

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	v
INTISARI	viii
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xix
1. PENGANTAR	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Keaslian Penelitian	6
1.3. Manfaat Penelitian	8
1.4. Tujuan Penelitian	8
2. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Pencernaan Anaerobik	10
2.2. Produksi hidrogen anaerobik	11
2.3. Substrat untuk fermentasi-gelap hidrogen	14
2.4. Pencernaan-bersama anaerobik	15
2.5. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi H <sub>2</sub> fermentatif	18
2.6. Peningkatan yield H <sub>2</sub> dalam proses produksi H <sub>2</sub> fermentatif	21
2.7. Biomassa Lignoselulosik	24
2.8. Hidrolisis asam bahan-bahan selulosik	25
2.9. Landasan Teori	30
2.10. Hipotesis	36

3. METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1. Perlakuan ampas tahu menggunakan asam encer	37
3.2. Perlakuan fraksi padat ampas tahu menggunakan asam pekat	41
3.3. Uji potensi produksi biohidrogen hidrolisat ampas tahu	44
3.4. Produksi H <sub>2</sub> dari hidrolisat ampas tahu: Pengaruh perlakuan asam satu-tahap dan dua-tahap	49
3.5. Pencernaan-bersama glukosa dengan urea	53
3.6. Pencernaan-bersama hidrolisat ampas tahu dengan urea	54
3.7. Analisis Data	55
3.8. Metode Analisis	58
4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	62
4.1. Perlakuan ampas tahu menggunakan asam encer	62
4.2. Perlakuan fraksi padat ampas tahu menggunakan asam pekat	67
4.3. Hasil uji potensi produksi biohidrogen	86
4.4. Produksi H <sub>2</sub> dari hidrolisat ampas tahu: Pengaruh perlakuan asam satu-tahap dan dua-tahap	101
4.5. Fermentasi campuran glukosa dan urea secara anaerobik	117
4.6. Fermentasi anaerobik campuran SHM dan urea	140
5. KESIMPULAN DAN SARAN	156
DAFTAR PUSTAKA	158
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Jalur produksi hidrogen dari fermentasi glukosa	13
2.2. Diagram proses fermentasi anaerobik ampas tahu untuk produksi H <sub>2</sub>	31
3.1. Peralatan perlakuan ampas tahu menggunakan asam encer	38
3.2. Diagram percobaan perlakuan awal ampas tahu menggunakan asam.	40
3.3. Peralatan perlakuan ampas tahu menggunakan asam pekat	42
3.4. Peralatan uji potensi biohidrogen	45
3.5. Diagram alir perlakuan ampas tahu satu-tahap dan dua-tahap	50
4.1. Profil gula tereduksi dalam perlakuan-awal ampas tahu menggunakan asam encer sebagai fungsi waktu	64
4.2. Plot $\ln(C_{A0}/(C_{A0} - C_G))$ versus waktu reaksi dalam hidrolisis ampas tahu menggunakan katalis 0,5% berat HCl, rasio S/L 5 g TS/100 mL dan temperatur 104°C	65
4.3. Struktur molekul selobiosa	68
4.4. Pengaruh rasio S/L (g TS/100 mL pelarut) terhadap konsentrasi gula tereduksi dalam hidrolisis fraksi padat ampas tahu (10% berat HCl dan 80°C). TS: padatan total	70
4.5. Pengaruh rasio S/L terhadap massa gula tereduksi dan produksi gula tereduksi dari hidrolisis FSAT menggunakan 10% berat HCl dan 80°C	71
4.6. Pengaruh konsentrasi asam terhadap konsentrasi gula tereduksi dalam hidrolisis fraksi padat ampas tahu (rasio S/L 10 g TS/ 100 mL dan 80°C).	74
4.7. Plot $\ln(C_{A0}/(C_{A0} - C_G))$ versus waktu reaksi dalam hidrolisis FSAT pada berbagai konsentrasi asam.	75

- 4.8. Plot  $\ln(k_h)$  versus  $\ln(C_H)$  dalam hidrolisis FSAT pada berbagai konsentrasi asam. 76
- 4.9. Konsentrasi gula dan produksi gula sebagai fungsi konsentrasi asam dalam hidrolisis hidrolisis FSAT pada rasio S/L 10 g TS/100 mL dan 80°C. 78
- 4.10. Pengaruh temperatur reaksi terhadap konsentrasi gula tereduksi dalam hidrolisis FSAT (rasio S/L 10 g TS/100 mL dan 10% berat HCl). 80
- 4.11. Plot  $\ln(C_{A0}/(C_{A0} - C_G))$  versus waktu reaksi dalam hidrolisis FSAT pada berbagai temperatur. 81
- 4.12. Hubungan nilai  $k_h$  hasil perhitungan dan temperatur reaksi dalam hidrolisis FSAT pada rasio S/L 10 g TS/100 mL dan 10% berat HCl. 83
- 4.13. Konsentrasi gula dan produksi gula tereduksi sebagai fungsi temperatur reaksi dalam hidrolisis FSAT pada rasio S/L 10 g TS/100 mL dan 10% berat HCl 85
- 4.14. Profil produksi hidrogen kumulatif dari fermentasi hidrolisat ampas tahu dengan konsentrasi awal substrat 5000 mg COD/L. 88
- 4.15. Pengaruh konsentrasi awal substrat terhadap produksi akumulatif biohidrogen dari hidrolisat ampas tahu. 96
- 4.16. Yield biohidrogen konversi substrat sebagai fungsi konsentrasi awal substrat pada kondisi tanpa dan dengan detoksifikasi. 99
- 4.17. Detoksifikasi Hidrolisat Menggunakan Karbon Aktif. 105
- 4.18. Profil produksi  $H_2$  kumulatif dan perubahan pH medium dalam fermentasi hidrolisat ampas tahu. 109
- 4.19. Yield hidrogen dan konversi gula tereduksi dari hidrolisat ampas tahu dengan perlakuan asam satu- dan dua-tahap 113

4.20.	Profil produksi hidrogen kumulatif selama fermentasi glukosa menggunakan kultur campuran pada konsentrasi awal substrat 3,3 g glukosa/L.	118
4.21.	Profil konsumsi glukosa dan produksi biomassa selama fermentasi glukosa pada konsentrasi awal substrat 3,3 glukosa g/L	120
4.22.	Produksi asam-asam lemak volatil (VFA) dan perubahan pH cairan selama fermentasi glukosa dengan konsentrasi awal glukosa 3,33 g/L	122
4.23.	Profil produksi hidrogen kumulatif selama fermentasi campuran glukosa-urea pada berbagai rasio C/N menggunakan kultur campuran.	124
4.24.	Plot data produksi hidrogen kumulatif terhadap waktu inkubasi selama fermentasi campuran glukosa-urea pada berbagai rasio C/N menggunakan kultur campuran	125
4.25.	Biodegradasi substrat campuran Glukosa-Urea sebagai fungsi waktu menggunakan Model Kinetika Monod.	130
4.26.	Plot $\ln S/S_0$ versus waktu (t) untuk biodegradasi substrat campuran Glukosa-Urea.	131
4.27.	Yield hidrogen dan pertumbuhan sel dalam fermentasi campuran glukosa-urea	133
4.28.	Produksi VFA dalam fermentasi campuran glukosa-urea	136
4.29.	Profil pH medium selama fermentasi campuran glukosa-urea pada berbagai rasio C/N menggunakan kultur campuran.	139
4.30.	Profil produksi hidrogen kumulatif selama fermentasi campuran SHM-Urea pada berbagai rasio C/N menggunakan kultur campuran.	142
4.31.	Plot data produksi hidrogen kumulatif terhadap waktu inkubasi selama fermentasi campuran SHM-urea pada berbagai rasio C/N menggunakan kultur campuran	143

4.32.	Biodegradasi substrat campuran SHM-Urea sebagai fungsi waktu menggunakan Model Kinetika Monod. GT : Gula tereduksi	145
4.33.	Plot $\ln S/S_0$ versus waktu (t) untuk biodegradasi substrat campuran SHM-Urea.	147
4.34.	Yield hidrogen dan konversi gula tereduksi dalam fermentasi campuran SHM-urea	149
4.35.	Produksi asam lemak volatil (VFA) dalam fermentasi campuran SHM-urea sebagai fungsi rasio C/N.	151
4.36.	Profil pH medium selama fermentasi campuran SHM-urea menggunakan kultur campuran sebagai fungsi waktu	153

## DAFTAR TABEL

	Halaman
1.1. Penelitian pencernaan anaerob ampas tahu untuk produksi hidrogen	3
2.1. Reaksi-reaksi yang mempengaruhi produksi hidrogen dengan fermentasi gelap	12
2.2. Metode praperlakuan asam (hidrolisis asam) bahan organik padat	28
3.1. Rancangan percobaan pengaruh rasio padatan terhadap pelarut	43
3.2. Rancangan percobaan pengaruh konsentrasi asam	43
3.3. Rancangan Percobaan Pengaruh Temperatur Reaksi	43
3.4. Nutrient dan buffer untuk uji produksi H <sub>2</sub>	44
3.5. Kondisi Percobaan II (Uji II)	48
3.6. Rancangan percobaan hidrolisis ampas tahu satu dan dua-tahap	51
3.7. Rancangan percobaan uji potensi produksi biohidrogen III	53
3.8. Rancangan percobaan pencernaan bersama glukosa dan urea	54
3.9. Rancangan percobaan pencernaan bersama SHM dan urea	55
4.1. Karakteristik Ampas tahu.	62
4.2. Produksi Gula Tereduksi dari Perlakuan-awal Ampas Tahu Menggunakan Asam Encer.	66
4.3. Karakteristik Fraksi Padat Ampas Tahu.	69
4.4. Produksi Gula Tereduksi dari Hidrolisis FPAT Menggunakan 10% berat HCl dan 80°C.	71
4.5. Parameter Kinetika Hidrolisis FSAT.	76
4.6. Produksi Gula Tereduksi dari Hidrolisis FSAT pada Rasio S/L 10 g TS/100 mL dan 80°C.	78
4.7. Parameter Kinetika Hidrolisis FSAT pada Berbagai Temperatur.	82
4.8. Produksi Gula Tereduksi dari Hidrolisis FSAT pada Rasio S/L	

10 g TS/100 mL dan 10% berat HCl.	84
4.9. Karakteristik Substrat untuk Uji Potensi Biohidrogen I	87
4.10. Parameter Persamaan Gompertz yang dimodifikasi untuk substrat H1A, H2A dan glukosa.	89
4.11. Yield Hidrogen dari Fermentasi Hidrolisat Ampas Tahu dengan Konsentrasi Awal Substrat 5000 mg COD/L.	92
4.12. Perbandingan Yield H <sub>2</sub> dari Limbah Lignoselulosik.	93
4.13. Yield Hidrogen dari Berbagai Jenis Substrat.	98
4.14. Parameter kunci proses produksi hidrogen dalam Uji II menggunakan Persamaan Gompertz.	100
4.15. Produksi Gula Tereduksi dalam Hidrolisis Ampas Tahu Satu- dan Dua-Tahap Menggunakan Asam.	104
4.16. Karakteristik Substrat untuk Uji Potensi Produksi H <sub>2</sub>	107
4.17. Karakteristik produksi produksi hidrogen dari hidrolisat ampas tahu dengan perlakuan-awal dua-tahap menggunakan asam.	110
4.18. Estimasi parameter model kinetika Persamaan Gompertz dalam proses produksi hidrogen dari substrat campuran glukosa-urea.	126
4.19. Konstanta Kinetika dan Error dalam Pencocokan Kurva Non Linear Menggunakan Kinetika Monod dalam Fermentasi Substrat Campuran Glukosa-Urea.	129
4.20. Konstanta Kinetika Orde Satu dalam Fermentasi Substrat Campuran Glukosa-Urea.	132
4.21. Yield Hidrogen dalam Fermentasi Campuran Glukosa-Urea Menggunakan Kultur Campuran.	134
4.22. Estimasi parameter model kinetika Persamaan Gompertz dalam proses produksi hidrogen dari substrat campuran SHM-urea	144

4.23.	Konstanta Kinetika dalam Kinetika Monod dalam Fermentasi Substrat Campuran SHM-Urea	146
4.24.	Konstanta Kinetika Orde Satu dalam Fermentasi Substrat Campuran SHM-Urea	146
4.25.	Yield hidrogen pencernaan bersama SHM dan urea	149

## DAFTAR SINGKATAN

AT	Ampas tahu
ATP	Adenosine triphosphate
BSA	Bovine serum albumin
C/N	Karbon / Nitrogen
COD	<i>Chemical oxygen demand</i>
CSTR	<i>Continuous stirred tank reactor</i>
DNS	<i>Dinitrosalicylic Acid</i>
DM	<i>Dry matter</i> (bahan kering)
Fd	ferredoxin
FHL	Enzim (formate: <i>hydrogen lyase</i> )
g	gram
g/L	gram/Liter
g/v	Berat (gram)/ volume (mL)
GT	Gula tereduksi
HMF	5-hidroksimetil furfural
HRT	<i>Hydraulic residence time</i> (waktu tinggal cairan)
MBR	<i>membrane bioreactor</i>
MLVSS	<i>Mixed liquor volatile suspended solids</i>
NADH	Nicotinamide adenine dinucleotide
NFOR	NADH: Fd <i>oxidoreductase</i>
PFL	pyruvate: <i>formate lyase</i>
PFOR	pyruvate: <i>ferredoxin oxidoreductase</i>
SDA	<i>Sludge digester anaerobik</i>
TS	<i>Total solid</i> (padatan total)
VFA	<i>Volatile fatty acids</i> (asam-asam lemak volatil)
VS	<i>Volatile solids</i> (padatan volatil)
VSS	<i>Volatile suspended solids</i> (padatan tersuspensi volatil)
w/v	berat/ volume
w/w	berat/ berat