



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**Profesor Robert Manurung**

**INTEGRASI  
PROSES PRODUKSI DAN KONVERSI BIOMASSA  
MENUJU SIMBIOSIS INDUSTRIAL  
DAN BIOEKONOMI SIRKULAR**

20 Maret 2021  
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

**Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung**  
20 Maret 2021

**Profesor Robert Manurung**

**INTEGRASI  
PROSES PRODUKSI DAN KONVERSI BIOMASSA  
MENUJU SIMBIOSIS INDUSTRIAL  
DAN BIOEKONOMI SIRKULAR**



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: INTEGRASI PROSES PRODUKSI DAN KONVERSI BIOMASSA MENUJU  
SIMBIOSIS INDUSTRIAL DAN BIOEKONOMI SIRKULAR  
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,  
tanggal 20 Maret 2021.

**Hak Cipta dilindungi undang-undang.**

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

**UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis

Robert Manurung  
INTEGRASI PROSES PRODUKSI DAN KONVERSI BIOMASSA MENUJU  
SIMBIOSIS INDUSTRIAL DAN BIOEKONOMI SIRKULAR  
Disunting oleh Robert Manurung

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2021  
viii+70 h., 17,5 x 25 cm  
**ISBN 978-602-6624-43-7**

1. Rekayasa Hayati 2. Perancangan Proses Biokonversi 3. Robert Manurung

## KATA PENGANTAR

Naskah orasi ilmiah ini disusun sebagai salah satu bentuk pertanggungjawaban dan komitmen akademik penulis atas jabatan Guru Besar dalam bidang keahlian Perancangan Proses Biokonversi. Penghargaan yang tinggi dan ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, FGB-ITB, yang memberi kesempatan kepada kami untuk menyampaikan orasi ilmiah di Sidang Terbuka Forum Guru Besar ITB pada tanggal 20 Maret 2021.

Pada naskah ini disampaikan rangkaian penelitian dan penerapan konversi biomassa melalui alur proses termo-kimia dan alur proses biologis dari beraneka ragam sumber daya hayati yang kami lakukan. Aneka ragam biokonversi yang tersedia, memberi pilihan merancang konfigurasi operasi pengolahan biomassa yang dapat menghasilkan berbagai produk bernilai tambah tinggi dan memudahkan daur ulang nutrisi yang penting diperlukan menjaga kelestarian produktivitas lahan. Secara retrospektif, integrasi rangkaian biokonversi yang dilakukan selaras dan merupakan salah satu aspek penting dari perspektif menuju simbiosis industrial dan model bioekonomi sirkular.

Semoga tulisan ini bermanfaat dan dapat memberi wawasan dan inspirasi bagi pembaca.

Bandung, 20 Maret 2021

**Robert Manurung**

## SINOPSIS

Pada naskah ini disampaikan rangkaian penelitian konversi biomassa yang kami lakukan sejak puluhan tahun yang lalu dan perancangan integrasi proses konversi biomasa dengan proses produksi biomasa pada budidaya tanaman menjadi suatu sistem produksi - konversi biomassa terpadu. Untuk memudahkan membayangkannya, 'perancangan integrasi proses biokonversi' dapat diibaratkan sebagai desain karya seni mozaik melalui penataan susunan rangkaian kepingan gambar bahan keras beraneka warna untuk membentuk konfigurasi warna yang indah pada suatu bidang.

Dari penelitian yang dilakukan, telah tersedia 'kepingan' biokonversi yang beraneka ragam yang dapat dipilih menyusun konfigurasi operasi pengolahan sesuai karakteristik dari biomassa yang terdapat dalam sistem produksi-konversi biomasa terpadu untuk menghasilkan berbagai produk bernilai tambah tinggi dan memudahkan daur ulang nutrisi yang penting diperlukan menjaga kelestarian produktivitas lahan.

Secara retrospektif, konfigurasi operasi pengolahan dalam sistem produksi-konversi biomasa terpadu skala kecil yang telah dikembangkan sudah selaras dan merupakan salah satu aspek penting dari perspektif menuju simbiosis industrial dan bioekonomi sirkular.

Pengembangan simbiosis industrial, saat memasuki revolusi industri ke 4.0 pada abad ini, tidak bisa lepas dari konteks invensi dan inovasi sejak

revolusi industri 1.0 berlangsung pada akhir abad ke-18 yang secara bertahap telah meningkatkan produktivitas industri pengolahan yang luar biasa tinggi. Namun, sejarah juga mencatat, dengan model ekonomi linier (*take-make-dispose*), kemajuan luar biasa tersebut juga telah diiringi dengan pengurasan sumber daya alam yang masif melebihi daya dukung planet bumi. Oleh karena itu, pengembangan simbiosis industrial yang didasarkan dan mematuhi nilai penting daya dukung planet bumi dan selaras dengan transformasi ekonomi linier menuju bioekonomi sirkular harus menjadi landasan *back bone* rancangan sistem fisik pada *cyber-physical systems* yang diperkirakan menjadi pemberdaya revolusi industri 4.0.

Konsep rancangan simbiosis industrial berbasis industri pengolahan hayati yang sangat menjanjikan di negara yang berada di khatulistiwa seperti Indonesia dapat ditumbuh kembangkan dengan asumsi kebijakan dan praktek memfungsikan teknologi akan mengikuti empat prinsip bangkitnya revolusi industri, yaitu: sistem - bukan teknologi; pemberdayaan - bukan penyetelan; melalui desain - bukan bawaan atau kebetulan; *key values* sebagai fitur - bukan sekadar berfungsi (Schwab, K., *World Economic Forum*, 2016). Atas dasar empat prinsip ini, aspek penting yang terkandung pada: paradigma, kerangka pikir dan *platform* terkait simbiosis industrial dan bioekonomi sirkular yang mejadi acuan penyusunan rancangan simbiosis industrial pada naskah ini akan disampaikan terlebih dahulu.

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
SINOPSIS .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
Bagian I. NASKAH ORASI ILMIAH DAN REKAMAN KARYA	
PENULIS .....	1
I.1. NASKAH ORASI ILMIAH .....	1
1. Pendahuluan .....	1
2. Transformasi Energi Surya dan Siklus Biogeokimia, Simbiosis Industrial dan Bioekonomi Sirkular .....	6
2.1. Transformasi Energi Surya dan Siklus Biogeokimiawi .....	6
2.2. Simbiosis Industrial dan Bioekonomi Sirkular .....	8
3. Konversi Biomassa dan Valorisasi Sumber Daya Hayati .....	16
4. Integrasi Proses Produksi Dan Konversi Biomasa Dengan Penerapan Strategi Biocascading .....	26
5. Konsep Rancangan Simbiosis Industrial Berbasis Industri Kelapa Sawit dan Industri Mikroalga .....	38
DAFTAR PUSTAKA .....	45
I.2. REKAMAN KARYA PENULIS .....	50
1. Publikasi pada Jurnal .....	50
2. Hak Kekayaan Intelektual .....	60
3. Pengakuan atau Penghargaan lainnya .....	61

I.3 PENUTUP DAN UCAPAN TERIMAKASIH .....	62
Bagian II. CURRICULUM VITAE .....	69

## INTEGRASI PROSES PRODUKSI DAN KONVERSI BIOMASSA MENUJU SIMBIOSIS INDUSTRIAL DAN BIOEKONOMI Sirkular

### 1. PENDAHULUAN

Perjalanan panjang proses pendidikan dan penelitian yang kami lalui dan diantaranya merupakan multi disiplin telah menuntun kami menekuni kegiatan Perancangan Proses Biokonversi (*Process Design for Bioconversion*). Program studi S1 di Teknik Kimia ITB dengan tugas akhir: Rancangan *Activated Sludge* untuk Pengolahan Limbah Cair; program studi S2 di Asian Institute of Technology, Bangkok dengan *thesis: Design and Test of An Improved Adsorption System for Solar Powered Refrigerator*; program studi *doctor* di University of Groningen (RuG), Netherland dengan *disertasi S3: Design and Modeling of A Novel Continuous Open Core Rice Husk Gasifier*, serta penelitian saat mengikuti program *post doctor* di Massachusetts Institute of Technolgy (MIT), USA dengan topik: *Design of Combustor for Low NOx Combustion of liquid- and pulvarized- fuels* menjadi landasan bagi kami menekuni perancangan proses dan biokonversi.

Penelitian pada program Doktor dan Pascadoktor merupakan pondasi kuat bagi kami dalam menekuni perancangan proses (*process design*) konversi biomassa (*biomass conversion*) melalui alur konversi termo kimia (*thermochemical conversion*). Sejak bergabung dengan SITH pada tahun 2005 dan khususnya sejak program studi Rekayasa Hayati di SITH

ITB terbentuk tahun 2010, penelitian yang kami tekuni mengandalkan alur konversi biokimia (*biochemical conversion*) sebagai proses utama, sementara alur konversi termokimia sebagai proses pendukung atau proses perlakuan awal (*pre-treatment*). Proses konversi biokimia yang dimaksud disini sesuai dengan lingkup keilmuan Rekayasa Hayati yaitu melibatkan atau diselenggarakan oleh agen hayati, sehingga konversi biokimia yang mencakup biotransformasi (*biotransformation*) dan biosintesis (*biosynthesis*), (Smitha, M.S., et al, 2017; Carvalho C.C.C.R., and Fonseca, M.M.R., 2017), dapat dimaknai secara lebih luas sebagai konversi oleh agen hayati atau singkatnya disebut bio-konversi (*biological conversion*). Konversi biomassa melalui alur termokimia dan alur biologis merupakan *platform* merancang struktur proses industri berbasis hayati (*bio-based industry*) yang sangat penting dikembangkan untuk menghasilkan produk antara (*intermediate products*) memenuhi permintaan yang semakin tinggi dan juga untuk menghasilkan bioproduk sebagai substitusi berbagai jenis produk yang saat ini dihasilkan dari bahan baku fosil.

Tantangan paling besar dalam perancangan proses (*process design*) adalah sintesis proses (*process synthesis*). Sintesis proses pada prinsipnya adalah pemilihan berbagai operasi pengolahan (*processing operations*) dan mengintegrasikan operasi yang dipilih dalam suatu perangkat atau sistem produksi untuk mawadahi konversi bahan baku (*input*) menjadi produk yang memiliki karakteristik yang diinginkan atau produk yang memiliki

nilai tambah atau nilai guna yang lebih baik. Konversi yang mengubah struktur kimiawi adalah operasi utama dari operasi pengolahan, sementara operasi lain (pemisahan dan pencampuran) merupakan pendukung agar operasi utama konversi dapat berlangsung dengan baik atau melengkapi pencapaian karakteristik yang diinginkan. Bagian terpenting pada sintesis proses adalah “integrasi proses” dan menjadi nilai penting (*key value*) dalam menyusun konfigurasi operasi pengolahan dalam struktur sistem produksi (Seider, W.D., et al, 2009).

Membahas pengembangan simbiosis industrial saat memasuki revolusi industri 4.0 pada abad 21 ini, tidak bisa lepas dari konteks invensi dan inovasi yang memicu dan memberdayakan setiap revolusi industri tersebut. Revolusi industri pertama diberdayakan oleh mekanisasi; kedua oleh lini perakitan dan produksi massal, ketiga oleh otomatisasi dan komputerisasi. Momentum ke hadiran revolusi industri 4.0 pada awal abad ke 21 saat ini, diperkirakan akan diberdayakan oleh inovasi yang memungkinkan integrasi *computation*, *communication* dan *control* membentuk *cyber systems*, dilanjutkan dengan integrasi *cyber systems* dengan *physical systems* untuk membangun sistem siber - fisik (*cyber-physical systems*).

Invensi dan inovasi teknologi sebagai pemicu dan pemacu revolusi industri berlangsung dan saling mendukung dengan penemuan sumber energi dan konversi energi tersebut, yaitu pada revolusi industri pertama: sumber energi batu-bara sebagai pembangkit tenaga uap; kedua: sumber

energi gas dan minyak fosil sebagai pembangkit tenaga listrik; dan ketiga: kehadiran sumber energi nuklir sebagai pembangkit tenaga listrik. Pada revolusi industri ke empat, sumber energi didorong untuk kembali ke sumber energi sebelum batubara ditemukan yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) dengan aspek utama pada peningkatan efisiensi transformasi dan densitas penyimpanan energi. Peralihan kembali ke sumber energi terbarukan merupakan konsekuensi ketersediaan sumber energi fosil yang semakin menipis tapi juga karena dampak terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh pembakaran bahan fosil yang masif.

Sejarah mencatat sejak revolusi industri pertama hingga saat ini telah terjadi peningkatan produktivitas industri pengolahan yang luar biasa tinggi. Namun, produktivitas (*productivity = kg output/vol.time*) yang tinggi tidak selalu diikuti dengan perolehan (*yield = kg output/kg input*) yang tinggi. Fenomena ini terjadi terutama disebabkan oleh produk samping saat proses pengolahan yang tidak dimanfaatkan secara maksimal dan diperburuk oleh model ekonomi linier, yang masih berlaku hingga saat ini, dimana material dan produk yang habis siklus masa pakainya tidak di daur ulang. Fenomena sistem produksi seperti disebut diatas telah menguras sumber daya alam, dan limbah yang tinggi telah melebihi daya serap lingkungan dengan dampak yang sangat masif. Menurut *Global Footprint Network*, pada tahun 2015 hingga saat ini, dunia telah menggunakan sumber daya alam 1,6 kali dari tingkat daya dukung

berkelanjutan planet bumi (Hetemäki, L., et al, 2017).

Sebagai tanggapan terhadap kepedulian kelangsungan hidup jangka panjang, Uni Eropa telah memperkenalkan konsep bioekonomi (2012), ekonomi sirkular (2015) dan bioekonomi sirkular (2018), yang menuntut pola kehidupan baru yang selaras dengan batas daya dukung ekologis planet bumi (*European Environment Agency Report No 8, 2018*). Oleh karena itu Uni Eropa mencanangkan invensi dan inovasi pemanfaatan sumber daya hayati yang ramah lingkungan sebagai salah satu strategi penting dalam menuju bioekonomi sirkular dan menjadi tumpuan pengembangan sistem fisik dalam sistem siber-fisik pada revolusi industri 4.0. (Hetemäki, L., et al, 2017; Hermann, M., et al, (2016).

Dengan keseluruhan latar belakang disebut diatas, terlebih dahulu akan kami sampaikan transformasi energi surya melalui komunitas organisme yang hidup secara simbiosis yang menjadi landasan pengembangan sistem pengolahan biomassa yang bersimbiosis. Teknologi konversi biomassa dan usaha meningkatkan dan memperluas nilai guna dan nilai tambah (valorisasi) sumber daya hayati akan disampaikan kemudian. Integrasi konversi biomassa dengan sumber produksi biomassa untuk membentuk sistem produksi -- konversi biomassa terpadu yang dapat menjadi landasan pengembangan suatu struktur simbiosis industrial sebagai perspektif sistem industri masa depan yang sangat menjanjikan dan mendukung model bioekonomi sirkular kami perkenalkan pada bagian akhir.

## 2. TRANSFORMASI ENERGI SURYA - SIKLUS BIOGEOKIMIA, DAN SIMBIOSIS INDUSTRIAL - BIOEKONOMI SIRKULAR

### 2.1 Transformasi Energi Surya dan Siklus Biogeokimia

Dalam rentang waktu umur bumi sekitar 4,6 miliar tahun, manusia modern diperkirakan hadir sekitar 200,000 tahun lalu, setelah tanaman muncul s. 380 juta tahun lalu, dan berbagai spesies yang muncul setelah mikro-organisme *autotroph* pertama penyelenggara fotosintesis muncul s. 3,3 miliar tahun lalu menyusul mikro-organisme *heterotroph* yang berasal dari sel tunggal LUCA (*Last Universal Common Ancestor*) yang telah muncul s. 3,8 miliar tahun lalu (*Geologic Time Scale*, Wikipedia, 2021). Manusia modern hadir dan berkembang setelah di bumi tersedia beraneka ragam dan berlimpah spesies sumber daya hayati, yang memungkinkan bumi secara alami dapat melakukan pembaharuan diri sehingga bumi sebagai suatu ekosistem dapat tetap berfungsi baik sebagai ‘sumber’ input maupun sebagai ‘resapan’ limbah bagi seluruh kegiatan manusia.

Dari kutipan berikut: “*The Earth is bio-regenerative: plants, animals and especially microorganisms regenerate, recycle, and control life’s necessities* (Odum, E.P, 1989), menjelaskan bumi sebagai satu ekosistem alam dapat memperbaharui diri melalui komunitas organisme hidup: tanaman, hewan dan terutama mikroorganisme yang hadir secara bersamaan melakukan daur ulang materi, regenerasi dan mengendalikan keperluan hidup keseluruhan organisme tersebut. Dengan demikian suatu

ekosistem alam akan lestari apabila komunitas biologis (produser, konsumen dan dekomposer) yang beragam dan seimbang dapat hadir secara bersamaan dan berinteraksi serta saling terhubung dan saling bergantung satu sama lain sehingga dimungkinkan terjadi daur ulang zat melalui organisme tersebut dan saat transformasi energi surya berlangsung menjadi berbagai bentuk aliran energi akan tercipta siklus biogeokimia pada hamparan ekosistem alam tersebut. Mekanisme transformasi energi elektromagnetik dari sumber utama (matahari) menjadi energi kimiawi pada organisme, dan transformasi kimiawi dari komunitas organisme didalam ekosistem alam menjadi berbagai bentuk energi, sangat penting dikaji karena merupakan landasan keberlangsungan kehidupan. Karena pada hakikatnya: kehidupan harus dipandang, pada tingkat yang paling mendasar, sebagai fenomena transformasi energi yang sama pentingnya dengan fenomena replikasi genetika: ‘*Life must be regarded, at the deepest level, as a matter as much of energy transformation as of genetic replication*’ (Wicke. J.S., 1987). Pernyataan diatas sangat penting disampaikan untuk menyegarkan ingatan bahwa sumber energi fosil yang diandalkan sejak revolusi industri pertama juga disediakan alam melalui transformasi energi elektromagnetik sinar matahari oleh komunitas organisme diikuti transformasi energi kimiawi dalam jasad organisme tersebut oleh mekanisme transformasi energi alami di bumi yang berlangsung dalam rentang jutaan tahun yang lalu.

Sejalan dengan ketersediaan sumber energi fosil yang semakin

menipis, sudah sewajarnya dicari alternatif bentuk sumber energi dari transformasi energi surya yang disediakan alam melalui siklus biogeokimia (biomassa, air, angin, gelombang dan lainnya) atau melalui transformasi langsung energi surya seperti sel surya atau perangkat lainnya. Matahari tidak saja menyediakan energi surya sebagai sumber kehidupan tapi juga fenomena transformasi energi pada matahari melalui *nuclear fusion* hidrogen menjadi helium juga menjadi inspirasi pengembangan *fusion power* di berbagai negara yang mungkin akan menjadi sumber energi dimasa depan.

Ketersediaan energi surya sebagai sumber utama kehidupan yang melimpah bagi negara yang berada di khatulistiwa seperti Indonesia merupakan karunia yang harus dimanfaatkan secara maksimal menyejahterakan masyarakat dan merupakan keunggulan komparatif yang sangat signifikan dalam konteks menuju bioekonomi sirkular.

## 2.2. Simbiosis Industrial dan Bioekonomi Sirkular.

Pengertian simbiosis industrial (*Industrial symbiosis*) yang dikutip secara luas mengikuti definisi berikut ini: *Industrial symbiosis is the process by which wastes or by-products of an industry or industrial process become the raw materials for another - European Commission's Circular Economy, 2015 (EEA Report No 8, 2018)*. Dari definisi diatas, konsep simbiosis industrial pada hakikatnya terinspirasi dari proses simbiosis yang berlangsung pada komunitas biologis dalam suatu ekosistem alam dimana individu dari

komunitas spesies organisme berbeda (produser, konsumen dan dekomposer) berinteraksi satu sama lain dan memberi manfaat bagi semua individu. Konsep simbiosis industrial memiliki potensi manfaat yang sangat besar dan luas. Pada kegiatan bisnis kontribusi utamanya adalah dalam pengurangan penggunaan material dan energi yang kemudian dapat meningkatkan kinerja ekonomi usaha, memperbaiki jejak ekologi proses pengolahan, membantu inovasi produk ramah lingkungan (*eco-innovation*) dan juga penciptaan nilai tambah produk dari industri yang terlibat (EREK Quarterly, July 2019).

Disamping aspek utama yang berdampak langsung bagi industri, simbiosis industrial tertaut dengan agenda yang lebih luas pada bidang *green economy*, perubahan iklim dan juga kesejahteraan masyarakat lokal, regional dan nasional (Kusch, S., 2015). Oleh karena itu, rencana aksi Uni Eropa menuju bioekonomi sirkular ditempuh dengan mengembangkan simbiosis industrial dari berbagai komoditi dan skala cakupannya. Salah satu contoh pengembangan simbiosis industrial yang saat in sedang berlangsung di Uni Eropa adalah berbasis industri logam. Tahapan dimulai dari penerapan konsep *reuse* dan *recycling* produk samping dari industri logam tersebut. Keberhasilan yang sudah dirasakan adalah perbaikan dampak pada lingkungan, penghematan sumber material utama dan pengurangan biaya terkait dengan pengelolaan atau pembuangan limbah. Pemanfaatan produk samping industri logam seperti *slag* untuk berbagai keperluan diluar industri logam dan

sebaliknya produk samping dan limbah industri lain untuk digunakan pada industri logam juga sedang dikembangkan (Branca, T.A., et al, 2020). Dari asesmen terhadap beberapa simbiosis industrial yang sedang berlangsung di Uni Eropa, disampaikan bahwa para pemangku kepentingan (*stake holder*) yang terlibat telah merasakan peningkatan pemanfaatan sumber daya yang sebelumnya tidak digunakan (Maqbool, A.S., et al, 2018). Salah satu kriteria yang digunakan menilai keberhasilan simbiosis industrial di Uni Eropa adalah kehadirannya yang harus berperan penting dalam pengembangan wilayah di sekitarnya (Petříková, K., et al, 2016). Untuk implementasi simbiosis industrial pada skala regional, berbagai pihak sudah membuat *platform* yang berisi metodologi dan instrumen implementasi simbiosis industrial yang di antaranya melibatkan industri skala kecil dan menengah (*SME*) (Cutaia, L., et al, 2015). Dengan kriteria yang sangat ketat, Uni Eropa melakukan pemilihan *the European Green Capital* setiap tahun, yang untuk tahun 2021 Lahti, Finlandia terpilih sebagai pemenang. Salah satu rencana aksi yang akan dilakukan adalah penerapan prinsip simbiosis industrial dalam mengoptimalkan penanganan, pengolahan, dan daur ulang sampah kota Lahti sebagai model penciptaan efisiensi dan keamanan energi dan juga daya saing, pengurangan gas rumah kaca di Uni Eropa (Lahti EGC Brochure, 2020).

Bioekonomi yang dikutip secara luas mengikuti definisi berikut ini. *Bioeconomy (biobased economy): as the knowledge-based production and*

*utilization of biological resources, innovative biological processes and principles to sustainably provide goods and services across all economic sectors - Global Bioeconomy Summit 2015 (EEA Report No 8, 2018). Dari definisi bioekonomi di atas, ditegaskan peran penting melakukan produksi dan pemanfaatan sumber daya hayati berbasis pengetahuan, penerapan prinsip dan inovasi proses biologis untuk dapat menyediakan barang dan jasa berbasis sumber daya hayati secara berkelanjutan di semua sektor ekonomi.*

Sementara definisi ekonomi sirkular yang secara luas dipublikasikan adalah berikut ini. *Circular economy: as an economy where the value of products, materials and resources is maintained for as long as possible and where the generation of waste is minimised - The EC launched the Circular Economy Package in 2015 (EEA Report No 8, 2018). Pada definisi ekonomi sirkular di atas ditegaskan peran penting menjaga nilai guna dari suatu produk, material dan sumber daya selama mungkin dan meminimalkan limbah yang harus dibuang ke lingkungan.*

Karena ketersediaan bahan yang tidak dapat diperbaharui yang terbatas dan kehilangannya (*loses*) yang tidak mungkin dihindari, peralihan bahan dari sumber yang tidak dapat diperbaharui atau material teknik (*technical materials*) ke bahan dari material hayati (*biomaterials*) merupakan aspek inovasi penting pada agenda ekonomi sirkular. Pendekatan sistemik seperti *ecodesign, sharing, reusing, repairing, refurbishing* dan *recycling* dari bahan atau produk yang ada akan berperan

sangat penting dalam mempertahankan nilai dan kegunaan dari produk, komponen atau material tersebut.

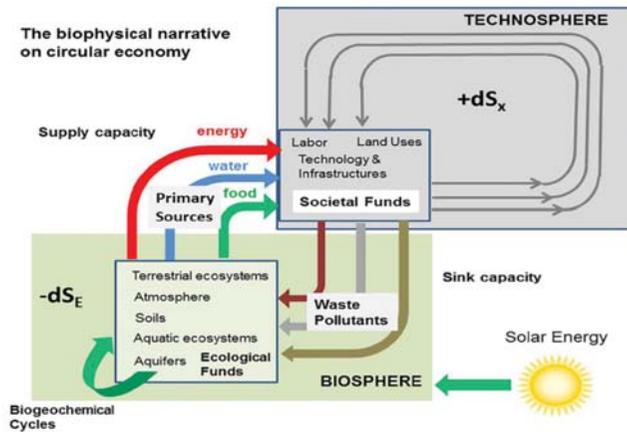
Setelah ekonomi sirkular dicanangkan di Uni Eropa pada tahun 2015, definisi ekonomi sirkular yang lebih banyak dikutip pada berbagai publikasi adalah berikut ini. *Circular economy: as an economy that is restorative and regenerative by design, and which aims to keep products, components and materials at their highest utility and value at all times, distinguishing between technical and biological cycles* - Ellen MacArthur Foundation, 2013 (EEA Report No 8, 2018). Pada definisi di atas ditegaskan peran penting merancang ekonomi yang restoratif dan regeneratif, dan yang bertujuan menjaga nilai dan kegunaan dari produk, komponen dan material pada tingkat tertinggi sepanjang waktu, serta menciptakan siklus terpisah antara siklus material teknik (*technical cycle*) dan siklus material hayati (*biological cycles*).

Dari uraian di atas bioekonomi dan ekonomi sirkular secara konseptual terkait satu sama lain dan khususnya menyangkut keberlanjutan (*sustainability*) bioekonomi dan ekonomi sirkular tidak dapat dipisahkan. Oleh karena itu, pada tahun 2018 Uni Eropa mengganti istilah *circular economy* dengan istilah *circular bioeconomy* dan esensi *circular bioeconomy* dimaknai sesuai gabungan definisi *bioeconomy* dan *circular economy* yang disampaikan sebelumnya. Perlu dicatat bahwa antara *bioeconomy* dan *circular economy* terdapat selingkupan yang penting, namun yang satu bukan bagian penuh dari yang lain, dan aspek dari

*bioeconomy* jauh lebih luas dari aspek *circular economy* (Carus, M. Dammer, L., 2018).

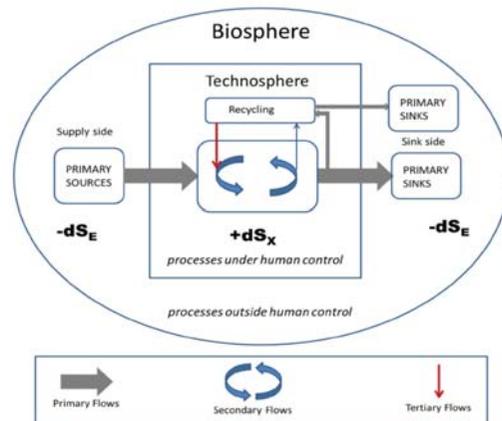
Pemanfaatan sumber material hayati dalam bioekonomi sirkular hanya dapat ditingkatkan bila materi hayati tersebut dikonversi menjadi berbagai bioproduk yang bisa mensubstitusi berbagai jenis produk yang saat ini dihasilkan dari bahan baku fosil. Oleh karena itu, pengembangan industri berbasis hayati (*bio based industry*) untuk menghasilkan berbagai bioproduk yang dapat menggantikan berbagai produk berbasis fosil merupakan tumpuan pengembangan model bioekonomi sirkular.

(Giampietro, M., 2019), menjelaskan dengan rinci pola aliran siklus material teknik (*technical cycle*), dengan entropi positif, yang berlangsung pada teknosfer (*technosphere*) dan siklus material hayati (*biological cycles*), dengan entropi negatif, yang berlangsung pada biosfer (*biosphere*), dan terutama interaksi antara kedua aliran tersebut yang berperan dalam bioekonomi sirkular seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. Skema tersebut sangat membantu menjelaskan peran penting biosfer, sebagai pemasok aliran sumber daya hayati (*primary sources*), berupa energi, air dan makanan, dan sebagai resapan penerima limbah (*primary sink*), dalam mendukung keberlanjutan siklus material teknik pada teknosfer.



**Gambar 1.** Narasi biofisik pada bioekonomi sirkular: hubungan dan keterkaitan pola aliran siklus material teknik yang berlangsung pada teknosfer (*technosphere*) dan siklus material hayati yang berlangsung pada biosfer (*biosphere*).

Sumber: Giampietro, Mario (2019).



**Gambar 2.** Tiga tipologi aliran di dalam pola proses konversi dibawah lingkup kendali manusia yang menghubungkan teknosfer (entropi positif) dengan biosfer (entropi negatif). Sumber: Giampietro, Mario (2019).

Untuk mensubstitusi kehilangan (*loses*) material teknik dalam siklus teknosfer, sangat dibutuhkan industri yang berperan melakukan konversi sumber daya hayati menjadi produk antara (*intermediate product*). Produk antara tersebut menjadi input bagi industri lain pada siklus teknik dan menjadi sarana yang mewadahi interaksi aliran (*flows*) material hayati pada cagar biosfer (*biosphere reserve*) dengan materi teknik pada cagar teknosfer (*technosphere reserve*).

Industri yang menjadi landasan kemitraan antara industri pengolahan berbasis material hayati dan industri pengolahan berbasis materi teknik maupun kemitraan antara pengguna dengan pemilah-pengumpul produk samping (*by-products*) dan limbah (*wastes*) merupakan ciri dari simbiosis industrial (*industrial symbiosis, IS*) dan merupakan landasan menuju bioekonomi sirkular.

Industri berbasis hayati sebagaimana juga industri berbasis komoditas lainnya merupakan proses yang berada di bawah pengendalian manusia pada lingkup teknosfer seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Daur ulang untuk memaksimalkan aliran sekunder pada lingkup teknosfer merupakan langkah yang wajib dilakukan oleh semua industri untuk mengurangi aliran dari sisi pemasok (*primary sources*) dan dari sisi resapan limbah (*primary sinks*) (Bart, A., 2014).

Pengembangan industri berbasis hayati yang memadukan produksi biomassa dengan konversi biomassa berperan sangat penting karena dengan demikian pada lingkup *technosphere* industri hayati tersebut

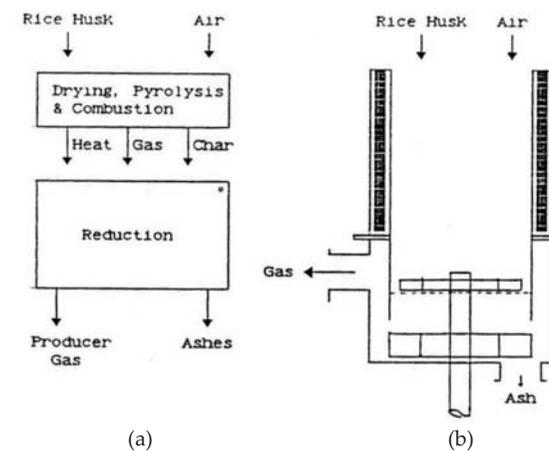
menjadi garda terdepan yang berinteraksi langsung dengan lingkungan *biosphere* melalui *primary sources* dan di masa depan akan semakin penting dalam interaksi dengan biosphere terkait *primary sinks*. Oleh karena itu, integrasi produksi biomassa dengan konversi biomassa merupakan tahapan penting dalam mewujudkan produksi dan utilisasi sumber daya hayati yang berbasis pengetahuan sehingga dapat menyediakan barang dan jasa secara berkelanjutan seperti termuat pada definisi *bioeconomy* yang dikutip sebelumnya.

### 3. KONVERSI BIOMASSA DAN VALORISASI SUMBER DAYA HAYATI

Perancangan proses (*process design*) melalui alur termokimia pertama kali kami tekuni saat melaksanakan penelitian dan penulisan disertasi gasifikasi sekam padi dengan judul: *Design and Modeling of A Novel Continuous Open Core Rice Husk Gasifier* di *Univeristy of Groningen*, (Manurung, R., 1994). Skema gasifier yang kami rancang mawadahi tahapan proses konversi sekam padi menjadi bahan bakar gas ditunjukkan pada Gambar 3.

Proses gasifikasi sekam padi untuk menghasilkan bahan bakar gas (yang dikenal sebagai *producer gas*) pada gasifier unggun bergerak (*moving bed gasifier*) berlangsung melalui mekanisme konversi termokimia berikut. Pada zona pengeringan, perengkahan dan pembakaran (*drying, pyrolysis and combustion zones*), yang mengambil porsi kecil (tipis) pada bagian atas

gasifier, tar dan gas hasil perengkahan sekam padi akan bereaksi dengan oksigen yang terkandung di udara yang diumpankan pada bagian atas *gasifier* dan menghasilkan energi termal, dan gas (terutama gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ ). Energi termal yang dihasilkan dari reaksi oksidasi tersebut akan mengakibatkan temperatur pada zona ini menjadi sangat tinggi (sekitar  $1000^\circ\text{C}$ ) dan memanaskan umpan sekam padi sehingga terjadi proses pengeringan (*drying*) yang melepas kandungan air sekam menjadi uap  $\text{H}_2\text{O}$  dan diikuti perengkahan (*pyrolysis*) sekam kering yang menghasilkan tar, gas dan arang (*char*).



Gambar 3. Skema tahapan konversi sekam padi (a) dan skema *open core downdraft gasifier* (b)

Gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang mengalir memasuki zona reduksi (*reduction zone*) akan bereaksi dengan arang (*char*) dan menghasilkan bahan bakar gas (*producer gas*). Bahan bakar gas yang dihasilkan terdiri dari senyawa

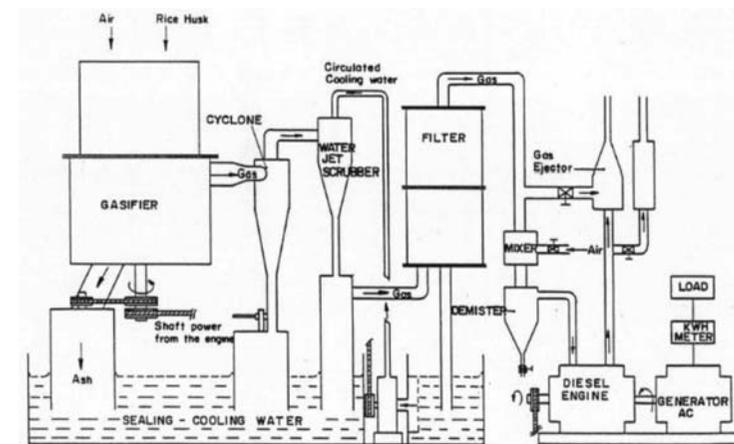
utama dengan rentang komposisi sebagai berikut: H<sub>2</sub> (9 - 12%), N<sub>2</sub> (55 - 58%), CO (18 - 21%), CO<sub>2</sub> (11 - 14) dan CH<sub>4</sub> (1 - 3%). Nilai kalor (*Lower Heating Value*) gas berkisar antara 3800 - 4500 kJ/NM<sup>3</sup>.

Mengintegrasikan tahapan operasi pengolahan (pemanasan, perengkahan, dan rangkaian reaksi kimiawi) sehingga konversi sekam padi dapat berlangsung pada gasifier adalah contoh esensi perancangan suatu sintesis proses (*process synthesis*) pada suatu perangkat proses. Dalam konteks gasifikasi sekam padi, sintesis proses utama adalah integrasi operasi pengolahan membentuk konfigurasi yang memungkinkan struktur senyawa kimia yang terkandung pada sekam padi dikonversi menjadi struktur senyawa kimia komponen produk produser gas yang memiliki nilai tambah tinggi. Rancangan perangkat gasifier yang mewadahi sintesis proses tersebut diwujudkan dengan pola pengumpulan bahan baku (udara dan sekam padi) dan geometri gasifier sehingga tercipta pola aliran bahan baku dan produk antara (*intermediate products*) yang berinteraksi satu sama lain sehingga mekanisme konversi biomassa seperti diuraikan diatas dapat berlangsung.

Integrasi operasi utama konversi sekam padi menjadi *producer gas* yang berlangsung pada gasifier dengan operasi pendukung berupa pemisahan pengotor sehingga *producer gas* memenuhi persyaratan karakteristik fisik sebagai bahan bakar mesin dalam suatu sistem pembangkit energi listrik ('gen-set') ditunjukkan pada Gambar 4. Sistem pembangkit listrik dari sekam padi ini diuji coba di Desa Jaya, Kecamatan

Sukahaji, Kabupaten Majalengka pada tahun 1985-1990.

Jaringan listrik PLN mulai masuk ke desa Jaya pada pertengahan tahun 1990. Listrik yang diproduksi menggunakan bahan bakar gas dari gasifikasi sekam padi tidak dapat bersaing dengan listrik dari PLN yang mendapat subsidi dari pemerintah. Oleh karena itu, rancangan unit gasifikasi yang lazimnya ditujukan untuk menghasilkan fasa gas berupa bahan bakar gas (*producer gas*) kami modifikasi menjadi unit yang memaksimalkan produksi fasa padat (arang) dengan menggunakan bahan bakar gas (*producer gas*) sebagai sumber energi dan sekaligus sebagai medium untuk direaksikan kembali dengan aliran fasa padat untuk menghasilkan arang yang memiliki pori banyak ( karbon aktif).



**Gambar 4.** Rancangan integrasi unit konversi sekam padi dengan "gen-set" untuk pembangkit energi listrik di desa Jaya, Kecamatan Sukahaji, Kabupaten Majalengka, yang diuji coba pada tahun 1985 hingga tahun 1990.

Pengembangan lebih lanjut dan *scale up* gasifier untuk menghasilkan arang berpori tinggi telah menuntun kami mengembangkan unit produksi (pabrik) karbon aktif yang beroperasi secara komersial di desa Buni Hayu, Subang dengan umpan dari berbagai sumber biomassa khususnya arang tempurung kelapa dengan kapasitas produksi 100 kg per jam (2 - 3 ton per hari) yang beroperasi dari tahun 1991 sampai dengan tahun 2006. Rantai pasok arang tempurung kelapa yang panjang dan lokasi pabrik yang jauh dari sumber arang, menyebabkan harga bahan baku arang tempurung kelapa yang terus meningkat memaksa kami menutup operasi pabrik pada tahun 2007.

Saat mengikuti program *post doctor* di Massachusetts Institute of Technolgy (MIT), USA, dengan topik penelitian: *Design of Combustor for Low NOx Combustion of liquid- and pulverized- fuels*, kami berkesempatan mengamati fenomena dinamika fluida saat konversi bahan bakar cair atau bubuk padatan (*pulvarized*) berlangsung pada ruang pembakaran yang berbentuk lorong (*combustion tunnel*). Penelitian yang dilakukan pada skala *pilot plant* dan dilengkapi dengan beragam perangkat alat ukur dan perangkat untuk melakukan variasi parameter proses pembakaran telah memungkinkan pengamatan pengaruh parameter proses pembakaran terhadap fenomena tahapan reaksi konversi bahan bakar dan kandungan NOx dalam gas buang (*flue gas*) secara *real time*.

Keterlibatan penuh mengoperasikan dan menganalisis proses pembakaran suatu bahan bakar pada suatu *pilot plant* yang kemudian

digunakan sebagai dasar merancang mesin gas-turbin (*gas-turbin engine*) rendah NOx pada gas buang merupakan pengalaman yang sangat berharga bagi kami.

Dengan mengacu rancangan gasifikasi sekam padi pada unggun bergerak (*moving bed gasifier*), di mana aliran umpan sekam turun secara vertikal mengikuti gaya gravitasi, pola kontak aliran fasa gas dengan aliran fasa padat dapat dirancang agar berlangsung pada zona yang berbeda. Perubahan zona kontak aliran fasa gas dan aliran fasa padat akan mengubah tahapan operasi konversi sehingga dimungkinkan menghasilkan aliran produk akhir yang didominasi fasa gas (*producer gas*) atau fasa cair (*pyrolysis oil*) atau padat (*biochar*).

Pola kontak aliran fasa gas-fasa padat tersebut dirancang dengan mengandalkan posisi pasokan udara dan geometri gasifier yang menyebabkan terbentuk perbedaan *pressure drop* pada bagian unggun yang memaksa gas mengalir dan berkontak dengan aliran padatan sesuai yang diinginkan. Oleh karena itu, investasi perangkat gasifier yang dirancang menjadi relatif rendah. Arang sekam padi yang dihasilkan digunakan untuk produksi nano silika yang berguna untuk berbagai keperluan. Penggunaan nano-silika yang telah diteliti ditujukan untuk penggunaan sebagai nutrisi tanaman. Proses produksi *pyrolysis oil*, arang sekam dan nano silika secara terpadu dari prototipe perangkat yang dikembangkan sudah didaftarkan untuk mendapat HAKI paten melalui ITB.

Pemanfaatan porsi kecil biomassa sumber daya hayati yang sesuai untuk input (umpan) satu teknologi konversi saja, seperti hanya memanfaatkan bagian tempurung dari buah kelapa untuk menghasilkan arang untuk kemudian digunakan sebagai bahan baku industri karbon aktif seperti yang kami kembangkan, ternyata telah menyebabkan biaya tinggi dan menyebabkan kesulitan dalam menjamin pasokan berkesinambungan. Pengalaman tersebut telah menuntun kami untuk melakukan penelitian valorisasi biomassa dengan penerapan konsep *biorefining*. *Valorise* dan *biorefining* didefinisikan sebagai berikut ini. *Valorise is to enhance or try to enhance the price, value or status of a material or product. Biorefining is the sustainable processing of biomass into a spectrum of bio-based products (food, feed, chemicals, materials) and bioenergy (biofuels, power and/or heat) - International Energy Agency (EEA Report No 8,2018).*

Konsep *biorefinery* memiliki makna memaksimalkan perolehan dan nilai tambah dari keseluruhan senyawa kandungan biomassa dan mengoptimalkan proses pengolahan biomassa dengan meminimalkan kehilangan massa dan energi biomassa. Penerapan konsep *biorefinery* pada proses valorisasi sumber daya hayati, bertujuan memperluas nilai guna dan meningkatkan nilai tambah keseluruhan biomassa komponen sumber daya hayati melalui penerapan berbagai teknologi konversi yang sesuai dengan karakteristik biomassa setiap komponen sumber daya hayati untuk menghasilkan berbagai bioproduk.

Strategi yang rasional untuk memaksimalkan nilai tambah dari

valorisasi dengan penerapan konsep *biorefinery* adalah mengikuti strategi *biocascading* yang didefinisikan sebagai berikut: *Biocascading is a strategy for using wood and other biomass in a more efficient way by reusing residues and recycled materials in sequential steps for as long as possible, before turning them into energy.* Peran penting strategi ini akan mudah dilihat dengan penetapan prioritas bioproduk yang akan dihasilkan dari biomassa sesuai dengan nilai tambah yang diperoleh dari konversi biomassa menjadi bioproduk tersebut sesuai dengan urutan 7 F berikut: *Functional food* (suplemen makanan atau nutrisi), *Fine Chemical* (bahan kimiawi bernilai tinggi), *Food* (pangan), *Feed* (pakan), *Fiber* (serat), *Fertilizer* (pupuk) dan *Fuels* (bahan bakar nabati). Perlu ditekankan disini bahwa menghasilkan bahan bakar dari biomassa adalah pilihan terakhir karena nilai tambah yang dihasilkan adalah paling rendah.

Nilai guna dan nilai tambah penting yang dihasilkan dari valorisasi biomassa melalui penerapan konsep *biorefinery* menjadikan *biorefinery* diterima sebagai suatu *platform*. *Platform biorefinery* berdasarkan alur konversi dibagi menjadi dua *platform specific* yaitu: "*biological platform*" dan "*thermochemical platform*". *Biological platform* adalah *platform* yang didasarkan pada *biological conversion* sementara *thermochemical platform* adalah *platform* yang didasarkan pada *thermochemical conversion*. Dengan demikian perjalanan pendidikan dan penelitian yang telah kami lalui seperti disampaikan diawal menjadi fondasi penerapan kedua *platform* tersebut.

Dengan konteks pemikiran valorisasi dengan penerapan *platform biorefinery* dengan alur '*biological platform*' dan '*thermochemical platform*', kegiatan penelitian dan pengembangan yang telah kami lakukan dalam kerjasama riset internasional adalah:

- i. '*Valorisation of Indonesian renewable resources and particularly Jatropha curcas using the biorefinery concept*' (2006-2010) yang mendapat dana dari *The Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences* (KNAW) dalam program kerjasama riset ITB - University of Groningen (RuG) dan melibatkan *University of Wageningen* (WUR) NL, dan BPPT.
- ii. '*Breakthrough in Biofuels: Mobile Technology for Biodiesel Production from Indonesian Resources*' (2009 - 2014) yang mendapat dana dari *Netherlands Organization for Scientific Research* (NWO), dalam program kerjasama riset ITB - RuG dan melibatkan WUR dan UGM.

Penelitian ini kami usulkan sebagai *co-appllicant* dan Prof. H.J.Herees dari *University of Groningen* sebagai *applicant*. Proposal terdiri dari beberapa *sub topic* yang masing-masing berisi program *doctor* atau *post doctor* yang melibatkan *promotor* dan *co-promotor* untuk setiap *sub topic* yang berasal dari bidang keilmuan dan institusi seperti dituliskan diatas. Di samping sebagai *Indonesian coordinator*, kami terlibat membimbing atau supervisi untuk 2 program *post doctor* (dari total 5) dan 5 program *doctor* (dari total 16) dari kedua riset internasional tersebut.

Dari penelitian diatas, di samping publikasi yang diterbitkan, proses produksi bio-diesel yang inovatif juga telah dikembangkan dimana

operasi pengolahan (*processing operations*): yang terdiri dari reaksi kimiawi (*chemical reactions*), pencampuran (*mixing*), dan pemisahan (*separation*) diintegrasikan pada satu perangkat (*unit*) sehingga dapat diciptakan sistem proses produksi yang sangat kompak, efektif dan efisien. Proses ini telah mendapat HAKI paten pada tahun 2014.

Dalam lingkup riset nasional, proses valorisasi sumber daya hayati yang fokus pada peran penting kehadiran agen hayati (biokonversi), yang mendapat dana dari dana riset Inovasi ITB dan Ristek Dikti adalah:

- i. Perancangan sistem produksi terintegrasi minyak kayu putih dan bioproduk lainnya dari tanaman *Cajuputi Powell*.
- ii. Peningkatan efisiensi sistem biokonversi limbah pertanian menggunakan larva lalat black soldier (*hermetia illucens*, BSF).

Kedua penelitian ini kami ajukan sebagai peneliti utama dengan fokus pada peran penting perlakuan awal (*pretreatment*) dalam meningkatkan produksi minyak pada topik (i) dan efisiensi biokonversi oleh lalat BSF pada topik (ii). Tiap topik penelitian tersebut melibatkan satu mahasiswa S3 ITB yang kami bimbing yang kemudian setelah menyelesaikan pendidikan S3 di ITB menjadi mitra dalam penelitian yang terkait dengan topik tersebut. Kerjasama penelitian dan pengembangan dengan berbagai mitra terus berlangsung terkait larva lalat BSF sebagai agen *bioconverter* dan *bioaccumulator* dan juga terkait pengolahan hilir (*down stream processing*) larva. Asosiasi BSF Indonesia telah berdiri dan kami diundang sebagai anggota dewan pakar.

Dalam rangka mendorong penanganan pengembangan bioproduk secara intensif dan sekaligus menghimpun dosen muda untuk penelitian bersama, kami telah menginisiasi penelitian yang kemudian diserahkan pada dosen muda sebagai peneliti utama (*principle investigator*), yaitu:

- i. Pemanfaatan biji karet untuk menghasilkan bioproduk dengan menggunakan konsep *biorefinery*;
- ii. Integrasi sarang lebah trigona dengan perkebunan kopi untuk peningkatan produktivitas kopi dan diversifikasi produk dari perkebunan kopi.

Penyerahan tugas sebagai peneliti utama pada dosen yang lebih muda telah berhasil memacu penelitian dan pengujian rancangan sarang lebah yang efektif dan produktif secara intensif dalam rentang waktu yang singkat, dan sudah didaftarkan untuk mendapat paten melalui ITB.

#### **4. INTEGRASI PROSES PRODUKSI DAN KONVERSI BIOMASSA DENGAN PENERAPAN STRATEGI *BIOCASCADING***

Sebagaimana disampaikan pada bagian awal naskah ini, bumi sebagai satu ekosistem alam dapat memperbaharui diri melalui kehadiran komunitas organisme hidup: tanaman, hewan dan terutama mikro-organisme yang secara bersama-sama melakukan daur ulang materi dan mengendalikan keperluan hidup mereka dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber penggerak (*driving force*) proses siklus kehidupan mereka.

Kehadiran komunitas biologis tanaman sebagai produser, hewan sebagai konsumen dan terutama mikroorganisme sebagai dekomposer yang hidup secara bersamaan dan seimbang serta saling terhubung dan saling bergantung satu sama lain sehingga terjadi daur ulang zat yang kembali dapat dimanfaatkan oleh produser merupakan prinsip mendasar yang menjaga keberlangsungan hidup keseluruhan organisme tersebut. Keberlangsungan hidup komunitas biologis secara bersamaan yang harmonis pada suatu hamparan ekosistem alam merupakan fenomena kehidupan simbiosis mutualistik yang dipelihara alam untuk menjaga kehidupan berkelanjutan pada hamparan ekosistem tersebut.

Budidaya tanaman pertanian atau perkebunan yang telah berlangsung turun-temurun merupakan praktek proses produksi biomassa. Produksi biomassa pada pertanian atau perkebunan terutama bertujuan untuk menghasilkan organ tanaman yang mengandung metabolit primer (karbohidrat, lipida dan protein) untuk kemudian dipanen dan diolah sebagai bahan pangan konsumen. Komponen tanaman yang mengandung 'lignosellulosik' yang biasanya memiliki fraksi paling besar dari keseluruhan biomassa tanaman umumnya belum dimanfaatkan ('dikonsumsi') dan dianggap sebagai limbah.

Banyak faktor yang menyebabkan pemanfaatan biomassa tanaman yang masih sangat terbatas. Salah satu diantaranya adalah karena kelompok kegiatan produsen biomassa (produser) dan kelompok kegiatan pemanfaatan biomassa (konsumer) pada umumnya masih

berlangsung pada lokasi terpisah yang relatif berjauhan dan tidak bersinergi. Lokasi yang berjauhan, sering kali tidak memungkinkan mengakomodasi fenomena simbiosis yang berlangsung secara alami dengan mudah. Dengan perjalanan waktu para pihak pemangku kepentingan secara perlahan melupakan makna penting konsep kehadiran produser, konsumen dan dekomposer yang menjaga keberlangsungan hidup jangka panjang pada siklus biosphere yang akan mempengaruhi kelangsungan hidup usaha mereka pada siklus teknosfer.

Untuk memulai sinergi pada siklus teknosfer antara 'produser' biomassa dan 'konsumer' biomassa yang dapat memberi manfaat satu dengan lainnya, kedua kelompok kegiatan tersebut harus diintegrasikan dan dilengkapi dengan integrasi kelompok kegiatan 'dekomposer' biomassa membentuk suatu kegiatan simbiosis industrial. Salah satu manfaat penting yang dapat diwujudkan adalah peran 'dekomposer' yang memungkinkan unsur hara dari lokasi kegiatan 'konsumer' biomassa dikembalikan ke lahan 'produser' biomassa.

Faktor yang sangat penting meningkatkan pemanfaatan biomassa pada siklus teknosfer adalah invensi dan inovasi yang memperluas keragaman 'konsumer' dan 'dekomposer' sehingga seluruh komponen biomassa tanaman dapat 'di-konsumsi' atau 'di-dekompose'. Untuk mencapai tujuan tersebut diatas, invensi dan inovasi yang utama harus dilakukan adalah konversi biomassa. Unit produksi yang mewadai konversi biomassa untuk menghasilkan beragam produk bernilai tambah

tinggi atau bernilai guna dapat dianalogikan sebagai memperluas keragaman organisme 'konsumer', sementara unit produksi yang mewadai konversi biomassa untuk memudahkan nutrisi dikembalikan atau digunakan pada lahan dapat dianalogikan sebagai memperluas keragaman organisme 'dekomposer'.

Simbiosis industrial akan dapat mewadahi konversi biomassa secara holistik dan lebih memungkinkan mencapai kriteria konversi yang unggul, yaitu: perolehan (*yield*) yang tinggi, produktivitas (*productivity*) yang tinggi, biaya produksi (*cost of production*) yang rendah serta kualitas (*quality*) produk yang tinggi, dan terutama untuk tujuan proses produksi yang berkesinambungan (*sustainability*).

Pendekatan penting untuk memperluas nilai tambah dan nilai guna biomassa pada simbiosis industrial adalah melalui penerapan *valorisation* dan *platform biorefinery* seperti diuraikan sebelumnya. *Platform biorefinery* selain dikenal dibagi menjadi *platform specific* berdasarkan 2 alur konversi sebagai '*biological platform*' dan '*thermochemical platform*', juga dikenal berdasarkan 3 jenis sumber biomassa yang dikonversi, sebagai : '*sugar platform*', '*carbon-rich chain platform*', dan '*plant products platform*'.

Berdasarkan pada ketersediaan, kemudahan dan kemanfaatan langsung penerapan *biorefinery*, pengembangan simbiosis industrial sebaiknya dimulai dari "*sugar platform*" yaitu alur proses biokonversi berbasis pati (umbi-umbian), gula (tebu, sorgum, *stevia* dan lainnya). Konversi biomassa tanaman dengan mengikuti *platform biorefinery* dan

strategi *cascading* juga akan menghasilkan produk samping atau residu. Melalui konversi biomassa, nutrisi yang terkandung pada biomassa akan terkonsentrasi pada residu sehingga dapat lebih mudah didaur ulang untuk dikembalikan ke lahan pertanian. Daur ulang nutrisi ini tidak hanya sebagai penataan penyediaan nutrisi makro dan mikro untuk menjaga keberlanjutan tingkat produktivitas biomassa tanaman, tapi juga penyediaan nutrisi yang dibutuhkan untuk menjaga kelimpahan dan keragaman mikro-organisme pada lahan tersebut.

Konversi keseluruhan bagian biomassa pertanian untuk menghasilkan bioproduk yang beragam akan menciptakan lapangan kerja *off farm* disekitar lokasi pertanian. Sementara daur ulang nutrisi akan secara langsung mengurangi input eksternal pupuk fosil yang relatif memiliki harga tinggi sehingga akan secara langsung mengurangi biaya kegiatan *on farm* pertanian.

Peran penting integrasi budidaya dengan pengolahan biomassa telah kami tuliskan lebih rinci pada satu bab 'Perspektif Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan' dalam buku Konsep Strategi Induk Pembangunan Pertanian 2013-2045 (SIPP), Kementerian Pertanian, RI. (Simatupang, P., et al, 2013). Tulisan tersebut kami susun sebagai anggota tim perumus dan implementasi SIPP pada rentang tahun 2011-2014.

Pada buku SIPP hasil simulasi penerapan sistem pertanian - bioindustri yang disusun rekan-rekan anggota perumus lainnya dengan '*benck marking*' pada negara maju, yang telah bermigrasi dari kegiatan

ekonomi pertanian yang dominan '*on farm*' ke kegiatan ekonomi industri dan jasa berbasis hayati '*off farm*', memperkirakan industri dan jasa berbasis hayati di Indonesia dapat memberi kontribusi PDB Nasional sekitar 14 % dan pendapatan petani per kapita diatas 7500 US \$ pada tahun 2045.

SIPP yang telah beredar luas di dalam dan luar negeri, juga menjadi referensi *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD) yang mengundang kami menghadiri pertemuan anggota OECD di kantor pusat OECD di Paris pada bulan Februari 2016 untuk mempresentasikan SIPP dengan topik presentasi: *Bioeconomy in the Grand Strategy of Indonesian Agricultural Development*.

Dalam rangka implementasi SIPP, integrasi pertanian (produksi biomassa) dengan proses pengolahan (konversi) biomassa yang pertama kali kami evaluasi adalah berbasis tanaman sereh wangi di Kebun Percontohan Manoko - Kementerian Pertanian. Integrasi ini pada hakikatnya merupakan embrio suatu simbiosis industrial berskala mikro dilihat dari satuan operasi pengolahan yang terlibat dan skala kapasitas produksi pengolahan. Skema sistem pengolahan daun sereh yang terintegrasi dengan kebun 'produksi' tanaman sereh ditunjukkan pada Gambar 5.

Produk utama pada sistem pertanian-pengolahan terpadu ini adalah minyak atsiri yang perolehannya sekitar 0,8 - 1,2 % dari berat daun sereh wangi yang di olah melalui destilasi. Residu padat proses destilasi ini digunakan sebagai pakan ternak sapi menggantikan jerami sementara





fosil), yaitu: 1,4 diacids (*succinic, fumaric and malic*); 2,5 furan dicarboxylic acid; 3 hydroxy propionic acid; aspartic acid; glucaric acid; glutamic acid; itaconic acid; levulinic acid; 3-hydroxybutyrolactone; glycerol; sorbitol; xylitol/arabinitol (Werpy, T., et al (2004), *National Renewable Energy Laboratory*). Dari kerjasama penelitian dengan *University of Groningen*, publikasi kami terkait proses produksi *levulinic acid* merupakan salah satu topik yang paling banyak di kutip (lihat Rekaman Karya Penulis).

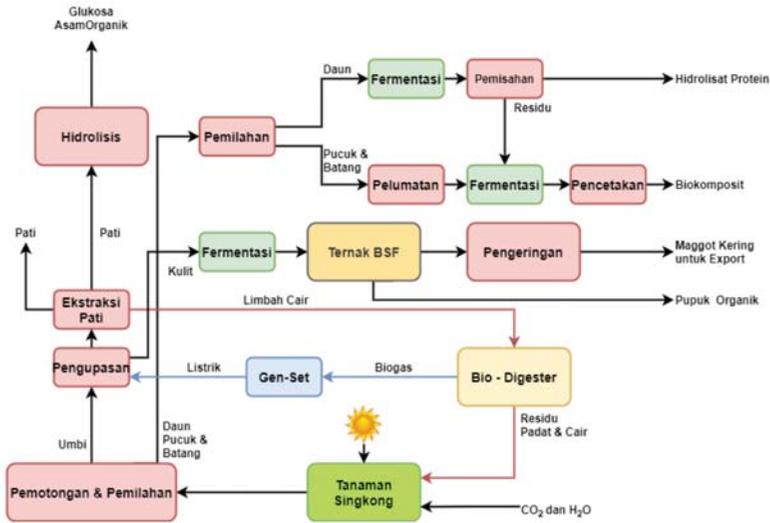
Salah satu sumber pati yang sangat potensial adalah umbi singkong. Tanaman singkong memiliki keunggulan karena merupakan salah satu tanaman yang sangat efisien mentransformasi energi matahari menjadi energi kimiawi pada umbi. Usaha peningkatan produktivitas singkong kami lakukan bersama mitra di berbagai daerah di Indonesia sejak tahun 2006.

Keinginan untuk terlibat mengembangkan sumber energi khususnya dilahan tandus seperti bersambut saat kami diundang menjadi anggota tim *ad hoc* di *United Nation* untuk pengembangan *biofuels* berbasis Jarak Pagar (*Jatropha Curcas*) di Sahara Afrika tahun 2006-2007. Pertemuan dengan delegasi dari Eropa dan Afrika telah memberi kesempatan bagi kami untuk melanjutkan implementasi pengembangan sumber biofuel di Sudan dari tahun 2007-2010. Selain Jarak Pagar kami juga memperkenalkan ubi kayu (singkong) sebagai sumber energi karena kajian sebelumnya menunjukkan singkong mentransformasikan energi matahari yang paling efisien. Disamping efisiensi transformasi energi yang tinggi, masa panen

umbi singkong yang jauh lebih pendek menjadi dasar pemilihan budidaya singkong sebagai prioritas utama.

Uji coba budidaya singkong dilahan tandus gurun pasir Sudan kami tempuh dengan terlebih dahulu merehabilitasi lahan dengan penambahan lumpur dari sungai Nil, diikuti penanaman tumbuhan alfa-alfa (*medicago sativa*) sebagai tanaman pioner. Sambil menunggu alfa-alfa tumbuh dewasa, kami mencari sumber air permukaan dan menemukan air pada kedalaman 20 - 30 meter yang dinaikkan dengan tenaga listrik dari sel surya. Air sangat penting untuk pembesaran bibit singkong pada *polybag* hingga umur 3 bulan sebelum dipindahkan ke lahan. Tanaman alfa-alfa dewasa kemudian dilumatkan ditempat tumbuhnya, sebelum singkong ditanam, sebagai nutrisi (kompos) bagi tanaman singkong. Tanaman singkong dengan pola budidaya tersebut terbukti dapat menghasilkan umbi sampai 150 ton per ha pada lahan uji coba seluas 10 ha. Keberhasilan ini telah mendorong pengusaha setempat mengembangkan lahan budi daya singkong pada lahan yang jauh lebih luas dengan pendampingan dari kami hingga tahun 2010.

Berlandaskan penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan dan pertimbangan potensi pasar dan nilai tambah bioproduk yang dapat dihasilkan secara berkelanjutan, khususnya untuk menghasilkan asam organik senyawa kimia '*building block*' sebagai bahan baku bagi pertumbuhan industri lain, konsep rancangan integrasi produksi dan pengolahan tanaman ubi kayu ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Konsep Rancangan Simbiosis Industrial berbasis Industri Pengolahan Tanaman Ubi Kayu

## 5. KONSEP RANCANGAN SIMBIOSIS INDUSTRIAL BERBASIS INDUSTRI KELAPA SAWIT DAN INDUSTRI MIKROALGA

Selain industri berbasis *'sugar platform'* sebagaimana diuraikan sebelumnya, industri berbasis *'carbon-rich chain platform'*, dan *'plant products platform'*, juga sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Penelitian yang telah kami lakukan berbasis *'carbon-rich chain platform'* selain minyak nabati alami (lipida) dari sumber jarak pagar, juga lipida dari sumber kelapa, kelapa sawit, kepong, biji karet, kemiri sunan, kelapa gunung-Papua dan mikro alga. Dari ketersediaan sumber lipida, dengan luas lahan kebun kelapa sawit yang sudah sangat besar dan

budidayanya yang sudah sangat mapan, pengembangan simbiosis industrial berbasis industri pengolahan kelapa sawit merupakan pilihan yang sangat potensial saat ini. Di masa depan, sejalan dengan pengembangan kultivasi mikroalga di Indonesia, pengembangan simbiosis industrial berbasis industri pengolahan mikroalga merupakan potensi yang sangat menjanjikan.

Kelapa merupakan sumber lipida yang sangat penting karena asam lemak yang menyusun minyak kelapa merupakan rantai karbon pendek yang sangat baik untuk kesehatan dan sebagai bahan baku industri farmasi dan kosmetik. Namun, kebun kelapa yang tersebar dengan luas kebun yang relatif terbatas akan sulit menjadikan pengolahan kelapa sebagai basis pengembangan simbiosis industrial. Tapi industri pengolahan kelapa dapat menjadi mitra penting pengembangan simbiosis industrial berbasis mikro alga dimasa depan karena lokasi kebun kelapa yang umumnya tidak jauh dari pesisir pantai, juga karena komponen buah kelapa (misal air kelapa) yang dapat digunakan menjadi nutrisi kultivasi mikroalga.

Industri berbasis kelapa hingga saat ini masih banyak mempraktikkan pola yang sudah berlangsung ratusan tahun lalu yaitu belum mengintegrasikan sumber produksi kelapa dengan industri berbasis kelapa. Pengolahan kelapa di lokasai sumber kelapa masih terbatas pada produksi kopra, sementara pengolahan turunan kopra dilakukan jauh dari lokasi produsen kelapa. Proses pengolahan kelapa melalui produk

antara (*intermediate products*) berupa kopra yang masih banyak dipraktikkan hingga saat ini sudah harus ditinggalkan. Tujuan awal menghasilkan kopra pada zaman dulu adalah untuk memudahkan transportasi karena keterbatasan fasilitas pada saat itu yang tidak memungkinkan pengolahan dilakukan berdekatan dengan sumber kelapa. Pola ini kemudian dipertahankan untuk menjaga keberlangsungan industri yang berada dipertanian dan bahkan di luar negeri. Proses produksi kelapa melalui kopra menyebabkan biaya tinggi dan kehilangan komponen kelapa yang besar yang sangat merugikan petani.

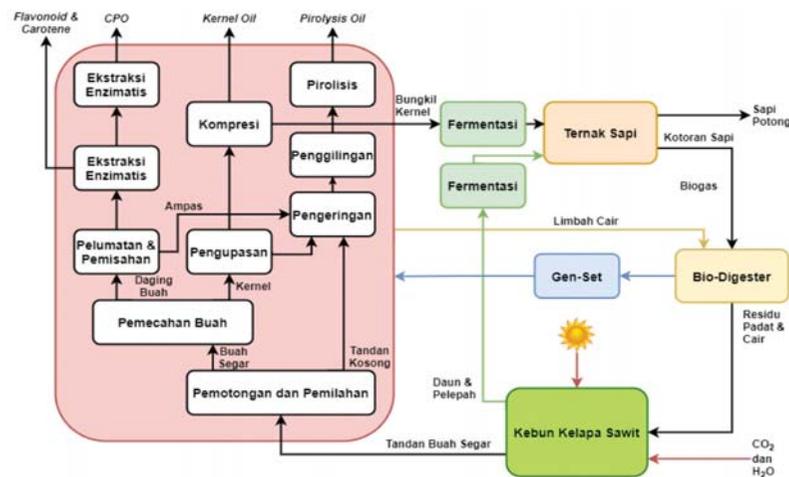
Proses pengeringan kelapa menjadi kopra memerlukan energi yang sangat besar dan energi tersebut dipasok dari pembakaran sabut atau tempurung sehingga menyebabkan kopra terkontaminasi dengan banyak pengotor (*impurities*). Ekstraksi minyak dari kopra melalui pengempaan juga memerlukan energi yang besar dan pengotor yang terikat saat produksi kopra yang harus dipisahkan melalui pemurnian memerlukan biaya investasi dan peralatan yang besar dan menyebabkan fraksi kehilangan minyak yang cukup besar. Proses pengolahan kelapa harus diubah dengan menerapkan konsep *biorefinery* sehingga komponen kelapa seperti sabut, tempurung kelapa, air kelapa dapat menjadi bahan baku untuk digunakan industri lainnya membentuk suatu simbiosis industrial. Proses pengolahan kelapa untuk menghasilkan VCO (*Virgin Coconut Oil*) merupakan proses yang efisien dan perangkatnya sudah tersedia. Namun perubahan proses produksi kelapa sangat ditentukan

oleh rantai pasok produk berbasis kelapa yang ada.

Perkebunan kelapa sawit besar merupakan contoh industri yang telah mempraktikkan integrasi produksi biomassa dengan konversi biomassa, dan juga sedang menuju pengembangan bioekonomi melalui rantai pasok CPO (*crude palm oil*) dengan berbagai industri dalam negeri bahkan luar negeri. Namun limbah biomassa yang melimpah dari perkebunan dan pengolahan TBS belum dimanfaatkan sebagai bahan baku dan membangun industri baru membentuk simbiosis industrial berbasis industri kelapa sawit yang dapat membuka lapangan kerja dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat disekitarnya. Sebagai contoh, bungkil kernel kelapa sawit yang saat ini sebagian besar diekspor, bila digunakan bersama limbah organik lain dari kebun dan pengolahan sebagai bahan baku industri pakan ternak akan dapat menumbuhkan-kembangkan industri peternakan sapi di Indonesia dan menciptakan swasembada kebutuhan daging Nasional.

Perkebunan kelapa sawit rakyat yang umumnya memiliki areal lahan kecil sudah sangat jauh tertinggal dari hampir semua segi dibanding perkebunan besar. Salah satu penyebab ketertinggalan tersebut dipicu oleh faktor integrasi produksi biomassa dan konversi biomassa yang belum bisa diterapkan pada perkebunan rakyat. Ketiadaan integrasi tersebut terutama disebabkan oleh investasi pengolahan TBS (*tandan buah segar*) menjadi CPO yang relatif mahal dikarenakan skala keekonomian pengolahan TBS yang tersedia saat ini masih relatif sangat besar. Kami

sudah menyusun proposal penelitian yang diajukan melalui ITB untuk mengkaji alur proses produksi CPO yang saat ini hampir semuanya melalui alur “*thermochemical platform*” dapat dikembangkan menjadi sebagian besar melalui alur “*biochemical platform*”. Pengembangan produksi CPO melalui alur “*biochemical platform*” diharapkan menjadi landasan pengembangan simbiosis industrial berbasis pengolahan kelapa sawit yang dapat memiliki keekonomian kapasitas produksi skala relatif kecil sehingga juga dapat diterapkan untuk memberdayakan perkebunan kelapa sawit rakyat.



Gambar 8. Konsep Rancangan Simbiosis Industrial berbasis Industri Pengolahan Kelapa Sawit.

Selain bungkil kernel, biomasa lignosellulosik tandan kosong sawit (TKS) yang melimpah sangat potensial menjadi penghela simbiosis

industrial jika limbah tersebut diolah menjadi *pyrolysis oil*, yang jauh lebih mudah ditransportasikan, dan menjadi bahan baku bagi beragam industri berbasis hayati. Berlandaskan ‘kepingan’ biokonversi yang telah dan sedang kami kaji, konsep rancangan simbiosis industrial berbasis industri pengolahan kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 8.

Di masa depan tanaman penghasil lipida yang memiliki produktivitas yang sangat tinggi dan sangat menjanjikan sebagai basis simbiosis industrial adalah industri mikro alga. Mikro alga, disamping sangat menjanjikan sebagai basis pengembangan industri dari alur ‘*carbon-rich chain platform*’ juga sangat mejanjikan dari alur ‘*plant products platform*’, (Enzing, C., et al 2014 ; Griesbeck, C. and Kirchmayr, A., 2012).

Alur ‘*plant products platform*’, yang juga dikenal sebagai ‘*molecular farming*’, merupakan alur produksi senyawa metabolit sekunder yang diinginkan melalui peningkatan biosintesis senyawa tersebut pada organ tanaman dengan berbagai tindakan fisiologi (nutrisi, elisitor dan kondisi lingkungan). Metabolit sekunder yang dihasilkan melalui ‘*molecular farming*’ akan berperan sangat besar bagi ketersediaan bioproduk bernilai tambah sangat tinggi dimasa depan, (Spok, A. and Karner, S., 2008; Buyel, J.F., 2019; Hood, E.E., et al, 2012). Alur proses ini menjadi salah satu topik besar pada penelitian tugas akhir program studi Rekayasa Hayati ITB.

Pengembangan kultivasi mikroalga yang masih sangat terbatas di Indonesia dapat dipacu melalui kerjasama dengan pioner dan peneliti terkemuka mikroalga di dunia Prof. Rene Wijfel, dari *University of*



2. Branca, T.A., et al (2020), Reuse and Recycling of By-Products in the Steel Sector: Recent Achievements Paving the Way to Circular Economy and Industrial Symbiosis in Europe, *Metals* 10, 345.
3. Buyel, J.F. (2019), Plant Molecular Farming - Integration and Exploitation of Side Streams to Achieve Sustainable Biomanufacturing, *Front. Plant Sci.* 9:1893.
4. Carus, M. and Dammer, L. (2018), L The 'Circular Bioeconomy': Concepts, Opportunities and Limitations, *nova paper 9 on bio-based economy*, nova-Institut, Hürth (Germany).
5. Carvalho, C.C.C.R. and Fonseca. M.M.R. (2017), Biotransformations, *Reference Module in Life Sciences*, Elsevier.
6. CEO Guide to The Circular Economy, *World Business Council for Sustainable Development*, [www.ceguide.org](http://www.ceguide.org).
7. Cutaia, L., et al (2015), The Experience of The First Industrial Symbiosis Platform in Italy, *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol.14, No. 7, 1521-1533.
8. Enzing, C., et al (2014), Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe, Institute for Prospective Technological Studies, *Joint Research Center, European Commission*.
9. EEA Report No 8 (2018), The Circular Economy and the Bioeconomy, *European Environment Agency, European Union*.
10. EREK Quarterly (July 2019), Industrial Symbiosis, *European Resources*

*Efficiency Knowledge Center.*

11. Giampietro, M. (2019), On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth, *Ecological Economics* (162):143-156.
12. Griesbeck, C. and Kirchmayr, A. (2012), Algae: An Alternative to the Higher Plant System in Gene Farming, *Molecular farming in plants, Springer Science and Business Media B.V.*
13. Hermann, M., et al (2016), S Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, *Technische Universität Dortmund*.
14. Hetemäki, L., et al (2017). Leading the way to a European circular bioeconomy strategy. *From Science to Policy.. European Forest Institute*.
15. Hood, E.E. and Requesens, D.V. (2012), Production of Industrial Proteins in Plants, *Molecular farming in plants: recent advances and future prospects, Springer Science & Business Media B.V.*
16. Kusch, S. (2015), Industrial symbiosis: powerful mechanisms for sustainable use of environmental resources, *ScEnSers Independent Expertise, Germany*.
17. Lahti EGC Brochure (2020), Industrial Symbiosis at Pécs-Kökény - Lahti, *the European Green Capital of 2021*.
18. Manurung, R. (1994). Design and Modeling of a Novel Continuous Open Core Downdraft Rice Husk Gasifier, *Doctoral Thesis, University of Groningen. The Netherlands*.

19. Maqbool, A.S., et al (2018), An Assessment of European Information Technology Tools to Support Industrial Symbiosis, *Sustainability* 11, 131.
20. Odum, E.P., (1989), Ecology and our endangered life-support systems, *Sinauer Associates Inc*, Massachusetts.
21. Petříková, K., et al (2016), Industrial Symbiosis in European Policy: Overview of Recent Progress, *Acta Universitatis Lodzianis, Folia Oeconomica* 2 (320).
22. Richard, J.R. (2005), How restriction enzymes became the workhorses of molecular biology, PNAS Vol. 102, No. 17 (5905-5908), *The National Academy of Sciences of the USA*.
23. Schwab, K. (2016), Four leadership principles for the Fourth Industrial Revolution, *World Economic Forum (WEF)*.
24. Schwab, K. (2016), The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond, *World Economic Forum (WEF)*.
25. Seider, W.D., et al (2009), Product and Process Design Principles, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.
26. Simatupang, P., et.al (2013), Konsep Strategi Induk Pembangunan Pertanian 2013-2045, Biro Perencanaan, Kementerian Pertanian.
27. Smitha, M.S., et al (2017), Microbial biotransformation: a process for chemical alterations, *J Bacteriol Mycol Open Access*. 4(2):47-
28. Spok, A. and Karner, S. (2008), Plant Molecular Farming: Opportunity

and Challenges, Institute for Prospective Technological Studies, *Joint Research Center, European Commission*.

29. Werpy, T., et al (2004), Top Value Added Chemicals From Biomass, *National Renewable Energy Laboratory (NREL) and Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), USA*.
30. Wicken J.S., (1987), Evolution, Thermodynamics and Information, Oxford University Press.

## REKAMAN KARYA PENULIS

### 1. PUBLIKASI PADA JURNAL

(Diurut mulai dari sitasi paling tinggi sesuai *Google Scholar*)

- Girisuta, B., Danon, B., **Manurung, R.**, Jansens, L.P.B.M., & Heeres, H.J. (2008). Experimental and Kinetic modeling studies on the acid-catalyzed hydrolysis of the water hyacinth plant to levulinic acid. *Bioresource Technology*, 99(17), 8367-8375.
- Mahfud, F.H., Melien-Cabrera, I., **Manurung, R.**, & Heeres, H.J. (2007). Biomass to Fuels: Upgrading of Flash Pyrolysis Oil by Reactive Distillation Using a High Boiling Alcohol and Acid Catalysts. *Process Safety and Environmental Protection*, 85(5), 466-472.
- Junistia, L., Sugih, A.K., **Manurung, R.**, Picchioni, F., Janssen, L.P.B.M., & Heeres, H.J. (2008). Synthesis of Higher Fatty Acid Starch Esters using Vinyl Laurate and Stearate as Reactants. *Starch/Starke*, 60(12), 667-675.
- **Manurung, R.**, Leijenhorst, E.J., Wever, D.A.Z., Wildschut, J., Venderbosch, R.H., Hidayat, H., van Dam, J.E.G., Broekhuis, A.A., & Heeres, H.J. (2009). Valorisation of *Jatropha curcas* L. plant parts: Nut shell conversion to fast pyrolysis oil. *Food and Bioproducts Processing*, 87(3), 187-196.
- **Manurung, R.**, Supriatna, A., Esyanthi, R.R., & Putra, R.E. (2016).

Bioconversion of Rice straw waste by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) : Optimal feed rate for biomass production. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(4), 1036-1041.

- Kooijman, L.M., Ganzeveld, K.J., **Manurung, R.**, & Heeres, H.J. (2003). Experimental Studies on the Carboxymethylation of Arrowroot Starch in Isopropanol-Water Media. *Starch/Starke*, 55(11), 495-503.
- Subroto, E., **Manurung, R.**, Heeres, H.J., & Broekhuis, A.A. (2015). Optimization of mechanical oil extraction from *Jatropha curcas* L. kernel using response surface method. *Industrial Crops and Products*, 63, 294-302.
- Subroto, E., **Manurung, R.**, Heeres, H.J., & Broekhuis, A.A. (2015). Mechanical extraction of oil from *Jatropha curcas* L. kernel: Effect of processing parameters. *Industrial Crops and Products*, 63, 303-310.
- Jie, Y., Wen-Ren, C., **Manurung, R.**, Ganzeveld, K.J., & Heeres, H.J. (2004). Exploratory Studies on the Carboxymethylation of Cassava Starch in Water-miscible Organic Media. *Starch/Starke*, 56(3-4), 100-10.
- Junistia, L., Sugih, A.K., **Manurung, R.**, Picchioni, F., Janssen, L.P.B.M., & Heeres, H.J. (2009). Experimental and Modeling Studies on the Synthesis and Properties of Higher Fatty Esters of Corn Starch. *Starch/Sarke*, 61(2), 69-80.
- Abduh, M.Y., van Ulden, W., Kalpoe, V., van de Bovenkamp, H.,

- Manurung, R.**, & Heeres, H.J. (2013). Biodiesel synthesis from *Jatropha curcas* L. oil and ethanol in a continuous centrifugal contactor separator. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(1), 123-131.
- Daniel, L., Ardiyantia, A.R., Schuur, B., **Manurung, R.**, Broekhuis, A.A., & Heeres, H.J. (2011). Synthesis and properties of highly branched *Jatropha curcas* L. oil derivatives. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(1), 18-30.
  - **Manurung, R.**, Beenackers, A.A.C.M. (1993). Modeling and Simulation of an Open Core Down-Draft Moving Bed Rice Husk Gasifier. In: *Bridgwater A.V. (eds) Advances in Thermochemical Biomass Conversion*. Springer, Dordrecht.
  - Abduh, M.Y., Iqbal, M., Picchioni, F., **Manurung, R.**, & Heeres, H.J. (2015). Synthesis and properties of cross-linked polymers from epoxidized rubber seed oil and triethylenetetramine. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(40).
  - Supriyatna, A., **Manurung, R.**, Esyanti, R.R., & Putra, R.E. (2016). Growth of black soldier larvae fed on cassava peel wastes, An agriculture waste. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(6), 161-165.
  - Shihadeh, A., Lewis, P., **Manurung, R.**, & Beer, J. (1994). Combustion Characterization Of Wood-Derived Flash Pyrolysis Oils In Industrial-Scale Turbulent Diffusion Flames. *Proceedings of Biomass Pyrolysis Oil Properties and Combustion Meeting*, 281-295.

- Abduh, M.Y., van Ulden, W., van de Bovenkamp, H., Buntara, T., Picchioni, F., **Manurung, R.**, & Heeres, H. J. (2015). Synthesis and refining of sunflower biodiesel in a cascade of continuous centrifugal contactor separators. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(2), 242-254.
- Abduh, M.Y., **Manurung, R.**, Faustina, A., Affanda, E., & Siregar, I.R.H. (2017). Bioconversion of *Pandanus tectorius* using black soldier fly larvae for the production of edible oil and protein-rich biomass. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(1), 803-809.
- Abduh, M.Y., Subroto, E., **Manurung, R.**, & Heeres, H.J. (2016). Experimental and modelling studies on the solvent assisted hydraulic pressing of dehulled rubber seeds. *Industrial Crops and Products*, 92, 67-76.
- Abduh, M.Y., Nadia, M.H., Syaripudin, **Manurung, R.**, & Putra, R.E. (2018). Factors affecting the bioconversion of Philippine tung seed by black soldier fly larvae for the production of protein and oil-rich biomass. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(3), 836-842.
- Abduh, M.Y., Jamilah, M., Istiandari, P., Syaripudin & **Manurung, R.** (2017). Bioconversion of rubber seeds to produce protein and oil-rich biomass using black soldier fly larva assisted by microbes. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(4), 591-597.
- Abduh, M.Y., **Manurung, R.**, & Heeres, H.J. (2016). The influence of storage time on relevant product properties of rubber seed oil

and rubber seed oil ethyl esters. *Sustain Chem Process* 4, 12 (2016).

- Abduh, M.Y., **Manurung, R.**, & Heeres, H.J. (2017). Techno-Economic Analysis for Small Scale Production of Rubber Seed Oil and Biodiesel in Palangkaraya, Indonesia. *Journal of Clean Energy Technologies*, 5(4), 268-273.
- Subroto, E., **Manurung, R.**, Heeres, H.J., & Broekhuis, A.A. (2013). Screening of antioxidants as stabilisers for *Jatropha curcas* L. oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(8), 909-920.
- **Manurung, R.**, Mellinda, R., Abduh, M.Y., Widiana, A., Sugoro, I., & Suheryadi, D. (2015). Potential Use of Lemongrass (*Cymbopogon winterianus*) Residue as Dairy Cow Feed. *Pakistan Journal of Nutrition*, 14(12), 919-923.
- Daniel, L., Rasrendra, C.B., Kloekhorst, A., Broekhuis, A.A., **Manurung, R.**, & Heeres, H.J. (2014). Application of metal triflate catalysts for the *trans*-esterification of *Jatropha curcas* L. oil with methanol and higher alcohols. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(2), 325-336.
- Widiana, A., Taufikurahman, Limin, S.H., Hernaman, I., & **Manurung, R.** (2014). Utilization of Solid Residue *Melaleuca cajuputi* Powell Leaves as Cattle Feed. *Pakistan Journal of Nutrition*, 13(10), 554-556.
- Marwani, E., Suryatmana, P., Kerana, I.W., Puspanikan, D.L., Setiawati, M.R., & **Manurung, R.** (2013). Peran Mikoriza Vesikular

Arbuskular dalam Penyerapan Nutrien, Pertumbuhan, dan Kadar Minyak Jarak (*Jatropha curcas* L.). *Bionatura*, 15(1), 1-7.

- **Manurung, R.**, Daniel, L., Bovenkamp, H., Buntara, T., Maemunah, S., Kraai, G., Makertihartha, H., Broekhuis, A.A., & Heeres, H.J. (2012). Chemical Modifications of *Sterculia foetida* L. Oil to Branched Ester Derivatives. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(1), 31-48.
- **Manurung, R.**, Abduh, M.Y., Nadia, M.H., Wardhani, K.S., & Lambangsari, K. (2016). Valorisation of Reutealis Trisperma Seed from Papua for the Production of Non-Edible Oil and Protein-Rich Biomass. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 93(3), 17-23.
- Widiana, A., Taufikurahman, Limin, S.H., Hernaman, I., & **Manurung, R.** (2014). The Potential of Gelam Leaves (*Melaleuca cajuputi* Powell) as Cattle Feed. *Pakistan Journal of Nutrition*, 13(6), 348-350.
- Loffler, H.J.M., Afiff, S., Burgers, P.P.M., Govers, C., Heeres, H.J., Karyanto, O., **Manurung, R.**, Vel, J.A.C., Visscher, S., Zwaagstra, T., & Widyarani, R. (2014). Agriculture Beyond Food: Experiences from Indonesia. *The Hague: NWO-WOTRO*
- **Manurung, R.**, Widiana, A., Taufikurahman., & Limin, S.H. (2015). Composition of Leaf Oil of Gelam (*M. leucadendra* (L.)L.) Growing in Various Peat Swamp Regions of Central Kalimantan

- Indonesia, *Advances in Natural And Applied Sciences*, 9(5), 39-42.
- Widiana, A., Taufikurahman., Limin, S.H., & **Manurung, R.** (2015). The Potential of Gelam Leaves as Non-timber Product of the Trees for reforestation of the Degraded Peatland in Central Kalimantan. *Advances in Environmental Biology* 9(2), 13-17.
  - Natanael, J., Esyanti, R.R., & **Manurung, R.** (2014). Growth Kinetics and Secondary Metabolite Production of *Eurycoma longifolia* Jack Cell Culture Elicited by UV in Flask Scale and Bubble Column Bioreactor Scale. *International Journal of Technical Research and Applications*, 2(5), 29-32.
  - Fajar, A., Ammar, G.A., Hamzah, M., **Manurung, R.**, & Abduh, M.Y. (2019). Effect of tree age on the yield, productivity, and chemical composition of essential oil from *Cinnamomum burmannii*. *Current Research on Biosciences and Biotechnology*, 1(1), 17-22.
  - **Manurung, R.** (1981). Gasification and Pyrolytic Conversion of Agricultural and Forestry Wastes. *International Energy Journal*, 3(1).
  - Abduh, M.Y., Martinez, A.F., Kloekhorst, A., **Manurung, R.**, Heeres, H.J. (2015) Experimental and modelling studies on continuous synthesis and refining of biodiesel in a dedicated bench scale unit using centrifugal contactor separator technology. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(6), 938-948.

- Abduh, M.Y., Syaripudin, Putri, L.W., & **Manurung, R.** (2019). Effect of storage time on moisture content of Reutealis trisperma seed and its effect on acid value of the isolated oil and produced biodiesel. *Energy Reports*, 5, 1375-1380.
- Inderaja, B.M., Pradhita, O., Hanifah, R., **Manurung, R.**, & Abduh, M.Y. (2018). Factors Affecting Biomass Growth and Production of Essential Oil from Leaf and Flower of *Salvia leucantha* Cav. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(4), 1021-1029.
- Esyanti, R.R., Adhitama, N., & **Manurung, R.** (2016). Efficiency Evaluation of Vanda Tricolor Growth in Temporary Immerse System Bioreactor and Thin Layer Culture System. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 3(1), 63-66.
- Lo, C., **Manurung, R.**, & Esyanti, R.R. (2014). Enhancement of lycopene and β-carotene production in cherry tomato fruits (*Solanum Lycopersicum* L. var. Cerasiforme) by using red and blue light treatment. *International Journal of Technical Research and Applications*, 2(5), 7-10.
- **Manurung, R.** (1994). Design and modeling of a novel continuous open core downdraft rice husk gasifier, Univeristy of Groningen. The Netherlands.
- Adam, A., Hakim, M.N., Oktaviani, L., Inderaja, B.M., **Manurung, R.**, Putra, R.E., & Abduh, M.Y. (2020). Techno-economic Evaluation for Integrated Cultivation of Coffee and Stingless Bees

in West Java, Indonesia: Integrated Cultivation of Coffee and Stingless Bees. *Biological and Natural Resources Engineering Journal*, 3(1), 28-36.

- Achmad, H.N., Rana, H.E., Fadilla, I., Fajar, A., **Manurung, R.**, & Abduh, M.Y. (2018). Determination of Yield, Productivity And Chemical Composition of Eucalyptus Oil From Different Species And Locations In Indonesia. *Biological and Natural Resources Engineering Journal*, 1(1), 36-49.
- Abduh, M.Y., Ono, J.M., Khairani, M., & **Manurung, R.** (2017). The Influence of Light Intensity on the Protein Content of *Azolla Microphylla* and Pre-treatment with *Saccharomyces cerevisiae* to Increase Protein Recovery. *Journal of Applied Sciences Research*, 13(8), 16-23.
- Yustinadiar, N., **Manurung, R.** & Suantika, G. (2020) Enhanced biomass productivity of microalgae *Nannochloropsis* sp. in an airlift photobioreactor using low-frequency flashing light with blue LED. *Bioresources and Bioprocessing*, 7(43).
- Abduh, M.Y., Adam, A., Fadhlullah, M., Putra, R.E., & **Manurung, R.** (2020). Production of propolis and honey from *Tetragonula laeviceps* cultivated in Modular *Tetragonula* Hives. *Heliyon*, 6(11).
- Pratiwi, D.E., Isbindra, M.A.H., Fachrudin, A.R., Sasita, L.D.N., **Manurung, R.** & Abduh, M.Y. (2020). Effects of Different Media Composition on Growth and Productivity of *Oryza sativa* L..

*International Journal of Agricultural Research*, 15(1), 9-18.

- Zakaria, A., Rahman, E.N., Rahmani, U.N., **Manurung, R.**, Mohamad Puad, N.I., & Abduh, M.Y. (2019). Production of Carrageenan By Different Strains of *Kappaphycus Alvarezii* Cultivated In Serang, Indonesia. *IIUM Engineering Journal*, 20(2), 12-21.
- Abduh, M.Y., Ibarahim, I.N., Atika, U., **Manurung, R.**, & Suheryadi, D. (2020). Influence of Water Stress and Plant Age on The Yield And Chemical Composition Of Essential Oil from *Cymbopogon winterianus* Jowitt. *Biotropia*, 27(1), 80-87.
- Nurillah, A.R., Esyanti, R.R., & **Manurung, R.** (2014). Comparison Of Growth Medium Bioconversion Into *Vanda Tricolor* Biomass In Thin Layer Liquid Medium Culture System and Tis Rita® Bioreactor. *International Journal of Technical Research and Applications*, 2(5), 4-6.
- **Manurung, R.**, Abduh, M.Y., & Ariono, D. (2015). Solvent assisted hydraulic pressing of *Sterculia Foetida*. *European Journal of Scientific Research*, 134(3), 229-239.
- **Manurung, R.**, Parikesit, F., Silalahi, N.M., Aryani, M. (2002). Integrasi Proses Pembuatan Natrium Silikat dan Karbon Berpori (Aktif) dari Arang Sekam Padi. *Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardoyo 2002*, Institut Teknologi Bandung.
- Abduh, M.Y., Tejo, F., Hidayat, G.M.S., Joseph, R., Putra, R.E.,

**Manurung, R.,** Permana, A.D. & Mandasari, M.I. (2020). Production of Protein Hydrolysate and Biodiesel from Black Soldier Fly Larvae Cultivated using Rotten Avocado and Tofu Residue. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal*, 20(8).

## 2. HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (PATEN, HAK CIPTA INOVASI)

- Proses Produksi Biodiesel Kontinyu dan Terintegrasi Menggunakan Kontaktor dan Separator Sentrifugal. (No Paten: IDP000036018 tertanggal 02 Juni 2014).
- Proses Produksi Kontinu Arang Sekam Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biochar dan koloida Nano-silika Secara Terpadu. (*terdaftar*)
- Proses Produksi Kontinu Arang Sekam dan Asap Cair Secara Terpadu; (*terdaftar*)
- Sarang Lebah Modular untuk Pemanenan Propolis dan Madu yang Efektif. (*terdaftar*)
- Pembuatan Pupuk Pelet dari Campuran Limbah Padat dan Cair Media Tumbuh BSF (*Black Soldier Fly*). Sertifikat Hak Cipta Inovasi EC 00202003339.
- Pembuatan pelet Pakan Ikan berbasis Tepung Larva BSF (*Black Soldier Fly*). Sertifikat Hak Cipta Inovasi EC 00202027300.

## 3. PENGAKUAN ATAU PENGHARGAAN LAINNYA

- Pengabdian 40 Tahun, Institut Teknologi Bandung.
- Pengabdian 35 Tahun, Institut Teknologi Bandung.
- Satyalancana Karya Satya 30 tahun, Republik Indonesia.
- Satyalancana Karya Satya 20 tahun, Republik Indonesia.
- *Ambasador PIONIR* dari *President University of Groningen*, dengan text award:

*'His contributions include the establishment of double degree programmes between ITB and RuG in Chemical Engineering, Biomedical Engineering, and Development Planning; brokering of funding support by the Indonesian and Dutch governments for Indonesian double degree students; co-designing joint research programs in Indonesian biodiesel and the Indonesian bio-based economy; and inspiring many young Indonesians to pursue their academic training in Groningen.'*

## PENUTUP DAN UCAPAN TERIMA KASIH

### PENUTUP

Energi surya yang melimpah bagi negara yang berada di khatulistiwa seperti Indonesia merupakan berkat yang harus dimanfaatkan untuk kemajuan dan kesejahteraan bangsa. Pemanfaatan energi surya melalui konversi elektromagnetik sinar matahari menjadi energi kimiawi pada budidaya beraneka ragam sumber daya hayati yang melimpah di Indonesia merupakan keunggulan komparatif yang memungkinkan Indonesia menjadi 'hub' industri berbasis hayati dunia.

Integrasi budidaya tanaman dengan beragam operasi pengolahan untuk membentuk suatu struktur simbiosis industrial, meniru pola kehidupan simbiosis komunitas biologis: produser, konsumen dan dekomposer dalam suatu ekosistem alam, dapat meningkatkan nilai tambah dan memperluas nilai guna biomassa serta menjaga keberlanjutan daya dukung lingkungan. Konversi biomassa menjadi berbagai bioproduk yang dapat mensubstitusi produk yang saat ini dihasilkan dari sumber fosil menjadi aspek penting peran simbiosis industrial berbasis bioindustri dalam transformasi model ekonomi *linier* menjadi model bioekonomi sirkular. Bioindustri yang potensial menjadi basis simbiosis industrial pada saat ini dari alur '*sugar platform*' adalah industri pengolahan tanaman padi dan ubi kayu, sementara dari alur '*carbon-rich chain platform*' adalah industri pengolahan kelapa sawit. Di masa depan,

salah satu industri yang sangat menjanjikan adalah berbasis mikroalga.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah kami menyampaikan penghargaan dan rasa hormat serta terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat Rektor dan Pimpinan ITB, Pimpinan dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada kami untuk menyampaikan orasi ilmiah pada forum yang terhormat ini.

Pada kesempatan ini, kami juga ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada pribadi pribadi yang telah berperan penting dalam menuntun, membukakan jalan dan memberi kesempatan bagi kami menjalani pendidikan dan meraih karya, serta pribadi yang menjadi mitra kami dalam melakukan berbagai kegiatan penelitian dan pengembangan yang disampaikan pada naskah ini.

Prof. Dr. Ir. Saswinadi Sasmojo, kami panggil pak Sas, yang menerima kami menjadi dosen Teknik Kimia pada tahun 1978 dan terus menjadi guru dan mentor yang memberi teladan tidak hanya sebagai pendidik di bidang keilmuan tapi juga dalam kehidupan. Pak Sas, yang memperkenalkan konsep perancangan proses melalui mata kuliah baru di Teknik Kimia yang menjadi sarana pertama memahami integrasi proses dengan melibatkan kami sebagai mitra pengajar. Pak Sas yang juga membukakan jalan bagi kami untuk dapat melanjutkan pendidikan ke jenjang S2, S3 dan

*Post Doctor*. Pak Sas, yang menjadi co-promotor disertasi S3 kami di *University of Groningen* mengarahkan rumusan integrasi '*processing operations*' yang mewadahi konversi termokimia pada gasifier sehingga esensi proses gasifikasi dapat di tampilkan dengan ringkas.

Prof. Dr. Ir. Antonie.A.C.M. Beenackers (alm), guru dan promotor S3 kami yang sangat menghargai kreativitas dan inovasi betapapun kecilnya aspek inovasi tersebut dan menyemai optimisme dengan ucapannya: 'kalau bisa dicapai hasil 1-2 % dari 100 % yang diharapkan, penelitian tersebut layak untuk dilanjutkan'. Sejak pertama kenal tahun 1982 hingga akhir hayatnya tahun 2001, Ton menjadi teman diskusi yang sangat menyenangkan tidak hanya terkait buku *Chemical Reactor Design* yang dia tulis tapi juga terkait potensi sumber daya hayati Indonesia dan permasalahan sosial, budaya dan ekonomi dunia. Ton juga menjadi teman baik dalam proses menjalin kerjasama *Chemical Engineering* RuG dengan Teknik Kimia ITB dan dengan Teknik Kimia di berbagai universitas negeri dan swasta di Indonesia.

Prof. Dr. Folkert van der Woude (alm), (*Rector Magnificus* RuG 1994-1998), dan Prof. Dr. Frans Zwarts, (*Rector Magnificus* RuG 2002-2011), yang memberi kami kepercayaan sebagai *academic representative* RuG dalam rangka membangun kerjasama RuG dengan ITB dan berbagai universitas di Indonesia. Interaksi intensif dengan kedua rektor tersebut memberi kami *privilege* untuk mengenali budaya riset dan pendidikan di RuG lebih dekat yang kemudian menjadi landasan membangun kerjasama riset

antara RuG dengan ITB. Pengembangan kerjasama RuG dengan ITB, yang telah memberi manfaat banyak bagi pendidikan dan penelitian dosen ITB dan dosen dari universitas 'tertinggal-lemah' di Indonesia yang pada gilirannya juga memberi manfaat banyak bagi RuG, telah menginspirasi kami tentang makna kerjasama dan memberi kami pengalaman berharga esensi mengulurkan tangan bagi yang lemah.

Prof. Dr. Ir. H.J.(Erik) Heeres, yang menjadi mitra kami mewujudkan dua penelitian besar yang melibatkan 20 program *doctor* dan *post doctor* di RuG bagi kandidat yang keseluruhannya berasal dari Indonesia (ITB dan berbagai universitas lainnya) dan atas kerjasama pembimbingan mahasiswa program doktor yang berlangsung sangat baik serta untuk kerjasama penelitian saat ini dan dimasa datang.

Prof. Dr. Ir. Herri Susanto, senior kami yang telah mengawali penelitian gasifikasi di ITB dan bersinergi membangun percontohan gasifikasi untuk berbagai fungsi di berbagai daerah di Indonesia.

Dr.Ir. Utjok Siagian, dan Ir. Harke van der Meulen yang membantu kami dalam penelitian gasifikasi sekam padi untuk disertasi doktor.

Prof. Dr. Iskandar Alihsyahbana (alm), yang pertama kali menganjurkan kami membentuk bidang keilmuan gabungan Teknik Kimia dan Biologi yang disebut beliau sebagai bidang yang memiliki masa depan yang sangat cerah.

Prof. Dr. Ir. Djoko Santoso, Rektor ITB 2005-2010, yang harus banyak

membuat SK Rektor agar prodi Rekayasa Hayati dapat terwujud.

Prof. Dr. Intan Ahmad, dekan SITH saat kami bergabung dengan SITH tahun 2005 yang mendorong dan memfasilitasi pendirian Rekayasa Hayati dan selalu hadir menjaga dan menegakkan nilai-nilai luhur akademik dan nilai universal.

Prof Intan Ahmad bersama Prof.Dr.Ir. Tati Rajab Mengko dari ITB dan Prof. Dr. Erik Herees dari RuG dan Prof. Dr. Oliver Kayser dari *TU Dortmund* yang memberi rekomendasi dan mendorong kami untuk menduduki jabatan Guru Besar.

Prof. Dr. Benhard Sitohang dan Prof.Dr. Tutuka Ariadji yang menjaga nilai luhur akademik dan mendorong penegakan nilai tersebut secara imparial.

Prof. Dr. Sri Nanan B, Widyanto, sebagai rekan yang memiliki determinasi kuat mendirikan program studi Rekayasa Hayati sejak awal perencanaan hingga beroperasi.

Prof. Dr. Ir. Togar Simatupang atas kerja sama yang baik dalam penelitian industri berbasis hayati antara ITB-*University of Groningen*.

Dr. Maelita Ramdani Moeis, atas kerja sama yang baik dalam penelitian, khususnya penelitian produksi isobutanol dari substrat isobutanol menggunakan *E. coli* yang direkayasa secara genetik.

Rekan sejawat pengajar di Rekayasa Hayati: Dr. Rizkita R. Esyanti, Dr. Erly Marwani, Dr. Taufikurahman yang telah berjuang keras

menyelenggarakan proses pendidikan dan penelitian dengan fasilitas terbatas pada saat awal Rekayasa Hayati berdiri, dan dosen muda Dr. Muh. Yusuf Abduh, Moch. Firmansyah, ST.,MT., Khairul Hadi Burhan, ST., MT., Khalilan Lambangsari, S.T., M.Si., dan Neil Priharto S.Si, MT., yang aktif dan bekerja keras menyelenggarakan operasi Rekayasa Hayati sehingga mendapat akreditasi Nasional dan Internasional. Khususnya untuk Dr. M. Yusuf Abduh yang bekerja sama sangat baik pada penelitian melalui alur termokimia saat mengikuti program S3 di RuG, dan terutama pada penelitian dan pengabdian pada masyarakat melalui alur biokonversi setelah menjadi rekan pengajar di Rekayasa Hayati.

Prof. Dr. Ir. Pantjar Simatupang, yang menjabat sebagai staf ahli Menteri Pertanian saat SIPP (Strategi Induk Pembangunan Pertanian) dirumuskan dan sebagai Ketua Tim SIPP, yang selalu berperan sebagai mitra berdiskusi yang kritis tapi bernas dalam melihat tantangan dan kesempatan pengembangan sistem Pertanian-Bioindustri di Indonesia.

Prof. Dr. Rachmat Pambudy dan Prof. Dr. Ernan Rustiadi, rekan dan teman dari IPB dalam Tim perumus SIPP, yang membuka sudut pandang baru dalam menyejahterakan petani.

Dr. Ir. Suwandi, M.Si., Direktur Jenderal Tanaman Pangan, Kementan, saat ini, yang menyampaikan rencana pengembangan tanaman pangan melalui kerjasama dengan berbagai *stake holder* dengan menggunakan konsep budidaya-pengolahan terpadu pada naskah ini.

Ir. Mindo Sianipar, anggota Komisi IV DPR RI, alumni TK ITB 1973,

yang selalu antusias mendorong inovasi untuk peningkatan kesejahteraan petani dan memicu banyak penelitian kami seperti BSF.

Pak Kees Ruijter dan keluarga di Delden NL dan Bu Madeleine Gardeur dan keluarga di Groningen NL, yang berperan sangat besar dalam menjalin kerjasama *University of Twente* - oleh pak Kees dan *University of Groningen* - oleh bu Madeliene dengan ITB dan berbagai universitas di Indonesia dan menjalin hubungan keluarga mereka dengan keluarga kami sebagai 'keluarga besar'.

Kepada istri terkasih yang setia mendampingi dan memberi dukungan dalam keadaan suka dan duka, dan kepada anak-anak yang tumbuh dewasa menapaki ilmu dan pengetahuan dan kehidupan sosial dalam keceriaan dan kerendahan hati yang memberi makna hidup yang sangat berarti.

## CURRICULUM VITAE



Nama : **ROBERT MANURUNG**  
Tmpt. & tgl. lhr.: L. Lobu, Tapanuli, 3 Desember 1954  
Nama Istri : Desi Indira Chaer  
Nama Anak : 1. Christy Sondang N. Manurung  
2. Efraim Partogi N. Manurung  
3. Gamaliel Adaran N. Manurung  
4. Yosia Parpadan N. Manurung  
5. Zephan Panindangi N. Manurung

### ALAMAT KANTOR

- Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati (SITH), Jl. Ganesha 10, Bandung.
- Kelompok Keahlian: Agroteknologi dan Teknologi Bioproduk.

### RIWAYAT PENDIDIKAN

- *Post Doctor, Chemical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, USA, 1994.*
- *Doctor, Chemical Engineering, Univ. of Groningen, The Netherlands, 1993.*
- *Master, Energy Technology, Asian Institute of Technology, Thailand, 1982.*
- Sarjana, Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung, 1978.

## RIWAYAT PEKERJAAN DI ITB

- Staf Pengajar Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati (SITH), sejak 2005
- Staf Pengajar Fakultas Teknologi Industri (FTI), 1979 - 2005.
- Anggota Senat SITH ITB, 2011 - 2018
- Anggota Senat Akademik ITB, 2001 - 2003
- Ketua KK Agroteknologi dan Teknologi Bioproduk, 2012 - 2018
- Ketua KK Sains dan Bioteknologi Tumbuhan, 2011 - 2012
- Kepala Pusat Penelitian Bioteknologi ITB, 2005 - 2007
- Kepala UPT Perpustakaan ITB, 2001 - 2003

## RIWAYAT JABATAN

- Professor/Guru Besar, 1 Agustus 2019
- Lektor Kepala, 1 Januari 2001
- Lektor, 1 Juli 1991
- Lektor Madya, 1 April 1987
- Asisten Ahli, 1 April 1982
- Asisten Ahli Madya, 1 Maret 1979

## RIWAYAT DALAM ORGANISASI PROFESI/MASYARAKAT KEI

- Dewan Pakar, Assosiasi Masyarakat BSF Indonesia, sejak 2021
- Anggota, Persatuan Insinyur Indonesia, sejak 2015
- Member of The Combustion Institute, 1994 - 2004
- Member of American Chemical Society, 1994 - 2004
- Member of American Institute of Chemical Engineers, 1984 - 2004