



Dewan Guru Besar  
Institut Pertanian Bogor



Kumpulan Naskah Orasi Ilmiah  
Guru Besar Institut Pertanian Bogor

# Strategi Pengembangan Agroindustri Maju dan Berkelanjutan

Ono Suparno, Machfud, Marimin, Nastiti Siswi Indrasti

**Editor:**  
**Ono Suparno**

# **STRATEGI PENGEMBANGAN AGROINDUSTRI MAJU DAN BERKELANJUTAN**



# **STRATEGI PENGEMBANGAN AGROINDUSTRI MAJU DAN BERKELANJUTAN**

## **Penulis:**

Ono Suparno, Machfud, Marimin, Nastiti Siswi Indrasti

## **Editor:**

Ono Suparno



**Penerbit IPB Press**

IPB Science Techno Park,  
Kota Bogor - Indonesia

**Judul Buku:**

Strategi Pengembangan Agroindustri Maju dan Berkelanjutan

**Penulis:**

Ono Suparno, Machfud, Marimin, Nastiti Siswi Indrasti

**Editor:**

Ono Suparno

**Penyunting Bahasa:**

Dwi Murti Nastiti

**Desain Sampul & Penata Isi:**

Muhamad Ade Nurdiansyah

**Jumlah Halaman:**

xviii+154

**Edisi/Cetakan:**

Cetakan 1, Agustus 2018

**PT Penerbit IPB Press**

Anggota IKAPI

Jl. Taman Kencana No. 3, Bogor 16128

Telp. 0251 - 8355 158 E-mail: ipbpress@ymail.com

ISBN: 978-602-440-480-2

Dicetak oleh Percetakan IPB, Bogor - Indonesia

Isi di Luar Tanggung Jawab Percetakan

© 2018, HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh

isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirabbil'alamin.* Puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah *Subhanahuwata'ala*, Tuhan Yang Maha Esa, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku ini yang berjudul "**Strategi Pengembangan Agroindustri Maju dan Berkelanjutan**" dapat selesai ditulis.

Buku ini merupakan kumpulan naskah orasi ilmiah guru besar Institut Pertanian Bogor yang berkaitan dengan ilmu agroindustri yang mencakup teknologi proses yang ditulis oleh Prof. Dr. Ono Suparno, teknik dan sistem industri oleh Prof. Dr. Machfud dan Prof. Dr. Marimin, dan teknologi dan manajemen lingkungan oleh Prof. Dr. Nastiti S. Indrasti.

Ucapan terima kasih dihaturkan kepada Dewan Guru Besar (DGB) Institut Pertanian Bogor atas bantuan dalam penulisan dan penerbitan buku ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penulisan dan penerbitan buku ini.

Buku ini ditulis untuk membantu masyarakat, akademisi, dan praktisi yang ingin memahami tentang agroindustri dan strategi pengembangannya.

Kami menyadari bahwa ilmu agroindustri sangat luas dan dinamis, sehingga isi buku ini mungkin jauh dari sempurna. *Tiada gading yang tak retak.* Untuk itu, saran, masukan, dan koreksi dari pembaca sangat diharapkan untuk menyempurnakan isi buku ini.

Kami berharap semoga buku ini bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang agroindustri.

Bogor, Agustus 2018

Editor,

Prof. Dr. Ono Suparno, S.TP., M.T., FSLTC

NIP 19721203 199702 1 001



## **KATA PENGANTAR**

### **KETUA DEWAN GURU BESAR**

IPB membuat kebijakan yang mewajibkan setiap Guru Besar IPB melaksanakan orasi ilmiah sejak tahun 2010. Kebijakan tersebut dibuat untuk memfasilitasi setiap Guru Besar IPB melaksanakan orasi ilmiah. Dalam tiga tahun terakhir (2015–2017), setiap tahun sebanyak 45 orang Guru Besar IPB melakukan orasi ilmiah, sehingga secara kumulatif ada 135 orang Guru Besar melakukan orasi ilmiah sebagai dampak positif dari dibuatnya kebijakan tersebut.

Orasi ilmiah Guru Besar IPB merupakan salah satu media bagi para Guru Besar IPB untuk menyebarluaskan temuan-temuan baru dalam bidang ilmu yang menjadi bidang penugasannya, serta menyampaikan gagasannya untuk kemajuan pembangunan. DGB IPB sangat berharap, semoga temuan dan gagasan yang disampaikan oleh Guru Besar IPB dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan, teknologi dan seni, khususnya dalam bidang pertanian dalam arti luas, dapat memberikan pencerahan kepada masyarakat guna meningkatkan kiprahnya dalam pembangunan di Negara kita tercinta, serta untuk kepentingan kemanusiaan, kelangsungan seluruh kehidupan di muka bumi, dan keserasian alam semesta.

Semakin banyak Guru Besar IPB yang melaksanakan orasi ilmiah, semakin banyak pula naskah orasi ilmiah yang terkumpul. Naskah orasi ilmiah ini sebagian besar merupakan kumpulan pengetahuan yang diperoleh Guru Besar selama berkisah menjadi dosen IPB. Oleh sebab itu, akan sangat bermanfaat bila naskah-naskah orasi ilmiah Guru Besar IPB dapat diterbitkan dalam bentuk buku, sehingga diharapkan dapat menjangkau pembaca yang lebih luas.

Kumpulan naskah orasi ilmiah ini berasal dari Guru Besar IPB dengan bidang ilmu agroindustri. Buku kumpulan orasi ilmiah dengan judul **“Strategi Pengembangan Agroindustri Maju dan Berkelanjutan”** ini merupakan naskah orasi ilmiah dari berbagai aspek di bidang agroindustri, yakni teknologi proses, teknik dan sistem industri, dan teknologi dan manajemen lingkungan.

Penghargaan yang setinggi-tingginya disampaikan kepada para penulis, editor, dan penerbit atas kerja keras, kerja cerdas, dan dedikasinya. Semoga penerbitan buku kumpulan naskah orasi ilmiah ini dapat memperluas wawasan dan meningkatkan pengetahuan para pembaca serta masyarakat secara luas.

Bogor, Agustus 2018

Ketua Dewan Guru Besar IPB



Prof. Dr. Ir. Muh. Yusram Massijaya, M.S.

NIP 19641124 198903 1 004

## SAMBUTAN REKTOR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT kami menyambut dengan senang hati penerbitan buku yang memuat naskah-naskah Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Pertanian Bogor (IPB). Penerbitan ini merupakan wujud sumbangan pemikiran IPB dalam pembangunan nasional. Buku ilmiah ini berisi hasil-hasil riset dan rekomendasi pemikiran para Guru Besar IPB yang dapat diimplementasikan dalam masyarakat maupun dikembangkan lebih lanjut dalam berbagai penelitian yang lebih aplikatif untuk menjawab berbagai persoalan bangsa di bidang pertanian dalam arti luas pada masa kini maupun yang akan datang.

Kumpulan naskah orasi ilmiah dalam buku yang diberi judul “**Strategi Pengembangan Agroindustri Maju dan Berkelanjutan**” ini merupakan kumpulan naskah orasi ilmiah dari berbagai bidang ilmu, yaitu teknik dan sistem industri, bioindustri, teknologi proses, dan teknologi dan manajemen lingkungan.

Kerja sama dan komunikasi antara akademisi, pelaku bisnis, dan penyusun kebijakan publik sangat diperlukan dalam rangka mengimplementasikan hasil karya para Guru Besar IPB. Dengan kerja sama yang baik dapat diyakini akan menghasilkan nilai tambah yang bermanfaat bagi semua pihak.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Dewan Guru Besar IPB yang telah memprakarsai penerbitan buku ini. Semoga IPB menjadi terdepan dalam memperkokoh martabat bangsa.

Bogor, Agustus 2018

Rektor,



Dr. Arif Satria, S.P., M.Si.

NIP 19710917 199702 1 003



# DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	v
Kata Pengantar Ketua Dewan Guru Besar .....	vii
Sambutan Rektor .....	ix
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Lampiran.....	xvii
1. Pendahuluan .....	1
1.1 Pendahuluan .....	1
1.2 Daftar Pustaka .....	3
2. Teknologi Pengolahan Kulit Produktif dan Ramah Lingkungan Menuju Pembangunan Industri yang Maju dan Berkelanjutan <i>Ono Suparno</i> .....	5
2.1 Pendahuluan .....	7
2.2 Ilmu dan Teknologi Penyamakan Kulit.....	9
2.3 Teknologi Penyamakan Kulit Produktif dan Ramah Lingkungan .....	11
2.4 Penutup.....	29
2.5 Daftar Pustaka .....	30
3 Teknik Sistem Industri untuk Meningkatkan Daya Saing Agroindustri <i>Machfud</i> .....	35
3.1 Pendahuluan .....	37
3.2 Daya Saing dan Produktivitas Agroindustri Indonesia .....	40
3.3 Kinerja Daya Saing Agroindustri Indonesia.....	46
3.4 Keilmuan Teknik dan Sistem Industri (TSI) .....	49
3.5 Penerapan Teknik Sistem Industri (TSI) pada Agroindustri..	58
3.6 Penutup.....	66
3.7 Daftar Pustaka .....	68

4	Rantai Pasok Agroindustri Cerdas, Adaptif, dan Berkeadilan <i>Marimin</i> .....	75
4.1	Pendahuluan .....	77
4.2	Analisis Struktur, Mekanisme dan Kelembagaan Rantai Pasok .....	79
4.3	Analisis dan Penyeimbangan Nilai Tambah .....	88
4.4	Analisis dan Penyeimbangan Risiko .....	93
4.5	Sistem Pengambilan Keputusan Cerdas .....	95
4.6	Penutup.....	101
4.7	Daftar Pustaka .....	102
5	Rekayasa Ekoteknologi dalam Rangka Pembangunan Agroindustri Berkelanjutan <i>Nastiti Siswi Indrasti</i> .....	107
5.1	Pendahuluan .....	109
5.2	Aspek Lingkungan.....	110
5.3	Pembangunan Agroindustri : Lampau, Kini dan Nanti...	114
5.4	Perhitungan Aspek Lingkungan .....	116
5.5	Rekayasa Ekoteknologi untuk Pengembangan Material Hijau .....	126
5.6	Penutup.....	140
5.7	Daftar Pustaka .....	141
6	Penutup .....	145
	Lampiran .....	147

## DAFTAR TABEL

2.1 Nilai ekspor industri kulit, barang dari kulit dan alas kaki (dalam ribuan US\$) .....	8
2.2 Nilai impor industri kulit, barang dari kulit dan alas kaki (dalam ribuan US\$) .....	8
2.3 Stabilitas hidrotermal kulit domba yang disamak dengan penyamak nabati dan oksazolidin .....	18
2.4 Stabilitas hidrotermal kulit domba yang disamak dengan DHN dan oksazolidin.....	19
2.5 Sifat-sifat kimia, fisik, kimia, dan organoleptik kulit samoa.....	24
2.6 Zona hambat (mm) ekstrak etanol daun kelor, daun belimbing wuluh, daun kersen, dan daun lamtoro terhadap <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , dan <i>B. subtilis</i> .....	26
2.7 Konsentrasi hambat minimum ( $\mu\text{g/l}$ ) dan konsentrasi bunuh minimum ( $\mu\text{g/l}$ ) ekstrak etanol daun kelor, daun belimbing wuluh, daun kersen, dan daun lamtoro terhadap <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , and <i>B. subtilis</i> .....	26
2.8 Zona hambat (mm) ekstrak etanol daun ketapang, daun mengkudu, dan daun lamtoro terhadap bakteri <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , dan <i>B. subtilis</i> .....	27
2.9 Konsentrasi hambat minimum ( $\mu\text{g/l}$ ) dan konsentrasi bunuh minimum ( $\mu\text{g/l}$ ) ekstrak etanol daun ketapang, daun mengkudu, dan daun lamtoro terhadap bakteri <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , dan <i>B. subtilis</i> .....	27
3.1 Sebaran usaha agroindustri berdasarkan indeks keterkaitan ke hulu dan ke hilir. ....	39
3.2 Definisi daya saing menurut ahli.....	41
3.3 Daya saing produk agroindustri di pasar internasional .....	47
3.4 Perbedaan metodologi “ <i>hard system</i> ” dan “ <i>soft system</i> ”.....	55
5.1 Opsi produksi bersih di industri tepung tapioka.....	118
5.2 Isu lingkungan terkait industri karet.....	119
5.3 Opsi produksi bersih di industri gula .....	122
5.4 Opsi produksi bersih di industri kayu lapis.....	123
5.5 Opsi produksi bersih di industri CPO .....	125



## DAFTAR GAMBAR

2.1 Mikrograf SEM kulit piket kambing dan kulit samoa dengan magnifikasi 500× .....	13
2.2 Reaksi antara krom dan gugus karboksil pada kolagen .....	14
2.3 Reaksi antara polifenol dan gugus karboksil pada kolagen .....	15
2.4 Reaksi ikatan silang 2,6-DHN dan 1,6-DHN dengan oksazolidin .....	20
2.5 Model ikatan silang penyamakan kombinasi untuk 2,6-DHN-oksazolidin .....	21
2.6 Model ikatan silang penyamakan kombinasi untuk 1,6-DHN-oksazolidin .....	21
2.7 Spektra FT-IR (a) minyak biji karet dan (b) minyak ikan .....	23
3.1 Jenjang <i>enabling needs</i> untuk daya saing agroindustri .....	46
3.2 Persentase jumlah kelompok produk agroindustri Indonesia dan negara tetangga berdasarkan katagori daya saing .....	48
3.3 Perkembangan penerapan pemikiran sistem .....	51
3.4 Perkembangan metodologi sistem dan teori kesisteman utama yang memengaruhinya .....	53
3.5 “Rich picture” sistem kreasi pengetahuan kontekstual di Departemen TIP-IPB .....	60
4.1 Evolusi manajemen rantai pasok .....	79
4.2 Struktur rantai pasok komoditas pertanian dan produk agroindustri .....	80
4.3 Struktur rantai pasok pertanian dan agroindustri .....	81
4.4 Hasil perhitungan rasio nilai tambah pada pelaku rantai pasok minyak sawit.....	90
4.5 Rasio perolehan nilai tambah pada rantai pasok agroindustri kakao .....	91
4.6 Hasil penyeimbangan rasio nilai tambah setiap pelaku rantai pasok agroindustri kelapa sawit .....	92
4.7 Hasil penyeimbangan rasio nilai tambah setiap pelaku rantai pasok agroindustri kakao.....	93

4.8	Mekanisme negosiasi untuk penyeimbangan risiko pada rantai pasok jagung .....	95
4.9	Kerangka konseptual SPKC .....	98
4.10	Konfigurasi sistem pengembangan SPK cerdas spasial untuk agroindustri .....	99
4.11	Desain logistik agroindustri .....	101
5.1	Perubahan nilai C/N bagas-blotong selama proses pengomposan .....	128
5.2	Perubahan nilai C/N blotong-abu ketel selama proses pengomposan .....	129
5.3	Perubahan nilai C/N blotong-bagas-abu ketel selama proses pengomposan .....	129
5.4	Proses ekstraksi kitin dan produksi kitosan.....	131
5.5	Diagram alir ekstraksi silika dari abu furnace .....	133
5.6	Diagram alir sintesis nanosilika .....	135

## **DAFTAR LAMPIRAN**

3.1 Indeks keterkaitan ke hulu dan ke hilir golongan lapangan usaha agroindustri.....	148
3.2 Neraca perdagangan kelompok produk agroindustri Indonesia.....	150
3.3 Uraian nomor kode HS untuk produk agroindustri .....	152
3.4 Jumlah persentase dan sebaran daya saing kelompok produk agroindustri Indonesia dan beberapa negara ASEAN.....	154



# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris karena sebagian besar penduduknya bermata pencaharian di bidang pertanian. Sebagai negara agraris, Indonesia menghasilkan berbagai hasil pertanian, diantaranya adalah padi, singkong, ubi jalar, jagung, sayur-sayuran, dan buah-buahan. Indonesia juga menghasilkan berbagai produk perkebunan, antara lain kelapa sawit, karet, tebu, kakao, dan kopi. Dalam pemanfaatannya, hasil-hasil pertanian tersebut memerlukan pengolahan yang memadai untuk memperoleh nilai tambah (*added value*) yang tinggi; hal tersebut yang mendasari dasar konsep industri berbasis pertanian (agroindustri).

Agroindustri merupakan industri yang mengolah hasil pertanian. Agroindustri dipopulerkan di Indonesia pada tahun 1980-an, walaupun sejatinya telah diterapkan di Indonesia sejak zaman penjajahan Belanda. Pengertian agroindustri pertama kali diungkapkan secara eksplisit oleh Austin (1981), yang menyatakan bahwa agroindustri adalah perusahaan yang memproses bahan nabati (berasal dari tanaman) atau hewani (berasal dari hewan). Proses yang diterapkan mencakup pengubahan dan pengawetan melalui perlakuan fisik atau kimiawi, penyimpanan, pengemasan, dan distribusi. Produk agroindustri tersebut dapat merupakan produk akhir yang siap dikonsumsi atau digunakan oleh manusia ataupun produk bahan baku industri lain (Mangunwidjaja dan Sailah 2009).

Posisi agroindustri sangat strategis, yakni sebagai jembatan yang menghubungkan antara sektor pertanian di sisi hulu, dan sektor industri pada sisi hilir. Peran tersebut misalnya ditunjukkan oleh agroindustri minyak sawit yang menghubungkan antara budidaya pertanian kelapa sawit dan industri pangan, kimia, farmasi, dan energi yang menggunakan bahan baku minyak sawit. Peran yang sama dapat ditunjukkan oleh agroindustri pati dan polimer lain (Mercier dan Colonna 1992, Mangunwidjaja 2007). Peran tersebut ditunjukkan juga oleh agroindustri kulit, yakni kulit samak yang dihasilkan dari penyamakan kulit untuk selanjutnya diproses menjadi produk-produk barang jadi kulit, seperti sepatu dan alas kaki, garmen, sarung tangan, sofa (*upholstery leather*), dan pelana kuda (*heavy leather*) (Suparno *et al.* 2013).

Sejak tahun 1980-an hingga dewasa ini, peranan agroindustri bagi Indonesia sangat penting, antara lain (Simatupang dan Purwoto 1990): (1) menciptakan nilai tambah hasil pertanian di dalam negeri; (2) menciptakan lapangan pekerjaan, khususnya dapat menarik tenaga kerja dari sektor pertanian ke sektor industri hasil pertanian (agroindustri); (3) meningkatkan penerimaan devisa melalui peningkatan ekspor hasil agroindustri; (4) memperbaiki pembagian pendapatan; dan (5) menarik pembangunan sektor pertanian.

Peningkatan nilai tambah hasil-hasil pertanian dan menjadikan hasil-hasil pertanian tersebut menjadi produk-produk unggulan yang mampu bersaing di pasaran domestik dan internasional merupakan tantangan dalam pengembangan agroindustri di Indonesia saat ini. Untuk menghadapi tantangan tersebut dan untuk pengembangan agroindustri menuju agroindustri yang maju dan berkelanjutan, diperlukan strategi yang tepat, efektif dan efisien.

Buku ini membahas berbagai strategi untuk mengembangkan agroindustri yang maju dan berkelanjutan. Secara rinci, buku ini membahas teknologi pengolahan kulit produktif dan ramah lingkungan menuju pembangunan industri yang maju dan berkelanjutan; teknik sistem industri untuk meningkatkan daya saing agroindustri; rantai pasok agroindustri cerdas, adaptif dan berkeadilan; serta rekayasa ekoteknologi dalam rangka pembangunan agroindustri berkelanjutan.

## 1.2 Daftar Pustaka

- Austin JE. 1981. *Agroindustrial Project Analysis*. London: The John Hopkins University Press.
- Mangunwidjaja D. 2007. Prospek Pengembangan Industri Bioteknologi Agromakanan dan Kelautan. Makalah untuk diskusi internal. Ditjen Industri Kimia dan Agro, Departemen Perindustrian.
- Mangunwidjaja D, Sailah I. 2009. *Pengantar Teknologi Pertanian*. Jakarta: Penerbit Penebar Swadaya.
- Mercier C, Colonna P. 1992. Starch and enzymes: Innovations in the Products, Process, and Uses. *Biofutur* 24 : 55–59.
- Simatupang P, Purwoto A. 1990. Pengembangan Agroindustri Sebagai Penggerak Pembangunan Desa. Prosiding Agroindustri Faktor Penunjang Pembangunan Pertanian di Indonesia. Pusat Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian. Bogor.
- Suparno O, Kartika IA, Muslich. 2013. *Sains dan teknologi proses produksi minyak/lemak dan kulit samoa (chamois leather)*. Bogor (ID): IPB Press.



**5. REKAYASA EKOTEKNOLOGI DALAM  
RANGKA PEMBANGUNAN AGROINDUSTRI  
BERKELANJUTAN**



**Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti**

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi  
Pertanian, Institut Pertanian Bogor



## 5.1 Pendahuluan

Perubahan iklim sudah menjadi kata-kata yang sering kita dengar dalam percakapan sehari-hari. Kenyataan ini perlu dipahami dan ditindaklanjuti secara tepat karena mekanisme terjadinya dan dampaknya yang cukup kompleks. Peringatan akan terjadinya kerusakan lingkungan tersebut telah disampaikan kepada kita berabad-abad yang lalu, tetapi nampaknya kita tidak menanggapinya dengan serius. “Telah tampak tanda-tanda kerusakan di laut dan di darat akibat ulah tangan manusia” (QS Ar-Rum: 41), begitu bunyi peringatan yang kita lalai untuk segera menyikapinya. Akibatnya banyak kejadian-kejadian berkaitan dengan kerusakan di laut dan di darat serta di udara yang kita alami. Mulai dari rusaknya terumbu karang di beberapa tempat di lautan, hilang atau musnahnya berbagai spesies atau biota laut hingga tercemarnya berbagai lokasi perairan dan lautan mulai dari skala ringan hingga cukup mengkhawatirkan bagi kesehatan dan keberlangsungan makhluk hidup di dalam dan di sekitarnya. Belum lagi kita lihat adanya kenyataan berbagai kerusakan di darat dan udara yang membuat kita terperangah seakan tidak percaya. Mulai dari hutan yang meranggas, tanah longsor bahkan sampai mewabahnya berbagai jenis penyakit yang memakan korban serta menurunnya kualitas udara yang menyebabkan kita merasa tidak nyaman untuk menghirup udara sebagaimana layaknya. Semuanya itu akibat ulah tangan manusia.

Manusia mempunyai tugas menjadi khalifah di bumi. Dalam menjalankan tugas tersebut berbagai kegiatan dilaksanakan untuk menjaga eksistensi diri manusia di bumi. Salah satu kegiatan tersebut adalah bagaimana menyediakan segala macam keperluan hidup sebaik-baiknya. Dalam rangka penyediaan keperluan hidup tersebut manusia menjalankan suatu proses transformasi bahan baku menjadi produk yang siap dikonsumsi atau dimanfaatkan. Proses transformasi bahan baku hasil pertanian menjadi produk dalam skala komersial kita kenal dengan istilah agroindustri. Indonesia sebagai suatu negara dianugerahi berbagai sumber daya alam, antara lain lautan yang kaya akan bahan-bahan bernilai ekonomis dan kondisi tanah yang subur sehingga memungkinkan berbagai komoditas pertanian untuk dibudidayakan, seperti kopi, coklat, teh, kelapa, kelapa sawit, rempah, buah-buahan dan sayur-sayuran tropika, dan masih banyak lagi. Dari proses transformasi bahan baku hasil pertanian menjadi produk akan diperoleh nilai tambah

bagi hasil pertanian tersebut (Indrasti *et al.* 2011). Ambil contoh hasil pertanian kelapa sawit, dari 1 ton Tandan Buah Segar/TBS (*Fresh Fruit Bunch/FFB*) akan dihasilkan 220 kg CPO (*crude palm oil*) dengan harga \$800/ton dan 20 kg CPKO (*crude palm kernel oil*) dengan harga \$1.200/ton. Selanjutnya dari 220 kg CPO dapat diolah menjadi 160 kg (73%) *palm olein* yang bisa digunakan langsung untuk minyak goreng dan 46 kg (21%) *palm stearin* dan 11 kg (5%) hasil samping (*by product*). Ini semua merupakan produk hilir tingkat pertama. Produk hilir berikutnya bisa bermacam-macam, bisa untuk makanan bisa juga untuk produksi oleokimia, antara lain dari 20 kg CPKO dapat diolah menjadi produk oleokimia sebagai produk hilir tingkat pertama seperti *crude fatty acid* sebanyak 19 kg (94%) dengan nilai tambah sebesar \$400/ton dan *glycerol* 2 kg (12%). Lebih lanjut *crude fatty acid* dapat diolah menjadi oleokimia lanjutan seperti *fatty alcohol* dengan nilai tambah \$800/ton, sabun dan lain-lain (wawancara langsung dengan Koordinator Hilirisasi Bakrie Sumatera Plantation, Juni 2017). Produksi kelapa sawit Indonesia sebesar 32 juta ton per tahun dengan menggunakan contoh di atas sebagai dasar maka dapat kita hitung berapa nilai tambah yang diperoleh Indonesia melalui agroindustri kelapa sawit, belum lagi kita hitung komoditi pertanian yang lain.

Produk agroindustri Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan dapat diekspor bersaing di pasar internasional. Untuk itu proses agroindustri harus dijalankan secara efektif dan efisien. Praktik agroindustri yang efektif dan efisien menuntut adanya penguasaan dan implementasi rekayasa ekoteknologi untuk mendukung keberlanjutan agroindustri tersebut.

## **5.2 Aspek Lingkungan**

### **Lingkungan Ideal**

Manusia sejak ada sampai sekarang, telah berada dalam lingkungan yang dapat dikatakan mendukung kehidupan. Hal ini dapat dilihat dari udara yang dihirup oleh manusia berada pada komposisi 78 persen nitrogen, 21 persen oksigen, dan sisanya karbon dioksida, uap air dan sebagainya. Selain itu, tekanan udara 1 atmosfer di permukaan laut, melimpahnya air, ada tumbuhan, ada hewan, panas dari matahari yang cukup dan percepatan gravitasi yang berkisar 9,8 m per detik kuadrat

tentu menggambarkan lingkungan yang ideal bagi berlangsungnya proses kehidupan (Bishop 2004).

Pada dasarnya, lingkungan didefinisikan sebagai semua faktor luar, fisik, dan biologis yang secara langsung berpengaruh terhadap ketahanan hidup, pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi organisme. Faktor fisik yang dimaksud meliputi tanah, air, udara dan energi, sedangkan faktor biologis meliputi organisme lainnya seperti hewan maupun tumbuhan.

Lingkungan dikatakan ideal bagi manusia jika semua faktor luar baik fisik, kimia, maupun biologis berpengaruh positif dan mendukung terhadap kelangsungan hidup manusia. Lingkungan dapat memenuhi semua kebutuhan manusia mulai dari pangan, bahan bakar, pemukiman, dan kebutuhan dasar lainnya. Semakin ideal komposisi lingkungan sekitar, maka semakin mudah manusia memenuhi kebutuhan hidupnya. Dalam memenuhi kebutuhan hidupnya manusia melakukannya dengan berbagai kegiatan yang memanfaatkan sumber daya alam yang ada seperti pertanian, perkebunan, perikanan, peternakan, dan berbagai kegiatan lainnya.

### **Kondisi Faktual dan Aktual Lingkungan**

Kondisi lingkungan pada saat ini telah mengalami berbagai perubahan yang menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan. Hal ini memicu terjadinya berbagai bahaya lingkungan yang semakin hari bertambah parah. Bahaya lingkungan yang sering kali terjadi antara lain banjir, kemarau panjang, kebakaran hutan, tanah longsor dan lainnya.

Negara Indonesia saat ini, sedang menghadapi berbagai masalah lingkungan. Hal ini pada dasarnya diakibatkan oleh ulah manusia, yang terkadang tidak mengenal ambang batas dalam pemanfaatan lingkungan untuk memenuhi kebutuhannya. Dimulai dari penebangan hutan liar atau pembalakan hutan, polusi udara di daerah perkotaan, penghancuran terumbu karang, asap dari kebakaran hutan, perburuan liar, pembuangan sampah tanpa pemisahan/pengolahan, polusi air dari limbah industri, dan perambahan suaka alam/suaka margasatwa, dan lain-lain.

Selain masalah lingkungan di masing-masing negara, pada saat ini ada beberapa permasalahan lingkungan yang menjadi isu global. Hal ini karena permasalahan lingkungan tersebut meliputi seluruh muka bumi sehingga semua bangsa dan negara akan terkena dampaknya. Permasalahan lingkungan ini berkaitan dengan polusi udara yang meliputi pemanasan global, lubang ozon, dan hujan asam (Bishop 2004).

### **Faktor Penyebab Kerusakan Lingkungan**

Permasalahan lingkungan yang dihadapi manusia pada dasarnya disebabkan oleh tidak selarasnya hubungan yang terjadi antara manusia dengan lingkungan. Hal ini terjadi karena kerusakan lingkungan telah mengakibatkan lingkungan tersebut tidak atau kurang sesuai lagi untuk mendukung kehidupan manusia. Faktor utama penyebab rusaknya lingkungan pada dasarnya adalah ulah manusia itu sendiri.

Hal ini berkaitan erat dengan populasi akibat aktivitas manusia yang semakin hari semakin meningkat. Misalnya di Indonesia, berdasarkan data statistik, tahun 1995 jumlah penduduk Indonesia sekitar 194.754.808 jiwa yang meningkat menjadi 206.264.595 jiwa pada tahun 2000. Pada tahun 2005 jumlah penduduk Indonesia meningkat lagi menjadi 218.868.791 jiwa, pada tahun 2010 meningkat menjadi 237.641.326, dan pada tahun 2015 meningkat menjadi 255.461.686 serta diprediksi akan terus meningkat di tahun-tahun berikutnya (BPS 2015).

Tingkat kepadatan penduduk yang tinggi pada suatu negara menyebabkan tingginya kebutuhan akan pangan, bahan bakar, pemukiman, dan kebutuhan dasar lainnya. Hal ini tentu saja akan memengaruhi jumlah limbah yang dihasilkan di negara tersebut. Dengan meningkatnya jumlah penduduk tentu akan meningkatkan jumlah limbah domestik dan limbah industri yang secara langsung akan mengakibatkan perubahan besar pada kualitas lingkungan hidup (Klass 1998).

Untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, manusia melakukan banyak hal untuk mengolah sumber daya alam secara maksimal tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan. Hasil dari semua pemenuhan kebutuhan manusia melalui perbaikan dalam mekanisasi adalah peningkatan yang besar dalam produktivitas industri, biaya yang

lebih murah untuk produk-produk olahan, dan biasanya diikuti dengan peningkatan standar hidup populasi. Walaupun demikian, hal ini tidak datang begitu saja tanpa biaya. Pabrik membuang limbah dari proses pengolahan ke dalam air, tanah, dan udara. Karena industri biasanya ditempatkan secara bersama dalam suatu area dekat atau di dalam kota, buangan ini menyebabkan akumulasi dampak negatif pada area terbatas. Perkembangan yang cepat pada produksi juga mengakibatkan pertumbuhan yang besar dalam kebutuhan energi, bahan mentah, dan sumber daya alam, serta biaya pengadaanya dan menyebabkan kerusakan lingkungan disebabkan proses ekstraksi sumber daya tersebut. Biasanya, industri didesain hanya untuk menggunakan material segar (asli) karena mahalnya dan kompleksnya menggunakan material daur ulang menjadi produk baru (Bishop 2004).

### **Tantangan Masa Depan**

Di masa depan, kepedulian terhadap lingkungan telah menjadi kepentingan utama bagi manusia. Pembangunan agroindustri harus dapat berjalan selaras dengan lingkungan. Hal ini dapat terjadi jika pembangunan dilaksanakan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Pembangunan agroindustri dengan mengelola sumber daya alam harus dilakukan secara efektif dan efisien sehingga sumber daya alam masih akan tersedia untuk generasi yang akan datang.

Pembangunan agroindustri secara berkelanjutan mewajibkan para pelaku industri untuk memberikan perlindungan terhadap lingkungan. Segala sesuatu yang dihasilkan dari industri harus dapat dimanfaatkan dan tidak mencemari lingkungan. Hal ini dapat dilakukan dengan penerapan daur ulang limbah dan pemahaman yang dalam mengenai analisis daur hidup produk. Selain itu, bahan baku beracun dan berbahaya dihindari atau diminimumkan penggunaannya dalam industri.

Kebijakan pemerintah, memegang peranan yang sangat penting dalam terciptanya prinsip pembangunan yang berwawasan lingkungan. Pemerintah membuat regulasi yang mengatur pembangunan agroindustri dan dampaknya terhadap lingkungan. Sikap tegas pemerintah dalam penegakan peraturan dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang akan terjadi.

### 5.3 Pembangunan Agroindustri: Lampau, Kini, dan Nanti

Pada masa lampau pembangunan agroindustri dilakukan tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan. Manusia mengolah sumber daya alam secara maksimal untuk memperoleh keuntungan sebanyak-banyaknya. Bahan baku yang digunakan kadang kala termasuk dalam bahan berbahaya dan beracun. Teknologinya pun relatif menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup besar tanpa ada pengolahan lebih lanjut. Seiring dengan berjalannya waktu, eksploitasi alam secara berlebihan ini menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan lingkungan. Hal ini ditandai dengan timbulnya berbagai macam pencemaran lingkungan mulai dari pencemaran air, tanah, dan udara.

Seiring dengan semakin rusaknya lingkungan akibat pembangunan industri, kini manusia mulai memikirkan strategi pengelolaan lingkungan. Pada mulanya strategi pengelolaan lingkungan mengacu pada pendekatan kapasitas daya dukung. Konsep ini kenyataannya sukar diterapkan, hal ini disebabkan oleh kendala yang ditimbulkan dan seringkali harus dilakukan upaya perbaikan kondisi lingkungan yang kemudian tercemar dan rusak sehingga memerlukan biaya tinggi.

Konsep strategi kemudian berubah menjadi upaya pemecahan masalah dengan pengolahan limbah yang terbentuk (*end of pipe treatment/ EOP*) dengan harapan kualitas lingkungan bisa lebih ditingkatkan. Namun pada kenyataannya, pencemaran masih berlangsung. Hal ini dikarenakan konsep EOP membuat limbah tetap terbentuk dan seringkali pengolahan limbah hanya mengubah bentuk limbah dan memindahkannya dari satu media ke media lain. Selain itu, upaya ini juga meningkatkan biaya produksi, tetapi tidak setinggi upaya perbaikan kerusakan dan pencemaran. Peraturan perundang-undangan yang mengatur persyaratan pembuangan limbah pada umumnya cenderung dilanggar dan upaya penegakan hukum lingkungan belum berjalan sepenuhnya.

Konsep strategi pengelolaan lingkungan kemudian semakin berkembang dan berubah menjadi upaya preventif atau pencegahan, dan dikembangkan menjadi prinsip produksi bersih sebagai suatu strategi preventif yang operasional dan terpadu (Cheremisnoff dan Bendavid-Val 2001).

Produksi bersih diperlukan sebagai cara untuk mengharmonisasikan upaya perlindungan lingkungan dengan kegiatan pembangunan agroindustri. Teknologi produksi bersih merupakan gabungan teknik pengurangan limbah pada sumber pencemar (*source reduction*) dan teknik daur ulang. Dalam produksi bersih, limbah yang dihasilkan dalam keseluruhan proses produksi adalah indikator ketidakefisienan proses produksi sehingga bila dilakukan optimasi proses, limbah yang dihasilkan juga akan berkurang.

Pada masa kini konsep produksi bersih mulai banyak diterapkan pada industri. Hal ini dikarenakan pemerintah sudah semakin tegas dalam menindak para pelaku industri yang membuang limbahnya tanpa pengolahan yang tepat. Selain itu, alam mulai menunjukkan berbagai gejala kerusakan lingkungan yang semakin hari semakin berat yang kedepannya tentu akan mengancam kelangsungan hidup manusia.

Pembangunan agroindustri yang menerapkan konsep produksi bersih akan mendapatkan banyak keuntungan baik dilihat dari segi lingkungan maupun dari segi ekonomi. Keuntungan yang didapat oleh suatu industri apabila menerapkan konsep produksi bersih adalah mengurangi biaya produksi, mengurangi limbah yang dihasilkan, meningkatkan produktivitas, mengurangi konsumsi energi, meminimisasi masalah pembuangan limbah (termasuk penanganan limbah), dan meningkatkan nilai produk samping.

Pada masa yang akan datang, pembangunan agroindustri diharapkan dapat menciptakan hubungan yang selaras dan seimbang dengan lingkungan. Pembangunan agroindustri tidak lagi menghasilkan polusi dan pencemaran. Tingginya kesadaran masyarakat akan pentingnya kesehatan lingkungan mendorong industri untuk menerapkan konsep ramah lingkungan.

Industri melakukan efisiensi penggunaan bahan baku, air, dan energi dalam proses produksinya. Selain itu, bahan-bahan yang tidak dapat diperbaharui dan bahan beracun dan berbahaya diganti dengan bahan yang bersifat ramah lingkungan (Anastas 2013). Hasil samping industri yang tidak dapat didaur ulang atau tidak dapat digunakan kembali oleh industri itu sendiri akan dimanfaatkan oleh perusahaan lain. Contohnya molase sebagai hasil samping dari industri gula dapat dijadikan sebagai pakan ternak, etanol atau produk-produk lainnya.

Pembangunan agroindustri di masa yang akan datang, diharapkan nantinya tidak akan menyebabkan dampak yang serius pada lingkungan. Hasil pembangunan yang direncanakan maupun yang terjadi di luar rencana tidak akan menurunkan atau menghilangkan kemampuan lingkungan untuk mendukung kehidupan ke arah tingkat kualitas hidup yang lebih tinggi.

## **5.4 Perhitungan Aspek Lingkungan**

Pembangunan agroindustri dengan memperhitungkan aspek lingkungan merupakan cara yang tepat bagi kelangsungan hidup manusia. Pembangunan tidak hanya mengolah sumber daya yang ada, tetapi mengelola sumber daya itu sehingga masih akan tersedia bagi generasi yang akan datang. Selain itu, pembangunan juga tidak menyebabkan kerusakan lingkungan tetapi justru membantu mengatasi permasalahan lingkungan yang terjadi saat ini.

Lingkungan tidak akan terganggu kelestariannya akibat limbah yang dihasilkan oleh industri dan masyarakat di sekitarnya tidak akan merasa terganggu akibat aktivitas industri. Hal ini hanya dapat terjadi jika pendirian industri dilakukan dengan memperhitungkan aspek lingkungan melalui konsep produksi bersih.

Konsep ini menitikberatkan pada upaya penggunaan proses 3R yaitu *reduce*, *reuse*, dan *recycle* pada seluruh kegiatannya, mulai dari penggunaan bahan baku sampai ke pembuangan akhir. Mengoptimalkan penggunaan bahan baku dan mereduksi bahan berbahaya dan beracun dapat mencegah atau mengurangi timbulnya masalah pencemaran dan kerusakan lingkungan serta risikonya terhadap manusia.

Produksi bersih memfokuskan pada upaya pengurangan dampak keseluruhan daur hidup produk, mulai dari bahan baku sampai pembuangan akhir. Upaya produksi bersih ini tidak dapat berhasil dilaksanakan tanpa adanya perubahan dalam pola pikir, sikap dan perilaku dari semua pihak terkait baik pemerintah, masyarakat maupun industri. Selain itu juga perlu diterapkan pola manajemen di kalangan industri maupun pemerintah yang telah mempertimbangkan aspek lingkungan (Indrasti dan Fauzi 2009).

Mengaplikasikan teknologi ramah lingkungan, manajemen dan prosedur operasi standar sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan, kegiatan-kegiatan tersebut tidak selalu membutuhkan biaya investasi yang tinggi, walaupun terjadi sering kali waktu yang diperlukan untuk pengembalian modal investasi relatif singkat. Pelaksanaan program produksi bersih ini lebih mengarah pada pengaturan sendiri (*self regulation*) dan peraturan yang sifatnya musyawarah mufakat (*negotiated regulatory approach*) dari pada pengaturan secara *command and control*. Jadi pelaksanaan program produksi bersih ini tidak hanya mengandalkan peraturan pemerintah saja, tetapi lebih didasarkan pada kesadaran untuk merubah sikap dan perilaku industri. Beberapa contoh industri yang telah dikaji untuk menerapkan produksi bersih antara lain industri tapioka, industri karet, industri gula, industri kayu lapis, dan industri minyak sawit kasar (Indrasti dan Fauzi 2009).

### **Produksi Bersih pada Industri Tapioka**

Industri tapioka merupakan salah satu jenis industri hasil pertanian yang cukup banyak tersebar di Indonesia. Dampak lingkungan yang terjadi akibat kegiatan industri tapioka yang tumbuh makin cepat perlu dikendalikan. Upaya-upaya nyata sebagai pelaksanaan prinsip pengembangan industri yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan harus diperhatikan dimulai tahap pemilihan bahan baku hingga akhir proses produksi. Sehubungan dengan itu, dibutuhkan informasi pemilihan bahan baku yang bersih dari bahan pencemar, teknologi proses yang bersih dan mampu menghasilkan limbah yang lebih sedikit, efisiensi proses yang tinggi serta didukung teknologi daur ulang bahan buangan dan penanganan limbah. Opsi produksi bersih yang dapat diterapkan pada proses produksi tepung tapioka disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Opsi produksi bersih di industri tepung tapioka

No.	Permasalahan	Opsi Produksi Bersih
1	Penggunaan Air	Proses pencucian tidak dilakukan dengan air mengalir tetapi menggunakan dua tahap pencucian yang dilakukan dalam wadah. Pencucian tahap pertama untuk mencuci ubi kayu yang relatif kotor dengan menggunakan air sisa dari tahapan proses pengendapan dan pencucian kedua untuk ubi kayu dari wadah pertama yang relatif agak bersih dengan menggunakan air bersih, dengan demikian penggunaan air dapat dibatasi
2	Kulit dan bonggol singkong	Memanfaatkannya menjadi pupuk
3	Air sisa cucian	Memanfaatkannya untuk kepentingan lain seperti pembuatan biogas
4	Hasil parutan yang tercecer pada proses pamarutan	Mengumpulkan hasil parutan yang tercecer untuk diolah kembali
5	Ampas sisa penyaringan	Dimanfaatkan kembali untuk kepentingan lain, seperti ampas basah dapat digunakan untuk membuat saus dan ampas kering sebagai bahan pembuatan obat nyamuk bakar
6	Air dari bak penampungan	Pemanfaatan kembali untuk tahapan proses pencucian
7	Sisa-sisa pati pada bak pengendapan	Mengumpulkan sisa-sisa pati pada bak pengendapan
8	Tepung tapioka yang berserakan	Mengumpulkan kembali tepung tapioka yang berserakan akibat diterbangkan oleh angin untuk diolah lagi
9	<i>Good house keeping</i>	Pemakaian masker bagi para pekerja

Dengan menerapkan opsi produksi bersih tersebut, industri tapioka akan mendapatkan manfaat dari segi lingkungan yaitu dapat mengurangi pencemaran akibat limbah baik itu limbah cair, padat atau gas. Selain itu, perusahaan juga mendapatkan manfaat dari segi ekonomi berupa efisiensi air dan peningkatan pendapatan.

## Produksi Bersih pada Industri Karet

Karet merupakan komoditas penting di Indonesia. Indonesia memiliki luas lahan karet sebesar 3.446 juta ha dengan produktivitas yang masih rendah (IRSG 2012). Indonesia menduduki peringkat kedua (26,8%) setelah Thailand (31,2%) dalam produksi karet dunia pada tahun 2012. Posisi ketiga ditempati Malaysia dengan produksi 8,4%. Konsumsi karet alam dunia mencapai 11,6 juta ton dengan laju mencapai 14,8% pada tahun 2013 (Mandiri 2013).

Bahan baku industri karet Indonesia berasal dari perkebunan rakyat (sekitar 80% dari total produksi nasional), perusahaan milik pemerintah dan perusahaan swasta skala besar, masing-masing menghasilkan produksi sekitar 10% dari total produksi nasional (Kementerian Koordinator Bidang Ekonomi 2011).

Industri karet memiliki keterikatan yang tinggi dengan lingkungan. Semakin tinggi tingkat produksi industri karet semakin tinggipula kontribusinya terhadap dampak lingkungan. Isu terkait dampak lingkungan membutuhkan penanganan yang strategis untuk mengatasinya. Beberapa isu lingkungan terkait industri karet disajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Isu lingkungan terkait industri karet

No.	Permasalahan	Uraian
1	Polusi air	Hal ini terkait banyaknya limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi
2	Polusi udara	Diakibatkan proses pembakaran kayu untuk proses pemasakan latex
3	Bau yang tidak enak	Hal ini dikarenakan menumpuknya bahan baku karet yang belum terolah
4	Penggunaan amoniak untuk mencegah koagulasi latex pada saat pengumpulan dan mencegah kontaminasi latex	Amoniak memiliki bau yang kuat, toksik dan korosif untuk beberapa peralatan. Karakteristik semacam ini dapat memengaruhi sistem pernafasan pekerja
5	Penggunaan pupuk inorganik yang berkontribusi pada gas rumah kaca	Produksi pupuk inorganik membutuhkan banyak energi dan aplikasi pupuk akan melepaskan gas N <sub>2</sub> O

(Kusumastuti *et al.* 2015a)

Untuk mengatasi permasalahan industri karet beberapa alternatif solusi strategis dapat diuraikan sebagai berikut (Kusumastuti *et al.* 2015b).

1. Penggunaan kembali limbah cair

Penggunaan kembali limbah yang sudah diolah dan sudah memenuhi baku mutu untuk air irigasi, bukan untuk digunakan dalam proses produksi. Penggunaan air limbah yang sudah diolah untuk proses produksi dapat memengaruhi kualitas produk. Untuk penggunaan sebagai air irigasi harus memenuhi standar air irigasi sesuai Peraturan Menteri Lingkungan No. 51 tahun 1995 dan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Manajemen Air dan Pengendalian Polusi Air, mencakup studi dampak terhadap ikan, hewan, dan tanaman, kualitas tanah dan air tanah serta kesehatan masyarakat.

2. Efisiensi dalam penggunaan air

Dikarenakan penggunaan air yang besar maka perusahaan seharusnya melaksanakan efisiensi penggunaan air. Strategi ini bukan berarti pengurangan jumlah pemakaian air tetapi lebih ditekankan pada evaluasi efisiensi penggunaannya. Strategi dapat dijalankan seperti dengan selalu mengingatkan karyawan untuk menutup keran air bilamana selesai digunakan atau tidak membiarkan air mengalir terus menerus.

3. Substitusi bahan baku

Penggunaan amonia untuk membekukan lateks dapat diganti dengan uap cair yang lebih ramah lingkungan. Uap cair dibuat dari biomassa melalui proses pirolisis. Biomassa dapat diperoleh dari pohon-pohon karet yang sudah tidak produktif lagi.

4. Pelaksanaan *good housekeeping*

Strategi implementasi *good housekeeping* dinilai sebagai alternatif yang murah untuk mengurangi polusi. Implementasinya membutuhkan komitmen dan partisipasi aktif di tingkat manajer dan karyawan. Strategi ini murah karena dapat menghemat biaya pengolahan limbah dengan cara mengefisienkan penggunaan sumberdaya.

## 5. Pencegahan polusi

Untuk mengurangi dan menghilangkan polutan yang bisa terbentuk, satu pendekatan yang dapat dilakukan yakni melalui pencegahan polusi. Pencegahan polusi dapat dilakukan makala produk masih dalam proses pembuatan, bukan pada saat limbah sudah terbentuk.

## 6. Strategi lingkungan personal

Strategi ini terkait dengan kendala sumberdaya manusia. Memperhatikan peran aktif karyawan dalam kegiatan lingkungan maka perusahaan dapat memfasilitasi karyawan melauai *training* dan membangun kesadaran mengenai isu-isu lingkungan. Diharapkan peran aktif karyawan dan dukungan manajer dapat lebih proaktif dalam praktik pengelolaan lingkungan dengan baik.

## 7. Strategi kerjasama penelitian dan pengembangan

Kerjasama penelitian dan pengembangan dapat dilakukan untuk mengatasi kekurangan ekpertise diperusahaan berkaitan dengan inovasi pengelolaan lingkungan. Kerja sama ini dapat dilakukan dengan perguruan tinggi atau lembaga-lembaga penelitian untuk mengadopsi hasil-hasil penelitian melalui penelitian bersama untuk peningkatan efisiensi, profitabilitas dan daya saing.

## **Produksi Bersih pada Industri Gula**

Industri gula selain memberikan manfaat dan keuntungan yang besar bagi manusia ternyata juga memberikan dampak yang besar bagi lingkungan. Hal ini karena industri tersebut menghasilkan limbah baik berupa limbah padat, limbah cair ataupun emisi udara. Limbah-limbah tersebut jika tidak diolah dengan tepat menyebabkan industri gula menghadapi tantangan berupa pencemaran lingkungan akibat aktivitasnya. Oleh karena itu perlu dikaji penerapan produksi bersih untuk industri gula. Opsi produksi bersih pada proses produksi gula disajikan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Opsi produksi bersih di industri gula

No.	Permasalahan	Opsi Produksi Bersih
1	Limbah berupa pucuk tebu dan blotong	dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak
2	Limbah berupa daun tua/ kering, bagas (ampas tebu) dan blotong	dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler ataupun sebagai bahan baku pada proses pembuatan kompos
3	Limbah tebu tercecer	dapat diminimisasi dengan menerapkan <i>good house keeping</i> dengan cara mengadakan training bagi tenaga kerja. Selain itu, limbah ini dapat juga dimanfaatkan sebagai bahan bakar pabrik
4	Limbah gas buang kendaraan	dapat diminimisasi dengan melakukan perawatan mesin truk secara berkala sehingga gas buang yang dihasilkan akan lebih bersih
5	Limbah berupa debu	dapat diminimisasi dengan melakukan penyemprotan dengan menggunakan air di lokasi tertentu misalnya di tempat pusat aktivitas
6	Air bekas pencucian lantai	dapat diminimisasi dengan cara melakukan pembersihan kering
7	Bocoran nira dan oli/ minyak	dapat diminimisasi dengan menerapkan <i>Good House Keeping</i>
8	Air pendingin pompa	dapat dikumpulkan dan digunakan kembali ( <i>reuse</i> )
9	Limbah sisa gas SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> dan NO	dapat diminimisasi dengan cara memperkering ampas tebu yang digunakan sebagai bahan bakar boiler
10	Air kondensat	dapat dimanfaatkan kembali sebagai air umpan boiler dan air imbibisi sedangkan air serapan, larutan soda bekas, air bekas pencucian evaporator dan air jatuhan kondensor akan diolah di IPAL
11	Limbah yang berupa kondensat	dapat dimanfaatkan kembali ( <i>reuse</i> ) sebagai air umpan boiler dan air imbibisi
12	Bocoran larutan gula ( <i>stroop/klare</i> ) dan bocoran masakan dari palung pendingin	dapat diminimisasi dengan menerapkan <i>good house keeping</i>
13	Molase	dapat digunakan sebagai media produksi berbagai produk bernilai tinggi seperti MSG, alkohol, spirtus, dan asam organik

Dengan menerapkan opsi produksi bersih tersebut, industri gula akan mendapatkan manfaat dari segi lingkungan yaitu mengurangi pencemaran akibat limbah padat, limbah cair dan polusi udara. Selain itu, dengan menerapkan produksi bersih perusahaan juga akan mendapatkan manfaat dari segi ekonomi berupa efisiensi bahan bakar, air dan meningkatkan pendapatan perusahaan.

### **Produksi Bersih pada Industri Kayu Lapis**

Salah satu hal terpenting dalam industri kayu lapis adalah proses produksi, yaitu bagaimana produk tersebut dihasilkan. Teknologi yang tepat dan didukung dengan manajemen produksi yang baik sehingga menghasilkan produk dengan kualitas tinggi dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang ada dan terbatas serta mencegah terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan. Opsi produksi bersih pada proses produksi kayu lapis dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Opsi produksi bersih di industri kayu lapis

No.	Permasalahan	Opsi Produksi Bersih
1	Limbah berupa log afkir	dapat diminimisasi dengan lebih menyortir kayu gelondongan (log) dan lebih memperhatikan jumlah dan kondisi kayu yang akan digunakan untuk proses produksi kayu lapis
2	Limbah gas buang	dapat diminimisasi dengan menggunakan alat-alat yang dapat menyaring gas buang seperti <i>blower, bag filter, dust collector, cyclone</i> dan silo
3	Limbah inti kayu dan sebetan	dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku alas pengemasan dan sebagai bahan baku <i>block board</i>
4	Limbah berupa potongan tepi log, sisa kupasan, sisa potongan log, sisa potongan sisi panel, sisa potongan <i>veneer</i> , dan debu kayu	dapat digunakan sebagai bahan bakar <i>boiler</i>

Tabel 5.4 Opsi produksi bersih di industri kayu lapis (lanjutan)

No.	Permasalahan	Opsi Produksi Bersih
5	Limbah berupa <i>veneer</i> yang tidak standar, sisa potongan <i>core</i> dan <i>core reject</i>	dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alas <i>packing</i>
6	Limbah berupa air ceceran <i>glue spreader</i>	dapat dimanfaatkan kembali sebagai pengganti air bersih dalam proses pencucian <i>glue spreader</i>
7	Padatan perekat	dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan yang digunakan dalam proses pembuatan perekat
8	Ceceran perekat	dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar <i>boiler</i> dengan penambahan serbuk kayu
9	Limbah serbuk hasil pengampelasan	dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan perekat dan bahan pengisi dalam pembuatan dempul
10	Limbah berupa kemasan kertas	dapat digunakan sebagai bahan bakar <i>boiler</i> sedangkan limbah berupa <i>polyester coating</i> dan kemasan film dapat didaur ulang sebagai bahan kerajinan untuk kemudian dijual

Dengan menerapkan opsi produksi bersih tersebut, industri kayu lapis akan mendapatkan manfaat dari segi lingkungan yaitu mengurangi pencemaran akibat limbah padat dan polusi udara. Selain itu, dengan menerapkan produksi bersih perusahaan juga akan mendapatkan manfaat dari segi ekonomi berupa efisiensi bahan bakar, bahan baku, dan meningkatkan pendapatan perusahaan.

### Produksi Bersih pada Industri CPO

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas yang memiliki prospek cerah. Hal tersebut dikarenakan kelapa sawit tumbuh dengan baik di daerah beriklim tropis dan konsumsi minyak sawit dunia yang terus meningkat. Peningkatan produksi dan konsumsi dunia terhadap minyak sawit secara langsung dapat mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan. Pada proses produksi minyak sawit, setiap ton tandan buah

segar (TBS) yang diolah menghasilkan *effluen* sebanyak 0,6 m<sup>3</sup>. Limbah tersebut dapat mengakibatkan dampak terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik.

Berdasarkan tempat pembentukannya, limbah kelapa sawit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu limbah perkebunan kelapa sawit dan limbah industri kelapa sawit. Saat ini, usaha-usaha penanganan limbah industri minyak sawit sudah mengarah kepada upaya pencegahan dampak terhadap lingkungan. Upaya tersebut dilakukan dengan cara memanfaatkan limbah industri minyak sawit sebagai produk samping. Opsi produksi bersih pada proses produksi CPO disajikan pada Tabel 5.5.

Dengan menerapkan opsi produksi bersih tersebut, industri CPO akan mendapatkan manfaat dari segi lingkungan yaitu mengurangi cemaran produksi. Selain itu, dengan menerapkan produksi bersih perusahaan juga akan mendapatkan manfaat dari segi ekonomi berupa efisiensi air dan meningkatkan pendapatan perusahaan.

Tabel 5.5 Opsi produksi bersih di industri CPO

No.	Permasalahan	Opsi Produksi Bersih
1	Kolam penampung air kondensat	Modifikasi proses perebusan dengan membuat kolam penampung air kondensat. Untuk mendirikan kolam penampung kondensat beserta utilitasnya dibutuhkan lahan dengan ukuran minimum 3 x 5 m atau sebesar 15 m <sup>2</sup> . Untuk mengantisipasi peningkatan kapasitas olah pabrik, penambahan kapasitas kolam dapat dilakukan dengan menambah kedalaman kolam
2	Pencegahan jumlah USB ( <i>Unstripped Bunch</i> )	Pemanenan TBS tepat waktu merupakan salah satu upaya pencegahan jumlah USB ( <i>Unstripped Bunch</i> ) yang dapat memboroskan penggunaan energi
3	Pengendalian USB	Proses perebusan dengan waktu yang tepat merupakan faktor utama pengendalian USB

Tabel 5.5 Opsi produksi bersih di industri CPO (lanjutan)

No.	Permasalahan	Opsi Produksi Bersih
4	Aplikasi <i>good housekeeping</i>	Dapat dilakukan adalah penutupan kebocoran-kebocoran pipa air dan uap, penutupan aliran air yang tidak diperlukan pada stasiun penjernihan, penggantian selang air yang bocor, perbaikan keran air, pembersihan mesin, parit, dan lingkungan kerja serta perbaikan metode penanganan bahan
5	Penambahan SOP kerja	Pada beberapa stasiun proses dilakukan penambahan SOP kerja berupa pembersihkan lingkungan dan mesin, serta penutupan kebocoran
6	SOP penyimpanan dan penanganan bahan	Dibuat dan dilaksanakan karena jika tidak dilaksanakan dapat menyebabkan terjadinya cemaran lingkungan pabrik oleh bahan kimia, kerusakan material serta gangguan terhadap kesehatan dan keselamatan karyawan

## 5.5 Rekayasa Ekoteknologi untuk Pengembangan Material Hijau

Apa yang membedakan manusia dengan makhluk hidup lainnya di planet kita ini adalah penggunaan teknologi. Teknologi berasal dari bahasa Yunani dari akar kata *techne* yang berarti kerajinan atau seni, dan akar kata *ology* yang merujuk pada disiplin atau bidang studi. Kita menggunakan teknologi untuk berkembang dan menyiapkan makanan, pakaian, rumah untuk keluarga kita, mendistribusikan sumber daya melalui pasar dan mekanisme pasar lainnya, mengangkut kita mengelilingi planet kita atau lebih jauh lagi dan membuat kita sibuk serta menghibur kita. Teknologi telah memperbaiki standar hidup dan meningkatkan usia harapan manusia, walaupun tidak sama rata. Namun demikian teknologi telah memberi manusia kemampuan untuk merubah dan mentransform bumi dengan cara yang dahulunya tidak pernah terbayangkan. Kita dapat mengirim manusia ke luar angkasa, merubah gunung menjadi lembah, dan mengangkut minyak dari bermil-mil jaraknya di bawah permukaan laut, serta kita juga mampu merubah bahan yang tidak bernilai menjadi produk yang memiliki nilai tambah ekonomi dan ramah lingkungan (Muvaney 2011).

Ekoteknologi adalah teknologi yang berwawasan lingkungan yang dapat menurunkan tingkat pencemaran persatuan ekonomi, meningkatkan kegiatan ekonomi yang sifatnya berkelanjutan, efisiensi dalam penggunaan *input* baik sumber daya alam maupun energi sehingga menghasilkan *output* yang lebih besar dan meningkatkan daur ulang sumber daya alam dalam proses produksi maupun produk yang yang dihasilkan (Satriago 1995).

Beberapa contoh rekayasa ekoteknologi telah saya kembangkan bersama tim, teman sejawat dan mahasiswa bimbingan baik program S-1, S-2, maupun S-3 antara lain rekayasa ekoteknologi pengomposan, ekstraksi kitin dan produksi kitosan, nanosilika, serta membran filtrasi dan membran elektrolit.

### **Rekayasa Ekoteknologi Pengomposan Limbah Padat Industri Gula**

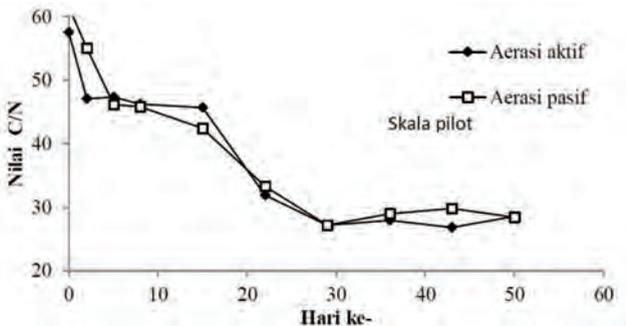
Pengelolaan lingkungan industri gula dilakukan antara lain dengan melakukan pemanfaatan limbah padat yang ditimbulkan oleh industri tersebut. Pemanfaatan limbah padat ini selain ditujukan untuk mengurangi risiko lingkungan, juga diharapkan dapat menjadi salah satu usaha mencapai industri gula terpadu. Dengan adanya pencapaian ini maka diharapkan tidak hanya dapat meningkatkan pendapatan, namun juga akan menambah daya saing produk gula (Indrasti 2015 dan Ismayana *et al.* 2012).

Limbah padat industri gula memiliki kandungan organik yang tinggi. Sebagaimana bahan organik lainnya, limbah padat yang berasal dari industri gula umumnya dijadikan pupuk organik (kompos), di samping proses penanganannya yang relatif lebih mudah, pemanfaatan kembali limbah dalam bentuk pupuk ini juga dapat diaplikasikan pada areal perkebunan tebu sehingga akan mengurangi penggunaan pupuk dan akhirnya mengurangi biaya produksi gula secara keseluruhan (Martin 1998). Peningkatan kapasitas proses merupakan upaya untuk menstransfer serta meningkatkan proses dari skala laboratorium, *pilot plant* ke skala produksi. Hal ini diperlukan tidak hanya untuk menggandakan jumlah produksi, tetapi juga mempertahankan kondisi proses tetap optimum sebagaimana dilakukan pada skala laboratorium (Ismayana *et al.* 2014b).

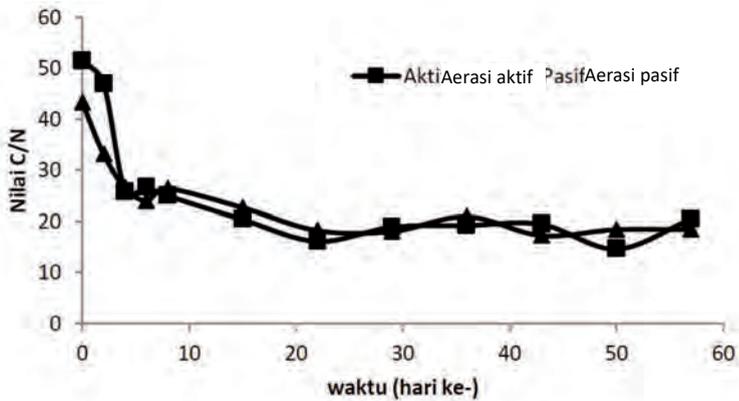
Pengukuran suhu proses *co-composting* pada skala pilot menunjukkan adanya peningkatan pada minggu pertama proses berlangsung. Penurunan suhu untuk mencapai kondisi yang stabil ternyata lebih cepat terjadi pada pengomposan blotong-abu ketel yaitu pada hari ke-30, sedangkan yang lainnya setelah mencapai hari ke-40. Pengukuran suhu proses juga menunjukkan bahwa kompos dengan perlakuan aerasi aktif memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan dengan aerasi pasif. Pengukuran nilai pH pada skala pilot pada awal pengomposan cenderung meningkat pada minggu pertama. Hal ini disebabkan oleh aktivitas bakteri yang menguraikan bahan organik dan menghasilkan asam-asam organik. Peningkatan ini menuju kondisi pH netral dan dapat dicapai pada 10–20 hari pengomposan.

Kadar air rata-rata selama proses pengomposan relatif stabil yaitu berkisar antara 70–80%. Kadar air ini cukup ideal untuk pengomposan menggunakan bahan basah yaitu sekitar 50–75%. Kadar nitrat yang dihasilkan menunjukkan kecenderungan yang menurun pada fase awal pengomposan dan sedikit meningkat pada fase akhir. Hal ini disebabkan nitrifikasi tidak aktif pada suhu thermophilic yang terjadi pada fase awal pengomposan. Pada fase selanjutnya nitrifikasi mulai aktif dengan ditandainya peningkatan kadar nitrat.

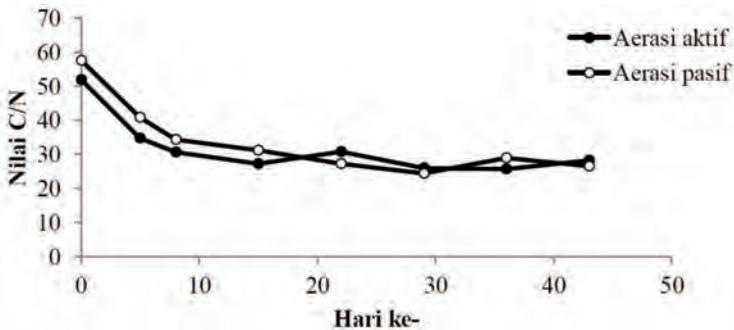
Laju penurunan nilai C/N yang berbeda antara hasil peningkatan kapasitas proses dengan skala laboratorium. Pada kapasitas yang lebih besar grafik linier relatif lebih landai dibandingkan dengan skala laboratorium baik perlakuan aerasi aktif maupun pasif. Hal ini berarti laju penurunan C/N pada kapasitas yang ditingkatkan lebih lambat dibandingkan dengan skala laboratorium. Grafik perubahan nilai C/N selama proses pengomposan disajikan pada Gambar 5.1 sampai 5.3.



Gambar 5.1 Perubahan Nilai C/N Bagas-Blotong selama proses pengomposan



Gambar 5.2 Perubahan nilai C/N Blotong-Abu Ketel selama proses pengomposan (Ismayana *et al.* 2014a)



Gambar 5.3 Perubahan nilai C/N Blotong-Bagas-Abu Ketel selama proses pengomposan

Kompos yang dihasilkan pada proses *co-composting* skala pilot memiliki kualitas yang baik dilihat dari hampir semua parameter yang diuji dan memenuhi standar mutu kompos. Kemampuan daya ikat air yang teridentifikasi rendah pada skala laboratorium (31%–51%) menunjukkan peningkatan pada kapasitas lebih tinggi sekitar 42%–99%. Namun demikian kemampuan ikat air produk kompos hasil pengomposan abu ketel-blotong dan bagas-abu ketel-blotong masih berada di bawah standar mutu kompos. Aplikasi kompos yang ditambahkan pada bibit hortikultura (kangkung, casim, dan bayam) menunjukkan

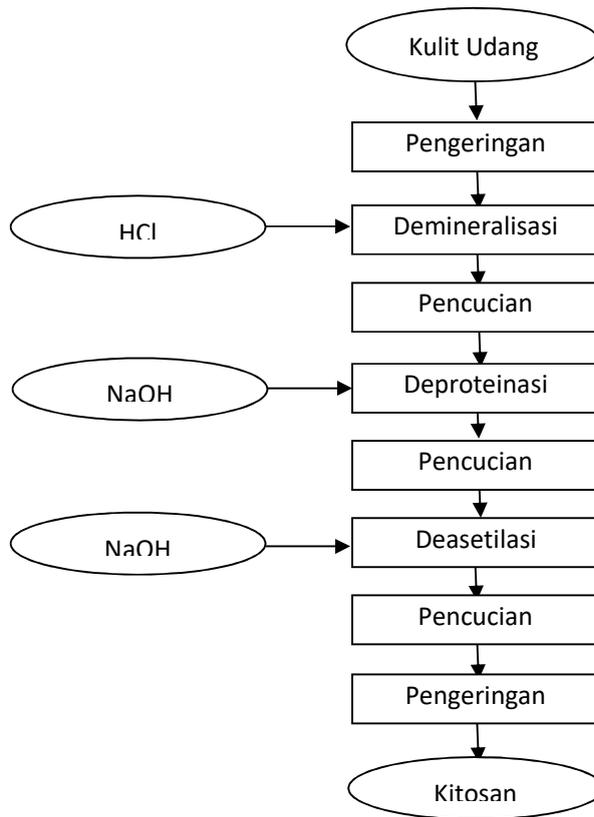
adanya pengaruh terhadap tinggi tanaman tersebut. Namun demikian penambahan kompos tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah daun tanaman hortikultura tersebut.

### **Rekayasa Ekoteknologi Ekstraksi Kitin-Kitosan**

Kitin ( $C_8H_{13}NO_5$ ) adalah biopolimer alami, merupakan polisakarida yang terkandung di dalam kelompok *Crustaceae* yang berkerangka keras, seperti udang, lobster, kepiting, sayap lalat, serta dinding sel pada beberapa kelompok jamur. Kulit udang mengandung 34,9% protein, 27,6% mineral kalsium karbonat ( $CaCO_3$ ), 18,1% kitin, dan 19,4% komponen lain seperti zat terlarut, lemak, dan protein (Sismaraini *et al.* 2015). Kitin diperoleh dengan cara demineralisasi dan deproteinasi kulit udang. Demineralisasi merupakan proses penghilangan mineral yang terkandung di dalam kulit udang berupa senyawa  $CaCO_3$  dan sedikit  $Ca_3(PO_4)_2$  menggunakan larutan asam encer. Sementara deproteinasi merupakan proses penghilangan protein dengan menggunakan larutan NaOH 3,5 N.

Kitosan merupakan polisakarida yang diperoleh dari kitin melalui proses deasetilasi secara kimiawai menggunakan basa atau secara enzimatik menggunakan enzim lipase dan fosfolipase. Deasetilasi diartikan sebagai proses penghilangan gugus asetil ( $COCH_3$ ) dari kitin dengan menggunakan NaOH 50 %.

Melalui proses kimiawi dan enzimatik, kitin dan kitosan dapat diproses lebih lanjut menjadi produk bernilai ekonomi tinggi sebagai bahan pengawet alami, pengikat lemak yang dapat menurunkan kolesterol, pengental dan stabilisator dan aplikasi lain di bidang biomedis sebagai material enkapsulasi, bahan benang operasi, dan lain-lain. Proses ekstraksi kitin dan produksi kitosan disajikan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Proses ekstraksi kitin dan produksi kitosan

Hasil pengujian aktivitas antibakteri kitosan pada filet kakap merah menunjukkan bahwa larutan kitosan 1,5% dan ekstrak pala 10% memiliki efek penghambatan yang sinergi terhadap bakteri *Escherichia coli* dengan diameter penghambatan sebesar  $34,60 \pm 0,57$  mm dan *Salmonella sp.* dengan diameter penghambatan sebesar  $34,30 \pm 0,28$  mm. Larutan tersebut juga mampu menekan pertumbuhan bakteri pada penyimpanan suhu  $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Hasil ini menunjukkan bahwa kitosan dan ekstrak pala dapat dijadikan bahan antibakteri dan pengawet alami yang efektif untuk filet kakap merah (Indrasti *et al.* 2012).

## Rekayasa Ekoteknologi Nanosilika

Abu ketel merupakan salah satu bentuk limbah padat yang dihasilkan oleh aktivitas produksi industri gula. Abu ketel merupakan hasil perubahan kimiawi dari pembakaran ampas tebu murni pada suhu 550–600°C selama 4–8 jam. Abu ketel banyak mengandung unsur mineral anorganik yang masih dapat dimanfaatkan kembali. Unsur mineral anorganik yang paling dominan dalam abu ketel adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ) dengan kadar maksimum hingga 70,97%. Gambar 6 menunjukkan proses ekstraksi silika dari abu *furnace*. Jumlah abu ketel yang dihasilkan dari proses produksi gula tergantung pada efektivitas pembakaran dalam boiler. Industri gula skala besar dapat menghasilkan 1,5–2% dari total batang tebu giling atau sekitar 1,7–2,3 juta ton per tahun. Pemanfaatan abu ketel yang telah dilakukan industri adalah tambahan pupuk organik, penutup jalan rusak, dan urugan tanah longsor.

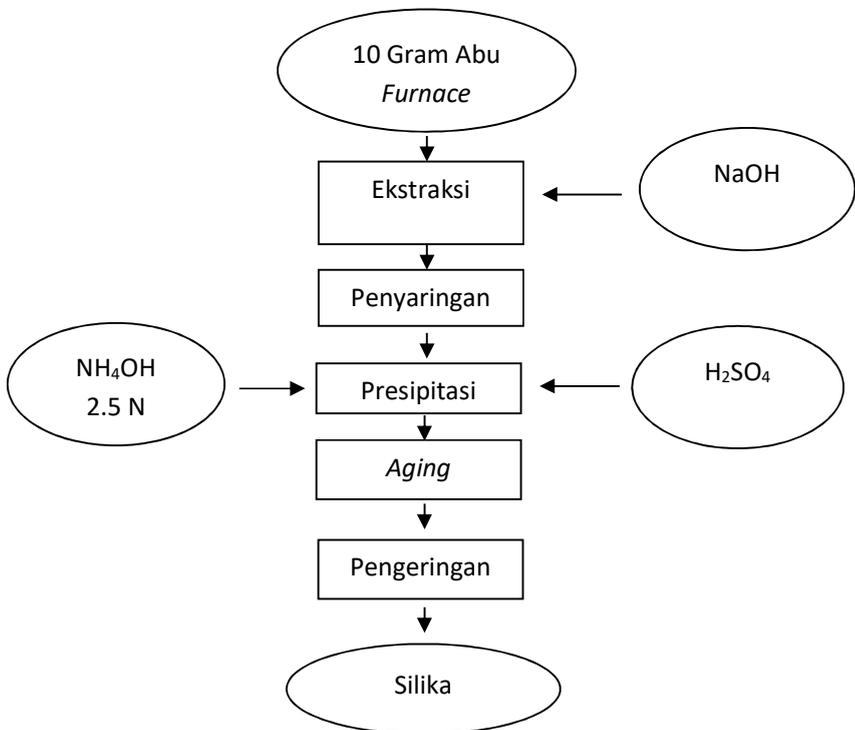
Abu ketel memiliki potensi untuk dikembangkan karena memiliki ketersediaan yang cukup tinggi dan pemanfaatan yang belum maksimal. Silika dari abu ketel masih memiliki kemurnian yang rendah sehingga perlu dilakukan peningkatan mutu melalui rekayasa proses produksi menjadi partikel nanosilika. Nanosilika merupakan persenyawaan silika dengan ukuran berskala nano yang dapat diproduksi dari abu ketel. Salah satu metode produksi nanosilika adalah presipitasi. Presipitasi umumnya menghasilkan partikel nano dengan distribusi ukuran yang heterogen sehingga perlu dilakukan modifikasi proses agar partikel nanosilika yang dihasilkan memiliki ukuran yang lebih homogen dengan menggunakan agen pendispersi berbahan polisakarida.

Modifikasi proses presipitasi dengan berbasis polisakarida berupa tepung beras dan bubuk agar terbukti mampu memperbaiki karakteristik nanosilika dengan cara menurunkan ukuran partikel, mengontrol agregasi antar partikel, menurunkan ukuran kristal dan mengubah kristalinitas nanosilika. Tepung beras yang digunakan dalam presipitasi menghasilkan nanosilika dengan karakteristik paling baik, yaitu ukuran partikel 185,45 nm, indeks polidispersitas 0,25, ukuran kristal 22,44 nm, kristalinitas 28,76% dan morfologi partikel berupa serpihan.

Pada penelitian sintesis nanosilika dengan metode presipitasi dan penambahan polisakarida (Gambar 6) diperoleh hasil sebagai berikut. Dari hasil analisis fase kristal dapat disimpulkan bahwa nanosilika

merupakan senyawa yang memiliki sifat dan ciri multifase (quartz, tridimit, dan kristobalit). Peningkatan pH presipitasi akan meningkatkan jumlah puncak difraksi dan intensitas puncak difraksi. Peningkatan waktu *aging* akan meningkatkan intensitas puncak difraksi.

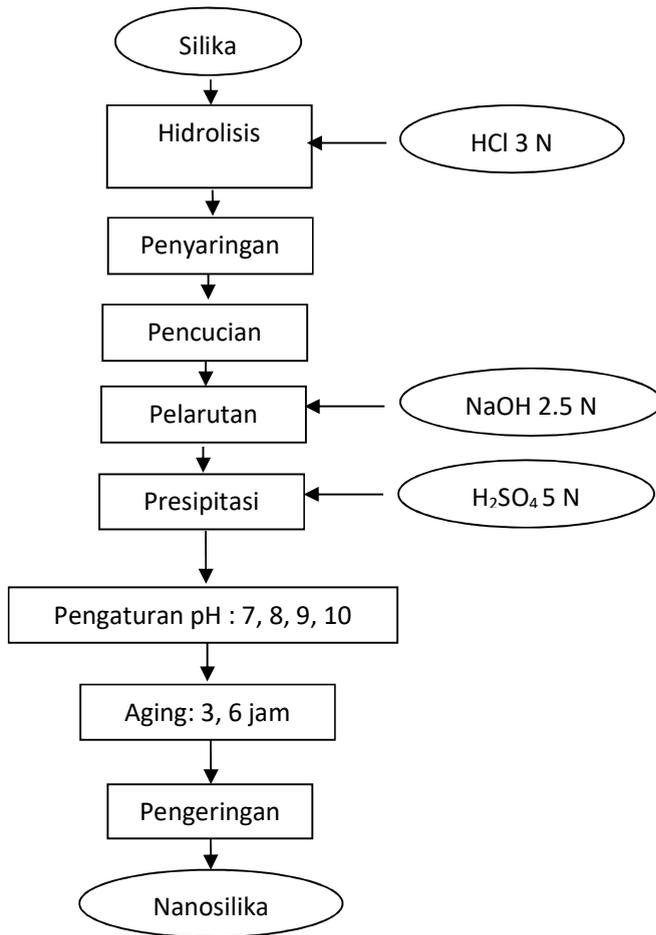
Derajat kristalinitas waktu *aging* 3 jam saat pH 7, 8, 9, dan 10 secara berturut adalah 66,39%; 83,28%; 86,50%; dan 89,65%. Derajat kristalinitas waktu *aging* 6 jam saat pH 7, 8, 9, dan 10 secara berturut adalah 82,38%; 86,08%; 92,79%; dan 93,53%. Ukuran kristal waktu *aging* 3 jam saat pH 7, 8, 9, dan 10 secara berturut adalah 37,77; 43,99; 47,024; dan 52,048 nm. Ukuran kristal waktu *aging* 6 jam saat pH 7, 8, 9, dan 10 secara berturut adalah 45,65; 51,86; 53,85; 56,87 nm (Utomo 2015).



Gambar 5.5 Diagram alir ekstraksi silika dari abu furnace (Setiawan *et al.* 2015)

Penurunan jumlah template baik kitosan dan albumin akan meningkatkan jumlah puncak difraksi dan meningkatkan intensitas puncak difraksi. Derajat kristalinitas nanosilika dengan *template* kitosan (b/v) 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 berturut-turut sebesar 34,41%; 39,01%; 43,86% dan 54,69%. Derajat kristalinitas nanosilika dengan *template* albumin (b/b) 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 berturut-turut sebesar 39,33%; 41,86%; 49,92% dan 68,79%. Ukuran kristal nanosilika dengan *template* kitosan (b/v) 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 berturut-turut sebesar 38,45; 44,00; 51,45; dan 54,38 nm. Ukuran kristal nanosilika dengan *template* albumin (b/b) 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 berturut-turut sebesar 36,00; 38,09; 40,81; dan 63,50 nm (Setiyawati 2015).

Ukuran partikel waktu *aging* 3 jam saat pH 7, 8, 9, dan 10 secara berturut adalah 214,04; 243,69; 345,89; dan 529,14 nm. Ukuran partikel waktu *aging* 6 jam saat pH 7, 8, 9, dan 10 secara berturut adalah 331,95; 338,69; 411,05; dan 698,24 nm. Nilai PDI (*Polidispersity Index*) waktu *aging* 3 jam saat pH 7, 8, 9, dan 10 secara berturut adalah 0,21; 0,32; 0,35; dan 0,76. Nilai PDI (*Polidispersity Index*) waktu *aging* 6 jam saat pH 7, 8, 9, dan 10 adalah 0,22; 0,42; 0,56; dan 0,83 (Utomo, 2015). Ukuran partikel nanosilika dengan *template* kitosan (b/v) 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 berturut-turut sebesar 1369,23; 797,35; 655,93; dan 299,82 nm. Nilai PDI (*Polidispersity Index*) sebesar 0,09; 0,12; 0,13 dan 0,30. Ukuran partikel nanosilika dengan *template* albumin (b/b) 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 berturut-turut sebesar 422,12; 339,85; 307,70; dan 228.39 nm. Nilai PDI (*Polidispersity Index*) sebesar 0,17; 0,23; 0,27; dan 0,30 (Setiyawati 2015).



Gambar 5.6 Diagram alir sintesis nanosilika (Setiawan *et al.* 2015)

Nanosilika dengan penambahan *template* maizena memiliki kristalinitas terendah 49,06% pada konsentrasi 33,33% dan tertinggi 60,84% pada konsentrasi *template* 14,29%. Nanosilika dengan penambahan *template* tapioka memiliki kristalinitas terendah 66,97% pada konsentrasi 14,29% dan tertinggi 71,61% pada konsentrasi *template* 33,33%. Nanosilika tanpa *template* memiliki kristalinitas 82,07%. Penggunaan pati sebagai *template* menyebabkan penurunan kristalinitas nanosilika yang dihasilkan. Adanya kandungan amilosa pada pati memberikan kontribusi pada penurunan kristalinitas. Ukuran kristal silika pada penambahan

*template* pati lebih homogen dibandingkan tanpa penambahan *template* dengan ukuran kristal terkecil diperoleh dari nanosilika yang paling banyak tersalut dengan pati. Ukuran kristal terkecil pada penambahan tapioka 33,33% sebesar 35,26 nm dan pada penambahan maizena 14,29% sebesar 35,95nm (Erlinda 2015).

Distribusi ukuran nanosilika dengan *template* maizena lebih baik dibandingkan dengan penambahan tapioka dan tanpa penambahan *template* yang ditunjukkan dengan PDI paling kecil yaitu kurang dari 0,1 pada semua perlakuan konsentrasi (Erlinda 2015).

Nanosilika yang dihasilkan memiliki pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 3400, 1600, 1100, 900, dan 700  $\text{cm}^{-1}$ . Pita serapan tersebut menunjukkan vibrasi –OH (hidroksil) dari silanol (Si-OH), vibrasi tekuk –OH dari silanol, vibrasi ulur gugus siloksan (Si-O-Si), vibrasi ulur dari silanol (Si-OH), dan vibrasi ulur siloksan (Si-O-Si) secara berturut. Peningkatan pH 7 ke pH 10 memberikan peningkatan intensitas pita serapan gugus siloksan dan penurunan intensitas pita serapan gugus silanol (Utomo 2015).

Nanosilika dengan *template* kitosan yang dihasilkan memiliki pita serapan pada bilangan gelombang 3277,20; 1640,92; 1060,02; 976,23; dan 794,97  $\text{cm}^{-1}$ . Pita serapan tersebut menunjukkan vibrasi –OH (hidroksil) dari silanol (Si-OH), vibrasi tekuk –OH dari silanol, vibrasi ulur gugus siloksan (Si-O-Si), vibrasi ulur dari silanol (Si-OH) dan vibrasi ulur siloksan (Si-O-Si) secara berturut. Pita serapan 1623,34  $\text{cm}^{-1}$  dan 1503,45  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi gugus amina dari kitosan (Setiyawati 2015).

Nanosilika dengan *template* albumin yang dihasilkan memiliki pita serapan pada bilangan gelombang 3140,56; 1626,15; 1060,64; 986,45; dan 794,45  $\text{cm}^{-1}$ . Pita serapan tersebut menunjukkan vibrasi –OH (hidroksil) dari silanol (Si-OH), vibrasi tekuk –OH dari silanol, vibrasi ulur gugus siloksan (Si-O-Si), vibrasi ulur dari silanol (Si-OH) dan vibrasi ulur siloksan (Si-O-Si) secara berturut. Pita serapan 1603,34  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi gugus amina dari albumin yang merupakan *backbone* dari protein. Pita serapan 1658,34  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur dari gugus karbonil (C=O) (Setiyawati 2015).

Gugus fungsi pada nanosilika dengan *template* pati menunjukkan gugus silanol berada pada bilangan gelombang  $3400\text{ cm}^{-1}$  dan gugus siloksan pada bilangan gelombang  $460\text{--}480$ ;  $795\text{--}900$ ;  $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ . Keberhasilan penyalutan nanosilika dengan pati ditunjukkan oleh adanya pita serapan pada bilangan gelombang  $2928,5\text{ cm}^{-1}$ . Secara umum penggunaan *template* pati mampu menggeser distribusi ukuran partikel semakin kecil, kristalinitas semakin kecil, dan ukuran kristal yang semakin kecil (Erlinda 2015).

### **Rekayasa Ekoteknologi Membran Filtrasi**

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemisahan air dengan filtrasi membran berkembang pesat di berbagai industri karena konsumsi energi yang rendah dan faktor lingkungan. Teknologi membran dapat menggantikan pengolahan air limbah secara kimiawi yang dapat mengurangi biaya dan penggunaan bahan kimia, serta untuk menghasilkan limbah olahan yang siap dibuang atau untuk didaur ulang.

Membran yang umum diterapkan dalam pengolahan air dan air limbah adalah membran polisulfon (Psf). Membran polisulfon dipilih karena memiliki stabilitas mekanik, termal, dan kimia yang baik. Karakteristik Psf yang hidrofobik menyebabkan partikel atau molekul hidrofobik dapat terabsorb pada permukaan membran.

Silika dalam ukuran nano dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan membran polisulfon. Membran polisulfon umumnya digunakan sebagai media pengolahan air dan air limbah. Dalam penelitian ini, proses pembuatan membran nanosilika abu boiler dilakukan dengan menambahkan nanosilika variasi massa 0%, 1%, 3%, dan 5%. Pengukuran Kebutuhan Oksigen Kimia (*Chemical Oxygen Demand/COD*) menunjukkan membran nanosilika dengan penambahan 3% bisa menurunkan nilai COD dalam sampel hingga  $8\text{ mg/l}$ . Penghitungan jumlah mikroba dari parameter uji e-coli dan jumlah coliform menunjukkan bahwa sampel yang telah melewati membran tidak mengandung mikroba. Logam berat dianalisis menggunakan spektroskopi serapan atom dengan parameter uji seperti Mn, Fe dan Zn. Hasil analisis menunjukkan membran polisulfon dengan penambahan nanosilika 3% dan 5% memiliki hasil terbaik (Windiastuti *et al.* 2016).

Nanosilika dapat dimanfaatkan sebagai aditif membran polisulfon. Membran yang dihasilkan memiliki karakteristik berupa ukuran pori sebesar 3,08 $\mu\text{m}$  (Psf-N0); 3,17 $\mu\text{m}$  (Psf-N1); 3,36 $\mu\text{m}$  (Psf-N3); 3,59 $\mu\text{m}$  (Psf-N5). Tidak terdapat perubahan gugus fungsi pada membran dengan penambahan aditif nanosilika dan nilai *water uptake* membran sebesar 183,3%. Penambahan nanosilika meningkatkan hidrofilisitas dan porositas membran (Windiastuti *et al.* 2016)..

Kinerja membran yang dihasilkan dengan penambahan nanosilika 5% (Psf-N5) mampu menurunkan COD sebesar 66,67%, merejeksi warna dan kekeruhan masing-masing sebesar 95,90% dan 67,75%, menurunkan Fe, Mn dan Zn hingga mencapai baku mutu air minum dan dapat merejeksi mikroorganisme air. Membran polisulfon dengan aditif nanosilika 5% (Psf-N5) mampu meningkatkan kualitas air menjadi kelas I dari yang sebelumnya kelas III dan IV (Windiastuti *et al.* 2016).

### **Rekayasa Ekoteknologi Membran Elektrolit**

Membran polimer elektrolit berfungsi sebagai: insulator antara katoda dan anoda, penghantar proton ( $\text{H}^+$ ) dengan arah dari anoda menuju katoda dan tempat menempelnya katalis pada anoda dan katoda. Berdasarkan fungsinya maka kriteria dari membran elektrolit adalah: 1) kestabilan kimia dan elektrokimia dibawah kondisi *fuel cell* dan selama konstruksi perakitan elektroda membran; 2) kestabilan mekanik, walaupun lapisan tipis setebal 50  $\mu\text{m}$ ; 3) bersifat asam; 4) konduktor proton yang baik ( $>0,08 \text{ S/cm}$ ); 5) permeabilitas metanol rendah ( $<5,6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$  pada suhu kamar); dan 6) dapat mengadsorb air. Kriteria utama pada membran elektrolit untuk DMFC adalah bersifat asam, dapat mengadsorb air, konduktivitas protonnya tinggi namun permeabilitas methanolnya rendah, stabilitas kimia dan mekanik yang baik, kompatibilitas dengan lapisan katalis serta mudah dalam perakitan. Kriteria tersebut dapat diperoleh dengan memanfaatkan nanosilika sebagai aditif membran komposit polisulfon tersulfonasi-nanosilika *Direct Methanol Fuel Cell*.

Nanosilika dari abu ketel industri gula memiliki karakteristik yang sesuai sebagai aditif membran DMFC (*Direct Methanol Fuel Cell*) untuk meningkatkan kinerja membran tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan amonium sulfat pada kitosan

dan nanosilika pada membran berbasis kitosan sulfat untuk DMFC, mengetahui pengaruh perbedaan derajat sulfonasi dan penambahan nanosilika dari abu ketel terhadap kinerja membran berbasis polisulfon untuk DMFC dan menentukan pengaruh nanosilika sebagai aditif dan Komposisi *Psf-sPeek* terhadap kinerja membran untuk DMFC. Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu sintesis nanosilika menggunakan presipitasi, proses sulfonasi kitosan, dan pembuatan membran.

Nanosilika yang dihasilkan bersifat amorf, ukuran partikel 330 nm; ukuran kristal 47,49 nm; derajat kristinitas 64%; dan *Podispersity Index* (PDI) 0,3. Karakteristik nanosilika tersebut sesuai untuk aditif membran DMFC. Hasil uji derajat sulfonasi pada kitosan dari konsentrasi amonium sulfat terendah adalah 15,86%; 19,00%; 22,84%; dan 24,75%. Berdasarkan analisis varian, penambahan amonium sulfat, penambahan nanosilika, dan interaksi keduanya memberikan pengaruh pada kinerja membran DMFC. Hasil karakterisasi menunjukkan membran memiliki persentase daya serap air pada rentang 37,98–73,25%, daya serap metanol 32,84–64,11%, kapasitas penukar ion pada rentang 0,48–1,40 meq/g, dan  $3,95 \times 10^{-4}$ – $7,67 \times 10^{-4}$  S/cm untuk konduktivitas ion. Membran komposit tersebut dapat diaplikasikan untuk DMFC (Sutartini 2016).

Pengamatan membran menunjukkan nilai konduktivitas ion tertinggi adalah  $1,62 \times 10^{-3}$  S/cm yang dimiliki oleh membran sPSf-nanosilika dengan sulfonasi menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,5 M dengan penambahan nanosilika 3%. Tingginya nilai konduktivitas proton tersebut karena didukung oleh berhasilnya proses sulfonasi yang dilakukan dan nanosilika yang ditambahkan dapat tersebar merata sehingga menyebabkan membran bersifat hidrofilik. Membran tersebut juga memiliki nilai DSA 43,74%; DSM 33,35%; dan KPI 2,89 meq/g (Sutartini 2016).

Membran dengan perbandingan 1:12+nS3% (Psf: 1; sPeek:12 dan nanosilika 3%) lebih baik dibandingkan dengan membran yang lainnya, terlihat dari hasil simulasi CPI (*Comparative Performance Index*) dan karakterisasi membran yakni daya serap air, daya serap methanol, kapasitas penukar ion dan konduktivitas ionik berturut turut 27,2078%; 25,6197%; 2,5595 meq/gram; dan  $66,285 \times 10^{-6}$  S/cm. Penambahan nanosilika ini memberikan efek positif pada kinerja membran. Namun semakin tinggi jumlah nanosilika yang ditambahkan (>3%) pada membran *Psf-sPeek* maka daya serap air/methanol, kapasitas penukar ion dan konduktivitas ion akan turun (Sutartini 2016).

## 5.6 Penutup

Pembangunan agroindustri yang menerapkan konsep produksi bersih akan mendapatkan banyak keuntungan baik dilihat dari segi lingkungan maupun dari segi ekonomi. Keuntungan yang didapat oleh suatu industri apabila menerapkan konsep produksi bersih adalah mengurangi biaya produksi, mengurangi limbah yang dihasilkan, meningkatkan produktivitas, mengurangi konsumsi energi, meminimisasi masalah pembuangan limbah (termasuk penanganan limbah), dan meningkatkan nilai produk samping.

Paparan mengenai keuntungan penerapan konsep produksi bersih dalam industri merupakan *feedback* atau umpan balik positif terhadap investasi yang telah dikeluarkan oleh perusahaan untuk penerapan produksi bersih. Investasi penerapan produksi bersih berbanding positif terhadap keuntungan yang didapat perusahaan, sebagaimana ditunjukkan hasil kajian pada industri tapioka, industri karet, industri gula, industri *plywood*/kayu lapis, dan industri CPO.

Implementasi produksi bersih dapat menjadi “*win-win solution*” bagi kepentingan bisnis dan lingkungan. Untuk mendukung implementasi prinsip-prinsip produksi bersih peran ekoteknologi sangat penting. Berbagai ekoteknologi telah dikembangkan termasuk pengembangan teknologi proses produksi bahan-bahan ramah lingkungan (produksi hijau) seperti kompos, kitin-kitosan, nanosilika, membran filtrasi, dan membran elektrolit merupakan wujud penerapan rekayasa ekoteknologi yang dapat menguntungkan bagi kehidupan manusia. Bila dari bahan yang tidak bernilai melalui rekayasa teknologi dapat dirubah menjadi produk bernilai ekonomi dan memberikan kemaslahatan bagi kehidupan, maka sesungguhnya upaya manusia sebagai kafilah di muka bumi untuk memanfaatkan sumberdaya alam yang tersedia secara bijaksana sungguh merupakan sebuah keniscayaan.

Bila Allah telah menyediakan keperluan manusia dengan sesempurna seperti ini, nikmat Tuhanmu manakah yang engkau dustakan. Sesungguhnya jika engkau pandai bersyukur, nikmatmu akan ditambah.

## 5.7 Daftar Pustaka

- Anastas PT, Zimmerman JB. (Eds). 2013. *Innovation in Green Chemistry and Green Engineering*. NY: Springer.
- BPS. 2015. Laporan Tahunan.
- Bishop PL. 2004. *Pollution Prevention: Fundamental and Practice*. IL, USA: Waveland Press, Inc., Long Grove.
- Cheremisinoff NP, Bendavid-Val A. 2001. *Green Profits*. boston: Elsevier.
- Erlinda NDR. 2015. Sintesa Nanosilika dari Abu Ketel Industri Gula dengan Metode Kopresipitasi Template Pati. [Skripsi]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Indrasti NS, Fauzi AM. 2009. *Produksi Bersih*. Bogor (ID): IPB Press.
- Indrasti NS, Eriyatno, Darwis AA, Jamaran I, Machfud, Hermawan A, Gumbira-Sa'id E, Nasution MZ, Mangunwidjaja D, Suparno O. 2011. Formulation of the 4th national symposium on agroindustry "Strengthening of agroindustry: the movement for national prosperity" Bogor-September 24th. 2011. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 21(3): 207–210.
- Indrasti NS, Suprihatin dan WK. Setiawan. 2012. The combination of chitosan-nutmeg extract for the natural antibacteria and preservative agents of red snapper (*Lutjanus sp*) fillet. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 22(2): 122–130.
- Indrasti NS. 2015. *Ilmu dan Teknologi Pengomposan*. Bogor (ID): IPB Press.
- Ismayana A, Indrasti NS, Suprihatin, Maddu A, Fredy A. 2012. Factors of initial C/N and aeration rate in co-composting process of bagasse and filter cake. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 22(3): 173–179.
- Ismayana A, Indrasti NS, Erica N. 2014a. Pengaruh rasio C/N awal dan laju aerasi pada proses *co-composting* blotong dan abu ketel. *Jurnal Bumi Lestari* 14(1): 39–45.
- Ismayana A, Indrasti NS, Suprihatin, Maddu A, Subiyantoro. 2014b. Perbandingan kinerja proses *co-composting* bagas dan blotong pada skala 100 kg terhadap skala laboratorium. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 24(3): 243–250.

- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. 2011. Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia. Jakarta: Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia.
- Klass DL. 1998. *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. San Diego: Academic Press.
- Kusumastuti SA, Suprihatin, Indrasti NS. 2015a. Pollution Reducing Opportunities for a Natural Rubber Processing Industry: A Case Study. Proceeding 3rd ICAIA 2015. ISBN: 987-1-4673-7404-0 hal. 280–283.
- Kusumastuti SA, Suprihatin, Indrasti NS. 2015b. Exploration of Barriers in Achieving Proactive Environmental Strategies in a Natural Rubber Industry: A Case Study. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* 6(2): 51–58
- [Mandiri] PT Bank Mandiri. 2013. Commodities Insight Volume 1 January 2013. Jakarta: Office of chief Economist PT Bank Mandiri (Persero) Tbk.
- Martin AM (ed). 1998. *Bioconversion of Waste Materials to Industrial Products. 2<sup>nd</sup> Edition*. London: Blackie Academic & Professional.
- Mulvaney D (ED). 2011. *Green Technology*. London: Sage Publication.
- Satriago H. 1995. Strategi Pemilihan Teknologi dalam Mengembangkan Pembangunan Berkelanjutan. *Majalah Teknologi*, 41–45.
- Setiawan WK, Indrasti NS, Suprihatin. 2015. Synthesis and characterization of nanosilica from boiler ash with co-precipitation method. Proceeding 3<sup>rd</sup> ICAIA 2015. ISBN: 987-1-4673-7404-0 hal. 160–164.
- Setiyawati ME. 2015. Penambahan Template Kitosan dan Albumin pada Sistesis Nanosilika Abu Ketel Industri Gula dengan Metode Kopresipitasi. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Sismaraini D, Indrasti NS, Suprihatin, Djatna T. 2015. A System Analysis and Design for Selecting Chitin and Chitosan Industry Location by Using Comparative Performance Index Method. Proceeding 3rd ICAIA 2015. ISBN: 987-1-4673-7404-0 hal. 121–127.

- Sutartini D. 2016. Pemanfaatan Nanosilika Abu Ketel Industri Gula sebagai Pengisi Membran Berbasis Polisulfon Tersulfonasi pada *Direct Methanol Fuel Cell*. [Skripsi]. Bogor, Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Utomo SS. 2015. Sintesis Pencirian Nanosilika Berbahan Dasar Abu Ketel Industri Gula dengan Variasi Waktu *Aging* dan pH Presipitasi. [Skripsi]. Bogor, Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Windiastuti E, Suprihatin, Indrasti NS, Hasanudin U. 2016. Effectiveness of Polisulfon Membrane with Nanosilica Addition of Boiler Ash of Sugar Industry. Proceeding Conference the USR International Seminar on Food Security UISFS. ISBN: 978-602-0860-10-7. Hal. 195–203.

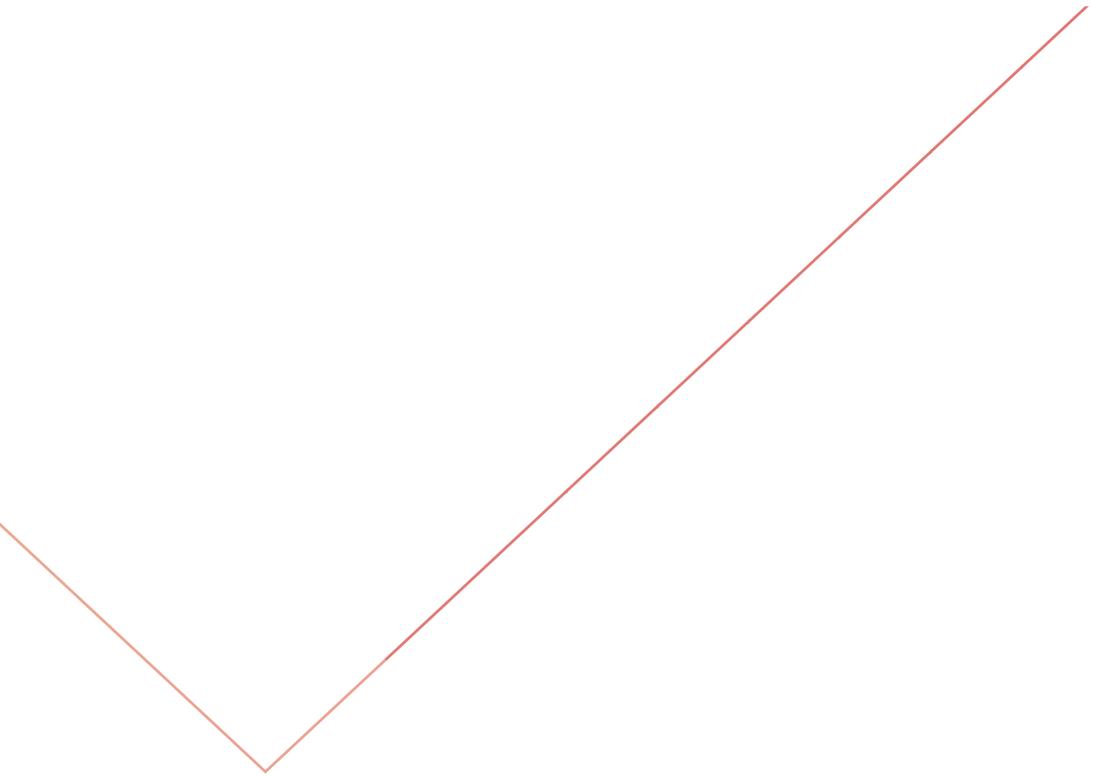


## 6. PENUTUP

Agroindustri merupakan subsektor pertanian yang sangat strategis dan penting untuk terus dikembangkan di Indonesia agar agroindustri makin maju untuk kesejahteraan bangsa. Selain aspek ekonomi, aspek lingkungan pun perlu diperhatikan dalam pengembangan agroindustri tersebut untuk menciptakan agroindustri yang tidak hanya maju, tetapi juga berkelanjutan (*sustainable*).

Upaya peningkatan daya saing agroindustri merupakan perihal yang kompleks, melibatkan banyak pihak dan faktor penentu meliputi aspek teknis-teknologis, aspek ekonomis, aspek sosial dan kemanusiaan (*human system*), serta kebijakan pemerintah, kelembagaan, dan dukungan infrastruktur. Daya saing yang tinggi perlu terus dipertahankan dan ditingkatkan dalam menghadapi situasi dan kondisi yang senantiasa berubah secara dinamis dan penuh ketidakpastian, serta pesatnya perkembangan *new disruptive technology* dan inovasi.

Strategi-strategi untuk pengembangan agroindustri di Indonesia telah dibahas dalam buku ini. Dengan strategi-strategi tersebut, agroindustri diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah hasil-hasil pertanian, baik nabati, hewani, maupun hasil perairan, melalui proses pengolahan, pengawetan, dan distribusi. Selain itu, hasil-hasil pertanian Indonesia memiliki keunggulan kompetitif yang tinggi sehingga dapat bersaing di pasaran nasional dan internasional.



**PT Penerbit IPB Press**

Jalan Taman Kencana No. 3, Bogor 16128  
Telp. 0251 - 8355 158 E-mail: ipbpress@ymail.com



Penerbit IPB Press



@IPBpress

