

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PROMOTOR	iii
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xx
INTISARI	xxii
ABSTRACT	xxiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan dan Batasan Masalah	6
1.3 Keaslian Penelitian	8
1.4 Tujuan Penelitian	11
1.5 Manfaat Penelitian	11
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1. Tinjauan Pustaka	12
2.1.1. Biogas	12
2.1.2. Metode Pemurnian Biogas	14
2.1.2.1. Physical Scrubbing	14
2.1.2.2. Chemical Scrubbing	15
2.1.2.3. Membrane Separation	15
2.1.2.4. Cryogenic Separation	15
2.1.2.5. Pressure Swing Adsorption	15
2.1.3. <i>Molecular Sieve</i>	18
2.1.3.1. Carbon Molecular Sieve (CMS)	18
2.1.3.1.1. CMS dari Batubara	19

2.1.3.1.2. CMS dari Biomassa.....	21
2.1.3.1.3. CMS dari Polimer	23
2.1.3.2. Zeolite Molecular Sieve (ZMS)	25
2.1.3.3. Metal Organic Framework (MOF)	26
2.1.4. Cangkang Kelapa Sawit.....	29
2.1.5. Modifikasi Karbon Nanopori menjadi CMS	31
2.1.5.1. Modifikasi Kimia Permukaan Karbon sebagai Pre-treatment	31
2.1.5.2. Modifikasi Carbon Molecular Sieve (CMS).....	33
2.1.6. Pemisahan dengan Metode Adsorpsi	35
2.1.6.1. Transfer Massa pada Material Berpori	35
2.1.6.2. Prinsip Pemisahan dengan Adsorpsi	38
2.1.6.3. Adsorpsi pada Kolom Fixed Bed.....	40
2.2. Landasan Teori.....	41
2.2.1. Oksidasi Permukaan Karbon Nanopori.....	41
2.2.1.1. Oksidasi Hidrogen Peroksida.....	41
2.2.1.2. Ozonisasi.....	43
2.2.2. Impregnasi Logam/Oksida Logam	45
2.2.3. Kinerja CMS untuk Pemisahan CO₂/CH₄	48
2.2.3.1. Keseimbangan Adsorpsi	48
2.2.3.2. Model Kinetika Gas di dalam Kolom Fixed Bed	50
2.3. Hipotesis	52
BAB III. METODE PENELITIAN	53
3.1. Bahan Penelitian.....	53
3.2. Alat Penelitian	53
3.3. Prosedur Penelitian.....	55
3.3.1. Proses Pembuatan CMS.....	56
3.3.1.1. Proses Oksidasi Karbon Nanopori	56
3.3.1.2. Proses Impregnasi Logam.....	57
3.3.1.3. Proses Kalsinasi	58
3.3.2. Uji Kinerja CMS.....	58
3.3.2.1. Proses Uji Keseimbangan Adsorpsi.....	58
3.3.2.2. Breakthrough Analysis	59
3.4. Analisis Hasil	59

3.4.1. Karakterisasi sifat fisis dan kimia CMS	59
3.4.2. Karakterisasi Kinerja Proses Adsorpsi	61
3.4.3. Evaluasi Koefisien Kinetika Pemisahan Gas	63
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1. Karakteristik Material	65
4.1.1. Karakteristik Bahan Baku (CMS-CKS)	65
4.1.1.1. Analisis Elemental CMS-CKS	65
4.1.1.2. Struktur dan Distribusi Ukuran Pori CMS-CKS	66
4.1.1.3. Kurva Thermal Gravimetri Analysis (TGA) CMS-CKS	67
4.1.1.4. Struktur Morfologi CMS-CKS	68
4.1.1.5. Gugus Fungsional CMS-CKS	68
4.1.2. Karakteristik CMS Teroksidasi	69
4.1.2.1. Struktur dan Distribusi Ukuran Pori dari CMS Teroksidasi	69
4.1.2.2. Gugus Fungsional CMS Teroksidasi	71
4.1.2.3. Kurva Thermal Gravimetri Analysis (TGA) CMS Teroksidasi	73
4.1.2.4. Pola XRD CMS Teroksidasi	74
4.1.2.5. Struktur Morfologi dari CMS Teroksidasi	74
4.1.3. Karakteristik CMS Termodifikasi	75
4.1.3.1. Kurva Termogravimetri (TG/DSC) CMS Termodifikasi	75
4.1.3.2. Kurva Adsorpsi-Desorpsi N ₂ dari CMS Termodifikasi	80
4.1.3.3. Struktur Pori CMS Termodifikasi	83
4.1.3.4. Distribusi Ukuran Pori CMS Termodifikasi	87
4.1.3.5. Gugus Fungsional CMS Termodifikasi	90
4.1.3.6. Pola X-Ray Diffraction (XRD) dari CMS Termodifikasi	92
4.1.3.7. Struktur Morfologi CMS Termodifikasi	96
4.1.3.8. Point of Zero Charge (PZC) CMS Termodifikasi	101
4.2. Karakteristik Kinerja CMS	102
4.2.1. Kinerja Kesetimbangan Adsorpsi	102
4.2.1.1. Kurva Isoterm Adsorpsi pada Tekanan Rendah	102
4.2.1.1.1. Pengaruh Perlakuan Oksidasi	103
4.2.1.1.2. Pengaruh Jenis Logam	105
4.2.1.1.3. Pengaruh Suhu	106
4.2.1.2. Panas Adsorpsi	107

4.2.1.3.	Kurva Isoterm Adsorpsi pada Tekanan Tinggi	110
4.2.2.	Kinerja Kinetika Adsorpsi	112
4.2.2.1.	Kurva Breakthrough CO ₂ dan CH ₄ dari CMS	112
4.2.2.1.1.	<i>Pengaruh Perlakuan Oksidasi</i>	<i>112</i>
4.2.2.1.2.	<i>Pengaruh Jenis Logam.....</i>	<i>115</i>
4.2.2.1.3.	<i>Pengaruh Jenis Oksida Besi.....</i>	<i>119</i>
4.2.2.1.4.	<i>Pengaruh Konsentrasi Oksida Besi</i>	<i>120</i>
4.2.2.1.5.	<i>Perbandingan Dengan Modifikasi CMS Lainnya</i>	<i>122</i>
4.2.2.1.6.	<i>Perbandingan Dengan Material Molecular Sieve Komersial</i>	<i>124</i>
4.2.2.2.	Kurva Desorpsi CO ₂ dari CMS	125
4.3.	Model Matematis.....	126
4.3.1.	Model Kesetimbangan Adsorpsi CO₂ dan CH₄	126
4.3.1.1.	Persamaan Langmuir	126
4.3.1.2.	Persamaan Freundlich	130
4.3.1.3.	Persamaan Toth	132
4.3.2.	Model Kesetimbangan Adsorpsi Multikomponen	136
4.3.3.	Model Kinetika Adsorpsi	140
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	143
5.1.	Kesimpulan	143
5.2.	Saran.....	143
DAFTAR PUSTAKA.....		145
LAMPIRAN		162