

Arief Budiman  
Eko Agus Suyono  
Nugroho Dewayanto  
Laras Prasakti  
Teta Fathya Widawati  
Frita Dewi Damayanti

# CCUS

(Carbon Capture,  
Utilization, and Storage)

Teknologi Penangkapan, Utilisasi,  
dan Penyimpanan CO<sub>2</sub>



GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

# DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xix
<b>BAB I : PENGANTAR .....</b>	<b>1</b>
1.1. Karbondioksida dan Perubahan Iklim .....	1
1.2. Kondisi Indonesia Terkait Perubahan Iklim .....	6
1.3. Upaya-Upaya Penurunan Emisi CO <sub>2</sub> .....	9
1.4. Perkembangan <i>Carbon Capture Utilization and Storage</i> (CCUS) di Indonesia .....	13
Referensi .....	17
<b>BAB II : SUMBER KARBON DIOKSIDA.....</b>	<b>19</b>
2.1. Molekul Karbon Dioksida.....	19
2.2. Reaksi Pembakaran .....	24
2.3. Pemurnian Gas Alam.....	30
2.4. Reaksi Reduksi Oksida Metal .....	32
2.4.1. Reaksi Reduksi <i>Hematite</i> (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) / <i>Magnetite</i> (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) Menjadi Besi .....	33
2.4.2. Produksi Aluminium dari Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	35
2.4.3. Proses Kalsinasi pada Industri Semen.....	36
Referensi .....	37

<b>BAB III : TEKNOLOGI PENANGKAPAN KARBON DIOKSIDA</b>	<b>41</b>
3.1. Teknologi Penangkapan CO <sub>2</sub> .....	42
3.1.1. Pemisahan dengan Cairan .....	42
3.1.2. Pemisahan dengan Padatan .....	43
3.1.3. Pemisahan dengan Membran.....	45
3.1.4. Pemisahan dengan Perubahan Fase .....	47
3.2. Metode Penggunaan Teknologi Penangkapan CO <sub>2</sub> .....	49
3.2.1. <i>Post-combustion</i> .....	50
3.2.2. <i>Pre-combustion</i> .....	56
3.3. Tinjauan Aspek Ekonomi Singkat Proses Penangkapan CO <sub>2</sub> .....	68
Referensi .....	73
<b>BAB IV : UTILISASI KARBON DIOKSIDA.....</b>	<b>79</b>
4.1. Produksi Bahan Bakar Berbasis CO <sub>2</sub> .....	79
4.1.1. Produksi Metanol (CH <sub>3</sub> OH) dari CO <sub>2</sub> .....	80
4.1.2. Produksi Dimetil Eter (DME) dari CO <sub>2</sub> .....	84
4.1.3. Produksi Metana (CH <sub>4</sub> ) dari CO <sub>2</sub> (Metanasi) .....	87
4.1.4. Produksi Hidrokarbon Cair dari CO <sub>2</sub> (Fischer-Tropsch).....	89
4.1.5. Produksi <i>Biofuel</i> dari CO <sub>2</sub> .....	91
4.1.6. Bioalkohol .....	93
4.2. Produksi Bahan Kimia Berbasis CO <sub>2</sub> .....	94
4.2.1. Produksi Urea dari CO <sub>2</sub> .....	96
4.2.2. Produksi Asam Formiat dari CO <sub>2</sub> .....	98
4.2.3. Produksi Dimetilkarbonat dari CO <sub>2</sub> .....	99
4.2.4. Produksi Senyawa-Senyawa Karbonat Siklis dari CO <sub>2</sub> .....	103
Referensi .....	104

<b>BAB V : UTILISASI KARBON DIOKSIDA DENGAN MIKROALGA.....</b>	<b>111</b>
5.1. Pengantar Mikroalga .....	111
5.2. Fotosintesis pada Mikroalga.....	114
5.3. Kultivasi Mikroalga.....	117
5.4. Pemanenan Mikroalga.....	122
5.4.1. Metode Fisis .....	123
5.4.2. Metode Kimiawi.....	127
5.5. <i>Biofuel</i> dari Mikroalga.....	133
5.5.1. Pemanfaatan Mikroalga sebagai Bahan Baku Biodiesel.....	133
5.5.2. Pemanfaatan Mikroalga sebagai Bahan Baku Bioetanol .....	144
5.5.3. Pemanfaatan Mikroalga sebagai Bahan Baku <i>Bio-oil</i> .....	148
5.5.4. Pemanfaatan Mikroalga sebagai Bahan Baku Biogas.....	154
5.5.5. Pemanfaatan Mikroalga sebagai Bahan Baku Biohidrogen..	159
5.6. Pangan Fungsional dari Mikroalga.....	164
5.6.1. <i>Spirulina</i> sp.....	164
5.6.2. <i>Chlorella</i> sp. ....	169
5.6.3. <i>Haematococcus pluvialis</i> ( <i>H. pluvialis</i> ) .....	172
5.6.4. <i>Nannochloropsis</i> .....	174
Referensi .....	175

<b>BAB VI : PENYIMPANAN KARBON DIOKSIDA DALAM BENTUK KARBONAT.....</b>	<b>185</b>
6.1. Karbonasi Mineral secara <i>In Situ</i> .....	188
6.1.1. Geokimia Batuan Basal.....	190
6.1.2. Proses Karbonasi Mineral secara <i>In Situ</i> .....	203
6.2. Karbonasi Mineral secara <i>Ex Situ</i> .....	216
6.2.1. Bahan Baku .....	216

6.2.2. Proses Karbonasi Mineral secara <i>Ex Situ</i> .....	220
Referensi .....	233

**BAB VII : PENYIMPANAN KARBON DIOKSIDA DALAM**

<b>PERUT BUMI</b> .....	<b>239</b>
7.1. <i>Enhanced Oil Recovery</i> (EOR) .....	239
7.1.1. Proses <i>Enhanced Oil Recovery</i> (EOR) .....	241
7.1.2. Aspek Operasional Proses EOR CO <sub>2</sub> .....	256
7.2. <i>Enhanced Gas Recovery</i> (EGR) .....	262
7.2.1. Proses EGR dengan Mekanisme Adsorpsi .....	265
7.2.2. Proses EGR di Reservoir Kondensat .....	268
7.2.3. Reservoir Nonkonvensional: <i>Coal Bed Methane</i> (CBM) .....	271
7.2.4. Reservoir Nonkonvensional: Serpih ( <i>Shale</i> ) .....	276
7.2.5 Reservoir Nonkonvensional: Gas Hidrat .....	284
Referensi .....	289

**BAB VIII : PENYIMPANAN KARBON DIOKSIDA DI LAUT..... 299**

8.1. Injeksi CO <sub>2</sub> di Bawah Laut .....	304
8.1.1. Proses dan Metode Injeksi CO <sub>2</sub> di Bawah Laut .....	305
8.1.2. Pelarutan CO <sub>2</sub> dalam Air Laut .....	314
8.2. Risiko dan Penanggulangan Penyimpanan CO <sub>2</sub> di Laut .....	322
8.2.1. Dampak Umum Injeksi CO <sub>2</sub> terhadap Fisiologis Organisme Laut .....	324
8.2.2. Manajemen Risiko dari Proses Injeksi CO <sub>2</sub> .....	329
Referensi .....	333

GLOSARIUM .....	335
-----------------	-----

INDEKS .....	337
--------------	-----

TENTANG PENULIS .....	339
-----------------------	-----