



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

**Profesor Dwiwahju Sasongko**

**TANTANGAN PENGEMBANGAN  
TEKNOLOGI PEMROSESAN  
BATUBARA RAMAH LINGKUNGAN  
(*CLEAN COAL TECHNOLOGY*) DI INDONESIA**

10 Maret 2018  
Aula Barat Institut Teknologi Bandung

**Orasi Ilmiah Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung**  
10 Maret 2018

**Profesor Dwiwahju Sasongko**

**TANTANGAN PENGEMBANGAN  
TEKNOLOGI PEMROSESAN  
BATUBARA RAMAH LINGKUNGAN  
(*CLEAN COAL TECHNOLOGY*) DI INDONESIA**



Forum Guru Besar  
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: TANTANGAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PEMROSESAN  
BATUBARA RAMAH LINGKUNGAN  
(*CLEAN COAL TECHNOLOGY*) DI INDONESIA  
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,  
tanggal 10 Maret 2018.

**Hak Cipta dilindungi undang-undang.**

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

**UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis

Data katalog dalam terbitan

Dwiwahju Sasongko

TANTANGAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PEMROSESAN BATUBARA  
RAMAH LINGKUNGAN (*CLEAN COAL TECHNOLOGY*) DI INDONESIA  
Disunting oleh Dwiwahju Sasongko

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2018

vi+52 h., 17,5 x 25 cm

**ISBN 978-602-6624-13-0**

1. Teknik Kimia 1. Dwiwahju Sasongko

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Saya menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pimpinan dan Anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah ini pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar tanggal 10 Maret 2018.

Orasi ilmiah ini diberi judul **Tantangan Pengembangan Teknologi Pemrosesan Batubara Ramah Lingkungan (*Clean Coal Technology*) di Indonesia**, yang merupakan salah satu bentuk pertanggungjawaban akademik dan komitmen atas jabatan sebagai Guru Besar dalam bidang ilmu **Pemrosesan Batubara dan Biomassa**.

Semoga naskah orasi ilmiah ini dapat memberikan wawasan dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 10 Maret 2018

**Dwiwahju Sasongko**

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Pembentukan Batubara .....	1
1.2. Pemanfaatan Batubara .....	4
1.3. Pro dan Kontra Pemanfaatan Batubara .....	5
1.4. Batubara di Indonesia .....	7
1.5. Produksi dan Konsumsi Batubara di Indonesia .....	8
2. TANTANGAN PEMANFAATAN BATUBARA DI INDONESIA ..	8
3. TEKNOLOGI BATUBARA RAMAH LINGKUNGAN .....	13
3.1. Konsep Dasar Pemanfaatan Batubara .....	13
3.2. Teknologi Pemrosesan Batubara Ramah Lingkungan .....	14
4. PENELITIAN TEKNOLOGI BATUBARA RAMAH LINGKUNGAN .....	19
4.1. Pirolisis Batubara dan Biomassa .....	20
4.2. Tungku Unggun Terfluididakan Batubara .....	21
4.3. Biodesulfurisasi Batubara .....	22
4.4. Pencairan Batubara .....	22
4.5. Pemanfaatan Abu Terbang .....	23
4.6. Batubara Hibrida .....	24
4.7. Pendidikan dan Pembelajaran .....	25

4.8. Rekapitulasi Penelitian Batubara dan Biomassa .....	26
4.9. Kerjasama Industri .....	27
5. PENUTUP .....	29
6. UCAPAN TERIMA KASIH .....	30
7. DAFTAR PUSTAKA .....	33
CURRICULUM VITAE .....	41

## TANTANGAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PEMROSESAN BATUBARA RAMAH LINGKUNGAN (*CLEAN COAL TECHNOLOGY*) DI INDONESIA

### 1. PENDAHULUAN

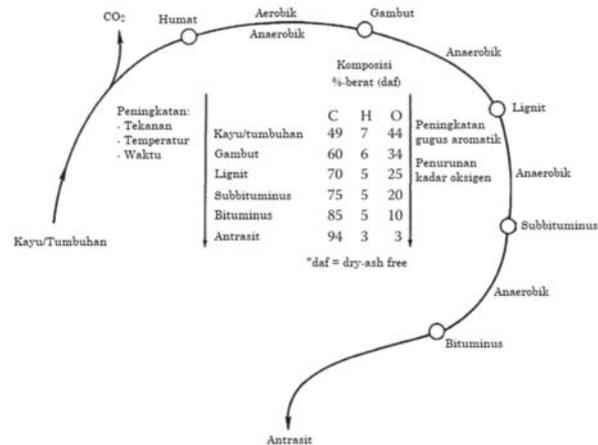
Pada saat ini, kebutuhan batubara sebagai bahan bakar untuk membangkitkan energi selalu meningkat. Meskipun pada beberapa tahun terakhir ini telah terjadi peningkatan penggunaan energi terbarukan, kebutuhan batubara tetap tinggi. Menurut laporan International Energy Agency (IEA, 2013), kebutuhan energi di Asia Tenggara akan meningkat hingga 80% dari 2013 ke 2035, dengan batubara sebagai pilihan bahan bakar utama.

#### 1.1. Pembentukan Batubara

Batubara didefinisikan sebagai endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan (UU 4/2009; Permen ESDM 9/2016). Di samping minyak bumi dan gas alam, batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil yang ditemukan dalam bentuk padat, bersifat rapuh (getas) dan dapat terbakar secara spontan dalam udara terbuka.

Pembentukan batubara berlangsung selama jutaan tahun mulai zaman Carboniferous (zaman pembentukan batubara pertama,

Mississippian dan Pennsylvanian, sekitar 360 - 290 juta tahun yang lalu) dan berlanjut pada zaman Permian, Triassic, Jurassic, Cretaceous, and Tertiary (sering disebut sebagai zaman pembentukan batubara kedua) pada 290 - 1,6 juta tahun yang lalu (Speight, 2013a). Proses pembentukan batubara ini sering disebut sebagai pematubaraan (*coalification*) dan dapat dijelaskan dengan fenomena seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pematubaraan (*coalification*)  
(diterjemahkan dari Speight, 2013a)

Gambar 1 menunjukkan perubahan yang terjadi mulai dari sisa tumbuhan (kayu) yang mengalami pemrosesan dalam kondisi aerobik dan anaerobik secara berurutan menjadi gambut, lignit, subbituminus, bituminus hingga antrasit. Pada pematubaraan ini terjadi perubahan kandungan karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara peringkat yang lebih tinggi memiliki rasio kandungan karbon terhadap hidrogen yang lebih

tinggi atau, dengan perkataan lain, memiliki nilai kalor yang lebih tinggi. Peningkatan peringkat batubara juga disertai dengan penurunan kadar oksigen dan peningkatan senyawa aromatik.

Berdasarkan nilai kalor, batubara dapat dibagi menjadi beberapa jenis yang berurutan dari peringkat terendah batubara, yaitu:

1. Lignit yaitu batubara peringkat paling rendah, memiliki warna coklat kehitaman dan komponen kayunya masih terlihat pada strukturnya. Lignit memiliki kadar air yang tinggi dan nilai kalor yang rendah dibandingkan batubara jenis lainnya.
2. Subbituminus memiliki warna hitam, masih dapat terlihat struktur kayunya, namun telah kehilangan sebagian kadar air dan memiliki nilai kalor yang rendah.
3. Bituminus yaitu batubara yang lebih padat, getas, memiliki warna hitam legam. Nilai kalornya pun cukup tinggi dan hanya memiliki sedikit kadar air.
4. Antrasit merupakan jenis batubara yang mengalami perubahan signifikan dari bentuk awalnya, berwarna hitam legam, keras dan rapuh, juga paling berkilau diantara ketiga jenis lainnya. Batubara ini memiliki kadar air rendah dan nilai kalor yang sangat tinggi.
5. Gambut ataupun grafit bukanlah batubara, namun keduanya merupakan produk awal dan akhir dari proses pematubaraan.

Untuk membedakan mutu batubara peringkat yang satu dengan lainnya, sejumlah sistem klasifikasi telah diterbitkan. American Standard for Testing Material (ASTM), standar yang sering digunakan di Indonesia

di samping Standar Nasional Indonesia (SNI), membagi batubara menjadi empat kelas utama. Pada batubara peringkat tinggi, yaitu bituminus dan antrasit, klasifikasi didasarkan pada kandungan karbon terikat dan bahan volatilnya. Untuk batubara peringkat rendah, yaitu subbituminus dan lignit, klasifikasi didasarkan pada nilai kalornya. Klasifikasi ASTM dapat ditemukan dalam berbagai pustaka (e.g. Speight, 2013a). Agar pengguna batubara tidak kesulitan dalam membandingkan satu jenis batubara dengan lainnya akibat adanya beragam sistem klasifikasi baik yang digunakan secara internasional maupun lokal di negara tertentu, Van Krevelen dan Schuyer (1957) dan Skorupska (1993) mengembangkan tabel/gambar perbandingan antar sistem klasifikasi ini.

## 1.2. Pemanfaatan Batubara

Batubara mulai digunakan oleh manusia pada zaman perunggu yaitu sekitar 3 abad sebelum masehi di Inggris dan sekitar 4 abad sebelum masehi di Cina. Saat itu batubara hanya digunakan sebagai bahan ornamen dan batuan untuk penandaan makam. Penggunaan batubara sebagai bahan bakar diketahui pertama kali dilakukan di Cina sejak 1100 tahun sebelum Masehi (Speight, 2013a).

Penggunaan batubara mulai populer dan dieksploitasi secara besar-besaran semenjak revolusi industri pada abad 18. Hal ini dipengaruhi oleh penemuan mesin uap oleh James Watt. Mesin ini dapat menggantikan tenaga yang sebelumnya dihasilkan oleh manusia dan hewan sehingga menjadikan kebutuhan terhadap batubara melonjak. Perdagangan

batubara semakin meningkat pesat pada abad awal 19, ketika mesin uap dapat dikembangkan menjadi mesin penggerak kereta api dan kapal laut. Eksploitasi batubara baru sedikit menurun pada pertengahan abad 20 dengan meluasnya penggunaan gas alam sebagai sumber energi baru (Speight, 2013a). Hingga saat ini, batubara masih banyak digunakan karena harganya yang relatif murah dan mudah diaplikasikan pada skala komersial.

## 1.3. Pro dan Kontra Pemanfaatan Batubara

Berdasarkan data International Energy Agency tahun 2014, batubara menyumbang 28,6% dari total konsumsi energi dunia dan 40,8% dari total produksi listrik dunia. Penggunaan batubara yang cukup tinggi tersebut tidak terlepas dari banyaknya keunggulan penggunaan batubara sebagai sumber energi dibandingkan sumber energi lain, diantaranya (Shah, 2011):

- Keandalan  
Pembangkit listrik yang menggunakan batubara dapat memasok listrik hampir 7 hari x 24 jam secara konstan.
- Biaya kapital rendah  
Biaya kapital pembangunan pembangkit listrik yang menggunakan batubara relatif lebih rendah dibandingkan sumber energi lain, yaitu sekitar 1-2 USD/watt. Akibatnya, pembangunan pembangkit listrik yang menggunakan batubara masih cukup masif dilakukan khususnya di negara-negara berkembang.

- **Harga murah**  
Harga batubara untuk pembangkit listrik relatif lebih murah dibandingkan sumber energi lain, yaitu sekitar 2-4 cent/kWh.
- **Cadangan yang berlimpah**  
Dengan cadangan batubara dunia dan laju konsumsi yang relatif sama dengan saat ini, cadangan batubara dunia diprediksi akan habis 200 tahun yang akan datang.
- **Teknologi pemanfaatan yang telah matang**  
Batubara telah cukup lama digunakan manusia sebagai sumber energi sehingga teknologi pemanfaatan batubara saat ini relatif lebih maju dibandingkan sumber energi lain.

Saat ini negara-negara maju mulai mengurangi penggunaan batubara dan menggantinya dengan sumber energi terbarukan. Aktivis-aktivis lingkungan dunia juga terus menyerukan penghentian penggunaan batubara sebagai sumber energi. Hal itu disebabkan batubara memiliki beberapa kelemahan, diantaranya (Shah, 2011):

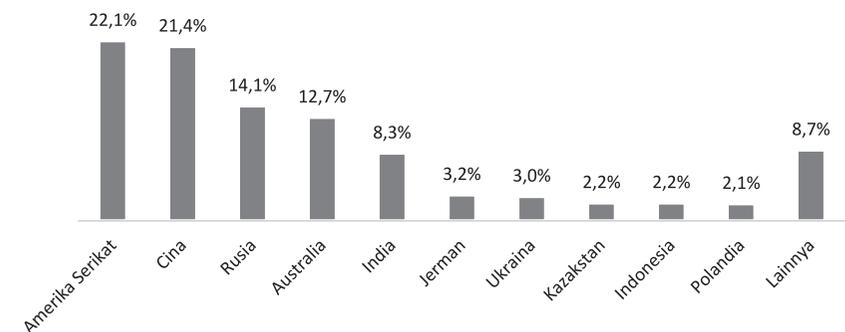
- **Emisi gas rumah kaca**  
Penggunaan batubara mengemisikan gas CO<sub>2</sub> per BTU yang tertinggi relatif terhadap sumber energi lain.
- **Emisi senyawa berbahaya**  
Utilisasi batubara mengemisikan gas-gas berbahaya seperti NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> yang dapat menyebabkan hujan asam. Logam-logam berbahaya seperti merkuri, arsen, selenium juga mencemari udara dan air disekitar pembangkit listrik dari batubara.

- **Kerusakan ekosistem sekitar tambang**  
Kegiatan penambangan batubara menyebabkan kerusakan lingkungan dan ekosistem pada lokasi tambang tersebut.

#### 1.4. Batubara di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya dan cadangan batubara yang cukup banyak. Berdasarkan data (BP, 2017), Indonesia memiliki cadangan terbukti batubara sebesar 25.573 juta ton. Dari jumlah cadangan tersebut, Indonesia menempati urutan ke-9 cadangan batubara dengan 2,2% total cadangan dunia seperti pada Gambar 2.

Dari data seperti pada Gambar 2, potensi pengembangan batubara di Indonesia masih cukup tinggi. Menurut data Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara pada tahun 2015, cadangan batubara terbesar terkonsentrasi di Pulau Kalimantan sekitar 57,6% dan Sumatera sekitar 42,4%, sedangkan di tempat lain potensinya tidak terlalu besar.



Gambar 2. Cadangan batubara dunia (BP, 2017)

### 1.5. Produksi dan Konsumsi Batubara di Indonesia

Menurut data Kementerian ESDM Indonesia pada tahun 2017, angka produksi batubara di Indonesia tercatat sangat tinggi. Sepanjang tahun 2016, Indonesia memproduksi 456 juta ton batubara. Indonesia menempati 5 besar produksi batubara dunia dengan total 7,0% dari produksi batubara dunia (BP, 2017). Namun, nilai tersebut turun 1,1% dari angka produksi batubara Indonesia pada tahun 2015 yang mencapai angka 461 juta ton (KESDM, 2017).

Dengan posisi sebagai produsen batubara besar dunia, sekitar 80% batubara produksi Indonesia diekspor sebagai bahan mentah ke beberapa negara seperti Cina, India, Korea dan Jepang. Pemerintah Indonesia melalui berbagai kebijakan mendorong pemanfaatan domestik serta mengurangi dan bahkan menghentikan ekspor batubara sebagai bahan mentah (PP79/2014).

## 2. TANTANGAN PEMANFAATAN BATUBARA DI INDONESIA

Seiring dengan semakin meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk, kebutuhan energi di Indonesia merupakan suatu hal yang tidak dapat dielakkan. Di sisi lain, adanya tantangan yang dihadapi Indonesia yaitu pasokan energi semakin menurun yang disebabkan tidak seimbangnya laju ketersediaan energi dengan kebutuhan energi. Oleh karena itu, perlu adanya perubahan paradigma pemanfaatan energi, yang mulanya untuk kepentingan devisa menjadi untuk kepentingan rakyat.

Hal ini seperti diamanatkan dalam Pasal 33 ayat 3 UUD 1945 bahwa bumi, air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Dalam konteks ini, kekayaan alam sebagai sumber energi terpenting harus dikelola secara optimal untuk menjamin ketersediaan energi sepanjang waktu.

Dalam rangka memastikan ketersediaan energi berkelanjutan, Pemerintah bersama Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) telah menerbitkan UU 30/2007 dan secara spesifik ketentuan tentang pertambangan mineral dan batubara juga ditetapkan dengan UU 4/2009. Seperti dijabarkan dalam Rencana Strategis Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara 2015-2019 (Ditjen Minerba, 2015), kebijakan yang berkaitan dengan kebutuhan energi lebih difokuskan dengan harapan konsumsi energi tidak selalu mengandalkan minyak bumi.

Dewan Energi Nasional (DEN), lembaga yang dibentuk berdasarkan UU 30/2007, berhasil merumuskan Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan telah ditetapkan dalam PP79/2014. Untuk pemenuhan penyediaan energi dan pemanfaatan energi, diperlukan pencapaian sasaran kebijakan energi nasional. Menurut PP ini, bauran energi primer yang optimal dijabarkan dengan ketentuan (Pasal 9 huruf a PP79/2014):

1. pada tahun 2025 peran Energi Baru dan Energi Terbarukan paling sedikit 23% (dua puluh tiga persen) dan pada tahun 2050 paling sedikit 31% (tiga puluh satu persen) sepanjang keekonomiannya terpenuhi;

2. pada tahun 2025 peran minyak bumi kurang dari 25% (dua puluh lima persen) dan pada tahun 2050 menjadi kurang dari 20% (dua puluh persen);
3. pada tahun 2025 peran batubara minimal 30% (tiga puluh persen), dan pada tahun 2050 minimal 25% (dua puluh lima persen); dan
4. pada tahun 2025 peran gas bumi minimal 22% (dua puluh dua persen) dan pada tahun 2050 minimal 24% (dua puluh empat persen).

Ketersediaan energi untuk kebutuhan nasional dipenuhi dengan (Pasal 10 ayat (1) huruf d):

*mengurangi ekspor energi fosil secara bertahap terutama gas dan batubara serta menetapkan batas waktu untuk memulai menghentikan ekspor.*

Dan untuk mewujudkan keseimbangan keekonomian energi prioritas pengembangan energi nasional didasarkan pada prinsip (Pasal 11 ayat 2 huruf d)

*menggunakan batubara sebagai andalan pasokan energi nasional.*

Pemanfaatan sumber daya energi nasional dilaksanakan oleh Pemerintah dan/atau Pemerintah Daerah mengacu pada strategi berikut (Pasal 12 ayat 1 huruf h, i dan j):

- h. pemanfaatan Sumber Energi batubara untuk ketenagalistrikan dan industri;
- i. pemanfaatan Sumber Energi Baru berbentuk cair yaitu batubara tercairkan (*liquified coal*) dan hidrogen untuk transportasi;

- j. pemanfaatan Sumber Energi Baru berbentuk padat dan gas untuk ketenagalistrikan;

Diversifikasi energi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilaksanakan paling sedikit melalui (Pasal 18 ayat 2 huruf d dan e):

- d. peningkatan pemanfaatan batubara kualitas rendah untuk pembangkit listrik tenaga uap mulut tambang, batubara tergasakan (*gasified coal*) dan batubara tercairkan (*liquified coal*); dan
- e. peningkatan pemanfaatan batubara kualitas menengah dan tinggi untuk pembangkit listrik dalam negeri.

Pemilihan batubara sebagai andalan pasokan energi nasional sangatlah sesuai mengingat cadangan batubara di Indonesia yang besar dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya. Pada tahun 2016, cadangan batubara Indonesia mencapai 28 miliar ton dan dengan laju produksi saat ini, diperkirakan cadangan batubara tersebut akan habis dalam kurun waktu 70 tahun jika tidak ditemukan cadangan baru. Potensi lain yang dimiliki oleh batubara adalah harga pasar yang kompetitif dan industri berbasis batubara yang mengalami peningkatan pesat. Hal ini mendorong kebutuhan batubara yang diproyeksikan akan meningkat hingga 7 kali pada tahun 2050 dibandingkan tahun 2015 (BPPT, 2017).

Hal yang menjadi perhatian utama dalam pemanfaatan batubara adalah isu lingkungan. Penggunaan batubara sebagai sumber energi menghasilkan emisi gas CO<sub>2</sub> yang cukup besar yang dapat memicu terjadinya peningkatan suhu global. Untuk itu peran teknologi batubara

bersih sangat besar dalam pemrosesannya. Selain itu, batas emisi lingkungan dari hasil proses yang menggunakan bahan bakar batubara telah diatur dalam Permen LH7/2007 pasal 3 huruf d.

Berdasarkan data (BPPT, 2017), pangsa kebutuhan batubara untuk pembangkit listrik pada tahun 2050 mencapai 79%. Hal ini dapat menjadi tantangan dan potensi tersendiri dalam pengembangan teknologi batubara bersih. Dengan semakin banyaknya riset mengenai teknologi batubara bersih yang dilakukan, maka pemanfaatan batubara tidak hanya sekedar memenuhi kebutuhan pembangkit listrik saja tapi juga memenuhi aspek lingkungan dalam pengolahannya.

Namun, pada tahun 2015 hanya 20,7% dari total produksi batubara digunakan untuk kebutuhan domestik sedangkan sekitar 79,3% diekspor ke berbagai negara (KESDM, 2017). Melihat kenyataan tersebut, Indonesia menjadi negara eksportir batubara terbesar di dunia. Padahal, menurut data (BP, 2017, cadangan batubara Indonesia hanya 2,2% dari total cadangan dunia. Dari cadangan-cadangan yang tersedia di bumi, terdapat batubara yang bersifat tidak ekonomis jika ditambah karena letaknya yang sulit dijangkau. Dengan adanya teknologi gasifikasi batubara bawah tanah, cadangan batubara tersebut memungkinkan untuk ditambah sehingga dapat digunakan untuk proses pembangkitan listrik maupun kebutuhan industri lainnya.

Pasal 5 ayat 1 dan 2 UU 4/2009 menetapkan bahwa

- (1) *Untuk kepentingan nasional, Pemerintah setelah berkonsultasi dengan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia menetapkan kebijakan*

*pengutamakan mineral dan/atau batubara untuk kepentingan dalam negeri;*

- (2) *Kepentingan nasional sebagaimana dimaksud pada ayat 1 dapat dilakukan dengan pengendalian produksi dan ekspor.*

Peraturan perundangan di atas mendorong pemanfaatan batubara untuk keperluan domestik. Dengan menurunnya ekspor batubara juga berarti peluang untuk pengembangan teknologi bersih dan implementasinya semakin besar.

### 3. TEKNOLOGI BATUBARA RAMAH LINGKUNGAN

#### 3.1. Konsep Dasar Pemanfaatan Batubara

Sebagian besar pemanfaatan batubara skala komersial adalah untuk pembangkitan listrik dan panas di industri menggunakan proses termal terhadap umpan batubara. Setelah mencapai temperatur sekitar 200°C, batubaramengalami dekomposisi termal yaitu terengkahnya komponen penyusun batubara (bahan volatil) menjadi komponen dengan molekul yang lebih pendek (Speight, 2013a). Dekomposisi termal, yang sering juga disebut sebagai pirolisis, karbonisasi, dan devolatilisasi, melepaskan komponen yang dapat terbakar (*combustible*) dan tidak dapat terbakar (*non-combustible*) dalam fasa padat, cair dan gas. Komposisi dan kualitas komponen tergantung pada kondisi operasi seperti jenis batubara, ukuran partikel batubara, laju pemanasan, temperatur dan tekanan (Miller, 2011; Speight, 2013a).

Teknologi pemanfaatan batubara (e.g. Basu, 2006; Bell, dkk., 2011; Gavalas, 1982; Miller, 2005; Miller, 2011; Oka, 2004; Speight, 2013a; Spliethoff, 2010) di mana batubara mengalami dekomposisi termal adalah:

- Karbonisasi: pembuatan arang batubara, kokas ataupun produk cair dengan kualitas tertentu sebagai umpan untuk produksi bahan kimia.
- Pembakaran: pembangkitan listrik dan panas menggunakan tungku-tungku komersial seperti tungku unggun tetap (*fixed bed, stoker*), tungku entrainmen (*entrained bed, pulverized firing*), dan tungku unggun terfluidakan (*fluidized bed*). Perbedaan utama ketiga jenis tungku ini terdapat pada ukuran umpan batubara, temperatur dan emisi.
- Gasifikasi: konversi batubara menjadi gas (sering disebut *synthesis gas* atau *producer gas*) secara termal. Produk gas ini dapat dibakar langsung untuk pembangkitan panas atau sebagai umpan pada produksi bahan kimia.
- Likuifaksi: pencairan batubara baik secara langsung maupun tidak langsung melalui gasifikasi. Produk konversi batubara menjadi bahan bakar cair ini lebih mudah disimpan dan ditransportasikan dibandingkan dengan batubara (padat).

### 3.2. Teknologi Pemrosesan Batubara Ramah Lingkungan

Batubara merupakan sumber energi dengan emisi pembakaran paling tinggi dibanding bahan bakar fosil lainnya. Pembakaran batubara menghasilkan emisi yang dapat menimbulkan efek buruk terhadap

lingkungan, seperti pemanasan global, hujan asam, dan menimbulkan polusi pada udara, perairan, hingga tanah. Meskipun demikian, batubara hingga saat ini masih menempati posisi teratas sebagai bahan bakar yang komersial digunakan di industri. Di Indonesia, batubara akan tetap menempati posisi kedua sebagai bahan energi utama hingga tahun 2035 (BP, 2017).

Teknologi pemrosesan batubara ramah lingkungan (*clean coal technology*) adalah upaya untuk mengurangi dampak buruk pembangkitan energi dari batubara terhadap lingkungan. Teknologi batubara ramah lingkungan dapat dilakukan melalui berbagai metode seperti penanganan emisi-emisi pembakaran batubara, pemanfaatan produk samping pembakaran batubara, peningkatan efisiensi teknologi pembakaran batubara, dan pengurangan konsumsi batubara dalam pembakaran.

Secara prinsip, pengembangan teknologi batubara ramah lingkungan dapat dikelompokkan menjadi 4 aspek utama (Guan, 2017):

- (i) peningkatan kinerja teknologi konvensional,
- (ii) pengembangan teknologi pemanfaatan yang baru,
- (iii) pengurangan emisi CO<sub>2</sub> serta
- (iv) pengurangan emisi-emisi lainnya, seperti SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dan partikulat.

Beberapa teknologi batubara bersih melakukan pemurnian batubara maupun perlakuan awal lain terhadap batubara sebelum memasuki tahapan pembakaran, seperti *coal washing*, yaitu upaya penghilangan

mineral-mineral yang tidak diinginkan dalam batubara dengan mencampurkan batubara dengan pelarut kimiawi maupun biologis. Selain itu, terdapat pula teknologi *indirect coal combustion* dengan mengonversi batubara menjadi gas sintesis.

Pembakaran batubara tidak langsung (*Indirect Coal Combustion*) dapat dilakukan melalui dua rute, yaitu rute gasifikasi dan rute pencairan batubara (likuifaksi). Salah satu teknologi gasifikasi batubara yang telah banyak diaplikasikan di industri adalah *Integrated Gasification Coal Combustion* (IGCC), yaitu metode pembangkitan energi dari batubara dengan mengubah batubara menjadi gas sintesis ( $\text{CO}$  dan  $\text{H}_2$ ) sebelum memasuki ruang bakar. Pembakaran gas sintesis menghasilkan emisi yang jauh lebih rendah dibanding batubara. Pada rute pencairan batubara, beberapa teknologi komersial adalah NEDO-Jepang dan *Brown Coal Liquefaction* (BCL) yang menggunakan pencairan batubara langsung serta Sasol yang menggunakan teknologi pencairan batubara melalui rute gasifikasi menjadi gas sintesis yang selanjutnya dikonversi dengan teknologi lain (seperti Fischer-Tropsch) menjadi bahan bakar cair (Speight, 2013a).

Teknologi batubara bersih lain berfokus pada pengurangan emisi-emisi hasil pembakaran seperti sulfur dioksida, nitrogen oksida, maupun partikulat. Pengurangan emisi dapat berupa penambahan unit operasi lain untuk menangkap emisi pembakaran, modifikasi teknologi pembakaran batubara konvensional, ataupun teknologi pemanfaatan produk samping pembakaran.

*Flue Gas Desulfurization* (FGD) merupakan salah satu teknologi komersial yang digunakan untuk mengurangi emisi sulfur dioksida, penyebab terjadinya hujan asam. Gas cerobong yang keluar dari ruang pembakaran akan dikontakkan langsung dengan air dan batu kapur. Sulfur dioksida pada aliran gas cerobong akan bereaksi dengan campuran air dan batu kapur membentuk gipsum. Selain itu, pengurangan kadar emisi sulfur dioksida juga dapat dilakukan dengan metode *Fluidized Bed Combustion* (FBC). Prinsip teknologi FBC adalah penggunaan unggun yang berisi padatan inert seperti pasir atau abu dengan penambahan batu kapur. Ketika *start-up*, reaktor dipanaskan dengan minyak atau gas, sedangkan ketika temperatur panas tercapai, batubara diumpankan sebagai bahan bakar pengganti minyak atau gas tersebut. Selain mengurangi  $\text{SO}_x$ , penggunaan FBC juga mampu mengurangi emisi  $\text{NO}_x$  karena beroperasi pada temperature yang relatif rendah dibandingkan tungku entrain (*Pulverized Firing*, PF). Pengurangan sulfur juga dapat dikurangi pada tahap sebelum pembakaran (*pre-combustion*). Teknologi ini dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu secara fisika, kimia, dan biologi, menggunakan bahan organik dan anorganik.

Teknologi pemanfaatan batubara yang saat ini banyak dipakai, salah satunya adalah *Pulverized Firing* (PF) pada suhu tinggi, yaitu  $1200\text{-}1400^\circ\text{C}$ . Akan tetapi, teknologi ini kurang efisien dibandingkan dengan FBC dari segi temperatur operasi, jumlah emisi  $\text{NO}_x$ , serta ukuran partikel yang digunakan. Keunggulan FBC ini dicirikan oleh penggunaan temperatur operasi antara  $800$  hingga  $900^\circ\text{C}$ , penggunaan partikel yang lebih besar

dibanding PF sehingga mengurangi energi untuk *grinding*, koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi sehingga membutuhkan ukuran peralatan yang lebih kecil, penggunaan jenis batubara yang beragam, serta potensi *fouling* yang lebih rendah. Terdapat berbagai macam tipe FBC, di antaranya adalah *Atmospheric Fluidized Bed Combustion* (AFBC), *Pressurized Fluidized Bed Combustion* (PFBC), dan *Circulating Fluidized Bed Combustion* (CFBC).

Pengurangan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada pengolahan batubara dapat diatasi dengan teknologi *co-combustion* (*co-firing*). Teknologi ini mampu memanfaatkan limbah biomassa sebagai umpan pembakaran atau pemanasan bersama dengan batubara. Pencampuran batubara dengan biomassa ini juga mampu meningkatkan nilai bakar biomassa, selain mengurangi emisi CO<sub>2</sub> karena CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada pembakaran biomassa dianggap netral. Selain itu, terdapat pula teknologi penyimpanan dan penyiapan karbon dioksida di bawah tanah dalam waktu yang lama (*CO<sub>2</sub> Capture and Sequestration*, CCS). Usaha ini mampu mengurangi jumlah CO<sub>2</sub> yang terdapat di atmosfer, sehingga mengurangi efek buruk pemanasan global. Akan tetapi, penyimpanan CO<sub>2</sub> ini memerlukan pengamanan yang baik untuk mencegah bahaya akibat paparan CO<sub>2</sub>.

Ulasan tentang teknologi batubara ramah lingkungan dan dampak terhadap pemanfaatan batubara juga dapat diperoleh di beberapa artikel seperti yang ditulis oleh Chang dkk. (2016), Klupa (2016), Na dkk. (2015), dan Tang dkk. (2015).

#### 4. PENELITIAN TEKNOLOGI BATUBARA RAMAH LINGKUNGAN

Dalam rangka berpartisipasi pada pengembangan teknologi batubara ramah lingkungan, saya telah melakukan berbagai penelitian terkait batubara. Penelitian ini dilakukan bekerja sama dengan sejumlah peneliti dari berbagai lembaga/instansi yang sama-sama memiliki ketertarikan dalam pengembangan teknologi batubara bersih. Penelitian juga memperhatikan perkembangan teknologi pemrosesan batubara komersial seperti telah diuraikan sebelumnya.

Pengenalan saya dengan penelitian batubara dimulai sekitar 30 tahun yang lalu saat saya menempuh program PhD di University of New South Wales, Australia. Prof. John F. Stubington, dosen di Department of Fuel Technology, School of Chemical Engineering and Industrial Chemistry, Faculty of Engineering (nama departemen, sekolah dan fakultas saat itu berbeda dengan penamaan saat ini) mengajak saya untuk bergabung dalam penelitian tentang pemanfaatan batubara. Beliau menjadi supervisor yang mengarahkan saya dan mahasiswa-mahasiswa program BSc, MSc dan PhD lainnya untuk bekerja sama dalam grup batubara.

Sebelum menekuni bidang pemrosesan batubara, saya mulai menekuni bidang pemrosesan biomassa secara termal melalui gasifikasi dalam Proyek JTA 9a (Indonesia dan Belanda). Proyek yang dipimpin oleh Prof. Soehadi Reksowardojo (alm) juga melibatkan beberapa dosen yakni Prof. Sudarno Hardjosuparto (alm), Dr. Soepardi Ghazali (alm), Prof. Herri Susanto, dan Dr. Robert Manurung (sekarang di SITH ITB). Pada

pelaksanaan proyek ini saya menyelesaikan tesis magister saya dengan judul “Model Partikel Tunggal untuk Pirolisa Kayu pada Proses Gasifikasi di dalam Reaktor Unggun Bergerak Searah”.

Untuk selanjutnya, bagian ini menguraikan sejumlah kegiatan penelitian dan kerjasama industri yang saya lakukan pada pemanfaatan batubara di Indonesia yang mendukung dalam pengembangan teknologi pemrosesan batubara ramah lingkungan.

#### 4.1. Pirolisis Batubara dan Biomassa

Pirolisis yang terjadi setelah batubara mengalami pemanasan pada proses termal menjadi sangat penting karena akan mempengaruhi proses selanjutnya. Pada proses pirolisis atau dengan terminologi lain seperti pada Bagian 3.1, batubara akan melepaskan bahan volatil. Melalui analisis proksimat, batubara dapat dikarakterisasi kandungan karbon terikat, bahan volatile, air (kelembaban) dan abu (e.g. Miller, 2011; Speight, 2013a).

Kondisi proses pirolisis menentukan jumlah dan kualitas produk padat, cair dan gas yang dihasilkan. Dengan demikian, tujuan pirolisis berbeda-beda satu dengan lainnya (e.g. Gavalas, 1982; Sasongko dkk., 2016). Selain batubara, pirolisis juga dapat dilakukan pada biomassa (Sasongko, 1987). Pirolisis pada temperatur yang lebih rendah (200 - 300°C) atau sering disebut sebagai torefaksi (*torrefaction*) sering digunakan untuk mengubah karakteristik biomassa agar menyerupai batubara (e.g. Sasongko dkk., 2018), seperti nilai kalor yang lebih tinggi, lebih hidrofobik dan lebih mudah digerus. Saya memilih pirolisis batubara dan biomassa

sebagai bidang yang sangat ditekuni. Lebih dari 30 publikasi yang membahas aspek pirolisis telah diterbitkan baik dalam jurnal maupun prosiding (lihat Tabel 1).

#### 4.2. Tungku Unggun Terfluidakan Batubara

Dengan judul tesis PhD “Devolatilization of a Single Fragmenting Coal Particle in Fluidized Bed Combustion” saya melakukan penelitian untuk mengamati fenomena mulai partikel batubara diumpankan ke dalam FBC. Sejumlah mahasiswa BSc membantu melakukan eksperimen untuk mengamati fragmentasi atau pecahnya partikel batubara selama proses devolatilisasi.

Secara umum, penggunaan FBC adalah kemajuan teknologi dibandingkan dengan tungku yang lebih dahulu digunakan pada skala komersial yaitu tungku unggun tetap (*stoker*) dan PF. FBC menawarkan sejumlah keunggulan dibandingkan dengan PF (Speight, 2013a) seperti (i) temperatur operasi yang lebih rendah (800-900°C) sehingga lebih sedikit menghasilkan NO<sub>x</sub>, (ii) tidak memerlukan partikel lebih kecil (diameter 1-40 mm) sehingga lebih menghemat energi untuk penggerusan, (iii) koefisien perpindahan lebih besar sehingga ukuran alat lebih kecil, dan (iv) dapat dilakukan penambahan batukapur sebagai partikel unggun sehingga dapat menangkap SO<sub>x</sub>.

Penelitian ini berlanjut sampai sekarang seperti dituliskan dalam publikasi (Chairul dkk., 1999; Goenawan dkk., 2001; Herawati dan Sasongko, 2000; Sasongko dan Stubington, 1996; Sasongko dkk., 2018).

Dengan memahami fragmentasi, perancangan tungku dapat dilakukan lebih baik karena salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja/efisiensi FBC adalah ukuran partikel batubara.

#### 4.3. Biodesulfurisasi Batubara

Salah satu unsur dalam batubara yang menyebabkan emisi pada pembakaran adalah sulfur. Sulfur terdapat dalam bentuk sulfur organik, sulfur anorganik (pirit) dan sulfat (Gökçay dan Yurteri, 1990). Penyisihan sulfur dapat dilakukan dengan tiga metode yaitu fisik, kimiawi dan biologik (e.g. Speight, 2013a). Saya telah melakukan sejumlah penelitian penyisihan sulfur secara biologik menggunakan *Thiobacillus ferrooxidans* (Prayuenyong, 2002). Mikroorganisme ini dapat menyisihkan sulfur organik (e.g. Listiarini dkk, 2003; Sasongko dkk, 2008) meski proses berlangsung lambat jika dibandingkan dengan penyisihan kimiawi. Lebih dari sepuluh makalah tentang biodesulfurisasi telah saya publikasikan dalam jurnal dan prosiding.

#### 4.4. Pencairan Batubara

Batubara dapat dicairkan secara termal melalui rute langsung dan tidak langsung (Speight, 2013a). Saat ini, proses termal telah diimplementasikan secara komersial. Saya dan teman sejawat melakukan penelitian dalam lingkup ini dengan pendanaan dari beberapa sumber dan telah mempublikasikan hasilnya (Ningrum dkk., 1999). Pencairan batubara akan menghasilkan bahan bakar cair yang bebas abu.

Selain secara termal, pencairan batubara dapat dilakukan secara biologik (e.g. Fakoussa dan Hofrichter, 1999). Dengan menggunakan kapang (misal *Trichoderma asperellum*), enzim yang terkandung akan menguraikan komponen penyusun batubara seperti lignin. Ulasan tentang proses biosolubilisasi ini dibahas dalam rubrik Ilmu dan Teknologi berjudul “Emas Hitam Cair van Bandung” majalah Tempo edisi 17 Januari 2016. Mimpi saya adalah bahwa mikroba akan membalik proses alam di mana batubara akan menjadi cair secara *in situ*. Tentu penelitian yang telah dipublikasikan dalam 5 jurnal dan 3 prosiding (lihat publikasi dalam CV) ini masih memerlukan waktu lama untuk dapat diterapkan secara komersial.

Penelitian biosolubilisasi batubara masih dilanjutkan sampai sekarang untuk mengamati pengaruh variabel utama terhadap perolehan produk cair batubara yang dihasilkan menggunakan *Trichoderma asperellum* dan *Neurospora sp.* Perlu terobosan dalam bidang mikrobiologi agar proses biologik yang umumnya lambat ini dapat dipercepat. Dengan perolehan bahan bakar cair dari batubara, maka tidak dihasilkan abu. Sisa abu berada di tempat pemrosesan bahan bakar padat menjadi cair di pabrik/kilang pencairan batubara.

#### 4.5. Pemanfaatan Abu Terbang

Abu terbang (*fly ash*) dan abu bawah (*bottom ash*) merupakan produk padat pada pembakaran batubara. Menurut Permen LH 7/2007, abu batubara merupakan limbah B3. Setiap hari PLTU Batubara membuang

abu produk pembakaran. Sekalipun demikian, abu batubara ini tidak menimbulkan permasalahan besar terhadap lingkungan karena langsung dimanfaatkan oleh pabrik semen pada pembuatan klinker.

Abu batubara juga sering digunakan untuk keperluan konstruksi sipil seperti jalan (Speight, 2013a). Melalui kerjasama dengan PT YTL Jawa Timur, saya dengan rekan dosen melakukan penelitian untuk melakukan sintesis abu terbang batubara menjadi zeolit (Auerbach dkk, 2003). Zeolit komersial dapat digunakan sebagai katalis atau adsorben seperti dilaporkan dalam makalah yang saya tulis dengan rekan peneliti (Panca dkk., 2014; Pratama dkk., 2007; Rasrendra dkk., 2017).

#### 4.6. Batubara Hibrida

Batubara hibrida adalah bahan bakar padat yang terbuat dari campuran batubara dengan biomassa dengan komposisi tertentu melalui proses ko-pirolisis. Batubara yang digunakan sebagai umpan umumnya adalah batubara peringkat rendah dan menengah dengan memanfaatkan limbah biomassa (e.g. Jeong dkk., 2015; Lee dkk., 2013; Park dkk., 2010).

Batubara hibrida memiliki potensi komersial yang tinggi karena cadangan batubara peringkat rendah yang besar dan ketersediaan limbah biomassa yang belum dimanfaatkan. Bahan bakar padat ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan umpan batubara dan biomassa. Dibandingkan dengan umpan, batubara hibrida memiliki nilai kalor yang lebih tinggi, kandungan air yang lebih rendah, bersifat lebih hidrofobik dan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah karena pembakaran biomassa yang

terkandung dalam batubara hibrida CO<sub>2</sub> netral yang bersumber dari biomassa (Sasongko dkk., 2017; Sasongko dkk., 2018). Dengan demikian batubara hibrida merupakan bahan bakar pada yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan umpan batubara.

#### 4.7. Pendidikan dan Pembelajaran

Matakuliah pilihan tentang batubara (pada kurikulum 2013 bernama TK4027 Kimia dan Teknologi Batubara dan TK5007 Teknologi Pemrosesan Batubara), yang membahas teknologi pemrosesan dan aspek-aspek lainnya, ditawarkan kepada mahasiswa ITB mulai kurikulum tahun 1993. Peserta kuliah kebanyakan dari Program Studi Sarjana, Magister, dan Doktor Teknik Kimia. Selain mahasiswa teknik kimia, kuliah ini juga diikuti oleh mahasiswa program studi sarjana, magister dan doktor dari fakultas/sekolah lainnya, seperti kimia, teknik mesin dan teknik lingkungan. Di samping tugas, kuis dan ujian, setiap mahasiswa diwajibkan menyusun (dan beberapa mahasiswa mempresentasikan di kelas) makalah dengan topik yang dipilih oleh mahasiswa atau ditentukan oleh dosen. Makalah dapat berisi (i) tinjauan pustaka, (ii) hasil eksperimen singkat, atau (iii) kajian teoritik sederhana. Makalah disusun dengan mengikuti format jurnal internasional sehingga siap untuk dikembangkan lebih lanjut agar memenuhi syarat untuk dipresentasikan dalam seminar atau dipublikasikan dalam jurnal. Pendalaman dan perbaikan makalah dilakukan setelah perkuliahan dan mahasiswa telah mendapatkan nilai. Beberapa makalah dipresentasikan dalam seminar (e.g. Prasetyo, 2014)

dan bahkan dipublikasikan dalam jurnal internasional (e.g. Sasongko, 2016).

Dengan membahas capaian pembelajaran (*learning outcome*) setelah Prodi Sarjana Teknik Kimia terakreditasi ABET (*Accreditation Board of Engineering dan Technology*) pada tahun 2011, sebuah makalah yang menganalisis capaian pembelajaran kuliah pilihan ini pada tahun 2014 dan 2015 dipublikasikan dalam jurnal *Chemical Engineering Transactions* (Wulandari dan Sasongko, 2017). Makalah ini juga membahas strategi pembelajaran dan hal-hal terkait lainnya dengan mengangkat tema pemrosesan batubara ramah lingkungan. Peningkatan mutu berkelanjutan perkuliahan ini dapat terus dilakukan dengan penyusunan portofolio dan analisis capaian pembelajaran dengan kriteria ABET.

#### 4.8. Rekapitulasi Penelitian Batubara dan Biomassa

Seperti telah diuraikan, penelitian-penelitian yang telah atau sedang saya lakukan mengamati dan mengkaji sejumlah aspek penting yang diharapkan dapat mendukung pengembangan teknologi pemrosesan batubara ramah lingkungan, seperti peningkatan efisiensi proses, pengurangan emisi dan pemanfaatan produk samping dan limbah pemrosesan batubara. Aspek yang ditinjau, jumlah topik/judul yang memperoleh bantuan pendanaan dan keluaran dalam bentuk publikasi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Penelitian Pemrosesan Batubara dan Biomassa\*)

No	Proses/aspek yang ditinjau	Jumlah pendanaan dalam/luar negeri	Jumlah publikasi jurnal/prosiding internasional/nasional
1	Pirolisis, torefaksi, devolatilisasi, karbonisasi,	13	32
2	Pembakaran	5	26
3	Gasifikasi	2	15
4	Likuifaksi (termal, biologik)	4	10
5	Fragmentasi	2	5
6	Peningkatan mutu (desulfurisasi biologik, kimiawi dan pengeringan)	1	13
7	Pemanfaatan limbah (sintesis zeolit dan karbon aktif dari abu terbang)		3
8	Gas metana batubara (CBM)		1 (draft)
9	Pendidikan dan pembelajaran		1

\*) melibatkan lebih dari 150 mahasiswa program sarjana, magister dan doktor

Hingga saat ini, saya tetap konsisten melakukan penelitian batubara dan biomassa. Penelitian tentang batubara lebih aktif dilaksanakan dalam kurun tahun 1995 – sekarang. Keterlibatan aktif mahasiswa dalam penelitian ini juga berarti penyiapan sumber daya manusia dalam pengembangan teknologi batubara bersih.

#### 4.9. Kerjasama Industri

Saya terlibat kerjasama industri (Gambar 3) dalam pengembangan teknologi bersih termasuk pada penambangan batubara. Pada kerjasama dengan PT Kaltim Prima Coal (KPC), sebuah perusahaan pertambangan

batubara swasta besar di Indonesia, saya bergabung dalam satu tim dengan dosen dari berbagai latar belakang, seperti Prof. Rudy S. Gautama dan Dr. Suseno Kramadibrata dari Teknik Pertambangan, Prof. Asis H. Djajadiningrat (alm) dan Dr. Agus J. Effendi dari Teknik Lingkungan. Kami melakukan kajian pemanfaatan oli pelumas bekas guna menggantikan bahan bakar untuk bahan peledak tambang ANFO. Penggunaan oli pelumas bekas dengan volum jutaan liter per tahun berhasil mengurangi penggunaan BBM yang berarti penghematan biaya operasional tetapi juga berarti mendukung teknologi batubara bersih.



Gambar 3. Kegiatan di industri yang berkaitan dengan batubara

Saya aktif dalam kegiatan industri melalui penugasan dalam Tim KESDM (tahun 2001-2003) untuk melakukan *due diligence* atas Laporan Studi Kelayakan untuk pembangunan pabrik pencairan batubara (*liquefaction plant*) dengan rute secara langsung di Indonesia menggunakan lisensi dari luar negeri. Keterlibatan saya yang lain (tahun 2009-2011) adalah pada saat evaluasi rencana pembangunan pabrik pencairan batubara melalui rute tidak langsung SASOL. Sayang sekali,

proyek pembangunan pabrik pencairan batubara dengan investasi sekitar USD 10 milyar ini dibatalkan oleh pemerintah. Jika pabrik pencairan batubara ini beroperasi maka kebutuhan BBM dapat digantikan oleh BBBC (Bahan Bakar Batubara Cair) seperti yang kita temui di sejumlah negara, misal yang paling maju dalam teknologi ini adalah Afrika Selatan.

## 5. PENUTUP

Berdasarkan uraian dan pembahasan yang telah disampaikan di atas dan dengan mempertimbangkan aspek-aspek:

- sumber daya dan cadangan batubara yang besar,
- penelitian dan pengembangan teknologi pemrosesan batubara ramah lingkungan,
- sumber daya manusia yang kompeten dan sudah berkecimpung dalam bidang pemrosesan batubara, dan
- peraturan perundangan yang berlaku,

Indonesia memiliki potensi untuk memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi batubara ramah lingkungan. Dengan demikian, Indonesia dapat meningkatkan pemanfaatan cadangan batubara terutama peringkat rendah dan sedang yang masih sedikit dilakukan saat ini.

Selain itu, PP 79/2014, pasal 24 ayat (2) huruf g yang mengamanahkan *penguatan perkembangan industri energi juga mencakup pemberian kesempatan lebih besar kepada perusahaan nasional dalam pengelolaan minyak, gas bumi, dan batubara,*

dan pasal 25 ayat (1)

*kegiatan penelitian, pengembangan, dan penerapan teknologi energi diarahkan untuk mendukung industri energi nasional,*

memberikan kesempatan kepada dunia penelitian batubara untuk bersama industri melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan yang akan mendukung pemanfaatan batubara untuk keperluan domestik.

Semoga saya dan rekan-rekan yang telah dan akan berkecimpung dalam bidang yang sama dapat terus secara konsisten menekuni penelitian dan pengembangan teknologi pemrosesan batubara ramah lingkungan. Dengan demikian kita bersama dapat menanggulangi dampak negatif akibat penggunaan batubara sehingga kebutuhan energi nasional dapat dipenuhi dengan pemanfaatan sumber energi dalam negeri.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala karuniaNya yang telah dilimpahkan hingga saat ini. Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah saya menyampaikan terimakasih kepada yang terhormat Rektor dan Pimpinan ITB, Pimpinan dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.

Terima kasih juga saya sampaikan kepada guru-guru saya, khususnya

Prof. Saswinadi Sasmojo sebagai pembimbing skripsi sarjana, dan Prof. Sudarno Hardjosuparto (alm) dan Dr. Soepardi Ghazali (alm) sebagai pembimbing tesis magister yang telah mendorong dan membawa saya untuk menekuni profesi sebagai akademisi di kampus almamater tercinta ini, Prof. John Frank Stubington sebagai pembimbing disertasi doktor yang telah memberikan inspirasi untuk menekuni bidang energi dan pemrosesan batubara secara konsisten hingga saat ini.

Terima kasih kepada Prof. Djoko Suharto, Prof. Widyo Nugroho SULASDI, Prof. Tjandra Setiadi, dan Prof. Renanto Handogo yang telah memberikan rekomendasi untuk Jabatan Guru Besar ini.

Terima kasih kepada semua kolega dosen ITB, khususnya seluruh dosen FTI (yang pada saat awal saya memimpin fakultas, FTI terdiri dari FTI sekarang, FTMD, STEI, SBM dan sebagian SAPPK). Secara khusus saya sampaikan terima kasih kepada Prof. Tati R. Mengko, Prof. Bermawi P. Iskandar, Prof. Andi I. Mahyuddin, Prof. Hari Muhammad, Dr. Endang Juliastuti dan Dr. Melia L. Gunawan yang pernah bersama-sama memimpin FTI pada 4 periode dekanat yang berbeda dan selalu mendorong dan mengingatkan saya untuk mengajukan kenaikan jabatan Guru Besar.

Terima kasih untuk Prof. Herri Susanto yang mengenalkan saya dengan penelitian gasifikasi biomassa melalui proyek JTA 9a yang dipimpin oleh Prof. Soehadi Reksowardojo (alm) pada saat awal saya bergabung menjadi dosen, dan Dr. Soepardi Ghazali (alm) yang menjadi rekan senior pada penelitian pemrosesan batubara setelah saya

menyelesaikan studi PhD.

Untuk Dr. Winny Wulandari dan Dr. Jenny Rizkiana, terima kasih atas kebersamaan dalam penelitian pemrosesan batubara dan biomassa selama beberapa tahun terakhir ini. Demikian juga untuk Dr. C.B. Rasrendra, Dr. Antonius Indarto, Dr. Hary Devianto, Dr. Elvi Restiawaty, Dr. Ardiyan Harimawan, Dr. Pingkan Aditiawati, Dr. Dea I. Astuti, Drs. A. Ali Sjamsuriputra, Prof. Sudarto Notosiswoyo dan Dr. Komang Anggayana yang bersama-sama melakukan penelitian pemrosesan batubara dan biomassa serta mempublikasikan hasilnya dalam jurnal/prosiding. Terima kasih kepada seluruh mahasiswa program sarjana, magister dan doktor yang telah mendukung penelitian pemrosesan batubara dan biomassa selama saya menjadi dosen.

Terima kasih dan apresiasi untuk seluruh dosen Teknik Kimia, terutama Prof. Yazid Bindar dan rekan-rekan dosen KK Energi dan Sistem Pemroses Teknik Kimia. Untuk Prof. I Gede Wenten, terima kasih atas dukungan penuh untuk pengajuan GB saya.

Teman-teman alumni ITB angkatan 1972 khususnya TK '72, alumni SMAN 3 Malang, alumni SMPN 1 Malang, dan alumni SD Sriwedari Malang yang membuat hidup menjadi ceria dan bersemangat, terima kasih semuanya.

Untuk ayah (alm) dan ibu (almh) tercinta, terima kasih atas bimbingan dan pendidikan sejak buaian sehingga saya bisa mandiri dan berhasil dalam kehidupan selama ini. Terima kasih kepada ayah mertua (alm) dan ibu mertua Ida S. Soeprapto atas doa yang senantiasa dipanjatkan. Terima

kasih kepada yang tersayang mas Pur, serta adik-adik Endang, Wisnu, Sigit, Reni dan Erni yang telah membagi kehidupan dengan tidur, makan, bermain, dan belajar bersama saat kecil.

Terakhir, untuk istri tercinta Andini yang selalu mengerti pekerjaan suaminya sebagai dosen, yang bersama mendidik dan membesarkan anak, yang menemani dalam suasana suka/duka, yang menemani dalam keadaan sehat, yang merawat dalam keadaan sakit, terima kasih untuk segalanya. Untuk yang tercinta ananda Bram, menantu Gita dan cucunda Charma, semoga kalian semua menjadi anak yang saleh/salehah, sukses dalam berkarir, serta bahagia dunia dan akhirat.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Basu, P., "Combustion and Gasification in Fluidized Beds", Taylor & Francis Group LLC (2006).
- Bell, D.A., Towler, B.F., dan Fan, M., "Gasification and Its Applications", Elsevier (2011).
- BP, "BP Statistical Review of World Energy June 2017" (2017).
- BPPT, "Outlook Energi Indonesia 2017: Inisiatif Pengembangan Teknologi Energi Bersih", Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia (2017).
- Chairul, E.R., Winarko, dan Sasongko, D., "Fragmentasi Partikel Batubara Selama Proses Devolatilisasi", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia I 1999, UI, Depok (1999).

- Chang, S., Zhuo, J., Meng, S., Qin, S., dan Yao, Q., "Clean Coal Technologies in China: Current Status and Future Perspectives", *Engineering*, 2, 447-459 (2016).
- Fakoussa, R. M., dan Hofrichter, M., "Biotechnology and Microbiology of Coal Degradation", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 52, 25-40 (1999).
- Gavalas, G.R., "Coal Pyrolysis", Elsevier (1982).
- Goenawan, F., Sitanggang, V.S.S., dan Sasongko, D., "Effect of Particle Size on Fragmentation Probability of Berau and Mutiara Coals", *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Undip, Semarang* (2001).
- Guan, G., "Clean Coal Technology in Japan: A Review", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25, 689-697 (2017).
- Herawati, D., dan Sasongko, D., "Pengaruh Pori-pori Konvektif terhadap Probabilitas Fragmentasi Batubara Tanjung Enim dalam Tungku Unggun Terfluidakan (FBC)", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia 2000, UI, Depok* (2000).
- IEA (International Energy Agency), "Southeast Asia Energy Outlook", *International Energy Agency, Paris, France* (2013).
- Jeong, H.Y., Seo, D.K., dan Park, S.S., "A Comprehensive Study on Co-Pyrolysis of Bituminous Coal and Pine Sawdust Using TGA", *Journal of Therm Anal Calorim*, 120(3), 1867-1875 (2015).
- Ditjen Minerba, "Rencana Strategis Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara 2015–2019", *KemESDM* (2015).

- KESDM, "Draft Keputusan Menteri ESDM tentang Penetapan Kebutuhan dan Persentase Minimal Penjualan Batubara untuk Kepentingan Dalam Negeri Tahun 2018", *ESDM* (2017).
- Klupa, A., "Determination of Coal Properties of Clean Coal Technology Post-Process Residue", *Journal of Suitable Mining*, 15, 143-150 (2016).
- Lee, D.W., Bae, J.S., Lee, Y.J., Park, S.R., Hong, J.C., Lee, B.H., "Two-In-One Fuel Combining Sugar Cane With Low Rank Coal and Its CO<sub>2</sub> Reduction Effects in Pulverized-Coal Power Plants", *Environmental Science and Technology* 37 (2013), 1704-1710.
- Listiari, K., Dewi, E.P., dan Sasongko, D., "Preliminary Simulation on Desulfurization of Indonesian Coals by *Thiobacillus ferrooxidans*: Kinetic Aspects", *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 2003, BKS-LPTTKI, Yogyakarta* (2003).
- Miller, B.G., "Coal Energy System", *Elsevier Academic Press* (2005).
- Miller, B.G., "Clean Coal Engineering Technology", *Elsevier* (2011).
- Na, C., Yuan, J., Xu, Y., dan Hu, Z., "Penetration of Clean Coal Technology and Its Impact on China's Power Industry", *Energy Strategy Review*, 7, 1-8 (2015).
- Nakata, T., Sato, T., Wang, H., Kusunoki, dan Furubayashi, T., "Modeling Technological Learning and Its Application for Clean Coal Technologies in Japan", *Applied Energy*, 88, 330-336 (2011).
- Oka, S.N., "Fluidized Bed Combustion", *Marcel Dekker* (2004).

- Panca, A., Jonathan, D., Sasongko, D., dan Wulandari, W., "Utilization of Coal Fly Ash from Coal Fired Power Plant for Zeolite Synthesis", International Conference on Chemical Engineering- Minerals and Materials Processing, Bandung (2014).
- Park, D.K., Kin, S.D., Lee, S.H., dan Lee, J.G., "Co-Pyrolysis Characteristic of Sawdust and Coal Blend in TGA and a Fixed Bed Reactor", *Bioresource Technology*, 101, 6151-6156 (2010).
- Prasetyo, D., Sasongko, D., dan Wulandari, W., "Modelling and Simulation of Coal Gasification Using ASPEN PLUS", International Conference on Chemical Engineering - Minerals and Materials Processing, Bandung (2014).
- Pratama, Y., Putranto, H.T., dan Sasongko, D., "Coal Fly Ash Conversion to Zeolite for Cr(VI) and Ni(II) Removal from Wastewaters", Prosiding Seminar Tjipto Utomo, ITENAS, Bandung (2007).
- Prayuenyong, P., "Review of Coal Bidesulfurization Processes", *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 24(3), 493-507 (2002).
- Rasrendra, C.B., Luthfi, Sasongko, D., and Rizkiana, J., "The Effects of Metal Loading and Alkaline Treatment on the Zeolites Toward Catalytic Pyrolysis of Biomass Derivatives", *Proceedings of Regional Symposium on Chemical Engineering* (2017).
- Rizkiana, J., Handoko, S., Wulandari, W., Ridha, M.A., Prasetyo, H., dan Sasongko, D., "Hybrid Coal: Effects of Coal Composition and Co-

Pyrolysis Retention Time in Low Rank Coal and Biomass Waste Co-Pyrolysis Process on the Product's Yield", *Regional Symposium on Chemical Engineering* (2017) dan terpilih untuk diterbitkan di *ASEAN Journal of Chemical Engineering* (2018).

- Sasongko, D., "Perpindahan Panas di dalam Partikel yang Mengalami Pirolisa", *Prosiding Seminar Perpindahan Panas*, PAU Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta (1987).
- Sasongko, D., dan Stubington, J.F., "Significant Factors Affecting Devolatilization of Fragmenting, Non-Swelling Coals in Fluidized Bed Combustion", *Chemical Engineering Science*, 51, 3909-3918 (1996).
- Sasongko, D., Sjamsuriputra, A.A., Taufik, M.A., dan Airin, A., "Effects of Cell Concentration and Coal Pretreatment on Desulfurization of Cigalugur Subbituminous Coal Using *Thiobacillus Ferrooxidans*", *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 7,1, 716 – 723 (2008).
- Sasongko, D., Luthan, A.F.H., dan Wulandari, W., "Modified Two-Step Dimethyl Ether (DME) Synthesis Simulation from Indonesian Brown Coal", *Journal of Engineering and Technology Sciences*, 48, 3, 320-333 (2016).
- Sasongko, D., Wulandari, W., Rubani, I.S., Rusydiandyah, R., "Effects of Biomass Type, Blend Composition, and Co-pyrolysis Temperature on Hybrid Coal Quality", *International Process and Metallurgy Conference*, *AIP Conference Proceedings*, 1805 (1), 040009 (2017).
- Sasongko, D., Rasrendra, C.B., dan Indarto, A., "Fragmentation Model

- of Coal Devolatilization in Fluidized Bed Combustion”, International Journal of Ambient Energy, in press, akan diterbitkan (2018).
- Rizkiana, J., Handoko, S., Wulandari, W., Ridha, M.A., Prasetyo, H., dan Sasongko, D., “Hybrid Coal: Effects of Coal Composition and Co-Pyrolysis Retention Time in Low Rank Coal and Biomass Waste Co-Pyrolysis Process on the Product’s Yield”, Regional Symposium on Chemical Engineering (2017) dan terpilih untuk diterbitkan di ASEAN Journal of Chemical Engineering (2018).
  - Shah, A., “Coal Advantages and Disadvantages – Pros of Coal Winning Despite Dangerous Cons”, (2011).
  - Skorupska, N.M., “Coal Specification – Impact on Power Station Performance”, IEA Coal Research (1993).
  - Speight, J.G., “The Chemistry and Technology of Coal”, 3<sup>rd</sup> edition, Taylor& Francis Group (2013a).
  - Speight, J.G., “Coal-Fired Power Generation Handbook”, Serivener Publishing LLC dengan John Wiley & Sons, Inc. (2013b).
  - Speight, J.G., “Handbook of Coal Analysis”, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc. (2015).
  - Spliethoff, H., “Power Generation from Solid Fuels”, Springer Verlag (2010).
  - Tang, X., Snowden, S., McLellan, B.C., dan Höök, M., “Clean Coal Use in China: Challenges and Policy Implications”, 87, 517-523 (2015).
  - Van Krevelen, D.W., dan Schuyer, J., “Coal Science: Aspects of Coal

Constitution”, Elsevier (1957).

- Wulandari, W., dan Sasongko, D., “Teaching Elective Subjects for Junior Students in Chemical Engineering: A Case for Chemistry and Technology of Coal”, Chemical Engineering Transaction, 56, 1597-1602 (2017).
- Xia, B., Suo, C., dan Yan, X., “Comparing Chinese Clean Coal Transformation Technologies with Life Cycle Inventory”, Procedia Environmental Science, 10, 414-419 (2011).

#### Peraturan Perundang-Undangan

- Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi.
- Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.
- Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 9 Tahun 2016 tentang Tata Cara Penyediaan dan Penetapan Harga Batubara Untuk Pembangkit Listrik Mulu Tambang.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 7 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Ketel Uap.

## CURRICULUM VITAE



Nama : **DWIWAHJU SASONGKO**  
Tmpt. & tgl. lhr. : Yogyakarta, 29 September 1952  
Kel. Keahlian : Energi dan Sistem Pemroses  
Teknik Kimia  
Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung  
Nama Istri : Andini Budiastuti Sasongko  
Nama Anak : Bramono E. Sasongko  
Gita Andriani (menantu)  
Charmadita N. Sasongko (cucu)

### I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Doctor of Philosophy (PhD), Bidang Teknik Kimia, University of New South Wales, Australia.
- Magister Teknik Kimia (MSc), Institut Teknologi Bandung.
- Sarjana Teknik Kimia (Ir), Institut Teknologi Bandung.

### II. RIWAYAT PEKERJAAN

#### IBM

- Systems Engineer, PT IBM Indonesia, 1976-1978.
- Systems Engineer, IBM International Corporation untuk PT USI Jaya, 1978-1979.
- Market Development Specialist, Representative Office, IBM World Trade Americas/Far East Corporation, 1979-1980.

### ITB

- Dosen Jurusan/Departemen/Program Studi Teknik Kimia, 1980-sekarang.
- Ketua Bidang Pendidikan, Pusat Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (PIKSI), 1986-1989.
- Ketua Departemen Teknik Kimia, 1998-2001.
- Pembantu Dekan I, Fakultas Teknologi Industri, 2002-2004.
- Dekan, Fakultas Teknologi Industri, 2004-2005, 2006-2007, dan 2008-2010.
- Ketua, Senat Fakultas Teknologi Industri, 2004-2005.
- Anggota, Komisi Sekolah Pascasarjana, 2004-2005.
- Anggota, Senat Fakultas Teknologi Industri, 2002-2004, 2004-2010, 2017-2018.
- Ketua Kelompok Keahlian Energi dan Sistem Pemroses Teknik Kimia, 2018.

### III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- CPNS, III/A, 1 Maret 1981.
- Penata Muda, III/A, 1 April 1982.
- Penata Muda Tingkat I, III/B, 1 April 1983.
- Penata, III/C, 1 Oktober 1985.
- Penata Tingkat I, III/D, 1 Oktober 1987.
- Pembina, IV/A, 1 Oktober 1998.

### IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Asisten Ahli Madya, 1 April 1982.
- Asisten Ahli, 1 April 1983.
- Lektor Muda, 1 Oktober 1985.
- Lektor Madya, 1 Oktober 1987.
- Lektor, 1 September 1998.
- Lektor Kepala (inpassing), 2 Januari 2001.
- Profesor/Guru Besar, 1 Agustus 2017.

### V. KEGIATAN PENELITIAN

- Peneliti, "Proyek Gasifikasi Biomassa", Proyek JTA 9a, Universitas Twente, Belanda dan Departemen Teknik Kimia ITB, 1980-1986.
- Peneliti, "Fluidized Bed Combustion of Coal", Department of Fuel Technology, School of Chemical Engineering and Industrial Chemistry, University of New South Wales, Australia, 1989-1995.
- Peneliti, "Pirolisis Batubara Indonesia untuk Produksi Tar sebagai Bahan Baku Industri Kimia", Riset Unggulan Terpadu I, Dirjen Dikti, 1993-1995.
- Peneliti Utama, "Mixing Characteristics of Coal and Bed Particles in a Fluidized Bed", Osaka Gas Foundation of International Cultural Exchange, 1995-1996.
- Peneliti, "Riset Unggulan Strategik Nasional Pencairan Batubara", 1997.
- Peneliti, Anthony Mason Fellow for International Research and Exchange - Coal Utilization Program, University of New South Wales, Australia 1996-1997.

- Peneliti Utama, "Secondary Reactions in Pyrolysis of an Indonesian Subbituminous Coal", Asahi Glass Foundation, 1997–1998.
- Peneliti, "Pemanfaatan Mineral Sulfida (Pirit) sebagai Katalis pada Pencairan Batubara" Riset Unggulan Terpadu VI, Dirjen Dikti, 1999.
- Peneliti Utama, "Fragmentation of Single Devolatilizing Coal Particles in Fluidized Bed Combustion", Osaka Gas Foundation of International Cultural Exchange, 2000.
- Peneliti, "Comprehensive Numerical and Experimental Studies of Flow, Heat and Chemical Species Distribution During Conversion in Catalytic Packed Bed Chemical Reactor", URGE – World Bank, Depdiknas, 2000.
- Peneliti Utama, "Effect of Fiber Length and Adhesive on Quality of Fiberboard from Coconut Coir", Project Grant Sub Proyek QUE Batch III, 2000–2001.
- Peneliti Utama, "Nutrient Media and Surfactants in Desulfurization of Kartika Selabumi Coal by Thiobacillus ferrooxidans", Project Grant Sub Proyek QUE Batch III, 2001 – 2002.
- Peneliti Utama, "Activated Carbon Production from Indonesian Sub-Bituminous Coals", Project Grant Sub Proyek QUE Batch III, 2002–2003.
- Peneliti Utama, "Peningkatan Kinerja Tungku Unggun Terfluidakan yang Ramah Lingkungan untuk Batubara Peringkat Rendah", Hibah Bersaing Perguruan Tinggi ke VII, Dirjen Dikti, 2003.

- Peneliti Utama, "Effects of Some Significant Variables on Quality of Activated Carbon from Indonesian Coal", Osaka Gas Foundation of International Cultural Exchange, 2004.
- Peneliti, "Pengembangan Korelasi Koefisien Perpindahan Massa Fasa Dispersi dan Fasa Kontinyu pada Pengontakan Cair-Cair dalam Kolom Isian", Riset Kelompok Keahlian, Fakultas Institut Teknologi Bandung, 2006.
- Peneliti, "Pengembangan Teknologi Pemanfaatan Batubara sebagai Sumber Energi dan Bahan Baku Alternatif", Tanoto Professorship Awards, 2007-2009.
- Peneliti Utama, "Analisis Daur Hidup Proses Gasifikasi Batubara sebagai Energi Alternatif dan Bahan Bakar Kimia", Penelitian Kelompok Keahlian FTIITB, 2007.
- Peneliti, "Model Deaktivasi Katalis Ni/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Akibat Pembentukan Karbon dalam Reaksi Deformasi Tar Menggunakan Reaktor Unggun Diam", Riset Kelompok Keahlian FTIITB, 2009.
- Peneliti, "Pencairan Batubara dengan Memanfaatkan kapang Indigenus", Stranas, 2010.
- Peneliti, "Pencairan Batubara Lignit dengan Memanfaatkan Kapang Indigenus, Konsorsium Isolat Kapang Terseleksi dengan Mikroba Indigenus Batubara, Stranas, 2012.
- Peneliti Utama, "Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Melalui Ko-pirolisis dengan Limbah Biomassa Menjadi Batubara Hibrida", Riset Unggulan ITB – PPEBT, 2016.
- Peneliti, "Pengembangan Teknologi Produksi Bio-Aromatik dan Bio-BTX Berbahan Mentah Tandan Kosong Sawit", Riset BPDPS,

2016-2017.

- Peneliti Utama, “Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Melalui Ko-pirolisis dengan Limbah Biomassa Menjadi Batubara Hibrida (lanjutan)”, Riset Penelitian, Pengabdian Masyarakat dan Inovasi – ITB, 2017.
- Peneliti Utama, “Pembuatan Batubara Hibrida Melalui Proses Ko-Torefaksi Batubara Peringkat Rendah dan Biomassa (lanjutan)”, Penelitian Berbasis Kompetensi, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Kemristekdikti, 2018.

## VI. KEGIATAN LAIN-LAIN

### Jejaring internasional

- Representative/Member, Steering Committee, ASEAN University Network/Southeast Asia Engineering Education Development Network (AUN/SEED-Net), 2004 - 2007.
- Chairman, Deans Forum, Asia Oceania Top University League on Engineering (AOTULE), 2010.

### Dosen tamu internasional

- Dosen kuliah tamu “Introduction to Coal Processing Technology”, Department of Chemical Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan, 2007.
- Dosen tamu untuk topik “Heat Transfer” dalam kuliah “Modelling of Combustion Processes”, bagi mahasiswa program master, University of Borås, Swedia, melalui kerjasama pertukaran dosen dan mahasiswa Linnaeus - Palme dengan

pendanaan pemerintah Swedia, (2013).

### Pembicara kunci seminar internasional

- “Development of Clean Coal Technology”, Regional Symposium on Chemical Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2007.
- “Coal Gasification and Liquefaction: A Brief Overview”, 2nd International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences: Earth Resource Science and Technology, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.
- “A Brief Overview on Biomass Residues Torrefaction for Co-Gasification and Co-Combustion of Coal”, 3rd International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences: Advanced Materials, Processes and Systems toward CO<sub>2</sub> Mitigation, Kyushu University, Fukuoka, Jepang, 2009.
- “Clean Coal Technology and Its Potential Works in Indonesia”, International Seminar on Chemical Engineering in Conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2017.

### Monitor dan editor jurnal ilmiah

- International Monitor, Journal of Chemical Engineering of Japan, ISSN 0021-9592, 1999 - 2006.
- Editor, Jurnal Teknologi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, ISSN 0215-1685, terakreditasi Dirjen Dikti, 2001 – 2007.
- Editor, Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi “INDUSTRI”, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, ISSN 1693-0533, terakreditasi Dirjen Dikti, 2005 – 2010.

- Editor, Jurnal Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, ISSN 0216-3160, terakreditasi Dirjen Dikti, 2009 – sekarang.

#### **Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi**

- Anggota, Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi, 2006-2011 dan 2011-2012 (perpanjangan).
- Sekretaris merangkap Anggota, Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi, 2012-2016.
- Ketua merangkap Anggota Majelis Akreditasi, Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi, 2016-2021.

#### **Dosen luar biasa di beberapa perguruan tinggi**

- Jurusan Teknik Kimia, Akademi Teknik Achmad Yani (sekarang Universitas Jenderal Achmad Yani), 1981 – 1983.
- Jurusan Teknik dan Manajemen Industri, Universitas Islam Bandung, 1982 – 1988.
- Jurusan Teknik Kimia, Universitas Bandung Raya, 1985 – 1988.
- Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional, Bandung, 1987 – 1988.
- Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia, penguji ahli tugas akhir, 1992 – 1993.
- Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Parahyangan, termasuk membimbing tugas akhir, 1995 – 2002.
- Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Yogyakarta, penguji ahli tugas akhir, 1998 – 2000.
- Jurusan Teknik Kimia, Universitas Negeri Sebelas Maret, 2001.

#### **Kerjasama industrial**

- Insinyur proses untuk proyek dan pekerjaan industrial di Pertamina, PT Arun NGL Co., PT Badak NGL Co., PT Pupuk Sriwijaya, PT Kaltim Prima Coal, PT Indonesia Power, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, dan Kementerian Perindustrian.
- Instruktur kursus industrial di sejumlah instansi pemerintah dan swasta.

#### **VII. PUBLIKASI**

Telah mempublikasikan lebih dari 130 makalah dalam jurnal/prosiding internasional/nasional. Publikasi dalam kurun tahun 2007-2018:

- Setodewo, A., Habibi, R.A., Pranolo, S.H., dan **Sasongko, D.**, “Karakteristik Campuran Partikel Batubara dan Sekam Padi dalam Kolom Fluidisasi”, Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, ITS, Surabaya (2007).
- Pratama, Y., Putranto, H.T., dan **Sasongko, D.**, “Coal Fly Ash Conversion to Zeolite for Cr(VI) and Ni(II) Removal from Wastewaters”, Prosiding Seminar Tjipto Utomo, ITENAS, Bandung (2007).
- Pranolo, S. H., Susanto, H., dan **Sasongko, D.**, “Preliminary Technical Evaluation on the Utilization of Biomass as an Alternative Fuel in a Cement Plant”, Proceeding of International Symposium on Chemical Engineering: AOTULE (Cornerstone of International Collaboration of Chemical Engineering), KAIST, Korea (2007).

- Santoso, A., Bahagia, S.N., Suprayogi, dan **Sasongko, D.**, "Integrated Production-Distribution Planning with Considering Preventive Maintenance", Proceedings of the APCOMS: The 1st Asia Pacific Conference on Manufacturing Systems; The 8th National Conference on Production Systems "A Challenge for Collaborative Manufacturing Systems", ITB, Bali (2007).
- Kusumo, P., Ariono, D., **Sasongko, D.**, dan Purwasasmita, M., "Model Koefisien Pindah Massa Ekstraksi Cair-Cair dalam Kolom Isian", Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Undip, Semarang (2007).
- Bindar, Y., Riza, A., Susanto, H., dan **Sasongko, D.**, "Metoda Dekomposisi Batubara Berdasarkan Neraca Elemen dan Teori Devolatilisasi dari Data Analisa Proksimat dan Ultimat", Jurnal Teknik Kimia Indonesia, 6, 1, 549-562 (2007).
- **Sasongko, D.**, Sjamsuriputra, A.A., Listiarini, K., Dewi, E.P., Nuella, I., dan Handoyo, S.S., "Effects of Significant Process Variables on Desulfurization of Indonesian Coals by Thiobacillus ferrooxidans", Asahigarasu Zaidan Jyosei Seika Hokoku Journal (Web), 2005, Japan (2007).
- Suhartono, Susanto, H., **Sasongko, D.**, dan Suganal, "Uji Pengoperasian Kompiler Batubara Skala Rumah Tangga", Prosiding Seminar Nasional Diversifikasi Sumber Energi untuk Mendukung Kemajuan Industri dan Sistem Kelistrikan Nasional, UNS-BATAN, Surakarta (2007).
- Santoso, A., S. N. Bahagia, Suprayogi, dan **D. Sasongko**, "Integrated Production-Distribution Planning with Time Dependent Demand in Multi-Echelon Supply Chain",

Proceedings of The 2<sup>nd</sup> International Conference on Operations and Supply Chain Management, Bangkok-Thailand (2007).

- Pranolo, S.H., dan **Sasongko, D.**, "Potensi biomassa: sekam padi dan bonggol jagung sebagai sumber energi alternatif di Surakarta dan sekitarnya, Keynote Speech, Prosiding Seminar Nasional Diversifikasi Sumber Energi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta (2007).
- Santoso, A., Bahagia, S. N., Suprayogi, dan **Sasongko, D.**, "Integrasi Perencanaan Produksi-Distribusi-Transportasi dengan Pengiriman Langsung", Prosiding Japan-Indonesia Seminar on Technology Transfer and National Seminar on Industrial System Planning, ITB, Bandung (2008).
- Ariono, D., **Sasongko, D.**, Purwasasmita, M., dan Kusumo, P., "Pengaruh Jenis Isian terhadap Dinamika Tetes Fasa Dispersi dalam Kolom Isian", Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Undip, Semarang (2008).
- **Sasongko, D.**, Abdullah, S.P., dan Wulandari, R.A., "Removal of Dyes by Adsorption on Activated Lignite", Proceedings of Coaltech 2008, ICS, Jakarta (2008).
- Ariono, D., **Sasongko, D.**, dan Kusumo, P., "Dinamika Tetes dalam Kolom Isian", Jurnal Teknik Kimia Indonesia, 7, 1, 710 – 715 (2008).
- **Sasongko, D.**, Sjamsuriputra, A.A., Taufik, M.A., dan Airin, A., "Effects of Cell Concentration and Coal Pretreatment on Desulfurization of Cigalugur Subbituminous Coal Using Thiobacillus ferrooxidans", Jurnal Teknik Kimia Indonesia, 7,1, 716 – 723 (2008).

- Santoso, A., Bahagia, S.N., Suprayogi, dan **Sasongko, D.**, “Genetic Algorithm for Solving the Integrated Production-Distribution-Direct Transportation Planning”, Proceedings of the 9<sup>th</sup> Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, Asia Pacific Industrial Engineering and Management Society, Bali (2008).
- Santoso, A., Bahagia, S.N., Suprayogi, dan **Sasongko, D.**, “Integrasi Kebijakan Persediaan – Transportasi (Pengiriman Langsung dan Berbagi) di Sistem Pasok 4-Eselon, Jurnal Teknik Industri, 11, 1, 15-32 (2009).
- Suhartono, **Sasongko, D.**, Susanto, H., dan Trianto, A., “Pengukuran Konstanta Henry Toluena dan Benzena dalam Minyak dan Air, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (2009).
- Yuliati, F., **Sasongko, D.**, dan Susanto, H., “Production of Activated Char from Rice Husk for Gasification Wastewater Treatment”, Regional Symposium on Chemical Engineering, Manila (2010).
- Suhartono, Susanto, H., Trianto, A., dan **Sasongko, D.**, “Performance of Venturi Ejector for Absorption of Tar from Producer Gas, Proceedings of 1<sup>st</sup> International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering, ITS, Bali (2010).
- Sugoro, I., Nurlidar, F., Hermanto, S., Ana, A., **Sasongko, D.**, dan Aditiawati, P., “Biosolubilisasi Batubara Hasil Pra Perlakuan Iradiasi Gamma oleh Kapang *Penicillium* sp.”, Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan VI, Jakarta

- (2010).
- Sugoro, I., Hermanto, S., Astuti, D.I., Aditiawati, S., dan **Sasongko, D.**, “Karakteristik Produk Biosolubilisasi Batubara oleh Kapang T4 Hasil Isolasi dari Tanah Pertambangan Tanjung Enim Sumatera Selatan”, *Valensi*, 2, 1, 325-332 (2010).
- Pranolo, S.H., Bindar, Y., **Sasongko, D.**, dan Susanto, H., “Modeling and Simulation of a Separate Line Calciner Fueled with Mixture of Coal and Rice Husk, *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 10, 1, 27–33 (2010).
- Suhartono, **Sasongko, D.**, Susanto, H., dan Trianto, A., “Pengukuran Konstanta Henry Toluena dan Benzena dalam Minyak dan Air dengan Kolom Gelembung, *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 9, 2, 49-54 (2010).
- Sugoro, I., Hermanto, S., **Sasongko, D.**, Astuti, D.I., dan Aditiawati, P., “Bioliqefaksi Lignit Hasil Interaksi Mikroba Indigenes *Trichoderma asperellum*”, Prosiding Seminar Nasional Biologi: Inovasi Biologi dan Pembelajaran Biologi untuk Membangun Karakter Bangsa, Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA, UPI (2011).
- Sugoro, I., Hermanto, S., **Sasongko, D.**, Astuti, D.I., dan Aditiawati, P., “Karakterisasi Produk Biosolubilisasi Lignit oleh Kapang Indigenus dari Tanah Pertambangan Batubara di Sumatera Selatan”, *Jurnal Biologi Indonesia*, 7, 2, 299-308 (2011).
- Aditiawati, P., Sugoro, I., Astuti, D.I., dan **Sasongko, D.**, “Biosolubilisasi Batubara Hasil Iradiasi Gamma oleh Kapang *Trichoderma* sp.”, *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 7, 1, 21-30 (2011).

- Sugoro, I., **D. Sasongko**, D.I. Astuti, dan P. Aditiawati “Biosolubilisasi Lignit Mentah Hasil Iradiasi Gamma oleh *Trichoderma asperellum*”, *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 8, 1, 11-20 (2012).
- Sugoro, I., **Sasongko, D.**, Astuti, D.I., dan Aditiawati, P., “Biosolubilisasi Lignit: Karakterisasi Produk dan Enzim Ekstraselular oleh Kapang dari Pertambangan Batubara Sumatera Selatan” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Universitas Indonesia, Depok* (2012).
- Sugoro, I., **Sasongko, D.**, Astuti, D.I. dan Aditiawati, P. “Comparison of Gamma Irradiated and Raw Lignite in Bioliquefaction Process by Fungus T5”, *Atom Indonesia*, 38, 2, 51-56 (2012).
- Panca, A., Jonathan, D., **Sasongko, D.**, dan Wulandari, W., “Utilization of Coal Fly Ash from Coal Fired Power Plant for Zeolite Synthesis”, *International Conference on Chemical Engineering - Minerals and Materials Processing, Bandung* (2014).
- Prasetyo, D., **Sasongko, D.**, dan Wulandari, W., “Modelling and Simulation of Coal Gasification Using ASPEN PLUS”, *International Conference on Chemical Engineering - Minerals and Materials Processing, Bandung* (2014).
- **Sasongko, D.**, Arifpin, N.Y., Rasrendra, C.B., dan Indarto, A., “Numerical Simulation of Coal Pyrolysis with Tar and Gas Products Prediction”, *Asia - Pacific Journal of Chemical Engineering*, 11, 220-228 (2016).
- **Sasongko, D.**, Luthan, A.F.H., dan Wulandari, W., “Modified Two-Step Dimethyl Ether (DME) Synthesis Simulation from

Indonesian Brown Coal”, *Journal of Engineering and Technology Sciences*, 48, 3, 320-333 (2016).

- Devianto, H., **Sasongko, D.**, Sampurna, F.I., Nurdin, I., dan Widiatmoko, P., “Effect of Gas Composition Produced by Gasification on the Performance and Durability of Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)”, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 35, 896-905 (2016).
- **Sasongko, D.**, Wulandari, W., Rubani, I.S., Rusydiansyah, R., “Effects of Biomass Type, Blend Composition, and Co-pyrolysis Temperature on Hybrid Coal Quality”, *International Process and Metallurgy Conference, AIP Conference Proceedings*, 1805 (1), 040009 (2017).
- Wulandari, W., dan **Sasongko, D.**, “Teaching Elective Subjects for Junior Students in Chemical Engineering: A Case for Chemistry and Technology of Coal”, *Chemical Engineering Transaction*, 56, 1597-1602 (2017).
- Rizkiana, J., Pranata, R., Nisrina, H., **Sasongko**, dan Guan, G., “Intrinsic Factors Affecting Co-gasification Performance of Low Rank Coal and Biomass”, *Proceedings of International Seminar on Chemical Engineering in Conjunction with Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo* (2017).
- Rasrendra, C.B., Luthfi, **Sasongko, D.**, and Rizkiana, J., “The Effects of Metal Loading and Alkaline Treatment on the Zeolites Toward Catalytic Pyrolysis of Biomass Derivatives”, *Proceedings of Regional Symposium on Chemical Engineering* (2017).
- **Sasongko, D.** Nugraha, N.B., Rasrendra, C.B., dan Indarto, A., “Simulation of Temperature and Reaction Time Prediction of

Torrefaction Process: Case of Hard Wood Biomass”, *International Journal of Ambient Energy*, 39 (2), 108-116 (2018).

- **Sasongko, D.**, Rasrendra, C.B., dan Indarto, A., “Fragmentation Model of Coal Devolatilization in Fluidized Bed Combustion”, *International Journal of Ambient Energy*, in press (2017), dan akan diterbitkan (2018).
- Rizkiana, J., **Sasongko, D.**, Wulandari, W., Handoko, S., Prasetyo, H., Ridha, M.A., dan Guan, G., “Hybrid Coal: Effects of Coal Composition and C-Pyrolysis Retention Time in Low Rank Coal and Biomass Waste Co-Pyrolysis Process on the Product’s Yield”, disajikan di Regional Symposium on Chemical Engineering (2017) dan terpilih untuk diterbitkan di *ASEAN Journal of Chemical Engineering* (terindeks Scopus, 2018).
- Rizkiana, J., Pranata, R., Firdausi, H.N., Wulandari, W., dan **Sasongko, D.**, disajikan di Regional Symposium on Chemical Engineering (2017) dan terpilih untuk diterbitkan di *MATEC Web of Conference* (terindeks Scopus, 2018).

### VIII. PENGHARGAAN

- Satyalancana Karya Satya XX Tahun dari Presiden Republik Indonesia.
- Satyalancana Karya Satya XXX Tahun dari Presiden Republik Indonesia.
- Pengabdian 25 Tahun dari Rektor Institut Teknologi Bandung.
- Pengabdian 35 Tahun dari Rektor Institut Teknologi Bandung.
- Ganesha Wira Adiutama dari Rektor Institut Teknologi Bandung (Ketua Departemen Teknik Kimia, 1998-2001).

- Ganesha Wira Adiutama dari Rektor Institut Teknologi Bandung (Dekan Fakultas Teknologi Industri, 2004-2005).
- Ganesha Wira Adiutama dari Rektor Institut Teknologi Bandung (Dekan Fakultas Teknologi Industri, 2006-2010).

### IX. SERTIFIKASI

- Sertifikasi Dosen, Kementerian Pendidikan Nasional.

### X. ORGANISASI PROFESI

- Wakil Ketua Bidang Hubungan Pendidikan Tinggi, Pengurus Pusat Persatuan Insinyur Indonesia (2009-2012).
- Wakil Ketua, Badan Pelaksana Registrasi Insinyur, Pengurus Pusat Persatuan Insinyur Indonesia (2015-2018).
- Anggota, Badan Kejuruan Kimia – Persatuan Insinyur Indonesia.
- Senior Member, American Institute of Chemical Engineers.
- Pendiri dan Pengurus, Indonesian Coal Society.

