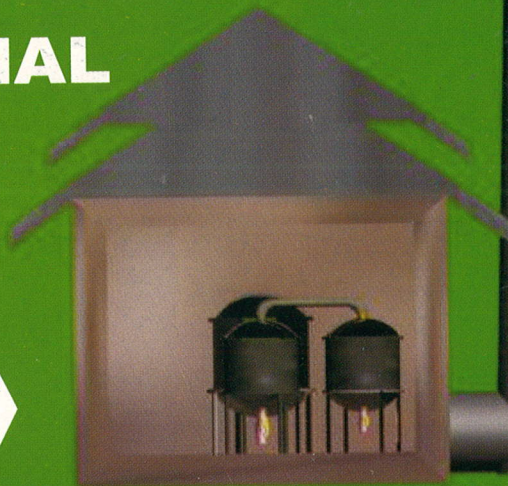




Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, APU

INDUSTRI BIOTEKNOLOGI TRADISIONAL



SKALA
LABORATORIUM

PILOT
PLANT

INDUSTRI

EDISI PERTAMA

UNPAR PRESS

R 26.2.15.

INDUSTRI BIOTEKNOLOGI TRADISIONAL



Oleh :
Prof.Dr.Ir.Ign. Suharto, APU

660.6
SUH
i

UNPAR PRESS

139237 R/FTI
25.2.15.

No. Klass	660-6 SUH i
No. Induk	139237 Tgl 25.2.15.
Hadiah/Beli
Dari	UNPAR Press .

INDUSTRI BIOTEKNOLOGI TRADISIONAL

Oleh : Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, APU

Hak Cipta @ 2014 pada penulis

Editor : Prof. Dr. Ir. Ign. Suharto, APU

Desain Cover : Edi Ayudi, ST

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

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

Penerbit UNPAR PRESS

Jalan Ciumbuleuit 94-96, Bandung 40141

Percetakan

Perpustakaan Nasional : Katalog dalam Terbitan (KDT)

Suharto, Ignatius

Industri Bioteknologi Tradisional/ Ign. Suharto;

Ed. 1. Penerbit UNPAR PRESS

I -xxxvi + 354 halaman.

ISBN: 978-602-70484-1-6

I. Industri Bioteknologi Tradisional

II. Judul

III. Ign. Suharto

KATA PENGANTAR

Industri bioteknologi tradisional

Revolusi teknologi global khususnya interaksi bioteknologi, material komposit dan teknologi nano dengan fasilitas teknologi informasi canggih dan sinerginya serta pengaruh pertumbuhan teknologi multidisiplin akan mengubah pola hidup masyarakat yang berkaitan erat dengan kehidupana sosial, ekonomi, politik dan personal dalam era tahun 2015 dan masa mendatang.

Kemajuan teknologi masa silam didominasi oleh kemajuan kimia lanjut dan fisika modern/lanjut, namun kemajuan teknologi dewasa ini didominasi oleh kemajuan bioteknologi modern seperti *biomedical engineering*, teknologi material komposit dan teknologi nano baik ilmu (*Science*) nano maupun perreayasaan (*Engineering*) nano.

Sumber daya alam terbaharui melimpah dalam ujud adanya biomassa (*Renewable resources*) yang melimpah diproses dengan bioteknologi tradisional menjadi berbagai macam jenis produk bioteknologi.

Anatomi pengertian industri bioteknologi tradisional mencakup tiga kata, yaitu **industri**, **bioteknologi**, dan

tradisional. Oleh karena itu, marilah disimak pengertian masing masing kata tersebut.

Pengertian industri

Pengertian industri berdasarkan batasan menurut Undang Undang Perindustrian No 5/1984 Bab I, Pasal 1 definisi **Industri** ialah:

Kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, bahan setengah jadi dan/atau barang jadi dengan nilai yang lebih tinggi untuk penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangun dan perekayasaan industri.

Industri berbasis batasan Undang Undang Perindustrian No 5/1984 Bab I, Pasal 1 definiri Industri ialah bahwa industri memiliki interaksi kuat dengan kemajuan ekonomi dan tercermin pada kegiatan hasil pilot plant dengan kriteria analisis tekno-ekonomi.

Pengertian bioteknologi

Menurut kamus Merriam-Webster's Dictionary menyatakan bahwa bioteknologi adalah ilmu biologi jika digunakan dalam merekayasa genetika dan teknologi DNA rekombinan.

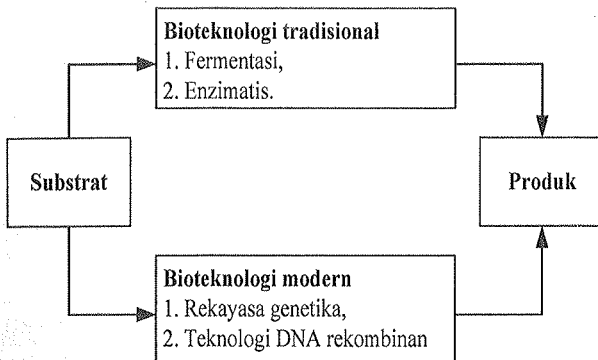
Namun dalam kamus Oxford English Dictionary memberi pernyataan bahwa bioteknologi adalah cabang teknologi yang berkaitan dengan bentuk industri produksi modern dengan memanfaatkan mikroba dan proses biologi.

Menurut Anton Moser dalam buku *Biotechnology volume 2* oleh H. Brauer menyatakan bahwa:

Bioteknologi adalah penggunaan terintegrasi antara biokimia, mikrobiologi, dan ilmu teknik agar supaya diperoleh penerapan teknologi industri terhadap kemampuan mikroba, kultur jaringan sel, dan bagian bagiannya.

Pengertian tradisional

Pada dasarnya pengertian bioteknologi tradisional didasarkan pada jenis teknologi yang digunakan yaitu **teknologi fermentasi** dan **teknologi enzimatis**.



Produk bioteknologi tradisional dan produk bioteknologi modern adalah sama jenis produknya, namun pendekatan teknologi produksi yang berbeda. Pada industri bioteknologi tradisional diperlukan pendekatan teknologi fermentasi dan teknologi enzimatis, sedangkan pada bioteknologi modern diperlukan pendekatan rekayasa

genetika dan teknologi DNA rekombinan. Baik bioteknologi tradisional maupun bioteknologi modern akan menghasilkan jenis produk bioteknologi bagi umat manusia. Pada bioteknologi modern pada era tahun 1978 sudah diketemukan bagaimana kerja *Genetically Modified Organisms (GMO)* yang berpengaruh pada kehidupan umat manusia. Perakayasaan genetika ini dilakukan dengan menggunakan teknologi DNA rekombinan dimana DNA dari berbagai macam sumber dikombinasikan menjadi satu molekul besar dan baru sehingga tercipta molekul baru. Pendekatan GMO ini banyak digunakan dalam bidang biologi, kedokteran dan tanaman pangan.

Pada tanaman pangan seperti tanaman jagung dan kedelai sudah diketemukan dan dimanfaatkan GMO kedelai dan jagung yang mampu meningkatkan produksi kedelai dan jagung per hektar menjadi berpuluh puluh kali jika dibandingkan dengan cara produksi kedelai dan jagung tradisional.

Pada pemanfaatan GMO, maka bakteri digunakan untuk memproduksi protein insulin bagi para penderita diabetes melitus dan hormon pertumbuhan manusia. Inilah salah satu keajaiban bioteknologi modern yang mampu merubah kehidupan umat manusia.

Oleh karena itu sebelum mendalami tentang bioteknologi modern yang berbasis pada pendekatan teknologi DNA rekombinan dan rekayasa genetika, maka

bioteknologi tradisional perlu dikenali, dipahami, dan dikembangkan serta dimanfaatkan lebih lanjut agar mudah memahami dan mempelajari bioteknologi modern. Penulis buku *Industri Bioteknologi Tradisional* ini yakin bahwa berbagai macam produk bioteknologi sangat dibutuhkan masa kini dan masa depan.

Baik bioteknologi tradisional maupun bioteknologi modern akan menghasilkan jenis produk bioteknologi yang bermanfaat bagi umat manusia dan hal ini sungguh merupakan revolusi bioteknologi global yang sangat signifikan dan potensi untuk dipelajari, dikembangkan, dimanfaatkan dan dilakukan transfer bioteknologi ke dunia industri bioteknologi agar hidup manusia lebih nyaman, lebih sejahtera, lebih berkualitas dan lebih sehat.

Kesemua fenomena tersebut akan mengubah perilaku dan gaya hidup umat manusia masa depan baik kehidupan sosial dan politik, keamanan, keselamatan, aspek komersial dan tarikan pasar tentang produk barang, maupun aspek transfer teknologi ke dunia usaha.

Industri bioteknologi tradisional dibagi menjadi industri bioteknologi skala kecil, menengah dan besar. Industri bioteknologi skala besar berkompetisi dengan industri petroleum dan batu bara dalam hal menghasilkan sumber karbon untuk bahan bakar (*Fuel*) dan produk dalam jumlah besar.

Pertimbangan lain industri bioteknologi tradisional ialah sebagai berikut:

Industri bioteknologi tradisional mampu memberikan cakrawala baru bagi kehidupan bangsa Indonesia, dalam rangka meningkatkan komoditi ekspor non-minyak dan gas bumi serta sekaligus mengurangi impor bahan baku kimia industri seperti asam sitrat, asam glukonik, dan asam organik lainnya. Hasil samping tetes tebu misalnya dapat diproses lebih lanjut dengan pendekatan bioteknologi tradisional menjadi berbagai macam produk seperti bioethanol, asam sitrat, asam asetat dan asam organik lainnya.

Sejalan dengan hal ini, maka dengan adanya bahan baku biomassa diperlukan bioteknologi, sumber daya manusia cendekia dan profesional, modal investasi, dan tarikan pasar (*Market needs*) terhadap produk bioteknologi. Kebutuhan bioteknologi tradisional sangat diperlukan bagi bangsa Indonesia, maka dibuat landasan prediksi masa depan berbasis pada kondisi masa lalu.

Mengapa kita perlu melihat masa lalu supaya mampu menyiapkan untuk masa depan (*Why should we look to the past in order to prepare for the future?*).

Berbasis pada pandangan tersebut diatas, maka marilah disimak sejenak, apa yang terjadi kemajuan bioteknologi tradisional saat ini. Pada industri

bioteknologi tradisional diperlukan penetapan tetapan terukur dalam teknologi fermentasi dan enzimatik sehingga dapat digunakan untuk perancangan proses, desain bioreaktor, desain pengaduk, desain aerator dan juga tetapan tetapan atau variabel fisika dan variabel kimia untuk *scale up* bioreaktor dari skala laboratorium ke skala industri.

Contoh lain tentang penggunaan teori terdahulu yaitu para peneliti menemukan fakta baru berbasis fakta lama untuk membuat bioteknologi baru. Hasil temuan ilmuwan seperti *Galileo*, *Newton*, dan *Albert Einstein* sangat bermanfaat bagi umat manusia. *Albert Einstein* yang menemukan dan menerbitkan teori relativitas tahun 1905 berbasis teori kunci ide prinsip relativitas dan prinsip kecepatan cahaya tetap dengan rumus $E = mc^2$ juga menggunakan teori fisika terdahulu. Hasil penemuan *Albert Einstein* sangat bermanfaat bagi revolusi bioteknologi global dewasa ini dan mendatang karena mengubah wajah kehidupan umat manusia.

Pada buku ini ingin dibahas seberapa jauh isu bahwa bahan baku biomassa atau sumber daya alam terbarukan (*Renewable resources*) yang melimpah di Indonesia sedang dan sudah diteliti, dikembangkan dan dimanfaatkan sepenuhnya dengan menggunakan bioteknologi ramah lingkungan berbasis pada konsep *green chemistry* dan *green engineering* oleh sumber daya manusia yang cerdas dan profesional menjadi produk

barang kualitas tinggi untuk memenuhi salah satu kebutuhan dasar manusia maupun ekspor.

Tujuan penulisan buku industri bioteknologi tradisional

1. Memberikan pengenalan profil dan isu bahwa bahan baku biomassa terdapat melimpah di Indonesia melalui pendekatan teknologi fermentasi dan teknologi enzimatik menjadi produk barang bioteknologi dan jasa pelayanan ilmiah.
2. Memperkenalkan industri bioteknologi tradisional,

Pengertian industri bioteknologi tradisional

Landasan teori tentang mikroba dalam industri bioteknologi tradisional, konservasi hukum massa dan energi, termodinamika metabolisme mikroba, substrat dan enzim, kinetika fermentasi, siklus model matematika,

Siklus model matematika untuk bioteknologi, konsep verbal, tujuan siklus model matematika dalam proses fermentasi, model kotak hitam dan kotak abu abu, model Michaelis Menten, Model Lineweaver Burke, model Monod.

Blanching, sterilisasi, pasteurisasi, perhitungan lethal rate, lethal value, waktu sterilisasi, soal soal lethal rate dan lethal value.

Pengukuran konstanta, pengadukan, bioseparasi, bioreaktor, penetapan koefisien perpindahan volume oksigen K_{La} baik pada air suling maupun media fermentasi cair dengan sel mikroba, pembersihan bioreaktor, pengukuran nutrient, pengukuran variabel fisika, dan pengukuran variabel kimia serta instrumentasi.

3. Memberikan pengenalan tentang bioteknologi, sumber daya manusia cendekia dan professional, jenis produk barang dan tarikan pasar terhadap produk barang,
4. Mengenalkan pendekatan konsep *green chemistry* dan *green engineering* dalam revolusi teknologi global.

Sasaran

Sasaran buku ini ialah tercapainya penguasaan ilmu bioteknologi tradisional khususnya bagi para pemegang kekuasaan, dosen dan mahasiswa jurusan ilmu teknik/teknologi maupun mahasiswa jurusan sosial-ekonomi, politik, analisis inteligen komunitas, militer/kepolisian dan calon wirausaha baru.

Pada tahap berikutnya diperlukan pengenalan, pengembangan, perekayasaan, rancang bangun, transfer teknologi vertikal dan horizontal, sehingga tumbuh

komitmen menuju industri bioteknologi tradisional berkelanjutan dengan kepedulian terhadap sosial masyarakat (*Corporate social responsibility*).

Terjadinya interaksi antara teknologi dari hasil penelitian ilmiah dengan permintaan konsumen, maka terjadi isu bagaimana membangun industri bioteknologi tradisional baru atau sebaliknya terjadi tarikan pasar tentang produk barang dan jasa pelayanan ilmiah, maka terjadi isu ingin membangun industri bioteknologi.

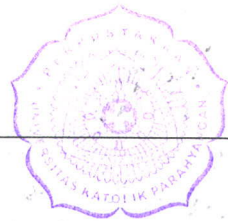
Semoga buku ini memberikan informasi ilmiah untuk dipahami, dikembangkan dan dimanfaatkan guna memberi kontribusi kepada semua pihak untuk memulai dan mengembangkan serta memanfaatkan sumber daya alam lokal sebagai biomassa menjadi produk barang sekaligus pengakhiran kemiskinan bangsa Indonesia.

Semoga karya ilmiah buku ini berguna, bermanfaat, dan berharga bagi mencerdaskan anak bangsa Indonesia sekarang dan selama-lamanya. Apapun kritik yang membangun demi perbaikan buku ini, kami terima dengan senang hati. Terima kasih dan Tuhan selalu membimbing, melindungi dan beserta kita. **Amin**

Bandung, 9 Juni 2014

Penulis,

Prof.Dr.Ir.Ign.Suharto, APU



DAFTAR ISI

Pengantar	iii
Daftar isi	xiii
Daftar Gambar	xxvii
Daftar Tabel	xxxvi

BAGIAN I: BIOTEKNOLOGI 1

BAB I : PENGERTIAN INDUSTRI..... 1

Pengantar	1
Disiplin perekayasaan biomedikal (<i>Biomedical engineering</i>).....	3
Revolusi bioteknologi.....	4
<i>Repression</i>	7
Tantangan global industri bioteknologi.....	7
Senyawa toksin dalam produk pangan	9
Pengertian industri	11
Produk berbasis bahan baku jumlah atom karbon 6.....	12
Produk utama.....	12
Produk kimia esther sekunder	13
Produk kimia antara	13
Kegunaan produk bioteknologi	14
Kriteria kelayakan untuk pendirian industri baru	14
Era teknologi pertanian	18
Era teknologi industrialisasi	18

Era teknologi informasi	18
Era teknologi Nano	19
Era bioteknologi modern	20
Era bioteknologi tradisional dan modern	21
Era Pra Pasteur	21
Era Pasteur.....	21
Era Antibiotika (1940-1960)	21
Era Pasca antibiotika (1960-1975)	21
Era bioteknologi modern tahun 1974 - saat ini	22
Pengenalan biomassa dan limbah lignoselulosa untuk bioethanol	22
Pengertian industri bioteknologi	23
Anatomi pengertian bioteknologi	24
Substrat dan nutrisi	25
Biokonversi substrat pati menjadi glukosa	26
Substrat dan mikroba	29
Komposisi media	30
Keuntungan dan kerugian bioproses	31
Keuntungan bioproses	32
Kerugian bioproses	33
Industri bioteknologi tradisional	34
Bioteknologi tradisional	35
Industri bioteknologi berbasis sektor industri	36
Industri bioteknologi berbasis volume dan harga produk	37

Industri bioteknologi berbasis kecanggihan teknologi	38
Perekayasaan biomaterial bidang polimir	39
<i>Biochemical engineering</i>	39
Inovasi industri bioteknologi	41
Industri bioteknologi berbasis tarikan pasar	42
Industri berbasis dorongan teknologi	42
Pilar kriteria industri bioteknologi	43
1. Bahan baku biomassa	43
1.1 Bahan baku pati, sellulosa, dan glukosa	43
1.2 Bahan baku limbah lignosellulosa	44
2. Bioteknologi tradisional dan modern	44
3. Sumber daya manusia cendekia dan profesional	45
4. Modal investasi	46
5. Produk barang dan jasa pelayanan ilmiah	46
6. Peluang pasar bagi produk bioteknologi	46
Produk bioteknologi	46
Kompetisi proses kimia dan proses bioteknologi	47
Alasan industri bioteknologi tradisional	48
Rangkuman pengenalan industri bioteknologi	50
Sumber substrat	50
Contoh penerapan bioteknologi	50
<i>Scale up</i> bioreaktor	51

Variabel fisika	52
Variabel kimia	52

BAB II: PENGENALAN INDUSTRI BIOTEKNOLOGI TRADISIONAL 53

Industri bioteknologi tradisional	53
Contoh pembuatan inokulum cuka makan tradisional	55
Pembuatan agar untuk <i>Acetobacter aceti</i> .	55
Pembuatan media cair untuk <i>A.aceti</i>	55
Biomassa sebagai substrat.....	56
Contoh pembuatan agar miring untuk <i>Acetobacter aceti (A.aceti)</i>	58
Contoh pembuatan media cair untuk <i>A.aceti</i>	58
Contoh produk bioteknologi	59
Produk industri bioteknologi tradisional ...	59
Produk farmasi	59
Produk kimia pertanian	60
Produk <i>specialty chemicals</i>	60
Penerapan lingkungan	61
Pangan dan minuman ringan	61
Produk asam organik	61
Produk Bioelektronik	62
Teknologi fermentasi aseton-butanol	62
Teknologi fermentasi pembuatan ethanol .	63
Teknologi fermentasi pati menjadi ethanol	64

Pemurnian produk ethanol hasil fermentasi	64
Teknologi fermentasi pembuatan asam asetat	65
Teknologi fermentasi pembuatan asam sitrat	66
Teknologi fermentasi pembuatan asam glukonik	67
Teknologi fermentasi pembuatan asam itakonik	68
Teknologi fermentasi pembuatan asam laktat	69
Asam glutamat	70
Teknologi fermentasi pembuatan β -Carotene	70
Teknologi fermentasi pembuatan vitamin B ₁ (thiamin)	71
Insektisida dan Herbisida	71
Hormon <i>Gibberellin</i>	73
<i>Phycomycetes</i> dalam pembuatan β -Carotene	73
Produk metabolit mikrobial sekunder untuk obat-obatan	74

BAGIAN II : LANDASAN TEORI..... 75

BAB I : MIKROBA DALAM INDUSTRI BIOTEKNOLOGI..... 76

Pengantar	76
Jenis, bentuk dan morfologi bakteri	79
Bakteri	79
Jenis jenis bakteri	80
Bentuk bulat atau <i>coccus</i>	80
Bentuk batang atau <i>bacillus</i>	80
Bentuk spiral atau <i>spirillum</i>	81
Bentuk koma atau <i>vibrios</i>	81
Siklus <i>Bacillus</i>	81
Struktur Sel Bakteri.....	81
Spora, reaksi pewarnaan dan morfologi bakteri	82
Spora	82
Reaksi pewarnaan	82
Morfologi	83
Mortalitas	83
Metabolisme	83
Morfologi dan pertumbuhan khamir (<i>Yeast</i>)	83
Struktur Khamir (<i>Yeast</i>)	83
Taksonomi khamir (<i>Yeast</i>)	84
Sumber khamir	84
Jenis, bentuk dan morfologi jamur (<i>Molds</i>)	85
Sumber jamur atau kapang	86
Algae atau Ganggang	86
Sumber mikroba dan isolasi mikroba dari lahan.....	88
Anabolisme	88
Katabolisme.....	88
Isolasi mikroba dari tanah	91

Isolasi dan identifikasi bakteri	92
Isolasi bakteri dari biakan murni.....	93
Penentuan jumlah sel mikroba	95
Penentuan berat sel mikroba kering	96
Penentuan kekeruhan sel mikroba (<i>Turbidity</i>)	97

BAB II KONSERVASI HUKUM MASSA DAN ENERGI 101

Pengantar	101
Sistem pertumbuhan mikroba	102
Transport momentum molekuler dalam fluida newtonian	103
Klasifikasi fluida <i>Non-Newtonian</i>	103
Transport momentum dalam fluida <i>viscous Non-Newtonian</i>	104
Besaran besaran fisika dan kimia.....	106
Besaran suhu	106
Faktor-faktor konversi untuk suhu (<i>temperature</i>)	107
Faktor-faktor konversi untuk daya (<i>Force</i>)	107
Faktor faktor konversi untuk tekanan	107
Faktor-faktor konversi untuk energi	107
Faktor-faktor konversi untuk power	107
Jenis konstanta gas ideal	108
Contoh 1.	108
Contoh 2.	108
Bioreaktor berpengaduk ideal berisi minyak makan	109

Contoh soal 3 tentang bioreaktor kontinyu	110
Jawab soal 3	110
Contoh soal 4 tentang bioreaktor batch.....	112
Jawab	112
Distribusi waktu tinggal dalam bioreaktor	113
Bioreaktor seri	115
<i>Stoichiometry</i> pertumbuhan mikroba dan pembentukan Produk.....	116
Contoh 5 tentang <i>stoichiometry</i> pertumbuhan mikroba dan pembentukan produk	117
Jawab	118
Substrat hexadecane	118
Substrat glukosa	119
Contoh 6 tentang fermentasi pembuatan ethanol	120

BAB III : THERMODINAMIKA METABOLISME MIKROBA 121

Pengantar	121
Hukum thermodinamika pertama	121
Hukum thermodinamika kedua	123
Hukum thermodinamika ketiga	124
Energi bebas (<i>Free energy</i>)	124
Perubahan energi dan kerja	125
Perubahan energi bebas pada reaksi kimia	126

Perbedaan antara ΔG dan ΔG°	126
Perbedaan perubahan energi bebas dan panas reaksi	128
Pembentukan panas oleh pertumbuhan mikroba	128

BAB IV : SUBSTRAT DAN ENZIM 131

Substrat sebagai sumber karbon	131
Monosakarida	131
Disakarida	132
Peranan mikroba sebagai sumber enzim	133
Jenis dan sumber enzim	134
Enzim oksidoreduktase	134
Enzim transferase	134
Enzim hidrolases	135
Enzim lyases	135
Enzim isomerase	135
Enzim ligases	135
Jenis-jenis enzim	136
Enzim karbohidrase	136
Enzim protease	136
Enzim lain-lain	137
Sumber enzim dari mikroba	137
Enzim alkalofilik	137
Enzim asidofilik	138
Enzim termofilik	138
Enzim psikrofilik	138
Pembuatan enzim	139

Faktor-faktor penting	
pembuatan enzim	139
Substrat dan mikroba	141
Kinetika enzim dan substrat	142
Pengaruh suhu pada aktivitas enzim	143
Persamaan laju reaksi enzim dasar.....	144
Inhibisi enzim	144
Persamaan Michaelis-Menten	147
Persamaan Michaelis-Menten dalam	
bentuk kecepatan reaksi (V)	149
Inhibisi enzim	152
Enzim inhibisi kompetitif	153
Pada kondisi inhibisi non-kompetitif	155
Inhibisi tidak kompetitif	
(<i>Uncompetitive inhibition</i>)	158
Rangkuman enzim	161
Enzim immobilisasi	163
Teknik immobilisasi enzim	164
Immobilisasi permukaan	
(<i>Surface immobilization</i>)	166
Immobilisasi enzim metode kimia	167
Masalah enzim inhibitor.....	167

BAB V : KINETIKA FERMENTASI..... 169

Pengantar.....	169
Interaksi sel mikroba dengan	
pembentukan produk	169
Kinetika proses fermentasi.....	169
Fase penyesuaian (<i>Lag phase</i>)	170

Fase pertumbuhan cepat	171
Fase pertumbuhan eksponensial	171
Fase pertumbuhan eksponensial menurun	172
Fase non-pertumbuhan sel mikroba	172
Fase non –pertumbuhan negatif sel mikroba	173
Kinetika pertumbuhan sel mikroba.....	173
Fase penyesuaian sel mikroba.....	173
Fase pertumbuhan sel mikroba konstan	174
Fase pertumbuhan eksponensial sel mikroba	175
Kinetika pertumbuhan sel mikroba, C_x dan pembentukan produk, C_p	175
Fase pertumbuhan sel mikroba konstan	176
Fase pertumbuhan sel mikroba negatif	176
Kinetika pertumbuhan bakteri.....	179
Interaksi konsentrasi sel mikroba, C_x dengan pembentukan produk, C_p	180
Kecepatan pengambilan O_2 oleh sel mikroba (O_2 up take rate, OUR).....	181
Daftar Istilah–istilah	185

BAB VI : SIKLUS MODEL MATEMATIKA UNTUK BIOTEKNOLOGI 187

Pengantar.....	187
Konsep verbal	188

Tujuan siklus model matematika dalam proses fermentasi	188
Model kotak hitam dan abu abu	189
Model kotak hitam (<i>Black box model</i>)	189
Model kotak abu (<i>Grey box model</i>)	190
Persamaan Model Monod	191
Contoh soal dan jawaban	193
Jawab	193
Model Michaelis Menten	194
Model Lineweaver Burke	194
Batasan sistem dan tipe sistem	194
Model deterministik	196
Persamaan konstituen	197
<i>Scale up bioreactor</i>	198

BAGIAN III : BIOREAKTOR, BLANCHING, STERILISASI DAN PASTEURISASI . 199

BAB I : BIOREAKTOR, BIOSEPARASI dan PENGENDALIAN BIOPROSES..... 200

Pengantar	200
Pengendalian proses dalam bioreaktor.....	200
Bioseparasi & Pemurnian Produk	202
Contoh <i>scale up</i> inokulum.....	205
Jawab.....	205

Contoh fermentasi lignosellulosa menjadi biosirup	206
Bioreaktor	207
Bioreaktor batch berisi substrat lignosellulosa	209

BAB II: PENGADUKAN DAN PERPINDAHAN OKSIGEN..... 211

Pengantar	211
Pengadukan pada bioreaktor	212
Bentuk pengadukan	214
Penetapan nilai koefisien volume perpindahan oksigen, K_{La}	219
Metode dinamik	220
Metode neraca bahan	221

BAB III : PROSES BLANCHING, PASTEURISASI DAN STERILISASI 225

Pengantar	225
Mikroba	226
Proses Blanching	227
Pasteurisasi dan sterilisasi	227
Batasan pasteurisasi	227
Batasan sterilisasi	229
Tujuan sterilisasi	229
Nilai D	230
Contoh soal nilai D	231
Jawab	231

Jenis-jenis sterilisasi	231
Sterilisasi secara fisik	231
1. Proses panas (<i>Heat Processing</i>)	232
2. Sterilisasi radiasi ionisasi	232
3. Sterilisasi secara kimia	232
4. Sterilisasi secara mekanik	233
5. Sterilisasi secara gas mikrosidal.....	233
6. Sterilisasi dengan saringan membrane ...	233
Proses panas (<i>Heat processing</i>)	235
Contoh soal	240
Jawab	241
Sterilisasi batch	244

BAB IV: PENGUKURAN VARIABEL FISIKA DAN KIMIA 247

Pengantar	247
Pembersihan bioreaktor.....	249
Pengukuran media nutrien	249
Pengukuran variabel fisika.....	250
Pengukuran suhu	250
Pengukuran tekanan	250
Pengukuran <i>bioreactor hold up</i>	250
Pengukuran laju alir udara/gas	251
Pengukuran laju alir cairan.....	251
Pengukuran kecepatan pengadukan	252
Pengukuran kekentalan	252
Pengukuran variabel kimia	253
Sterilisasi bioreaktor	253

Kalibrasi pengukuran <i>probe</i> dan alat ukur sebelum dan sesudah sterilisasi	254
Pengendalian fermentasi	254

BAB V: PRODUK INDUSTRI BIOTEKNOLOGI TRADISIONAL	255
BAGIAN IV : SOAL PILIHAN GANDA DAN ESSAY	257

BAB I : SOAL PILIHAN GANDA DAN ESSAY.....	257
--	------------

PILIHAN GANDA	257
ESSAY	311

DAPTAR PUSTAKA	337
-----------------------------	------------

INDEKS	341
---------------------	------------

RIWAYAT HIDUP	347
----------------------------	------------

DAFTAR GAMBAR

BAGIAN I

Gambar I-1.	Interaksi parameter sumber daya alam, sumber daya manusia dan teknologi produk unggul	8
Gambar I-2.	Biokonversi pati, hemisellulosa, dan sellulosa menjadi gula, glukosa, fruktosa, dan xylosa	11
Gambar I-3	Siklus kemajuan teknologi global dalam industri	16
Gambar I-4.	Diagram alir substrat, nutrien, dan mikroba	34
Gambar I-5.	Produksi berbasis kebutuhan pasar ...	42
Gambar I-6	Produksi berbasis hasil penelitian.....	43
Gambar I-7.	Pola pendekatan teknologi pada bioteknologi tradisional dan modern dengan produk yang sama.....	44

BAGIAN II

Gambar I-1.	Bentuk dan susunan bakteri	81
Gambar I-2.	Struktur bakteri	82
Gambar I-3.	Struktur khamir (<i>Yeast</i>)	84
Gambar I-4.	Spora jamur (<i>Molds</i>)	85
Gambar I-5.	Siklus karbon dan oksigen	87
Gambar I-6.	Sumber mikroba dari lahan	89
Gambar I-7.	Struktur ATP, pada pH = 7	90
Gambar I-8.	Isolasi mikroba dari tanah dan uji produktivitas mikroba.....	91

Gambar I-9.	Gram stain bakteri	93
Gambar I-10.	Cuplikan biakan murni dalam tabung.....	93
Gambar I-11.	Membuka biakan murni bakteri <i>Acetobakter acetit</i> ATCC 15973..	94
Gambar I-12.	Pemindahan biakan murni ke agar miring	94
Gambar I-13.	Perhitungan jumlah sel mikroba	96
Gambar I-14.	Penetapan berat sel mikroba kering	97
Gambar I-15.	Kurva nilai Ab versus konsentrasi sel mikroba.....	99
Gambar I-16.	Spektrum radiasi elektromagnetik ...	100
Gambar I-17.	Kurva kalibrasi antara Unit Optikal Density (UOD) versus berat sel kering (mg/mL).....	100
Gambar II-1.	Uraian neraca massa	101
Gambar II-2.	Pertumbuhan sel mikroba pada kondisi aerobik dalam bioreaktor batch.....	102
Gambar II-3.	Senyawa untuk pertumbuhan mikroba	102
Gambar II-4.	Sistem proses <i>input-output</i>	104
Gambar II-5.	Bioreaktor berisi dua komponen A dan B	105
Gambar II-6.	Neraca massa	106
Gambar II-7.	Bioreaktor berpengaduk ideal	109
Gambar II-8.	Neraca massa minyak kelapa	110
Gambar II-9.	Perpindahan massa dalam sistem bioreaktor untuk fermentasi	112

Gambar II-10. Uraikan konsep kotak hitam (<i>black box</i>) pertumbuhan sel mikroba pada kondisi aerobik	114
Gambar II-11. Bioreaktor seri dengan C_0 = konsentrasi awal dalam laju alir ke bioreaktor 1 dan C_1 = konsentrasi dalam bioreaktor 1 dan C_2 = konsentrasi dalam bioreaktor 2	115
Gambar III-1. Hubungan antara energi dan perubahan energi bebas dalam sistem dan sekeliling pada kondisi suhu dan tekanan konstan	122
Gambar III-2. Neraca panas pada konsumsi substrat oleh sel mikroba	129
Gambar IV-1. Pengaruh suhu terhadap laju spesifik mikroba	139
Gambar IV-2. Faktor lingkungan mikroba	142
Gambar IV-3. Grafik persamaan Michaelis-Menten	150
Gambar IV-4. Lineweaver Burke $\frac{C_{EO}}{-r_{AS}}$ versus $\frac{1}{C_S}$...	151
Gambar IV-5. Interaksi enzim-substrat	152
Gambar IV-6. Inhibisi kompetitif	153
Gambar IV-7. Pengaruh inhibitor	154
Gambar IV-8. Pengaruh inhibisi kompetitif (bersaing) terhadap kinetika enzim dengan <i>Lineweaver Burke</i>	155
Gambar IV-9. Inhibitor non-kompetitif	156

Gambar IV-10. Pengaruh inhibitor <i>uncompetitive</i> pada konsentrasi substrat terhadap laju reaksi	157
Gambar IV-11. Pengaruh inhibisi non-kompetitive terhadap laju reaksi pada berbagai konsentrasi substrat, C_s	157
Gambar IV-12. Pengaruh inhibitor tidak kompetitive terhadap laju reaksi pada berbagai macam konsentrasi substrat	160
Gambar IV-13. Pengaruh inhibitor tidak kompetitive terhadap laju reaksi pada berbagai macam konsentrasi substrat menurut persamaan <i>Lineweaver Burke</i>	161
Gambar IV-14. Pengaruh inhibisi kompetitive (bersaing) terhadap kinetika enzim dengan <i>Lineweaver Burke</i>	162
Gambar IV-15. Pengaruh inhibitor tidak kompetitive terhadap laju reaksi pada berbagai macam konsentrasi substrat menurut persamaan <i>Lineweaver Burke Plot</i>	163
Gambar IV-16. Pengaruh inhibisi non –kompetitive terhadap laju reaksi pada berbagai konsentrasi substrat.	163
Gambar IV-17. Partikel enzim immobilisasi (a)	

	cara pengikatan dan (b) cara pengikatan silang	165
Gambar IV-18.	Jenis jenis enzim immobilisasi	166
Gambar IV-19.	Interaksi antara laju reaksi dan laju difusi π_A	168
Gambar V-1.	Pola kinetika pertumbuhan sel mikroba C_x dan pembentukan produk, C_p	170
Gambar V-2.	Jenis pertumbuhan sel mikroba pada bioreaktor batch	172
Gambar V-3.	Pengaruh waktu fermentasi dan kadar sel mikroba serta pembentukan produk	178
Gambar V-4.	Hubungan kadar sel mikroba dengan $\frac{dC_x}{d\theta}$ dan $\frac{dC_p}{d\theta}$	179
Gambar V-5.	Pertumbuhan sel mikroba, C_x dengan pembentukan produk, C_p pada waktu sel mikroba pada fase eksponensial	181
Gambar V-6.	Pertumbuhan sel mikroba, C_x dengan pembentukan produk, C_p sesudah mikroba pada fase stasioner	181
Gambar V-7.	Hubungan Q_{O_2} dan μ	182
Gambar V-8.	Hubungan Q_p dan μ	183
Gambar V-9.	Pengendalian proses fermentasi	184
Gambar V-10.	Metode pengukuran kecepatan pengambilan O_2 oleh mikroba (<i>Oxygen Uptake Rate, OUR</i>)	186

Gambar VI-1.	Siklus model matematika untuk proses bioteknologi	187
Gambar VI-2.	Nilai μ sebagai nilai C_s	192
Gambar VI-3.	Nilai $\frac{1}{\mu}$ versus $\frac{1}{C_s}$	193
Gambar VI-4.	Sistem terisolasi, tertutup, dan terbuka terhadap sekeliling	195
Gambar VI-5	Waktu kontinu versus waktu diskrit	197

BAGIAN III

Gambar I-1.	Bioreaktor, bioseparasi dan unsur pengendalian proses	203
Gambar I-2.	Unit proses fermentasi dalam bioreaktor	204
Gambar I-3.	Struktur diagram alir limbah lignoselulosa menjadi biosirup ...	206
Gambar I-4.	Bioreaktor kolom konvensional atau menara bioreaktor	207
Gambar I-5.	Modifikasi bioreaktor kolom dengan gelembung udara	208
Gambar I-6.	Tampak bioreaktor batch	209
Gambar I-7.	Anatomi bioreaktor	210
Gambar II-1.	Anatomi bioreaktor berpengaduk untuk fermentasi aerobik dalam media cair	212
Gambar II-2.	Pengaduk turbine dengan piringan datar	214
Gambar II-3.	Arus radial dan paralel	215

Gambar II-4.	Pengadukan turbine tanpa piringan (a) dan aliran sekitar turbine blade (b)	215
Gambar II-5.	Pengaduk pedal (a) dan pengaduk baling baling (<i>propeller</i>) (b)	216
Gambar II-6.	Gerakan gelembung udara dalam bioreaktor dengan aerasi rendah	216
Gambar II-7.	Gerakan gelembung udara dalam bioreaktor aerasi tinggi	216
Gambar II-8.	Gelembung udara terpisah dan sel mikroba berkumpul	217
Gambar II-9.	Gelembung udara terpisah dan sel mikroba tunggal	217
Gambar II-10.	Sel mikroba tunggal mengelilingi gelembung udara	217
Gambar II-11.	Mekanisme perpindahan oksigen melalui beberapa tahanan.....	218
Gambar II-12.	Teori dua lapisan dengan sel mikroba.....	218
Gambar II-13.	Perpindahan oksigen dari udara ke media cair ke sel mikroba pada fermentasi aerobik	219
Gambar II-14.	Penetapan $K_L a$ dengan metode statik	220
Gambar II-15.	Konsentrasi oksigen terlarut terhadap waktu dan penetapan Q_{O_2} C_x	221
Gambar II-16.	Penetapan nilai $K_L a$ dengan metoda dinamik	221

Gambar II-17.	Cara pengukuran pengambilan oksigen terlarut dalam media fermentasi cair oleh sel mikroba ..	222
Gambar II-18.	Penentuan nilai K_{La}	222
Gambar II-19.	Cara pengukuran gas CO_2 yang keluar bioreaktor	223
Gambar II-20.	Kaitan nilai Q_{O_2} terhadap μ	223
Gambar II-21.	Kaitan Q_p dengan μ	224
Gambar II-22.	Kaitan Q_s dan μ	224
Gambar III-1.	Pasteurisasi dengan <i>Plate Heat Exchanger</i> lawan arah	228
Gambar III-2.	Skema alat sterilisasi media cair dengan saringan membran	234
Gambar III-3.	Plot log D versus suhu untuk menetapkan nilai Z	236
Gambar III-4.	Hubungan antara jumlah spora yang survival <i>Bacillus stearothermophilus</i> dan waktu t dengan uap jenuh pada suhu $121^\circ C$	237
Gambar III-5.	Hubungan suhu dengan nilai F atau waktu yang diperlukan untuk mematikan semua spora <i>Clostridium botulinum</i> dengan nilai F dan Z yang ditunjukkan sehingga dapat ditetapkan <i>lethal temperature</i> pada rentang suhu $100^\circ C$ sampai $130^\circ C$	238
Gambar III-6.	Kurva penetrasi panas	239

Gambar III-7.	Kurva laju kematian (<i>Lethal rate</i>) versus waktu sterilisasi	239
Gambar III-8.	Model matematika untuk kurva penetrasi panas	240
Gambar III-9.	Kurva suhu sterilisasi dan <i>Lethal Rate</i>	242
Gambar III-10.	Tipe pemanasan, proses, dan pendinginan profil suhu (<i>temperature</i>)-waktu (<i>time</i>) pada proses batch	246

DAFTAR TABEL

BAGIAN I

Tabel I-1.	Racun alami pada jenis produk bakteri	10
Tabel I-2.	Jenis mikroba penghasil enzim α -amilase	27
Tabel I-3.	Ion anorganik diperlukan oleh bakteri	29
Tabel I-4.	Contoh media yang digunakan pada skala laboratorium	30
Tabel I-5.	Contoh media yang digunakan pada skala laboratorium	30
Tabel I-6.	Pemanfaatan sulfur yang berisi senyawa organik	31
Tabel I-7.	Sumber nitrogen untuk mikroba.....	31

Tabel II-1.	Bahan baku/substrat pembuatan etanol	63
-------------	--	----

BAGIAN II

Tabel I-1.	Ciri utama khamir (Yeast)	85
Tabel II-1.	Jenis konstanta gas ideal	108
Tabel III-1.	Nilai K_{eq} dan ΔG^0 pada suhu 25°C dan nilai pH 7,0	127
Tabel IV-1.	Klasifikasi famili aldose	132
Tabel IV-2.	Klasifikasi famili ketose	132
Tabel IV-3.	Klasifikasi enzim terdiri atas 6 klas enzim	134
Tabel IV-4.	Ion-ion anorganik yang diperlukan	140
Tabel IV-5.	Pemanfaatan sulfur yang berisi senyawa organik	141
Tabel IV-6.	Sumber nitrogen untuk mikroba....	141
Tabel IV-7.	Contoh produk bioprocessing.....	142
Tabel IV-8.	Pengaruh jenis inhibitor	162
Tabel VI-1.	Perbedaan <i>Black Box</i> dan <i>Grey Box Models</i>	190

BAGIAN III

Tabel III-1.	Nilai D, Z dan k untuk beberapa contoh bakteri pembentuk spora	237
Tabel III-2.	Hubungan suhu dan waktu sterilisasi makanan jagung	

	berisi larutan dalam kaleng	241
Tabel III-3.	Perolehan Nilai Lethal Rate	242
Tabel III-4.	Perhitungan nilai F_0 pada suhu sterilisasi makanan jagung dalam kaleng pada retort.....	243



BAGIAN I BIOTEKNOLOGI

KONSEP KUNCI

Bab I : Pengertian industri

Bab II : Pengenalan industri bioteknologi
tradisional

BAB I PENGERTIAN INDUSTRI

Pengantar

Revolusi teknologi global khususnya interaksi bioteknologi, material komposit dan teknologi nano dengan fasilitas teknologi informasi akan mengubah pola hidup masyarakat era tahun mendatang. Bioteknologi, teknologi nano, teknologi material komposit dan sinerginya dengan teknologi informasi serta pengaruh pertumbuhan teknologi multidisiplin akan mengubah pola hidup masyarakat yang berkaitan erat dengan kehidupana sosial, ekonomi, politik dan personal dalam era tahun 2015 dan masa mendatang [Anton,P.S., et al, 2001]. Teknologi nano dan teknologi material komposit akan mengubah cara produksi barang di pabrik oleh sumber daya manusia cendekia, cerdas dan profesional.

Dampak positif terhadap kehidupan manusia oleh revolusi teknologi global ini diantaranya adalah meningkatkan kualitas hidup dan harapan hidup yang lebih panjang umat manusia sehingga hidup manusia yang lebih nyaman, lebih sehat dan lebih sejahtera.

Pertumbuhan dan transfer teknologi ke dunia industri serta daya terima teknologi dengan kombinasi antara teknologi maju multidisiplin ilmu bioteknologi, teknologi nano baik ilmu nano maupun perekayasaan nano, teknologi material komposit serta teknologi informasi akan sangat tergantung pada penguasaan ilmu dan teknologi oleh sumber daya manusia cendekia, cerdas dan profesional. Perubahan dan pertumbuhan teknologi global ini hendaknya dipahami dan diterima secara teknis, ekonomi, sosial, etika dan ekologi karena perubahan teknologi global ini akan menerobos semua dimensi kehidupan umat manusia, pemeliharaan kesehatan umat manusia, sosial-ekonomi, politik, keamanan, intelegen, dan personal.

Kemajuan teknologi masa silam didominasi oleh kemajuan kimia lanjut dan fisika modern/lanjut, namun kemajuan teknologi dewasa ini didominasi oleh kemajuan bioteknologi modern seperti *biomedical engineering*, teknologi material komposit dan teknologi nano baik ilmu (*Science*) nano maupun perekayasaan (*Engineering*) nano. Bioteknologi mampu mengubah perubahan hidup umat manusia.

Disiplin perekayasa biomedikal (*Biomedical engineering*)

Pada pembahasan batasan berikut ini diambil dari buku karangan Bronzino, J.D., tahun 1995 yang menyatakan bahwa disiplin perekayasa biomedikal terdapat berbagai macam bidang ilmu, yaitu;

1. **Biomekanik** yang mempelajari statik dan fluida yang berhubungan dengan sistem fisiologi. Mekanika adalah ilmu yang mempelajari bagaimana dan mengapa suatu benda bergerak.
2. **Biomaterial** yang mempelajari desain dan pengembangan material *bioimplantable*. Beberapa contoh biomaterial adalah biomaterial logam, biomaterial keramik, biomaterial polimer, dan biomaterial komposit. Semua biomaterial mudah di biodegradasi.
3. **Biosensor** yang mempelajari deteksi kejadian biologi dan konversi sensor ke signal listrik. Contoh biosensor adalah sensor fisika misal geometrik, optikal, thermal, mekanikal dan sensor kimia misal sensor untuk gas, elektrokimia, fotometrik, dan bioanalitik.
4. **Modeling, simulasi** dan pengendali fisiologi dengan menggunakan simulasi komputer untuk mengembangkan pemahaman relasi fisiologi. Melalui pemodelan matematika dapat digunakan untuk simulasi komputer.

5. **Instrumen biomedikal** yang mempelajari pemantauan dan pengukuran kejadian fisiologi termasuk pengembangan biosensor.
6. **Analisis medikal dan biologi** yang mempelajari, mendeteksi, dan mengklarifikasi.
7. **Perekayasaan dan rehabilitasi** yang mempelajari desain dan pengembangan therapeutik dan alat-alat dan prosedur rehabilitasi.
8. **Alat *prosthetic* dan organ buatan** yang mempelajari alat-alat guna mengganti organ tubuh manusia.
9. **Informasi medika** yang mempelajari dan menginterpretasikan data pasien guna membantu keputusan lebih lanjut.
10. ***Medical imaging*** yang mempelajari secara rinci grafik dan fungsi fisiologi.
11. **Bioteknologi** yang mempelajari, menciptakan atau memodifikasi material biologi guna keperluan perekayasaan jaringan (*Tissue engineering*).
12. **Perekayasaan klinik** yang mempelajari desain dan pengembangan fasilitas klinik, alat alat, sistem dan prosedur. [Bronzino, J.D., 1995]

Revolusi bioteknologi

Menurut kamus Merriam-Webster's Dictionary menyatakan bahwa bioteknologi adalah ilmu biologi jika

digunakan dalam merekayasa genetika dan teknologi DNA rekombinan.

Namun dalam kamus Oxford English Dictinonary memberi pernyataan bahwa bioteknologi adalah cabang teknologi yang berkaitan dengan bentuk industri produksi modern dengan memanfaatkan mikroba dan proses biologi.

Menurut Anton Moser dalam buku Biotechnology volume 2 oleh H.Brauer menyatakan bahwa:

***Bioteknologi** adalah penggunaan terintegrasi antara biokimia, mikrobiologi, dan ilmu teknik agar supaya diperoleh penerapan teknologi industri terhadap kemampuan mikroba, kultur jaringan sel, dan bagian bagiannya.*

Penerapan konversi massa terhadap bioproses, persamaan neraca massa dan energi perlu diketahui agar diperoleh semua perubahan. Macroconversion adalah hasil penambahan kegiatan fenomena transport fisika dan reaksi biologi.

*Revolusi bioteknologi mendapat berbagai tanggapan dan debat tentang etika, moral, agama, *privacy*, dan lingkungan umumnya dan khususnya produk pangan dengan pendekatan *Genetically Modified Microorganisms* (GMO) seperti GMO kedelai (*GMO soybean*) dan *cloning*, terapi penyakit, pengembangan obat-obatan baru, serta *biomedical engineering*, namun apapun debat dan komentarnya bioteknologi modern*