



PENERBIT ANDI®

- Bahan Bakar Nonfosil ●
- Bioetanol ●
- Biodiesel ●
- Aseton Butanol ●
- Biogas ●

# **Bioteknologi** dalam **Bahan Bakar Nonfosil**

Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, APU



660.6

SuH

b

146837 / A/SB-FTI

10-7-2024

660.6

- Bahan Bakar Nonfosil ●
- Bioetanol ●
- Biodiesel ●
- Aseton Butanol ●
- Biogas ●

# Bioteknologi dalam Bahan Bakar Nonfosil

Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, APU

PENERBIT ANDI YOGYAKARTA

## **BIOTEKNOLOGI DALAM BAHAN BAKAR NONFOSIL**

**Oleh: Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, A.P.U.**

Hak Cipta ©2017 pada Penulis.

Editor : Arie Pramesta

Setting : Yulius Basuki

Desain Cover : Dany Nofianto

Korektor : Ratih Indah Utami

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penulis.

Penerbit CV. ANDI OFFSET (Penerbit ANDI, Anggota IKAPI) Jl. Beo 38-40, telp (0274) 561881, Fax (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Percetakan CV. ANDI OFFSET (Penerbit ANDI, Anggota IKAPI) Jl. Beo 38-40, telp (0274) 561881, Fax (0274) 588282 Yogyakarta 55281

### **Perpustakaan Nasional: Katalog dalam Terbitan**

**Suharto**

**BIOTEKNOLOGI DALAM BAHAN BAKAR NONFOSIL/  
Suharto**

**- Ed. I. - Yogyakarta: ANDI;**

26 - 25 - 24 - 23 - 22 - 21 - 20 - 19 - 18 - 17

hlm xxxii + 240; 16x23 Cm.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

ISBN: 978 - 979 - 29 - 6115 - 7

I. Judul

1. Biotechnology

DDC'23 : 660.6



## KATA PENGANTAR

**P**ermintaan bahan bakar fosil batu bara, petroleum dan gas alam selalu meningkat dari tahun ke tahun, padahal cadangan bahan bakar fosil semakin menipis dan bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam tak dapat diperbarui. Disadari sepenuhnya dewasa ini telah terjadi perubahan iklim, kenaikan permintaan bahan bakar, dan eksploitasi sumber daya alam bahan bakar fosil yang sangat terbatas secara terus menerus, sehingga hal ini menjadi masalah ketersediaan bahan bakar. Pembangunan berkelanjutan merupakan landasan dasar untuk pembangunan ekonomi. Oleh karena itu, salah satu upaya ialah meneliti, mengembangkan dan memanfaatkan sepenuhnya sumber daya alam terbaru atau biomassa dan residu senyawa kimia organik dikonversi menjadi bahan bakar nonfosil yang murah, terdapat di lokasi setempat, dan ramah lingkungan tanpa adanya polusi. Biomassa dan residu senyawa kimia organik oleh bioteknologi anaerobik menghasilkan bahan bakar metana, biodiesel, bioetanol, aseton butanol, dan hidrogen. Bioteknologi

anaerobik ini ramah lingkungan, mengurangi ketidakpastian bahan bakar merupakan salah satu solusi ketersediaan bahan bakar secara nasional.

Bioteknologi anaerobik merupakan teknologi berkelanjutan yang mampu menciptakan bahan bakar terbaru guna memberi kontribusi solusi ketersediaan bahan bakar.

Selalu timbul masalah ketika pemerintah berusaha mencukupi bahan bakar serta energi bagi masyarakat, oleh karena itu perlu adanya solusi yang meliputi adanya kebijakan, instruksi, strategi dan pengawasan menuju ketahanan energi, khususnya energi nonfosil dalam situasi krisis energi global dewasa ini.

Bahan bakar nonfosil berbasis bahan baku biomassa dan hasil samping serta limbah industri pangan merupakan sumber karbon untuk energi mikroba yang mampu memproduksi bahan bakar nonfosil. Industri pangan dalam sistem rantai pangan selalu menghasilkan hasil samping (*by-products*) dan limbah pangan (*food wastes*). Jika ditinjau secara kimia, maka hasil samping industri pangan dan limbah pangan adalah senyawa kimia organik. Hal ini kemudian diproses, baik dengan proses kimia, fisika, dan bioteknologi yang akan menghasilkan berbagai produk pangan, pakan, bahan bakar nonfosil dan energi, obat-obatan dan bahan baku kimia industri.

Limbah pangan hasil samping industri pangan dalam sistem rantai pangan merupakan bahan baku substrat sebagai sumber karbon untuk mikroba. Komponen bioteknologi bahan bakar berbasis pada 3 komponen besar, yaitu:

Komponen tersedianya **substrat** limbah pangan yang terdiri atas senyawa protein, karbohidrat, gula, lemak, vitamin, dan mineral sebagai sumber karbon untuk tumbuh dan berkembangbiaknya mikroba.

Komponen **kondisi lingkungan** suhu, air, oksigen, dan pH dalam bioteknologi anaerobik dan aerobik,

Komponen **mikroba** yang terdiri atas bakteri, khamir, jamur untuk pembuatan inokulum.

Kombinasi ketiga komponen **substrat, mikroba** dan kondisi **lingkungan** dalam bioteknologi anaerobik dan aerobik akan menghasilkan berbagai macam jenis **produk**, di antaranya ialah bahan bakar nonfossil seperti gas metana, bioetanol, aseton-butanol, biodiesel, dan hidrogen.

Pendekatan bioteknologi anaerobik dapat mengonversi limbah pangan dan hasil samping industri pangan menjadi berbagai macam produk bahan bakar, produk kimia dan sekaligus mampu mengurangi emisi pencemar udara toksik dan gas rumah kaca ke atmosfer. Hal ini merupakan pendekatan berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Bioteknologi anaerobik pada penanganan limbah industri pangan dan residu senyawa organik mempunyai peranan penting pada perlakuan anaerobik limbah industri.

Perlakuan anaerobik limbah industri yang berisi senyawa kimia organik meliputi :

Praperlakuan untuk menghilangkan kontaminan dengan menggunakan saringan bar, saringan halus, bak ekualisasi dan netralisasi. Pada praperlakuan ini tidak mengurangi nilai BOD,



karena kontaminan partikel padat dan besar sulit ditetapkan metode konvensional untuk nilai BOD.

Perlakuan primer sedimentasi yang menghasilkan limbah padat di mana limbah padat diikuti dengan perlakuan digester anaerobik.

Pada perlakuan aerobik, khususnya perlakuan lumpur aktif, maka pencemar senyawa kimia organik seperti senyawa koloid ditransfer dari fase cair ke fase padat.

Pada perlakuan sekunder dihasilkan lumpur sekunder dan diproses dengan anaerobik digester untuk menghasilkan bahan bakar nonfosil.

### **Kontribusi Bioteknologi Anaerobik**

Pendekatan bioteknologi anaerobik berkelanjutan bahan bakar nonfosil terhadap limbah pangan, limbah senyawa kimia organik dan hasil samping industri pangan dalam sistem rantai pangan sungguh memberikan kontribusi berupa:

- Meningkatkan kesehatan masyarakat dan sanitasi melalui pengawasan dan pengendalian pencemaran.
- Memproduksi bahan bakar nonfosil gas metana, etanol, hidrogen, aseton-butanol dan biodiesel, baik untuk dunia industri maupun untuk rumah tangga, khususnya energi untuk memasak makanan dan penerangan rumah.
- Memberi kontribusi pupuk biologi (*biofertilizer*) untuk tanaman pangan.

karena kontaminan partikel padat dan besar sulit ditetapkan metode konvensional untuk nilai BOD.

Perlakuan primer sedimentasi yang menghasilkan limbah padat di mana limbah padat diikuti dengan perlakuan digester anaerobik.

Pada perlakuan aerobik, khususnya perlakuan lumpur aktif, maka pencemar senyawa kimia organik seperti senyawa koloid ditransfer dari fase cair ke fase padat.

Pada perlakuan sekunder dihasilkan lumpur sekunder dan diproses dengan anaerobik digester untuk menghasilkan bahan bakar nonfosil.

### **Kontribusi Bioteknologi Anaerobik**

Pendekatan bioteknologi anaerobik berkelanjutan bahan bakar nonfosil terhadap limbah pangan, limbah senyawa kimia organik dan hasil samping industri pangan dalam sistem rantai pangan sungguh memberikan kontribusi berupa:

- Meningkatkan kesehatan masyarakat dan sanitasi melalui pengawasan dan pengendalian pencemaran.
- Memproduksi bahan bakar nonfosil gas metana, etanol, hidrogen, aseton-butanol dan biodiesel, baik untuk dunia industri maupun untuk rumah tangga, khususnya energi untuk memasak makanan dan penerangan rumah.
- Memberi kontribusi pupuk biologi (*biofertilizer*) untuk tanaman pangan.



Soal dan solusi bioteknologi bahan bakar nonfosil menuju ketahanan energi dalam situasi energi global sungguh perlu dipahami dan dikembangkan oleh para cendekia dan profesional serta dimanfaatkan oleh anak bangsa Indonesia. Sumber limbah pangan dan hasil samping industri pangan sebagai substrat oleh peranan mikroba menjadi berbagai macam produk bahan bakar nonfosil yang berkualitas sungguh memberikan kontribusi terhadap ketahanan energi dalam situasi krisis energi global.

Disadari sepenuhnya bahwa kemajuan ekonomi dipengaruhi oleh kemajuan ilmu dan teknologi serta industri terhadap produk barang dan jasa pelayanan ilmiah. Perkembangan dunia industri sangat cepat tumbuh dan berkembang karena ada kemajuan hasil penelitian ilmu dan pengetahuan. Hasil penelitian teknologi multidisiplin ini memungkinkan untuk mengidentifikasi, memahami, mengerti, memanipulasi, memperbaiki dan mengendalikan kehidupan mikroba, sehingga memberi dampak global yang sangat signifikan terhadap perkembangan dunia industri bahan bakar nonfosil.

### **Tujuan Penulisan Buku**

Tujuan penulisan buku soal dan solusi bioteknologi anaerobik bahan bakar nonfosil ini ialah :

Mempelajari dan memahami disiplin ilmu teknik/teknologi/bioteknologi/*biochemical engineering* yang mampu mendeskripsikan tentang aspek teknis dan ekonomis konversi massa mikrobial, mengoptimalkan proses dan alat serta mesin bioteknologi anaerobik termasuk *planning*, desain, konstruksi, dan unit operasinya.

Mempelajari konversi massa oleh mikroba dalam bioreaktor sebagai fungsi hukum konservasi massa.

Memberi kontribusi informasi ilmiah dan bioteknologi anaerobik guna memproduksi energi nonfosil.

### **Sasaran**

Sasaran buku ini ialah tercapainya penguasaan kemampuan ilmu teknik/teknologi/bioteknologi anaerobik menuju ketahanan energi bagi para pemegang kekuasaan, dosen dan mahasiswa dan jurusan ilmu teknik/teknologi maupun mahasiswa jurusan sosial ekonomi, politik, analisis intelijen komunitas, militer/kepolisian dan calon wirausaha.

### **Struktur Isi Buku**

Struktur isi buku ini dibagi menjadi beberapa bab.

- BAB I.           **PENGENALAN BIOTEKNOLOGI ANAEROBIK**
- BAB II.          **BAHAN BAKU**
- BAB III.         **PARAMETER FISIKA, KIMIA DAN BIOLOGI  
DALAM LIMBAH INDUSTRI**
- BAB IV.         **BIOREAKTOR ANAEROBIK DAN AEROBIK**
- BAB V.          **PRODUKSI BIOETANOL**
- BAB VI.         **PRODUKSI ASETON-BUTANOL**
- BAB VII.        **BIODIESEL**
- BAB VIII.       **BIOGAS**
- BAB IX.         **SOAL DAN SOLUSI BAHAN BAKAR NONFOSIL**

Semoga isi buku ini memberikan kontribusi tentang informasi ilmiah bioteknologi anaerobik untuk dipahami, dikembangkan dan dimanfaatkan oleh semua pihak untuk



memulai dan memanfaatkan bioteknologi anaerobik bahan bakar nonfosil guna memenuhi ketahanan energi dalam situasi krisis energi global.

Semoga karya ilmiah buku ini berguna, bermanfaat, dan berharga bagi anak bangsa Indonesia.

Apa pun kritik yang membangun demi perbaikan isi buku ini, kami terima dengan senang hati. Terima kasih dan Tuhan selalu membimbing, melindungi dan beserta kita, amin.

Bandung, 28 Februari 2017

Penulis

**Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, A.P.U.**



# DAFTAR ISI



<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>III</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>XXVII</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>XXXI</b>
<b>BAB I PENGENALAN BIOTEKNOLOGI ANAEROBIK.....</b>	<b>1</b>
1.1 INSTRUMENTAL PERATURAN SUMBER DAYA ENERGI TERBARUI .....	1
1.2 PENGENALAN PENGERTIAN ANAEROBIK .....	2
1.3 VISI BAHAN BAKAR NONFOSIL .....	4
1.4 MASALAH BAHAN BAKAR NONFOSIL .....	4
1.5 MASALAH PERBEDAAN PROSES KIMIA DAN BIOTEKNOLOGI TERHADAP BAHAN BAKAR FOSIL DAN NONFOSIL.....	5
1.6 TUJUAN BAHAN BAKAR NONFOSIL.....	7
1.7 SASARAN BAHAN BAKAR DAN ENERGI NONFOSIL .....	7

1.8	PENDEKATAN BIOTEKNOLOGI ANAEROBIK TERHADAP DESAIN PROSES BAHAN BAKAR NONFOSIL.....	9
1.9	PERTIMBANGAN BIOREKATOR ANAEROBIK.....	9
1.10	PENGENALAN FERMENTASI ANAEROBIK.....	11
1.11	MANFAAT BIOTEKNOLOGI ANAEROBIK UNTUK BAHAN BAKAR NONFOSIL .....	12
1.12	KETERBATASAN BIOTEKNOLOGI ANAEROBIK UNTUK BAHAN BAKAR DAN ENERGI NONFOSIL.....	12
1.13	KOMPONEN SENYAWA KIMIA PETROLEUM.....	13
1.14	LIMA (5) PILAR BAHAN BAKAR FOSIL PETROLEUM .....	14
1.15	PERKEMBANGAN DAN PERUBAHAN PROSES TEKNOLOGI .....	15
1.16	MODEL PILAR BIOEKONOMI MENUJU BAHAN BAKAR NONFOSIL .....	17
1.17	TANTANGAN GLOBAL INDUSTRI BIOTEKNOLOGI .....	19
1.18	LIMA (5) KOMPONEN INDUSTRI BIOTEKNOLOGI BAHAN BAKAR NONFOSIL.....	21
1.19	PERSIAPAN BAHAN BAKU BIOMASSA .....	21
1.20	KONVERSI BIOMASSA MENJADI BEBERAPA PRODUK BAHAN BAKAR.....	22
1.21	BIOTEKNOLOGI ANAEROBIK DALAM LIMBAH INDUSTRI .	23
1.22	SUMBER PENCEMAR FISIK DAN JENIS PADATAN DALAM LIMBAH CAIR .....	24
1.23	PENCEMAR MIKROBIOLOGI DAN KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR .....	25
1.24	JENIS BIOREAKTOR ANAEROBIK.....	26

<b>BAB II BAHAN BAKU NONFOSIL .....</b>	<b>29</b>
2.1 PENGENALAN RESIDU .....	29
2.2 IDENTIFIKASI DAN KLASIFIKASI RESIDU SENYAWA KIMIA ORGANIK .....	30
2.3 PERSIAPAN BAHAN BAKU BIOMASSA .....	32
2.4 BATASAN BIOMASSA .....	33
2.5 KOMPONEN BIOMASSA .....	34
2.6 LIGNOSELULOSA .....	34
2.7 MANFAAT BIOMASSA .....	37
2.8 KONVERSI BIOMASSA MENJADI BEBERAPA PRODUK BAHAN BAKAR.....	38
2.9 CONTOH BIOPRODUK DARI BIOMASSA .....	38
2.10 KARBOHIDRAT SEBAGAI SUMBER KARBON UNTUK MIKROBA .....	39
2.11 PENGERTIAN ALDOSE DAN KETOSE SERTA DISAKARIDA...	39
2.12 DISAKARIDA .....	40
2.13 BAGAS TEBU SEBAGAI BAHAN BAKU BAHAN BAKAR NONFOSIL.....	41
2.14 TETES TEBU SEBAGAI SUMBER GLUKOSA DAN NITROGEN .....	42
2.15 MINYAK MAKAN UNTUK BAHAN BAKAR NONFOSIL.....	42
2.16 SAKARIFIKASI KAYU .....	43
2.17 FURFURAL.....	43
2.18 LIMBAH PERTANIAN UNTUK BAHAN BAKAR NONFOSIL...	44
2.19 LIMBAH INDUSTRI UNTUK BAHAN BAKAR NONFOSIL ....	45
2.20 LIMBAH INDUSTRI WUJUD PADAT DAN CAIR UNTUK BAHAN BAKAR NONFOSIL.....	45

2.21	KONTAMINAN DALAM LIMBAH INDUSTRI SENYAWA KIMIA ORGANIK .....	46
2.22	SUMBER DAN INDIKATOR PENCEMAR DALAM LIMBAH CAIR .....	48
2.23	STATE OF THE ART OF BIOCONVERSION .....	50
<b>BAB III PARAMETER FISIKA, KIMIA DAN BIOLOGI DALAM LIMBAH INDUSTRI .....</b>		<b>51</b>
3.1	LINGKUNGAN HIDUP, BAKU MUTU, MUTU LIMBAH CAIR DAN DEBIT MAKSIMUM .....	51
3.2	PENCEMARAN LINGKUNGAN HIDUP .....	53
3.3	SUMBER PENCEMAR FISIK DAN JENIS PADATAN DALAM LIMBAH CAIR .....	54
3.4	KLASIFIKASI LIMBAH CAIR .....	54
3.5	SUMBER PENCEMAR SENYAWA KIMIA ORGANIK DAN ANORGANIK DALAM LIMBAH INDUSTRI .....	55
3.6	LIMBAH LIGNOSELULOSA.....	55
3.7	HEMISELULOSA.....	56
3.8	JENIS SUMBER PENCEMAR MIKROBIOLOGI DAN KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR .....	57
3.9	PARAMETER KIMIA DAN FISIKA LIMBAH CAIR DALAM INDUSTRI .....	57
3.10	PARAMETER BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND (BOD).....	58
3.11	PENGERTIAN COD, BOD, TOTAL SOLIDS, SUSPENDED SOLIDS, FLUMES, KLARIFIER, LUMPUR AKTIF DALAM INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH.....	58
3.12	JENIS PERLAKUAN LIMBAH CAIR .....	59
3.13	JENIS ALAT PRAPERLAKUAN DAN PERLAKUAN PRIMER ...	61

3.14 FUNGSI ALAT SARINGAN BAR .....	61
3.15 FUNGSI ALAT SARINGAN BERGERAK .....	62
3.16 FUNGSI ALAT SARINGAN KASAR .....	62
3.17 FUNGSI ALAT SARINGAN HALUS .....	63
3.18 FUNGSI ALAT SARINGAN MIKRO .....	63
3.19 FUNGSI ALAT BAK EKUALISASI .....	63
3.20 FUNGSI AERASI PADA AIR LIMBAH INDUSTRI DI BAK EKUALISASI .....	64
3.21 PENGENDALIAN KONDISI OPTIMUM DALAM BAK EKUALISASI .....	65
3.22 TUJUAN EKUALISASI LIMBAH CAIR .....	66
3.23 TUJUAN AERASI DALAM BAK EKUALIASASI LIMBAH CAIR .....	66
3.24 METODE PENGHILANGAN GAS H <sub>2</sub> S DALAM PROSES ANAEROBIK .....	67
3.25 TUJUAN PROSES SEDIMENTASI BERBASIS PRINSIP GRAVITASI LIMBAH CAIR .....	67
3.26 PRAPERLAKUAN PROSES FLOTASI.....	68
3.27 TUJUAN PROSES PEMISAHAN MINYAK DAN METODE FLOTASI .....	69
3.28 PERLAKUAN PRIMER .....	70
3.29 METODE FLOTASI UNTUK MENGHILANGKAN EMULSI MINYAK .....	70
3.30 METODE FLOTASI DENGAN RESIRKULASI LAJU ALIR LIMBAH CAIR .....	71
3.31 PERLAKUAN SEKUNDER .....	71
3.32 KLARIFIKASI PRIMER LIMBAH CAIR DALAM IPAL.....	72





3.33	TUJUAN KLARIFIKASI SEKUNDER LIMBAH CAIR .....	72
3.34	METODE SEDIMENTASI SEKUNDER BERBASIS PADA PROSES FISIKA DAN KIMIA DALAM LIMBAH CAIR .....	72
3.35	METODE NETRALISASI LIMBAH CAIR PADA PRAPERLAKUAN .....	73
3.36	JENIS BAHAN KIMIA UNTUK PROSES NETRALISASI LIMBAH CAIR PADA TAHAP PRAPERLAKUAN .....	73
3.37	PERSAMAAN REAKSI KIMIA PADA LIMBAH CAIR YANG BERSIFAT ASAM .....	74
3.38	TUJUAN DAN MANFAAT PERLAKUAN KIMIA PADA TAHAP PRAPERLAKUAN LIMBAH CAIR .....	74
3.39	HASIL PERLAKUAN PRIMER LIMBAH CAIR .....	75
3.40	FLOKULASI DAN KOAGULASI LIMBAH CAIR PADA PERLAKUAN PRIMER .....	75
3.41	NILAI PH PADA FLOKULASI DAN KOAGULASI LIMBAH CAIR PADA PERLAKUAN PRIMER.....	76
3.42	SIFAT PADATAN TERLARUT DALAM PENGENDAPAN LIMBAH CAIR .....	77
3.43	PENGENDAPAN DISKRIT DALAM LIMBAH CAIR .....	77
3.44	PENGENDAPAN FLOKULAN DALAM LIMBAH CAIR.....	78
3.45	JENIS BAHAN KOAGULAN DALAM PROSES FLOKULASI DAN KOAGULASI .....	78
3.46	JENIS BAHAN KOAGULAN ALUMINIUM SULFAT DALAM PROSES FLOKULASI DAN KOAGULASI .....	79
3.47	JENIS BAHAN KOAGULAN FERROSULFAT DALAM PROSES FLOKULASI DAN KOAGULASI PADA PERLAKUAN PRIMER LIMBAH CAIR .....	80

3.48	PERSAMAAN REAKSI KIMIA FERRISULFAT PROSES FLOKULASI DAN KOAGULASI PADA PERLAKUAN PRIMER LIMBAH CAIR .....	80
3.49	JENIS FERRIKLORIDA PROSES FLOKULASI DAN KOAGULASI PADA PERLAKUAN PRIMER LIMBAH CAIR .....	81
3.50	JENIS AIR KAPUR PROSES FLOKULASI DAN KOAGULASI PADA PERLAKUAN PRIMER LIMBAH CAIR .....	81
3.51	JENIS BAHAN PENOLONG OZON PROSES FLOKULASI DAN KOAGULASI PADA PERLAKUAN PRIMER LIMBAH CAIR ....	82
3.52	PROSES FILTRASI DARI HASIL KOAGULASI DAN FLOKULASI PADA PERLAKUAN PRIMER LIMBAH CAIR .....	83
3.53	JENIS METODE FLOTASI DALAM PROSES FILTRASI LIMBAH CAIR PADA PERLAKUAN SEKUNDER .....	83
3.54	JENIS FLOTASI GRAVITASI DALAM LIMBAH CAIR PADA PERLAKUAN SEKUNDER .....	84
3.55	JENIS FLOTASI VACUUM DALAM LIMBAH CAIR PADA PERLAKUAN SEKUNDER .....	84
3.56	JENIS FLOTASI ELEKTRO DALAM LIMBAH CAIR PADA PERLAKUAN SEKUNDER .....	84
3.57	TUJUAN FILTRASI DARI HASIL KOAGULASI DAN FLOKULASI PADA PERLAKUAN PRIMER LIMBAH CAIR .....	85
3.58	TUJUAN PERLAKUAN SEKUNDER LIMBAH CAIR .....	85
3.59	PERLAKUAN SEKUNDER LIMBAH CAIR DENGAN METODE <i>TRICKLING FILTER</i> .....	85
3.60	METODE PENGHILANGAN SENYAWA ORGANIK PADA PERLAKUAN SEKUNDER LIMBAH CAIR.....	86
3.61	PROSES AEROBIK LIMBAH CAIR PADA PERLAKUAN SEKUNDER .....	87

3.62	PROSES LUMPUR AKTIF DALAM LIMBAH CAIR .....	87
3.63	KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN PERLAKUAN ANAEROBIK PADA LIMBAH CAIR .....	88
3.64	PEMBUATAN BAHAN BAKAR ( <i>FUELS</i> ) HIDROGEN BERBASIS PADA PEMANFAATAN MIKROBA .....	88
3.65	HIDROLISIS KARBOHIDRAT DALAM LIMBAH CAIR .....	89
3.66	METODE GELATINISASI SUHU TINGGI UNTUK KARBOHIDRAT DALAM LIMBAH CAIR .....	89
3.67	TUJUAN <i>SCREENING</i> LIMBAH PADAT DALAM INDUSTRI PANGAN .....	90
3.68	PERLAKUAN BIOLOGI PADA LIMBAH PADAT .....	90
3.69	PARAMETER YANG DIKENDALIKAN PADA PROSES PENGOMPOSAN .....	91
3.70	PARAMETER SUHU PENGOMPOSAN DALAM PENGOMPOSAN .....	91
3.71	PROSES KONTAK ANAEROBIK LIMBAH LUMPUR PADAT AKTIF ( <i>ACTIVATED SLUDGE</i> ) DALAM BIOREAKTOR ANAEROBIK.....	92
3.72	BAHAN BAKU PENGOMPOSAN .....	92
3.73	PROSES PENGOMPOSAN YANG DIPERLUKAN .....	93
3.74	KENDALA PROSES PENGOMPOSAN .....	93
3.75	PROSES PENGOMPOSAN LIMBAH PADAT SENYAWA KIMIA ORGANIK .....	94
3.76	KARAKTERISTIK LIMBAH PADAT SENYAWA KIMIA ORGANIK .....	95
3.77	KARAKTERISTIK LIMBAH <i>PALM OIL MILL EFFLUENT</i> ( <i>POME</i> ) DARI SUMBER PUSTAKA .....	96
3.78	PERBEDAAN PROSES FERMENTASI AEROBIK DAN	

ANAEROBIK DALAM MENGOLAH LIMBAH POME MENJADI PRODUK BERNILAI EKONOMI .....	97
3.79 PRODUK GAS METANA DARI LIMBAH INDUSTRI PANGAN.....	98
3.80 PERANAN MIKROBA.....	99
<b>BAB IV BIOREAKTOR ANAEROBIK DAN AEROBIK .....</b>	<b>101</b>
4.1 SELEKSI BIOREAKTOR ANAEROBIK DAN AEROBIK .....	101
4.2 JENIS DAN FUNGSI BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU .....	102
4.3 NERACA MASSA MIKROBA DALAM BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU .....	103
4.4 JENIS BIOREAKTOR BATCH DAN BIOREAKTOR <i>PLUG FLOW</i> BIOREAKTOR BATCH .....	104
4.5 BIOREAKTOR <i>PLUG FLOW</i> .....	105
4.6 PARAMETER MODEL MONOD PADA BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU .....	106
4.7 BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU DENGAN BIOREAKTOR <i>PLUG FLOW</i> SECARA SERI .....	107
4.8 BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU DISUSUN TIGA UNIT SECARA SERI .....	108
4.9 JENIS DAN FUNGSI BIOREAKTOR PROSES KONTAK ANAEROBIK.....	109
4.10 FUNGSI <i>SEQUENCING BATCH REACTOR ANAEROBIC</i> .....	110
4.11 CONTOH GAMBAR <i>SEQUENCING BATCH REACTOR</i> <i>ANAEROBIC</i> DAN CARA KERJANYA PADA LIMBAH CAIR DARI INDUSTRI PANGAN .....	111
4.12 JENIS DAN FUNGSI BIOREAKTOR FASE ASAM .....	113
4.13 JENIS DAN FUNGSI BIOREAKTOR FASE SUHU .....	114



4.14	JENIS DAN FUNGSI BIOREAKTOR MEMBRAN ANAEROBIK.....	115
4.15	DIGESTER ANAEROBIK PADA LAJU ALIR UMPAN RENDAH ( <i>LOW RATE CONVENTIONAL DIGESTER</i> ) DAN LAJU ALIR UMPAN TINGGI ( <i>HIGH RATE CONVENTIONAL DIGESTER</i> ).....	115
4.16	JENIS BIOREAKTOR APUNG DISELIMUTI PLASTIK DENGAN UMPAN SEGAR DAN DAUR ULANG .....	118
4.17	BIOREAKTOR ANAEROBIK TIPE <i>LAGOON</i> DISELIMUTI PLASTIK .....	120
4.18	PERBEDAAN BIOREAKTOR AEROBIK DENGAN BIOREAKTOR ANAEROBIK DAN BIOREAKTOR ANIONIK .....	121
4.19	PARAMETER YANG DIMONITOR DAN DIKENDALIKAN DALAM BIOREAKTOR AEROBIK DAN ANAEROBIK .....	121
4.20	SELEKSI STRAIN ATAU BIAKAN, MAKA BAGAIMANA SELEKSI SATU STRAIN DARI JUMLAH STRAIN BANYAK JUMLAHNYA SESUAI DENGAN KEPERLUAN SKALA INDUSTRI .....	122
4.21	FERMENTASI AEROBIK DIPERLUKAN ADANYA TRANSFER PROSES MIKROBIAL DARI INOKULUM SKALA LABORATORIUM KE SKALA INDUSTRI .....	123

**BAB V PRODUKSI BIOETANOL ..... 125**

5.1	KRITERIA MEDIA FERMENTASI DAN KONTRIBUSI ILMU TEKNIK/TEKNOLOGI/BIO TEKNOLOGI BAHAN BAKAR NONFOSIL.....	125
5.2	TAHAP PEMBUATAN BIOETANOL DARI SUBSTRAT BIOMASSA .....	127
5.3	BAHAN BAKU BIOETANOL.....	128



5.4	BIOMASSA SEBAGAI SUBSTRAT .....	129
5.5	JENIS SUBSTRAT .....	130
5.6	LIMBAH INDUSTRI PANGAN .....	131
5.7	SIFAT-SIFAT DAN MANFAAT PRODUK ETANOL .....	131
5.8	GLUKOSA MERUPAKAN INHIBITOR PADA KONDISI FERMENTASI AEROBIK DAN ANAEROBIK .....	131
5.9	KHAMIR ( <i>YEASTS</i> ) DAN BAKTERI DIGUNAKAN UNTUK BIOKONVERSI MEDIA FERMENTASI CAIR MENJADI PRODUK ETANOL .....	132
5.10	PROSES SAKARIFIKASI DAN FERMENTASI HASIL LIKUIFAKSI PATI MENJADI GLUKOSA .....	133
5.11	JENIS PRODUK DISTILASI BERTINGKAT ETANOL KADAR RENDAH MENJADI ETANOL KADAR 95% .....	134
5.12	JENIS MIKROBA UNTUK MEMECAH SELULOSA DAN HEMISELULOSA MENJADI MONOSAKARIDA .....	134
5.13	UNSUR RUNUTAN ( <i>TRACE ELEMENTS</i> ) DALAM FERMENTASI ETANOL .....	135
5.14	NUTRIEN ANORGANIK DALAM FERMENTASI ETANOL.....	136
5.15	VITAMIN DALAM FERMENTASI ETANOL .....	136
5.16	KOMPOSISI MEDIA FERMENTASI SUBSTRAT GLUKOSA ...	137
5.17	DIAGRAM BIOSINTESIS ETANOL .....	138
5.18	DIAGRAM ALIR ETANOL DARI PATI JAGUNG PADA PROSES FERMENTASI DAN DESTILASI .....	138
5.19	KOMPONEN SENYAWA ANORGANIK .....	139
5.20	KOMPONEN SENYAWA VITAMIN .....	140
5.21	MEDIA FERMENTASI ETANOL OLEH <i>ZYMO MONAS</i> <i>MOBILIS</i> .....	140

5.22	ENZIM DAN PEMANFAATANNYA.....	140
5.23	ENZIM SELULASE DALAM HIDROLISIS.....	141
5.24	KINETIKA ENZIM DAN PENERAPANNYA .....	142
<b>BAB VI PRODUKSI ASETON-BUTANOL.....</b>		<b>145</b>
6.1	MANFAAT BUTANOL DAN MEDIA FERMENTASI CAIR GLUKOSA OLEH BAKTERI <i>CLOSTRIDIUM</i> SP.....	145
6.2	DIAGRAM ALIR RUTE METABOLIK PEMBUATAN ASETON-BUTANOL .....	146
6.3	KOMPONEN DALAM FERMENTASI GLUKOSA OLEH MIKROBA MENJADI PRODUK ASETON-BUTANOL .....	148
6.4	JENIS BAHAN BAKU SUBSTRAT UNTUK ASETON-BUTANOL .....	148
6.5	PERSIAPAN INOKULUM .....	149
6.6	PERSIAPAN SPORA <i>CLOSTRIDIUM</i> .....	149
6.7	PEMBUATAN INOKULUM <i>CLOSTRIDIUM</i> <i>SACCAROBUTYLACETONICUM-LIQUEFACIENS</i> UNTUK MEDIA FERMENTASI CAIR GLUKOSA MENJADI ASETON-BUTANOL .....	149
6.8	DIAGRAM ALIR PEMBUATAN ASETON-BUTANOL DARI PATI .....	151
6.9	REAKSI KIMIA N-BUTANOL.....	155
6.10	REAKSI KIMIA T-BUTANOL.....	156
<b>BAB VII BIODIESEL.....</b>		<b>157</b>
7.1	MINYAK NABATI SEBAGAI BAHAN BAKAR UNTUK BIODIESEL .....	157
7.2	MANFAAT BIODIESEL JIKA DIBANDINGKAN DENGAN BAHAN BAKAR FOSSIL DIESEL.....	158

7.6	PARAMETER KUALITAS TERHADAP BAHAN BAKAR <i>FATTY ACID METHYL ESTHER (FAME)</i> .....	159
7.7	PARAMETER PADA BIODIESEL DAN FOSSIL DIESEL .....	159
7.8	JENIS BAHAN BAKU BIODIESEL .....	160
7.9	JENIS BAHAN BAKU NONPANGAN UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL .....	161
7.10	JENIS TEKNOLOGI UNTUK MEMPRODUKSI BIODIESEL ....	162
7.11	PRINSIP REAKSI KIMIA TRANSESTERIFIKASI DARI 1 MOL TRIGLISERIDA DAN 3 MOL METANOL .....	164
7.12	VARIABEL PROSES DALAM PEMBUATAN BIODIESEL .....	165
7.13	HASIL SAMPING PEMBUATAN BIODIESEL .....	165
7.14	KOMPONEN HASIL SAMPING GLISERIN KASAR DIPEROLEH DARI REAKSI KIMIA <i>STOICHIOMETRY</i> TRANSESTERIFIKASI DENGAN METANOL .....	166
7.15	BIKONVERSI LIPID DALAM LIMBAH CAIR INDUSTRI PANGAN MENJADI BIODIESEL.....	166
7.16	PROSES PEMBUATAN BIODIESEL DENGAN BAHAN BAKU MINYAK NABATI MURNI KATALISATOR BASA .....	167
7.17	PROSES PEMBUATAN BIODIESEL DENGAN BAHAN BAKU MINYAK GORENG BEKAS ( <i>WASTE OIL</i> ) ATAU JELANTAH DENGAN KATALISATOR ASAM UNTUK PRAPERLAKUAN DAN KATALISATOR BASA UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL .....	168
7.18	DIAGRAM ALIR PROSES PEMBUATAN METANOL DAN GLISERIN.....	171
7.19	BIODIESEL DARI BIOGAS.....	172
7.20	BILANGAN IODIN, SAPONIFIKASI, BILANGAN ASAM DAN JUMLAH CETANE .....	172



<b>BAB VIII BIOGAS .....</b>	<b>173</b>
8.1 PENGANTAR .....	173
8.2 MASALAH BAHAN BAKAR FOSIL .....	173
8.3 TUJUAN PENGEMBANGAN DAN PEMANFAATAN BIOGAS .....	174
8.7 PRODUKSI BIOGAS .....	174
8.8 REAKSI KIMIA ASAM PROPIONAT, BUTIRAT DAN ETANOL MENJADI ASETAT .....	176
8.9 PEMANFAATAN BIOGAS SEBAGAI ENERGI .....	176
8.10 FAKTOR LINGKUNGAN PADA PERLAKUAN ANAEROBIK LIMBAH CAIR TERHADAP PRODUKSI BIOGAS .....	177
8.11 JENIS DAN TAHAP PROSES KONVERSI BIKIMIA DALAM DIGESTER ANAEROBIK LIMBAH INDUSTRI .....	179
8.12 FAKTOR KHUSUS YANG MEMPENGARUHI DESAIN DIGESTER LUMPUR ANAEROBIK .....	179
8.13 SUBSTRAT .....	180
8.14 TAHAP KONVERSI LIMBAH CAIR BERISI KIMIA ORGANIK MENJADI METANA .....	181
8.15 PENCEMAR DALAM BIOGAS .....	182
8.16 PENCEMAR CO <sub>2</sub> DALAM BIOGAS .....	183
8.17 PENCEMAR AIR DALAM BIOGAS .....	183
8.18 PENCEMAR GAS H <sub>2</sub> S DALAM BIOGAS.....	183
8.19 REAKSI KIMIA IRON SPONGE .....	183
8.20 REAKSI KIMIA PENGURANGAN H <sub>2</sub> S DENGAN FeCl <sub>3</sub> .....	184
8.21 PEMBERSIHAN BUSA DAN SEDIMEN .....	184
8.22 PENCEMAR <i>SILOXANES</i> DALAM BIOGAS .....	185
8.23 URUTAN DARI PENELITIAN SAMPAI SKALA USAHA.....	185

BAB IX SOAL DAN SOLUSI BAHAN BAKAR NONFOSIL.....	189
DAFTAR PUSTAKA .....	217
GLOSARIUM .....	221
INDEKS .....	233
TENTANG PENULIS.....	237





## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 1.1 PRINSIP DASAR INDUSTRI BAHAN BAKAR ( <i>BIOFUELS</i> ) BERBASIS BIOTEKNOLOGI .....	6
GAMBAR 1.2 PRINSIP DASAR PEMURNIAN PETROLEUM .....	7
GAMBAR 1.3 PRINSIP DASAR BIOREFINERI .....	8
GAMBAR 1.4 GAS ALAM DAN MINYAK BUMI DALAM PERUT BUMI [SUHARTO, IGN: 2014] .....	15
GAMBAR 1.5 INTERAKSI PARAMETER SUMBER DAYA ALAM, SUMBER DAYA MANUSIA DAN TEKNOLOGI MENUJU PRODUK UNGGUL [SUHARTO, IGN: 2015] .....	20
GAMBAR 1.6 FOTOSINTESIS [SHULER, M.L., ET AL: 1992].....	22
GAMBAR 2.1 SIKLUS KARBON DAN OKSIGEN [SUMBER: ATKINSON,B., ET. AL: 1983] .....	32
GAMBAR 3.1 SARINGAN BAR [SUMBER : SUHARTO, IGN.: 2011].....	62
GAMBAR 3.2 SARINGAN KASAR [SUMBER : SUHARTO, IGN.: 2011] ..	63
GAMBAR 3.3 PRODUKSI GAS CH <sub>4</sub> DARI LIMBAH INDUSTRI PANGAN [SUMBER: RAYNOLD, T.D.: 1982] .....	99

GAMBAR 4.1	BIOREAKTOR ANAEROBIK BERPENGADUK KONTINU....	102
GAMBAR 4.2	BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU [SUMBER : LEE, J.M.: 1992] .....	104
GAMBAR 4.3	BIOREAKTOR BATCH BERPENGADUK .....	104
GAMBAR 4.4	BIOREAKTOR PLUG FLOW .....	105
GAMBAR 4.5	BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU DENGAN BIOREAKTOR <i>PLUG FLOW</i> YANG DISUSUN SERI [SUMBER : LEE, J.M.: 1992] .....	107
GAMBAR 4.6	BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU TIGA UNIT SERI [SUMBER : KHANAL, S.K., 2008; LEE, J.M., 1992] .....	108
GAMBAR 4.7	GRAFIK UNTUK SOLUSI FERMENTASI DENGAN BIOREAKTOR KONTINU DUA TAHAP.....	109
GAMBAR 4.8	BIOREAKTOR ANAEROBIK PROSES KONTAK ANAEROBIK [SUMBER : KHANAL, S.K. :2008] .....	109
GAMBAR 4.9	PENERAPAN SBR KHUSUS UNTUK PENGHILANGAN NITROGEN .....	110
GAMBAR 4.10	BIOREAKTOR ANAEROBIK <i>SEQUENCING BATCH</i> <i>REACTOR</i> [SUMBER : KHANAL, S.K. :2008 ] .....	111
GAMBAR 4.11	BIOREAKTOR ANAEROBIK <i>SEQUENCING BATCH</i> <i>REACTOR</i> [SUMBER: SUHARTO, IGN.: 2011].....	112
GAMBAR 4.12	BIOREAKTOR ANAEROBIK FASE ASAM [SUMBER : KHANAL, S.K.: 2008].....	114
GAMBAR 4.13	BIOREAKTOR ANAEROBIK DIGESI FASE SUHU [SUMBER : KHANAL, S.K.: 2008].....	114
GAMBAR 4.14	BIOREAKTOR ANAEROBIK MEMBRAN BERPENGADUK [SUMBER : KHANAL, S.K.: 2008] .....	115

GAMBAR 4.15	BIOREAKTOR ANAEROBIK DENGAN LAJU ALIR UMPAN RENDAH (A) DAN LAJU ALIR UMPAN TINGGI (B) [SUMBER : REYNOLD, T.D.: 1982] .....	117
GAMBAR 4.16	BIOREAKTOR ANAEROBIK DENGAN TUTUP MENGAPUNG YANG DITAMBAHKAN HASIL DAUR ULANG LUMPUR .....	119
GAMBAR 4.17	BIOREAKTOR ANAEROBIK DENGAN TUTUP MENGAPUNG DAN LUMPUR DIGESI [SUMBER : REYNOLD, T.D.: 1982] .....	119
GAMBAR 4.18	BIOREAKTOR ANAEROBIK DANAU TERSELIMUTI PLASTIK ( <i>COVERED LAGOON</i> ) [SUMBER : KHANAL, S.K.: 2008] .....	120
GAMBAR 6.1	ALUR METABOLIK KONVERSI GLUKOSA MENJADI ASETON DAN BUTANOL [SUMBER : ATKINSON, B., ET AL: 1983] .....	146
GAMBAR 6.2	BIOREAKTOR BERPENGADUK KONTINU DENGAN DAUR ULANG SEL MIKROBA DAN UNIT SEDIMENTASI .....	147
GAMBAR 6.3	PEMBUATAN MEDIA INOKULUM <i>CLOSTRIDIUM SP.</i> .....	150
GAMBAR 6.4	STERILISASI MEDIA INOKULUM <i>CLOSTRIDIUM SACCHAROBUTYLACETONICUM-LIQUEFACIENS</i> .....	150
GAMBAR 6.5	DIAGRAM ALIR FERMENTASI ASETON-BUTANOL DARI PATI [SUMBER : ATKINSON, B.: 1983] .....	152
GAMBAR 6.6	PERPINDAHAN MASSA DALAM SISTEM BIOREAKTOR ANAEROBIK UNTUK FERMENTASI GLUKOSA OLEH <i>CLOSTRIDIUM SP.</i> .....	155
GAMBAR 7.1	SKEMA REAKSI TRANSESTERIFIKASI TRIGLISERIDA DENGAN METANOL [SUMBER : MITTLEACH, M.: 2004]	164

GAMBAR 7.2	PRODUK FASE ATAS DAN FASE BAWAH PADA REAKSI KIMIA TRANSESTERIFIKASI TRIGLISERIDA DAN METANOL [SUMBER : MITTLEACH, M.: 2004].....	166
GAMBAR 7.3	STRUKTUR MOLEKUL TRIACYLGLYCERIDA YANG BERISI ASAM LEMAK BEBAS YANG MENGIKAT ASAM STEARAT, ASAM OLEAT DAN ASAM PALMITAT SEBAGAI ASAM LEMAK BEBAS MENGIKAT GLISEROL [SUMBER : MITTLEACH, M.: 2004].....	167
GAMBAR 7.4	PRAPERLAKUAN DENGAN KATALISATOR H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> UNTUK MENGURANGI KADAR AIR DAN KADAR ASAM LEMAK BEBAS DALAM MINYAK GORENG BEKAS .....	169
GAMBAR 7.5	DIAGRAM ALIR PEMBUATAN METANOL DAN GLISEROL MTBE YANG DIBUAT DARI BAHAN BAKU METANOL MEMILIKI ANGKA OKTAN SEKITAR 115-135 UNTUK GASOLIN [AUSTIN, G.T.: 1975]. .....	171
GAMBAR 8.1	FOAM SEPARATOR [SUMBER : KHANAL, S.K.: 2008] ....	184
GAMBAR 8.2	MODUL PERLAKUAN GAS DALAM DIGESTER [SUMBER : KHANAL, S.K.: 2008] .....	185
GAMBAR 8.3	URUTAN PENELITIAN MENUJU PERUBAHAN TEKNOLOGI BARU UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS BAGI INDUSTRI BIOTEKNOLOGI ANAEROBIK BIOGAS.....	186



## DAFTAR TABEL

TABEL 2.1	KLASIFIKASI FAMILI ALDOSE [SHULER, M.L.,ET. AL: 1992]....	39
TABEL 2.2	KLASIFIKASI FAMILI KETOSE [SHULER, M.L.,ET AL: 1992].....	40
TABEL 4.1	URUTAN TAHAP KEGIATAN INOKULUM SKALA LABORATORIUM DAN SKALA INDUSTRI .....	124
TABEL 5.1	TABEL UNSUR RUNUTAN DALAM FERMENTASI ETANOL .....	135
TABEL 5.2	PERANAN UTAMA NUTRIEN ANORGANIK.....	136
TABEL 5.3	PERANAN VITAMIN DALAM METABOLISME KHAMIR .....	136
TABEL 5.4	KOMPONEN MEDIA FERMENTASI CAIR BERISI GLUKOSA UNTUK PEMBUATAN ETANOL .....	137
TABEL 5.5	KOMPONEN MEDIA FERMENTASI UNTUK ETANOL.....	141
TABEL 9.1	NILAI KONSTANTA GAS IDEAL (R) .....	191



## **BAB I**

# **Pengenalan Bioteknologi Anaerobik**

### **1.1 INSTRUMENTAL PERATURAN SUMBER DAYA ENERGI TERBARU**

Disadari sepenuhnya bahwa dewasa ini terjadi perubahan iklim, kenaikan permintaan bahan bakar dan eksploitasi terus-menerus sumber minyak bumi yang terbatas, sehingga menimbulkan masalah kebutuhan bahan bakar dan energi nasional. Oleh karena itu, pembangunan, pengembangan dan pemanfaatan bahan bakar nonfosil berbasis biomassa dan limbah industri perlu dilakukan.

Upaya mengeksplorasi, mengembangkan, memproses dan memanfaatkan bahan bakar nonfosil berbasis biomassa, yaitu limbah industri berisi senyawa kimia organik sebagai substrat oleh mikroba dalam proses fermentasi anaerobik merupakan pendekatan teknologi tepat guna dengan biaya murah.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, maka bahan bakar nonfosil atau energi terbarui dapat dikembangkan dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar nonfosil. Bahan bakar



bioetanol, aseton dan butanol, biodiesel, *syngas*, biogas dan hidrogen dapat memberi kontribusi terhadap kebutuhan bahan bakar dan energi nasional. Produk bahan bakar nonfosil menggunakan teknologi tepat guna, bioteknologi anaerobik dan biaya murah dengan sumber daya manusianya ialah para cendekia dan profesional.

Bioteknologi anaerobik merupakan teknologi tepat guna yang berkelanjutan yang mampu menciptakan bahan bakar nonfosil dan bioenergi sekaligus lingkungan menjadi bersih dan sasaran kecukupan energi nasional dicapai.

## **1.2 PENGENALAN PENGERTIAN ANAEROBIK**

Proses adanya anaerobik dalam limbah cair adalah proses biologi di mana senyawa kimia organik dimetabolismekan dalam kondisi tanpa adanya oksigen terlarut dalam limbah industri. Senyawa kimia organik berfungsi sebagai donor elektron dan penerima elektron. Proses anaerobik dibagi menjadi proses fermentasi anaerobik dan respirasi anaerobik yang tergantung pada jenis elektron akseptor.

Anaerobik adalah bakteri tanpa adanya oksigen terlarut dalam media cair yang mampu tumbuh dan berkembang biak dalam media fermentasi cair. Bakteri anaerobik adalah bakteri yang memerlukan kombinasi antara oksigen dan tiadanya molekul oksigen bebas untuk tumbuh dan berkembang biak. Pendekatan bioteknologi anaerobik dalam limbah industri berisi senyawa kimia organik untuk menghasilkan bahan bakar dan energi nonfosil merupakan pendekatan yang memenuhi 6 kriteria, yaitu :

1. Bahwa secara teknis, maka bioteknologi anaerobik dalam limbah industri berisi senyawa kimia organik yang dapat menghasilkan berbagai jenis produk bahan bakar dan energi nonfosil, di antaranya etanol, biogas, asetonbutanol, biodiesel, hidrogen, *syngas*, dan *microbial fuel cell*.
2. Bahwa secara ekonomi, maka bioteknologi anaerobik dalam limbah industri yang berisi senyawa kimia organik mampu menghasilkan bahan bakar nonfosil, baik produk bahan bakar nonfosil untuk jangka pendek maupun jangka panjang.
3. Bahwa secara sosial, maka bioteknologi anaerobik dalam limbah industri berisi senyawa kimia organik guna menghasilkan bahan bakar nonfosil agar dapat diterima dan dimanfaatkan oleh masyarakat.
4. Bahwa secara ekologi, maka bioteknologi anaerobik dalam limbah industri berisi senyawa kimia organik guna menghasilkan bahan bakar nonfosil agar tidak menimbulkan pencemaran dan menciptakan kondisi lingkungan yang sehat.
5. Bahwa secara ISO 14000, maka bioteknologi anaerobik dalam limbah industri berisi senyawa kimia organik guna menghasilkan bahan bakar nonfosil mampu menerapkan sistem manajemen lingkungan.
6. Bahwa ISO 14001 penerapannya terhadap dunia industri masih banyak kendala dalam industri skala kecil dan menengah. ISO 14001 tentang sistem manajemen lingkungan.



### **1.3 VISI BAHAN BAKAR NONFOSIL**

Visi ialah menciptakan bahan bakar nonfosil.

#### **Misi Bahan Bakar Nonfosil**

Misi bakar nonfosil berkaitan dengan visi yang mampu memberi arahan bahan bakar nonfosil, baik saat ini maupun waktu akan datang. Misi bahan bakar nonfosil ialah memanfaatkan biomassa dengan pendekatan bioteknologi menjadi berbagai jenis produk bahan bakar nonfosil.

#### **Nilai Organisasi Bahan Bakar Nonfosil**

Nilai organisasi pengelola bahan bakar nonfosil ialah melayani kualitas produk bahan bakar nonfosil berbasis tim kerja guna tercapainya visi dan misi bahan bakar nonfosil.

### **1.4 MASALAH BAHAN BAKAR NONFOSIL**

Perubahan peranan proses kimia untuk bahan bakar fosil ke peranan bioteknologi anaerobik untuk bahan bakar nonfosil merupakan tantangan bagi para ilmuwan peneliti dan para insinyur teknik. Interaksi peranan ilmu kimia dengan disiplin ilmu bioteknologi, pertanian, kehutanan, perkebunan dan ilmu material sangat diperlukan.

Bioteknologi anaerobik bahan bakar nonfosil merupakan salah satu cabang prinsip ilmu teknik/teknologi kimia terhadap sistem yang melibatkan material biologi oleh pertumbuhan mikroba dan pemanfaatan mikroba sumber penghasil enzim belum sepenuhnya dikembangkan dan dimanfaatkan oleh

industri kimia, industri pangan, bioteknologi guna menghasilkan bahan bakar nonfosil.

## 1.5 MASALAH PERBEDAAN PROSES KIMIA DAN BIOTEKNOLOGI TERHADAP BAHAN BAKAR FOSIL DAN NONFOSIL

Produk  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{H}_2$ , campuran dapat diproses melalui dua pendekatan, yaitu proses kimia dan proses bioteknologi.

Pada **proses kimia** yang dilakukan dengan kondisi suhu tinggi dan tekanan tinggi, guna mengonversi petroleum, batu bara, dan gas alam menjadi produk  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{H}_2$ , campuran sebagai dasar untuk menuju ke industri petrokimia yang menghasilkan produk petrokimia dan bahan baku kimia industri.

Pada **proses bioteknologi** dilakukan pada kondisi suhu rendah dan tekanan normal, maka bahan baku selulosa, pati, gula, dan limbah senyawa organik di biokonversi menjadi produk  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{H}_2$ , campuran, dan produk aseton-butanol, etanol, gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$ . dan biodiesel.

**Proses bioteknologi** skala kecil, medium dan besar diperlukan unit proses dalam sintesis kimia organik dan unit operasi teknik kimia, *scale-up* alat dan mesin, transfer teknologi ke pengguna termasuk dasar perekayasaan dan nilai ilmiah, kinerja, karakteristik, dan integrasi ke proses yang kompleks, sehingga diperlukan pendekatan multidisiplin ilmu. Bioteknologi, baik tradisional maupun modern mempunyai harapan cerah dan signifikan dalam revolusi teknologi global masa depan. Peranan digesi anaerobik adalah peranan bakteri anaerobik dalam substrat senyawa kimia organik, sehingga



## DAFTAR PUSTAKA

- Anton, P.S., Silbergliift, R., Scheider, J., [2001]. *The Global Technology Revolution*, pp 1-2., RAND National Deference Research Institute, Santa Monica. California.
- Atkinson, B., Mavituna.F.,[1983]. *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*, pp 71-72. The Nature Press, Published in the United Kingdom, Macmillan Publishers. LTD, England.
- Atlas, R.M.,[1997]. *Principle of Microbiology*, 2<sup>nd</sup> Ed, pp 788-804, Wm.C. Brown Publishers, Iowa.
- Austin, G.T. [1975]. *Shreve's Chemical Process Industries*, 5<sup>th</sup>, Mc Graw Hill International Editions, New York.
- Bailey, J.E. and Ollies, D.F. [1977]. *Biochemical Engineering Fundamentals*, pp 335-429, McGraw Hill Kogakusha Ltd., Tokyo.
- Bewick, M.W.M., [1980]. *Handbook of Organic Waste Conversion*, pp 384-390., Van Nostrand Reinhold Company, New York.

- Brauer, H. [1985]. *Fundamentals of Biochemical Engineering*, pp 521-534, *Biotechnology volume 2*, VCH Verlagsgesellschaft, mbH, D-6940 Weinheim, Germany.
- Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowel, N.D. and Lilly, A.E. [1974]. *Food Engineering Operations*, pp 24-45 Applied Science Publishing, London.
- Brock, T.D. [1984]. *Biotechnology. A Textbook of Industrial Microbiology*, pp 280-281, Department of Bacteriology University of Wisconsin. Madison, USA.
- Frazier, W.C. and Westoff, D.C. [1988]. *Food Microbiology*, pp. 91-120, McGraw Hill Book Company, New York.
- Groggins, P.H. [1958]. *Unit Process Organic Synthesis*, pp 1-18. Mc Graw-Hill, Book Company, Inc Kogakusha, Company, Ltd, Tokyo.
- Hahn, P.A. [1968]. *Chemicals from Fermentation*, pp15-52, 86-89, Doubleday & Company, Inc., Garden City, New York.
- James, J.W. [1992]. *Bioprocess Technology: Modelling and Transport Phenomena*, pp 11-33; pp 244-258, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford OX2 8DP.
- Khanal, S.K. [2008]. *Anaerobic Biotechnoogy for Bioenergy Production*, pp 2,5-7,30-40,57-99, 1-8, 21, 24-25,29-30,38-40,57-99,267-274. Wiley Blackwell, John Wiley & Sons,Ltd, Publication, Iowa.
- Kismurtono, M., Hardi Julendra. [2015]. *The Potential of Palm Oil Mill Effluent for Upgrade of Biogas Production*. International Research Jurnal of Engineering and Technology, Vol 02, pp 1-2.

- Kono, T. [1968]. *Kinetics of Microbial Cell Growth*. Biotechnol. Bioeng., 10, 105-131.
- Kono, T. and Asai, T. [1969]. *Kinetics of Fermentation Process*, *Biotechnol. Bioeng.* 9, 293-321.
- Krimsky, S., Gruber, J. [2013]. *Biotechnology in Our Lives*, pp 17-21, Skyhorse and Skyhorse Publishing Inc, New York.
- Lee, J.M. [1992]. *Biochemical Engineering*. pp 11-28;
- Lewis, W.K., Radash, A.H., and Lewis, H.C. [1954]. *Industrial Stoichiometry*, pp 4-11, McGraw Hill Book Company, Inc, New York.
- Madden, Dean. [1995]. *Food Biotechnology*. An Introduction, pp 1-12, International Life Sciences Institute Europe, Brussels, Belgium.
- Mittelbach, M., and Claudic Renschmidt. [2004]. *Biodiesel*, pp 6-9; 114-122; 134-156, Martin Mittelbach Publisher, Austria.
- Pederson, C.S. [1971]. *Microbiology of Food Fermentations*, 2<sup>nd</sup>, pp 69-104, The Avi Publishing Company, Inc., Westport.
- Pintauro, N.D. [1979]. *Food Processing Enzymes*, pp 93-99, Noyes Data Corporation, New Jersey.
- Pirt, S.J. [1975]. *Principles of Microbe and Cell Cultivation*, 1<sup>st</sup> Ed, pp 4-107, Blackwell Scientific Publication, London.
- Reynold, T.D. [1982]. *Unit Operations and Processes in Environment Engineering*, pp 405-421. Books/Cole Engineering Division Monterey, California
- Saguy, I. [1983]. *Computer-Aided Techniques in Food Technology*, pp.117-123, Marcel Dekker, Inc., Madison, New York.



- Shuler, M.L. and Fikret Kargi. [1992]. *Bioprocess Engineering*. pp 95,201-109. Prentice-Hall. Inc, New Jersey.
- Stanbury, P.E., and A. Whitaker. [1987]. *Principles of Fermentation Technology*, pp 94-96, Pergamon Press., New York.
- Suharto, Ign. [1995]. *Bioteknologi dalam Dunia Industri*, pp 59-78; 194-208. Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- van Dam-Mieras, M.C.E., W.H. de Jeu, and J.de Vries. [1992]. *Bioprocess Technology : Modelling and Transport Phenomena*. pp 16-22, Open Universiteit, Nederland., Heerlen.
- Wang, J., Qaisar Mahmood, Jiang-Ping Qiu, Ying-Sheng Li, Yoon-Seong Chang, and Xu-Dong Li. [2015]. *Anaerobic Treatment of Palm Oil Mill Effluent in Pilot Scale Anaerobic EGSR Reactor*, Bio Med Research International, Vol 2015, pp. 1-3.
- Wang, D.I.C., Cooney, C.L., Demain, A.L., Dunhill, P., Humphrey, A.E., and Lilly, M.D. [1979]. *Fermentation & Enzyme Technology*. pp 39-55; 77-81; 196-208,. John Wiley & Sons, New York.





## TENTANG PENULIS



**Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, A.P.U.**, lahir pada 28 Februari 1937 di Yogyakarta dan tidak sekolah di Sekolah Rakyat (S.R) selama 2 tahun karena perang Republik Indonesia dengan Belanda pada waktu itu. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 dengan gelar Insinyur (Ir.) pada tahun 1965 dari Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penulis sempat memperdalam Teknik Kimia di TH Delft di Belanda, tahun 1967-1968. Kemudian gelar S-2 diperolehnya dari Pascasarjana Teknologi Pangan tahun 1974-1975 di University of New South Wales, Sydney, Australia. Gelar Doktor Ilmu Teknik Kimia penulis raih dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 1986.

Di dunia profesi, penulis pernah bertugas dan menjabat beberapa posisi penting, di antaranya staf peneliti di Majelis Ilmu Pengetahuan Indonesia (MIPI) tahun 1965-1972 di Bandung; Asisten Direktur Lembaga Kimia Nasional LIPI tahun 1972-

1976 di Bandung; Direktur Lembaga Kimia Nasional LIPI tahun 1976-1986 di Bandung; *Project Leader* dari ASEAN-Australia *Economic Cooperation on Food Protein and Food Technology* dari tahun 1976-1990 (14 tahun) bertugas untuk mengkoordinir dan mengarahkan Lembaga Penelitian Pemerintah dan Pusat Bioteknologi-ITB, FATEMETA-IPB, Fakultas Teknik-UGM dan Fakultas Pertanian-UGM melakukan pertemuan setiap 6 bulan sekali dengan negara-negara ASEAN dan Australia di luar negeri; *Vice President of FIFSTA (Federation of Institute of Food Science and Technology in the ASEAN Countries)* tahun 1988-1992; *Steering Committee members of the 2<sup>nd</sup> International Soybean Processing and Utilization* in Kasetsart University, Bangkok, Thailand, tahun 1988; *Steering Committee members of the 3<sup>rd</sup> International Soybean Processing and Utilization* in Tsukuba University, Jepang, tahun 2000; *Project Leader of the Indonesia-Dutch on Lignocelluloses Materials in Indonesia*, tahun 1980-1987; serta *ASEAN Regional Meetings* tahun 1978 sampai 1997 sebanyak 26 kali dan *International Meetings* dari tahun 1972 sampai 2003 sebanyak 20 kali.

Penulis sampai saat ini masih aktif menulis karya tulis ilmiah, beberapa di antaranya ialah keynote address: *The role of university and industry interaction programs in the technology transfer in Indonesia: A case study of soybean processing* by Ign. Suharto, keynote speaker, UNESCO International Center for Engineering Education, Monash Engineering Education Series, ISBN : 0 7326 1401 5, Published in Australia by UNESCO International Centre for Engineering Education, Monash University, Clayton, Melbourne, VIC 3168, February 11-14, 1998,

Australia, 1998; invited paper pada 3<sup>rd</sup> *Asia Modelling Symposium* (AMS 2009) tentang *simulation and mathematical modelling in ethanol fermentation by A. aceti into acetic acid product* by Ign. Suharto, Arenst Andreas, Maria Ingrid, di Bandung dan Bali, May 25-29, 2009.

Kemudian beberapa buku yang pernah penulis terbitkan di antaranya ialah *Bioteknologi dalam Dunia Industri* (1995), *Perekayasa Metodologi Penelitian* (2003), *Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air* (2011), *Innovation Process, Equipment of Tempe Industries Without Pollution, Vertical Technology Transfer* (2012), *Pengenalan Industri Kimia* (2014), *Proses Industri Kimia* (2014), *Industri Bioteknologi Tradisional* (2014), *Siklus Hidup Produk Kimia dan Pangan* (2014), *Produksi dan Penanganan Pangan* (2014), *Tata Niaga Produk Pangan* (2015), *Unit Proses dalam Sintesis Pangan* (2015); serta *Proposal dan Metodologi Penelitian* (2015).