

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
INTISARI.....	x
ABSTRACT .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Permasalahan Penelitian.....	5
1.3. Kebaruan Penelitian .....	6
1.4. Tujuan Penelitian.....	8
1.5. Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1. Tinjauan Pustaka.....	10
2.1.1. <i>Upgrading</i> Biogas Menjadi Biometan .....	10
2.1.2. Limbah Cangkang Kelapa Sawit.....	14
2.1.3. Karbon Berpori Berbasis Biomassa .....	15
2.1.4. Pressure Swing Adsorption (PSA) .....	23
2.1.5. <i>Breakthrough Behavior</i> Pada Pemisahan Gas di Dalam Kolom <i>Fixed Bed</i> .....	26
2.2. Landasan Teori .....	28
2.3. Hipotesis .....	43
BAB III METODE PENELITIAN.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	52
4.1. Karakterisasi Material.....	53
4.2. Kestimbangan Adsorpsi Isotermal CO <sub>2</sub> dan CH <sub>4</sub> pada Karbon Berpori Berbahan Dasar Cangkang Kelapa Sawit .....	57
4.3. Pemisahan CO <sub>2</sub> dan CH <sub>4</sub> pada Kolom <i>Fixed-Bed</i> .....	59
4.4. Kinetika Pemisahan CO <sub>2</sub> dan CH <sub>4</sub> .....	62
4.5. Kinerja pemisahan CO <sub>2</sub> dan CH <sub>4</sub> pada kolom <i>fixed-bed</i> . .....	77
4.6. Perancangan pemisahan gas pada kolom <i>fixed-bed</i> . .....	79
BAB V KESIMPULAN .....	86
DAFTAR PUSTAKA .....	88
LAMPIRAN.....	97

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Penelitian Dinamika Pemisahan Gas CO <sub>2</sub> .....	6
Tabel 2.1. Karakteristik biogas dan gas alam .....	10
Tabel 2.2. Perbandingan berbagai teknologi <i>upgrading biogas</i> menjadi biometan .....	12
Tabel 2.3. Karakteristik cangkang kelapa sawit .....	15
Tabel 2.4. Karakteristik karbon berpori .....	16
Tabel 2.5. Karakteristik molekul gas CH <sub>4</sub> dan CO <sub>2</sub> .....	24
Tabel 3.1. Karakteristik kolom <i>fixed bed</i> .....	46
Tabel 3.2. Persamaan model matematika pemisahan gas pada kolom <i>fixed-bed</i> .....	50
Tabel 4.1. Parameter morfologi pori karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit .....	54
Tabel 4.2. Parameter kesetimbangan adsorpsi isothermal model Toth untuk CO <sub>2</sub> dan CH <sub>4</sub> .....	59
Tabel 4.3. Parameter difusivitas gas ke arah aksial untuk semua ukuran partikel adsorben dan laju alir umpan. ....	64
Tabel 4.4. Nilai K <sub>L</sub> hasil <i>fitting</i> model matematika untuk semua variasi laju alir umpan dan ukuran partikel adsorben. ....	72
Tabel 4.5. Pengaruh variasi laju alir umpan dan ukuran partikel adsorben terhadap kinerja pemisahan gas pada kolom <i>fixed-bed</i> . ....	78

Gambar 2.1. Struktur pori karbon berpori. [65] .....	17
Gambar 2.2. Distribusi ukuran pori CMS dan karbon aktif [34].....	22
Gambar 2.3. Gambar skematis proses upgrading biogas. ....	26
Gambar 2.4. Profil konsentrasi adsorbat pada adsorben setiap saat. ....	26
Gambar 2.5. Profil konsentrasi solut pada puncak kolom setiap waktu. ....	27
Gambar 2.6. Neraca massa komponen i pada elemen volume kolom. ....	30
Gambar 2.7. Mekanisme transfer massa adsorbat ke adsorben.....	32
Gambar 2.8. Mekanisme difusivitas Knudsen.....	33
Gambar 2.9. Mekanisme difusivitas kontinum/molekuler.....	34
Gambar 2.10. Mekanisme difusivitas permukaan. ....	35
Gambar 2.11. Mekanisme difusi pori dan difusi permukaan secara paralel. ....	36
Gambar 3.1. Diagram skematis rangkaian alat pengukuran kesetimbangan adsorpsi isothermal. ....	44
Gambar 3.2. Diagram skematis rangkaian alat percobaan pemisahan CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> pada kolom <i>fixed-bed</i> . ....	45
Gambar 3.3. Bagan prosedur penelitian. ....	46
Gambar 3.4. Algoritma perhitungan untuk mencari parameter kinetika gas. ....	51
Gambar 4.1. Kurva adsorpsi-desorpsi isothermal gas N <sub>2</sub> pada karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit. ....	53
Gambar 4.2. Distribusi ukuran pori karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit. ....	54
Gambar 4.3. Gambar SEM karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit dengan pembesaran 1000x. ....	55
Gambar 4.4. Spektrum FTIR karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit. ....	56
Gambar 4.5. Kesetimbangan adsorpsi isothermal CO <sub>2</sub> dan CH <sub>4</sub> pada suhu 30 °C: data percobaan CO <sub>2</sub> (●); data percobaan CH <sub>4</sub> (▲); model Toth (garis hitam); model Langmuir (garis biru); model Freundlich (garis merah). ....	57
Gambar 4.6. Simulasi adsorpsi CO <sub>2</sub> -CH <sub>4</sub> dengan menggunakan kesetimbangan IAST. ....	58
Gambar 4.7. Kurva <i>breakthrough</i> CO <sub>2</sub> (hitam) dan CH <sub>4</sub> (biru) untuk laju alir umpan 150 mL.men <sup>-1</sup> dan ukuran partikel adsorben 771 μm: siklus 1 (▲), dan siklus 2 (□). ....	60
Gambar 4.8. Sensitivitas kurva <i>breakthrough</i> hasil simulasi terhadap nilai k <sub>L</sub> : k <sub>L,1</sub> ( <i>solid-line</i> ) = 3 x k <sub>L,2</sub> ( <i>dashed-line</i> ) = 0.3 x k <sub>L,3</sub> ( <i>dotted-line</i> ).....	63
Gambar 4.9. Sensitivitas kurva <i>breakthrough</i> hasil percobaan (○) terhadap nilai D <sub>L</sub> : D <sub>L,1</sub> ( <i>solid-line</i> ) = 0.1 x D <sub>L,2</sub> ( <i>dashed-line</i> ) = 10 x D <sub>L,3</sub> ( <i>dotted-line</i> ).....	63
Gambar 4.10. Kurva <i>breakthrough</i> hasil simulasi model matematika dengan kecepatan konstan ( <i>dashed-line</i> ) dan dengan kecepatan bervariasi ke arah sumbu z ( <i>solid-line</i> ) disepanjang kolom <i>fixed-bed</i> : laju alir umpan 50 mL.men <sup>-1</sup> (biru), 100 mL.men <sup>-1</sup> (hijau), dan 150 mL.men <sup>-1</sup> .....	67
Gambar 4.11. Kurva <i>breakthrough</i> CO <sub>2</sub> dan CH <sub>4</sub> dengan variasi laju alir umpan: 50 mL.menit <sup>-1</sup> (○), 100 mL.menit <sup>-1</sup> (□), 150 mL.menit <sup>-1</sup> (Δ), dan hasil simulasi (garis). ....	70



Gambar 4.12. Kurva <i>breakthrough</i> CO <sub>2</sub> dan CH <sub>4</sub> dengan laju alir umpan 150 mL.men <sup>-1</sup> dan variasi ukuran partikel adosorben: 376 μm (Δ), 771 μm (□), 1000 μm (○), dan hasil simulasi (garis). .....	71
Gambar 4.13. Hubungan antara kL, CH <sub>4</sub> dan 15Rp2 .....	73
Gambar 4.14. Hubungan antara kL, CO <sub>2</sub> dan 15Rp2 .....	73
Gambar 4.15. Plot model difusi intrapartikel Weber-Morris untuk adsorpsi CO <sub>2</sub> pada karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit dengan variasi ukuran partikel adsorben: 376 μm (Δ), 771 μm (□), dan 1000 μm (○). A: Daerah difusi film; B: Daerah difusi intrapartikel; C: Daerah kesetimbangan.....	75
Gambar 4.16. Model difusi <i>film</i> Boyd untuk adsorpsi CO <sub>2</sub> pada karbon berpori berbasis cangkang kelapa sawit: ukuran partikel adsorben 376 μm (Δ), 771 μm (□), 1000 μm (○). 76	
Gambar 4.17. Gambar skematis pemisahan CO <sub>2</sub> dari biogas menggunakan proses PSA....	80
Gambar 4.18. Hasil simulasi perancangan kasus A.....	83
Gambar 4.19. Hasil simulasi perancangan kasus B.....	83
Gambar 4.20. Hasil simulasi perancangan kasus C1.....	84
Gambar 4.21. Hasil simulasi perancangan kasus C2.....	84
Gambar 4.22. Hasil simulasi perancangan kasus D.....	85