2019, 2085, 1, 20010, <https://doi.org/10.1063/1.5094988>
  40. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Bindar, Y., Rahmina, F., Development of Instant Microbial Starter for Production of Fermented Cassava Flour: Effect of Vacuum Drying Temperature, Carrier Media, and Storage Temperature, Journal of Engineering and Technological Sciences, 2018, Vol. 50(6), hal. 832 – 840, DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.6.6
  41. Mardawati, E., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Purwadi, R., Bindar, Y., Setiadi, T., Fungal Production of Xylanase from Oil Palm Empty Fruit Bunches via Solid State Cultivation, International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 2018, Vol. 8(6), hal. 2539-2546,
  42. Harahap, B.M., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Moderate pretreatment of oil palm empty fruit bunches for optimal production of xylitol via enzymatic hydrolysis and fermentation, Biomass Conversion and Biorefinery, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-017-0299-x>
  43. Yudiastuti, S.O.N., Mardawati, E., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Bindar, Y., Comparative Study Of Glucose And Xylose Production In Enzymatic Hydrolysis By Batch And Fed-Batch Method, Jurnal Teknotan Vol. 12 No. 1 hal. 79-86, April 2018, P - ISSN :1978-1067, E - ISSN : 2528-6285, DOI: <https://doi.org/10.24198/jt.vol12n1.9>

44. Istyami, A.N., Soerawidjaja, T.H., Prakoso, T., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Performance of Various Organic Solvents as Reaction Media in Plant Oil Lipolysis with Plant Lipase, *Reaktor*, 2018, Vol. 18(2), hal. 71-75.
45. Wonoputri, V., Subiantoro, **Kresnowati, M.T.A.P.**, Purwadi, R., Solid State Fermentation Parameters Effect on Cellulase Production from Empty Fruit Bunch, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13 (3) 2018, 553-559, DOI: <https://doi.org/10.9767/bcrec.13.3.1964.553-559>, ISSN 1978-2993
46. Mardawati, E., Andoyo, R., Syukra, K.A., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Bindar, Y., Production of xylitol from corn cob hydrolysate through acid and enzymatic hydrolysis by yeast, *International Conference on Biomass Bogor 2017*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 141 (2018) 012019, doi: <https://10.1088/1755-1315/141/1/012019>
47. Meilany, Diah, **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, Tjandra, Temperature, Solid Loading and Time Effects on Recovery of Sugar from OPEFB, *The 24th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2017)*, MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 156, article number 03022, EDP Sciences, DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815603022>
48. Anggraini, Irika, **Kresnowati, M.T.A.P.**, Purwadi, Ronny, Setiadi, Tjandra, Bioethanol Production via Syngas Fermentation, *The 24th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2017)*, MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 156, article number 03025, EDP Sciences, DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815603025>
49. Desiriani, R., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Wenten, I G., Membrane-Based Downstream Processing of Microbial Xylitol Production, *International Journal of Technology*, 2017, vol. 8 (8), DOI : <https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i8.726>
50. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Desiriani, R., Wenten, I.G., Ultrafiltration of Hemicellulose Hydrolysate Fermentation Broth, *AIP Conference Proceeding*, 2017, 1818 (1), 020024
51. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Fitriana, H.N., Purwadi, R. Mapping the Effects of Cocoa Post Harvest Processing on Cocoa Bean Quality by Metabolic Profiling Method Using GC/MS, *Reaktor*, 2017, 17(3), DOI: <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.3.132-139>
52. Meilany, D., Mardawati, E., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T. Kinetic Study of Oil Palm Empty Fruit Bunch Enzymatic Hydrolysis, *Reaktor*, 2017, 17(4), DOI: <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.4.197-202>

53. Burhan, K.H., Ricky, Rudly, C., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Evaluation of Solid State Fermentation and Conventional Oven Drying for Development of Microbial Starter for Fermented Cassava Flour Production, Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo, 2017
54. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Wijaya, A.W., Andry, A. Nanomagnetic Particle Production: Effect of Carbon and Iron Sources, J. Eng. Technol. Sci. Vol. 48, No. 6, 2016
55. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T., Tantra, T.M., Rusdi, D., Microbial Production of Xylitol from Oil Palm Empty Fruit Bunch Hydrolysate: Effects of Inoculum and pH, J. Eng. Technol. Sci. Vol. 48, No. 5, 2016
56. Meitha, A., Bindar, Y., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Effects of Cassava Chips Fermentation Conditions on The Produced Flour Properties, AJChE 2016, Vol. 16, No. 1, 50 – 58
57. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Febriami, H., Mapping The Effects Of Starter Culture Addition On Cocoa Bean Fermentation, ASEAN Eng J Part B, Vol. 5, No. 1; 2016
58. Sugiharto, Y.E.C., Mariyana, R., Andry, Harimawan, A., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Purwadi, R., Fitriana, H.N., Hosen, H.F., Enzyme feeding strategies for better fed -batch enzymatic hydrolysis of empty fruit bunch, Bioresources Technology, 207, hal. 175–179; 2016
59. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Mardawati, E., Setiadi, T., Production of Xylitol from Oil Palm Empty Friuts Bunch: A Case Study on Bioefinery Concept, Modern Applied Science; Vol. 9, No. 7; 2015
60. Mardawati, E., Wira, D.W., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Purwadi, R., Setiadi, T., Microbial Production of Xylitol from Oil Palm Empty Fruit Bunches Hydrolysate: The Effect of Glucose Concentration, Journal of the Japan Institute of Energy, 94, 2015, hal. 769-774
61. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Listianingrum, Zaenudin, A., Trihatmoko, K, The Effect of Microbial Starter Composition on Nutritional Content of Fermented Cassava Flour, AIP Proceeding vol. 1669, International Conference of Chemical and Material Engineering, Semarang, 2015
62. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Gunawan, A.Y., Mulyadini, W., Kinetics Model Development Of Cocoa Bean Fermentation, AIP Proceeding vol. 1669, International Conference of Chemical and Material Engineering, Semarang, 2015

63. **M.T.A.P. Kresnowati**, Yazid Bindar, Lienda Aliwarga, Dianika Lestari, Nicholaus Prasetya, A. R. Tanujaya, Effects of Retting Media Circulation and Temperature on the Fermentation Process in Soft-Texture and Low Cyanogenic Content Cassava Flour Production, ASEAN Journal of Chemical Engineering, vol. 14(2), 2014, hal. 67-75
64. Mardawati, E., Werner, A., Bley, T., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Setiadi, T., The Enzymatic Hydrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches to Xylose, Journal of Japan Institute of Energy, vol. 93(10), 2014, hal. 973-978
65. Cempaka, L., Aliwarga, L., Purwo, S., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Dynamics of Cocoa Bean Pulp Degradation during Cocoa Bean Fermentation: Effects of Yeast Starter Culture Addition, J. Math. Fund. Sci., Vol. 46(1), 2014, hal. 14-25
66. Supriatna, A., **Kresnowati, M.T.A.P.** Preliminary Study On Cocoa Beans Drying Process: The Effects Of Fermentation And Water Content On Fungal Growth And Aflatoxin Production. Proceeding the Regional Conference on Chemical Engineering , Yogyakarta, December 2-3, 2014, ISBN: 978-602-71398-0-0
67. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Suryani, L., Affifah, M. Improvement of Cocoa Beans Fermentation by LAB Starter Addition, Journal of Medical and Bioengineering Vol. 2, No. 4, 2013
68. Purwadi, R., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Badriyah, L., Puri, A.A.D., Aisyah, R. Pemanfaatan Gliserol Sebagai Limbah Biodiesel Melalui Proses Biologik 1: Pemilihan Mikroba, Jurnal Teknik Kimia Indonesia Vol. 11, No. 4, 2013.
69. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Ardina, A. B., & Oetomo, V. P. (2012). From Palm Oil Waste to Valuable Products: Microbial Production of Xylitol 19th Regional Symposium of Chemical Engineering, Bali, Indonesia
70. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Chen, X.D. Bioreactions and Bioreactor Operation | Continuous Operation. In: Murray Moo-Young (ed.), Comprehensive Biotechnology. 2011. Second Edition. Volume 2. Pp. 527 – 535. Elsevier
71. Kowalczyk, M., Waldron, K., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Danquah, M.K. Process challenges relating to hematopoietic stem cell cultivation in bioreactors, 2011, Journal Industrial Microbiology Biotechnology, 38, pp. 761 - 767

72. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Forde, G. M., Chen, X.D. Model-based analysis and optimization of bioreactor for hematopoietic stem cell cultivation, 2011, *Bioprocess Biosystem Engineering*, 34
73. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Van Winden, W.A., Van Gulik, W.M., Heijnen, J.J. Energetic and metabolic transient response of *Saccharomyces cerevisiae* to benzoic acid, 2008, *FEBS Journal*, 275 (22), pp. 5527-5541
74. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Van Winden, W.A., Van Gulik, W.M., Heijnen, J.J. Dynamic in vivo metabolome response of *Saccharomyces cerevisiae* to a stepwise perturbation of the ATP requirement for benzoate export, 2008, *Biotechnology and Bioengineering*, 99 (2), pp. 421-441
75. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Suarez-Mendez, C.M., van Winden, W.A., van Gulik, W.M., Heijnen, J.J. Quantitative physiological study of the fast dynamics in the intracellular pH of *Saccharomyces cerevisiae* in response to glucose and ethanol pulses, 2008, *Metabolic Engineering*, 10 (1), pp. 39-54
76. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Suarez-Mendez, C., Groothuizen, M.K., Van Winden, W.A., Heijnen, J.J. Measurement of fast dynamic intracellular pH in *Saccharomyces cerevisiae* using benzoic acid pulse, 2007, *Biotechnology and Bioengineering*, 97 (1), pp. 86-98
77. **Kresnowati, M.T.A.P.**, van Winden, W.A., Almering, M.J., ten Pierick, A., Ras, C., Knijnenburg, T.A., Daran-Lapujade, P., Pronk, J.T., Heijnen, J.J., Daran, J.M. When transcriptome meets metabolome: fast cellular responses of yeast to sudden relief of glucose limitation, 2006, *Molecular Systems Biology*, 2, art. no. 49 (doi:10.1038/msb4100083)
78. Wu, L., Van Dam, J., Schipper, D., **Kresnowati, M.T.A.P.**, Proell, A.M., Ras, C., Van Winden, W.A., Van Gulik, W.M., Heijnen, J.J. Short-term metabolome dynamics and carbon, electron, and ATP balances in chemostat-grown *Saccharomyces cerevisiae* CEN.PK 113-7D following a glucose pulse, 2006, *Applied and Environmental Microbiology*, 72 (5), pp. 3566-3577
79. **Kresnowati, M.T.A.P.**, Van Winden, W.A., Heijnen, J.J. Determination of elasticities, concentration and flux control coefficients from transient metabolite data using linlog kinetics, 2005, *Metabolic Engineering*, 7 (2), pp. 142-153

## **VII. PENGHARGAAN**

1. 'Satyalancana Karya Satya 10 tahun', Republik Indonesia, 2021
2. 'Wanita Hebat' Award, Liputan 6, 2017
3. Anugerah Peneliti, ITB, 2016
4. Poster terbaik pada Seminar Hasil Penelitian Kompetitif Nasional, Kemenristek DIKTI 2015
5. Best Paper Award, AUNSEED NET Regional Conference on Chemical Engineering, 2014
6. Anugrah Dewi Sartika - Tokoh Cendekia Jawa Barat, 2012
7. Anugrah IPTEK 2012 - Wanita Peneliti Bidang Teknologi Bioproses
8. UNESCO-L'Oreal International Fellowships 2008
9. Endeavour Research Fellowships 2008
10. STUNED Scholarships 2000

## **VIII. SERTIFIKASI**

1. Professional Educator Certificate (2012)
2. Sertifikasi Insinyur Profesional, 2017
3. Certificate of Competence for Halal Product Assurance (2023)
4. Certificate of Internal Auditor ISO 22000:2018, Food Safety Management System (2023)
5. Certificate Training of Trainer Pendamping PPH (2022)



📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,  
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132  
☎️ +62 22 20469057  
🌐 www.itbpress.id  
✉️ office@itbpress.id  
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92  
APPTI No. 005.062.1.10.2018

### Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132  
E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id  
Telp. (022) 2512532

🌐 fgb.itb.ac.id    📘 FgbItb    🐦 FGB\_ITB  
📱 @fgbitb\_1920    📺 Forum Guru Besar ITB

ISBN 978-623-297-544-6

