

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PROMOTOR	iii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR TABEL	xii
INTISARI	xv
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Keaslian Penelitian.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.1.1 <i>Vinasse</i>	9
2.1.2 Proses Peruraian Anaerobik	10
a. Hidrolisis.....	11
b. Asidogenesis	12
c. Asetogenesis.....	12
d. Metanogenesis.....	13
2.1.3 Proses Peruraian Anaerobik pada <i>Vinasse</i>	14
2.1.4 Proses Peruraian Anaerobik Termofilik.....	15
A. Keuntungan Proses Anaerobik Termofilik	17
B. Kelemahan Proses Anaerobik Termofilik.....	18
2.1.5 Mikroorganisme Anaerob	19
2.1.6 Faktor-faktor yang Memengaruhi Proses Anaerobik pada Produksi Biogas	21
a. Suhu	21
b. pH.....	21
c. Rasio C/N.....	22
d. <i>Organic Loading Rate</i> (OLR).....	22
e. Waktu Retensi dalam Reaktor.....	23
2.1.7 Pemilihan Inokulum, Media Imobilisasi dan Konfigurasi Reaktor	23
A. Inokulum	24
A1. Sumber Inokulum.....	24
A2. Strategi <i>Start-up</i> dan Aklimatisasi Inokulum Termofilik	25
B. Media Imobilisasi dan biofilm	27
B1. Kriteria Media Imobilisasi	28
B2. Zeolit sebagai Media Imobilisasi Sel	28
B3. Biofilm	30
B3.1 Pembentukan Biofilm	30
B3.2 Pelepasan Biofilm	30
C. Konfigurasi Reaktor.....	31
C1. Reaktor Anaerobik Termofilik <i>Fixed bed</i>	32
C2. Reaktor Anaerobik Termofilik <i>Fluidized bed</i>	32
2.1.8 Komparasi Reaktor Anaerobik <i>Fixed bed</i> dan <i>Fluidized bed</i>	33
2.2 Landasan Teori.....	34
2.2.1 Pemodelan Matematis	35
2.2.2 Asumsi dalam Penyusunan Model Matematis	35

a.	Sistem pencampuran sempurna.....	35
b.	Biofilm telah mencapai kondisi stabil (<i>steady state</i>)	36
c.	Faktor pelepasan biofilm diabaikan	36
2.2.3	Pendekatan Model Reaktor FB, CSTR, dan AFBR	38
2.2.4	Konsep Dasar ADM1	39
a.	Penyusunan Matriks Koefisien Stoikiometri Model ADM1 pada AQUASIM®	41
b.	Definisi substrat sebagai <i>lump variable</i> tCOD	42
c.	Pemilihan jalur reaksi model ADM1	44
d.	Persamaan kecepatan reaksi biokimia dan pertumbuhan bakteri.....	45
2.2.5	Yield Metana (CH ₄).....	50
2.2.6	<i>Canonical correspondence analysis</i>	51
2.2.7	Hipotesis.....	52
BAB III METODE PENELITIAN.....		54
3.1	Eksperimen Strategi <i>Start up</i> dan Aklimatisasi	54
3.1.1	Bahan	57
3.1.2	Alat Eksperimen Strategi <i>Start up</i> dan Aklimatisasi	57
3.1.3	Cara Penelitian Eksperimen Strategi <i>Start up</i> dan Aklimatisasi.....	58
3.1.4	Metode Analisis Eksperimen Strategi <i>Start up</i> dan Aklimatisasi	60
a.	Analisis sCOD, VFA, dan kadar metana	60
b.	Analisis dinamika populasi mikroorganisme.....	61
3.2	Proses Anaerobik <i>Vinasse</i> pada Reaktor <i>Fixed bed</i> dengan Media <i>Unwoven textile</i>	61
3.2.1	Bahan pada Eksperimen FB-UT	61
3.2.2	Alat pada Eksperimen FB-UT.....	62
3.2.3	Cara Penelitian Eksperimen FB-UT	63
3.2.4	Analisis dinamika populasi mikroorganisme Reaktor FB-UT.....	63
3.3	Proses Anaerobik <i>Vinasse</i> pada Reaktor CSTR-Zeolit dan AFBR.....	65
3.3.1	Bahan pada Eksperimen CSTR-Z.....	65
3.3.2	Alat pada Eksperimen CSTR-Z	65
3.3.3	Cara Penelitian Eksperimen CSTR-Z	66
3.4	Proses Anaerobik <i>Vinasse</i> pada Reaktor AFBR	67
3.4.1	Bahan pada Eksperimen AFBR	67
3.4.2	Alat pada Eksperimen AFBR-Z.....	67
3.4.3	Cara Penelitian Reaktor AFBR	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		69
4.1	Eksperimen Strategi <i>Start up</i> dan Aklimatisasi	70
4.1.1	Periode Starvasi (Hari ke-0 hingga 20).....	71
A.	Kinerja proses starvasi	71
B.	Komunitas mikroorganisme periode starvasi.....	73
B.1.	Hasil <i>Canonical correspondence analysis</i> terhadap sampel starvasi pada eksperimen startegi <i>start up</i> dan aklimatisasi	74
B.2.	Hasil identifikasi komunitas mikroorganisme periode starvasi pada eksperimen startegi <i>start up</i> dan aklimatisasi.....	76
4.1.2	Periode Propagasi (Hari ke-21 hingga 82).....	79
A.	Kinerja proses propagasi	79
B.	Identifikasi komunitas mikroorganisme periode propagasi	84
B.1.	Hasil <i>Canonical correspondence analysis</i> terhadap sampel propagasi pada eksperimen startegi <i>start up</i> dan aklimatisasi	84
B.2.	Hasil identifikasi komunitas mikroorganisme periode propagasi pada eksperimen startegi <i>start up</i> dan aklimatisasi.....	85

4.1.3	Periode <i>Steady State</i> (Hari ke-83 hingga 91)	87
4.2.	Eksperimen Proses Anaerobik Termofilik Substrat <i>Vinasse</i> pada Reaktor <i>Fixed bed</i>	89
4.2.1	Kondisi Operasi Reaktor Anaerobik Termofilik <i>Fixed bed</i> dengan Media <i>Unwoven textile</i> (FB-UT)	89
4.2.2	Kinerja proses reaktor FB-UT	90
4.2.3	Identifikasi Dinamika Komunitas Mikroorganisme pada Tingkat Genus pada Reaktor FB-UT	94
A.	Hasil <i>Canonical correspondence analysis</i> terhadap sampel dari Reaktor FB-UT	95
B.	Hasil identifikasi komunitas mikroorganisme reaktor FB-UT	96
4.2.4	Simulasi Proses Anaerobik di dalam Reaktor FB-UT	100
4.3	Eksperimen Proses Anaerobik Termofilik Substrat <i>Vinasse</i> pada Reaktor CSTR dengan Zeolit	104
4.3.1	Kondisi Operasi Proses Anaerobik Termofilik Substrat <i>Vinasse</i> pada Reaktor CSTR dengan Zeolit	104
4.3.2	Kinerja Proses Anaerobik Termofilik Substrat <i>Vinasse</i> pada Reaktor CSTR dengan Zeolit	105
4.3.3	Identifikasi Dinamika Komunitas Mikroorganisme pada Tingkat Genus pada Reaktor CSTR-Zeolit	108
A.	Hasil <i>Canonical correspondence analysis</i> terhadap sampel dari reaktor CSTR-Zeolit	108
B.	Hasil identifikasi komunitas mikroorganisme reaktor CSTR-Zeolit	109
4.3.4	Simulasi Proses Anaerobik di dalam Reaktor CSTR-Zeolit	112
4.4	Eksperimen Proses Anaerobik Termofilik Substrat <i>Vinasse</i> pada Reaktor AFBR	114
4.4.1	Kondisi Operasi Proses Anaerobik Termofilik Substrat <i>Vinasse</i> pada Reaktor AFBR	114
4.4.2	Kinerja Proses Anaerobik Termofilik Substrat <i>Vinasse</i> pada Reaktor AFBR	115
4.4.3	Simulasi Proses Anaerobik di dalam Reaktor AFBR	117
4.5	Komparasi Ketiga Konfigurasi Reaktor (FB-UT, CSTR-Z, AFBR)	120
	DAFTAR PUSTAKA	130
	LAMPIRAN	146
	Lampiran 1. Verifikasi kesesuaian tujuan, hipotesis dan kesimpulan	146

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik <i>Vinasse</i> dari Tetes Tebu (<i>molasses</i>)	10
Tabel 2. 2 Komposisi Biogas	11
Tabel 2. 3 Mikroorganisme yang Terlibat dalam Proses Peruraian Anaerobik pada <i>Vinasse</i>	20
Tabel 2. 4 Kondisi Perlakuan Perubahan Suhu dari Kondisi Mesofilik ke Termofilik ..	26
Tabel 2. 5 Proses Pembentukan Biofilm pada Reaktor AFBR dan FB.....	38
Tabel 2. 6 Matriks stoikiometri untuk komponen terlarut	43
Tabel 2. 7 Matriks stoikiometri untuk biomassa.....	43
Tabel 2. 8 Peran masing-masing bakteri dalam Model ADM1	45
Tabel 2. 9 Rumusan Hipotesis, Dasar Teori dan Cara Verifikasi	53
Tabel 3. 1 Karakteristik Bahan Baku <i>Garbage Slurry</i> , <i>Waste Activated Sludge</i>	57
Tabel 3. 2 Karakteristik <i>vinasse</i>	61
Tabel 4. 1 Nilai OLR dan HRT reaktor RH dan RL eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	71
Tabel 4. 2 Penamaan Sampel Identifikasi Mikroorganisme	74
Tabel 4. 3 Kondisi operasi reaktor FB-UT limbah <i>vinasse</i>	90
Tabel 4. 4 Penamaan sampel reaktor FB-UT	94
Tabel 4. 5 Nilai parameter hasil simulasi eksperimen FB-UT	104
Tabel 4. 6 Kondisi operasi reaktor CSTR-Z dengan limbah <i>vinasse</i>	105
Tabel 4. 7 Penamaan sampel analisis DNA	105
Tabel 4. 8 Nilai parameter hasil simulasi eksperimen CSTR-Z.....	114
Tabel 4. 9 Kondisi operasi reaktor AFBR dengan limbah <i>vinasse</i>	115
Tabel 4. 10 Nilai parameter hasil simulasi eksperimen AFBR.....	118
Tabel 4. 11 Komparasi Kinerja Ketiga Jenis Reaktor.....	120
Tabel 4. 12 Klasifikasi mikroorganisme dominan berdasarkan peran sesuai ADM1 ..	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi jalur metanogenik pada kondisi mesofilik dan termofilik	14
Gambar 2. 2 Skema pembentukan biogas dari <i>vinasse</i>	16
Gambar 2. 3 Pelepasan biofilm: a. Erosi atau abrasi; b. <i>sloughing</i>	31
Gambar 2. 4 Ilustrasi konfigurasi internal reaktor FB, CSTR, dan AFBR	36
Gambar 2. 5 Alur peruraian COD di dalam model ADM1	39
Gambar 2. 6 Skema dasar sistem reaktor pada Model ADM1	40
Gambar 2. 7 Algoritma perhitungan konstanta reaksi	49
Gambar 3. 1 Peta Riset	56
Gambar 3. 2 Reaktor CSTR: a. Skema rangkaian reaktor CSTR termofilik; b. Reaktor CSTR Marubishi	59
Gambar 3. 3 Reaktor <i>fixed bed</i> dengan media <i>unwoven textile</i> : a. Reaktor FB-UT; b. Media <i>unwoven textile</i>	63
Gambar 3. 4 Reaktor CSTR dengan media zeolit: a. Reaktor CSTR-Z; b. Media zeolit	66
Gambar 3. 5 Reaktor AFBR: a. Skema rangkaian alat reaktor anaerobik <i>fluidized bed</i> termofilik; b. Reaktor AFBR	68
Gambar 4. 1 Alur Hasil dan Pembahasan	69
Gambar 4. 2 Profil periode starvasi pada eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi: a. RH; b. RL	72
Gambar 4. 3 Profil individual VFA pada eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi: a. RH; b. RL	73
Gambar 4. 4 <i>Canonical Correspondence Analysis</i> sampel pada periode starvasi dari eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	75
Gambar 4. 5 Transisi tahapan di proses anaerobik berdasarkan kelimpahan relatif bakteri pada periode starvasi eksperimen <i>start up</i> dan aklimatisasi	77
Gambar 4. 6 Transisi komunitas metanogen tingkat genus pada proses starvasi eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	78
Gambar 4. 7 Transisi komunitas mikroorganisme tingkat genus pada akhir proses starvasi eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	78
Gambar 4. 8 Laju pembentukan metana dari <i>garbage slurry</i> (GS) pada eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	80
Gambar 4. 9 Profil individual VFA pada eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	82
Gambar 4. 10 Profil konsentrasi COD dan sCOD pada eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	83
Gambar 4. 11 Profil COD removal pada eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	84
Gambar 4. 12 <i>Canonical correspondence analysis</i> sampel pada periode propagasi eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi: a. RH; b. RL	85
Gambar 4. 13 Transisi mikroorganisme pada periode propagasi eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi	86
Gambar 4. 14 Gambar kelimpahan relatif di dalam reaktor berdasarkan fungsi bakteri pada tahapan proses peruraian anaerobik pada eksperimen strategi <i>start up</i> dan aklimatisasi: a. RH; b. RL	89
Gambar 4. 15 Laju pembentukan metana pada proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> reaktor FB-UT	91
Gambar 4. 16 Profil komposisi VFA selama proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor FB-UT: a. R-1; b. R-2	92

Gambar 4. 17 Efisiensi penurunan sCOD proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor FB-UT.....	93
Gambar 4. 18 <i>Yield</i> metana proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor.....	94
Gambar 4. 19 <i>Canonical correspondence analysis</i> sampel reaktor FB-UT:	96
Gambar 4. 20 Empat tahapan proses anaerobik yang terjadi di reaktor FB-UT	97
Gambar 4. 21 Dinamika transisi mikroorganisme dominan proses anaerobik <i>vinasse</i> pada reaktor FB-UT	98
Gambar 4. 22 Kalibrasi model: a. laju pembentukan metana; b. konsentrasi sCOD efluen; c. konsentrasi individu VFA	102
Gambar 4. 23 Validasi model: a. laju pembentukan metana; b. konsentrasi sCOD efluen, c: konsnetrasi individu VFA	103
Gambar 4. 24 Laju pembentukan metana dari proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor CSTR-Z	106
Gambar 4. 25 Profil sCOD removal dari proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor CSTR-Z.....	107
Gambar 4. 26 <i>Yield</i> metana dari proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor CSTR-Z.....	107
Gambar 4. 27 Profil konsentrasi individual VFA dari proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor CSTR-Z.....	107
Gambar 4. 28 <i>Canonical correspondence analysis</i> sampel dari reaktor CSTR-Z.....	108
Gambar 4. 29 Transisi mikroorganisme berdasarkan tahapan peruraian anaerobik pada reaktor CSTR-Z	109
Gambar 4. 30 Dinamika transisi mikroorganisme dominan proses anaerobik pada reaktor CSTR-Z.....	110
Gambar 4. 31 Profil rasio kelimpahan relatif metanogenik terhadap laju pembentukan metana.....	112
Gambar 4. 32 Hasil simulasi proses anaerobik <i>vinasse</i> pada reaktor CSTR-Zeolit: a. laju pembentukan metana, b. konsentrasi sCOD efluen, c: konsentrasi individual VFA....	113
Gambar 4. 33 Laju pembentukan metana proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor AFBR.....	116
Gambar 4. 34 sCOD removal dari proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor AFBR	116
Gambar 4. 35 <i>Yield</i> metana dari proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor AFBR	117
Gambar 4. 36 Profil konsentrasi VFA dari proses anaerobik termofilik <i>vinasse</i> pada reaktor AFBR.....	117
Gambar 4. 37 Hasil simulasi proses anaerobik <i>vinasse</i> pada reaktor AFBR: a. laju pembentukan metana; b. konsentrasi sCOD efluen; c. konsentrasi individual VFA....	119