

Arief Budiman, Yano Surya Pradana, Laras Prasakti  
Aulia Shabrina, Muhammad Hartono

# BATU BARA

Emas Hitam Penopang Energi Indonesia



GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

## **BATU BARA: EMAS HITAM PENOPANG ENERGI INDONESIA**

### **Penulis:**

Arief Budiman  
Yano Surya Pradana  
Laras Prasakti  
Aulia Shabrina  
Muhammad Hartono

### **Editor bahasa:**

Ratna Mariastuti

### **Desain sampul:**

Pram's

### **Tata letak isi:**

Epic Akbar Kingpin

### **Penerbit:**

Gadjah Mada University Press  
Anggota IKAPI dan APPTI

**Ukuran** : 15,5 × 23 cm; xx + 374 hlm

**ISBN** : 978-602-386-959-6

2101020-B1E

### **Redaksi:**

Jl. Sendok, Karanggayam CT VIII Caturtunggal  
Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta, 55281  
Telp./Fax.: (0274) 561037  
ugmpress.ugm.ac.id | gmupress@ugm.ac.id

**Cetakan pertama** : Maret 2021

3274.018.01.21

**Hak Penerbitan ©2021 Gadjah Mada University Press**

*Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, microfilm, dan sebagainya.*

# KATA PENGANTAR

---

Batu bara merupakan salah satu komoditas yang sangat penting di banyak negara. Di Indonesia, batu bara digunakan sebagai sumber energi primer untuk pembangkitan listrik. Diperkirakan Indonesia memiliki cadangan batu bara sebanyak 37 miliar ton dengan produksi sekitar 490 juta ton pada tahun 2019. Meskipun sebagian besar digunakan untuk pembangkitan energi, batu bara juga memiliki pemanfaatan yang cukup luas. Pada industri logam misalnya, batu bara (yang telah diubah menjadi kokas) digunakan untuk mereduksi bijih besi. Batu bara juga dapat dikonversi menjadi *syngas* melalui gasifikasi untuk digunakan sebagai bahan baku produksi bahan kimia.

Dalam pemanfaatan batu bara, teknologi senantiasa dikembangkan untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan menghasilkan dampak lingkungan yang semakin rendah. Pembakaran batu bara, yang awalnya bertumpu pada *pulverized coal combustion* (PCC), semakin berkembang menuju ke arah *clean coal combustion*. Meskipun mungkin belum semua teknologi telah sampai tahap komersialisasi, pengetahuan mengenai perkembangan berbagai teknologi batu bara diharapkan dapat menjadi inspirasi dan tambahan pengetahuan untuk terus mengembangkan pemanfaatan batu bara.

Buku ini membahas pemanfaatan batu bara dari hulu ke hilir. Bagian awal buku akan memaparkan dengan singkat metode penambangan batu bara dan industri-industri pengguna batu bara. Selanjutnya, pada bagian inti dari buku ini, yaitu teknologi konversi batu bara, akan dibahas proses-proses, seperti *pulverized coal combustion*, *clean coal technology*, gasifikasi, dan proses-proses fisis serta kimia yang lain. Pada bagian-bagian akhir dari buku, akan dibahas teknik analisis untuk batu bara, analisis termodinamika (eksergi), pengendalian dampak penggunaan batu bara,

serta kondisi batu bara di Indonesia. Pembahasan-pembahasan dalam buku ini disusun dengan deskripsi dan ilustrasi-ilustrasi sederhana yang membantu pembaca memahami prosesnya.

Pada kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu menyiapkan penyusunan buku ini, yaitu Pinky Alifah Sosari dan Marizka Aviana Permatasari. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih pada mahasiswa-mahasiswa S-1, S-2, dan S-3 yang tergabung dalam Process System Engineering research group (PSErg), Departemen Teknik Kimia, FT, UGM, yang selalu memberi inspirasi dalam pengembangan bidang energi, juga kolega-kolega yang selalu men-*support* sehingga buku ini bisa kami selesaikan.

Terakhir, kami ingin menyampaikan permohonan maaf jika dalam penyusunan buku batu bara ini masih banyak kelemahan. Tentunya, masukan dan saran sangat kami harapkan agar edisi selanjutnya bisa lebih sempurna.

**Penulis**

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
<b>BAB 1</b> <b>PENGANTAR.....</b>	<b>1</b>
1.1    Sejarah Penggunaan Batu Bara.....	1
1.2    Jenis dan Klasifikasi Batu Bara.....	4
1.3    Pembentukan Batu Bara.....	10
1.4    Sumber Daya dan Cadangan Batu Bara.....	14
<b>BAB 2</b> <b>TEKNOLOGI PENAMBANGAN BATU BARA.....</b>	<b>19</b>
2.1    Pengantar.....	19
2.2    Tambang Bawah Tanah.....	20
2.3    Tambang Permukaan Tanah.....	23
2.4    Sistem Automasi.....	24
<b>BAB 3</b> <b>INDUSTRI PENGGUNA BATU BARA.....</b>	<b>27</b>
3.1 <i>Electric Power Generation</i> .....	28
3.2    Industri Baja.....	38
3.3    Industri Semen.....	44
<b>BAB 4</b> <b>TEKNOLOGI KONVERSI BATU BARA:</b>	
<b>COMBUSTION.....</b>	<b>49</b>
4.1 <i>Steam</i> dan Aplikasinya pada <i>Boiler</i> .....	50
4.2    Teori Pembakaran Batu Bara.....	51
4.3    Sistem Pembakaran Batu Bara.....	59
<b>BAB 5</b> <b>TEKNOLOGI KONVERSI BATU BARA: KARBONISASI</b>	
<b>BATU BARA.....</b>	<b>75</b>
5.1    Proses <i>Coking</i> .....	76

	5.2	Penyiapan Batu Bara untuk Proses <i>Coking</i> .....	79
	5.3	Kondisi Operasi Proses <i>Coking</i> .....	81
	5.4	Karbonisasi Suhu Rendah .....	82
BAB 6		TEKNOLOGI KONVERSI BATU BARA: PIROLISIS BATU BARA.....	87
	6.1	Tipe dan Produk Batu Bara .....	88
	6.2	Kinetika Pirolisis Batu Bara.....	91
	6.3	Macam Proses Pirolisis Batu Bara .....	96
BAB 7		TEKNOLOGI KONVERSI BATU BARA: GASIFIKASI BATU BARA.....	111
	7.1	Prinsip Gasifikasi Batu Bara .....	112
	7.2	Kinetika Gasifikasi Batu Bara.....	116
	7.3	Teknologi Gasifikasi Batu Bara .....	122
	7.4	<i>Underground Coal Gasification (UCG)</i> .....	129
	7.5	Jenis <i>Gasifier</i> .....	136
	7.6	Pengaruh Sifat Bahan (Batu Bara) pada Proses Gasifikasi.....	150
BAB 8		TEKNOLOGI KONVERSI BATU BARA: PENCAIRAN BATU BARA.....	157
	8.1	Prinsip Pencairan Batu Bara .....	157
	8.2	Pencairan Batu Bara secara Tidak Langsung: Sintesis Fischer-Tropsch .....	157
	8.3	Pencairan Batu Bara secara Langsung .....	160
	8.4	<i>Bio-Liquefaction</i> .....	170
BAB 9		<i>ELECTRIC POWER GENERATION</i> .....	173
	9.1	<i>Pulverized Coal System</i> .....	173
	9.2	<i>Fluidized Bed Combustion</i> .....	176
	9.3	<i>Integrated Gasification Combined-Cycle</i> .....	180
	9.4	<i>Integrated Gasification Fuel Cell System</i> .....	183
	9.5	<i>Magnetohydrodynamic Power Generation</i> .....	186
	9.6	<i>Combustion Turbine</i> .....	188
BAB 10		APLIKASI GAS HASIL GASIFIKASI BATU BARA.....	191
	10.1	Amonia dan Turunannya.....	191
	10.2	Metanol dan Turunannya .....	198

BAB 11	TEKNOLOGI BATU BARA BERSIH ( <i>CLEAN COAL TECHNOLOGY</i> ).....	209
11.1	<i>Coal Product Cycle</i> .....	209
11.2	Sistem Teknologi Batu Bara Bersih .....	210
11.3	Teknologi Bersih Penambangan dan Produksi Batu Bara .....	210
11.4	Teknologi Bersih <i>Coal-Fired Power Generation</i> .....	212
11.5	Teknologi Batu Bara Bersih pada Industri Semen dan Baja.....	223
11.6	Teknologi Bersih Perncairan Batu Bara ( <i>Coal Liquefaction</i> ) .....	234
11.7	Teknologi Bersih Pirolisis Batu Bara.....	238
11.8	Teknologi Bersih Batu Bara.....	241
11.9	Teknologi $CO_2$ Recovery.....	250
11.10	Teknologi Pengurangan $SO_x$ , $NO_x$ , dan Pembersihan Gas .....	260
11.11	<i>Co-Generation System</i> .....	270
BAB 12	PENGARUH PENAMBANGAN DAN PEMAKAIAN BATU BARA PADA LINGKUNGAN .....	273
12.1	Penambangan Batu Bara .....	274
12.2	Penyiapan Batu Bara .....	277
12.3	Transportasi Batu Bara.....	279
12.4	Pembakaran Batu Bara.....	279
12.5	Emisi Pembakaran Batu Bara .....	279
12.6	Pengendalian Emisi Polutan.....	284
BAB 13	TEKNIK ANALISIS .....	293
13.1	<i>Sampling</i> dan Penyiapan Sampel .....	295
13.2	Komposisi Batu Bara: <i>Proximate</i> dan <i>Ultimate Analysis</i> .....	304
13.3	Kandungan Mineral.....	309
13.4	Sifat Fisis dan Listrik .....	312
13.5	Sifat Termal .....	318
13.6	Sifat Mekanis .....	323
13.7	Sifat Spektroskopis .....	327

BAB 14	<i>EXERGETIC PROCESS ASSESSMENT</i> PADA GASIFIKASI BATU BARA .....	335
14.1	Konsep Eksergi .....	335
14.2	Analisis Eksergi pada Gasifikasi.....	345
BAB 15	BATU BARA INDONESIA.....	351
15.1	Tambang Batu Bara di Indonesia.....	351
15.2	Produksi dan Pemakaian Batu Bara Indonesia .....	353
15.3	Ekspor Batu Bara Indonesia.....	361
15.4	PLTU Batu Bara di Indonesia .....	364
15.5	KEBIJAKAN ENERGI BATU BARA DI INDONESIA.....	365
INDEKS	.....	373
TENTANG PENULIS	.....	375