

TESIS

**PEMILIHAN JENIS REAKTOR DAN PRODUK
GASIFIKASI BATUBARA DI ACEH BARAT SITE
PT MIFA BERSAUDARA MENGGUNAKAN METODE
ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS DAN SIMULASI
GASIFIKASI**



Oleh
KM Farobi Balyani
NIM. 03042682024003

**BKU TEKNOLOGI BATUBARA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
PROGRAM PASCASARJANA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMILIHAN JENIS REAKTOR DAN PRODUK
GASIFIKASI BATUBARA DI ACEH BARAT SITE
PT MIFA BERSAUDARA MENGGUNAKAN METODE
ANALYTICAL HIERACHY PROCESS DAN SIMULASI
GASIFIKASI**

TESIS

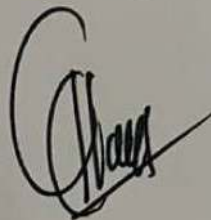
**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Teknik Pertambangan Pada Program Pascasarjana
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh :

**KM FAROBI BALLYANI
NIM. 03042682024003**

**Palembang, 07 Agustus 2023
Pembimbing II**

Pembimbing I



**Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU
NIP. 196211221991021001**



**Dr. David Bahrin, ST., MT.
NIP. 198010312005011003**

**Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**



**Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT.
NIP. 196706151995121002**

HALAMAN PERSETUJUAN

Laporan Tesis dengan judul "Pemilihan Jenis Reaktor Dan Produk Gasifikasi Batubara Di Aceh Barat Site Pt Mifa Bersaudara Menggunakan Metode *Analytical Hierachy Process* Dan Simulasi Gasifikasi" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tesis Fakultas Teknik, Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada Tanggal 07 Agustus 2023.

Palembang, 07 Agustus 2023

Tim Penguji Sidang :

Ketua :

1. Prof.Dr.Ir.Eddy Ibrahim, M.S.,CP.,IPU
NIP 196211221991021001

Anggota :


1. Prof.Dr.Ir.Eddy Ibrahim, M.S.,CP.,IPU
NIP 196211221991021001

2. Dr. David Bahrin, ST.,MT.
NIP. 198010312005011003

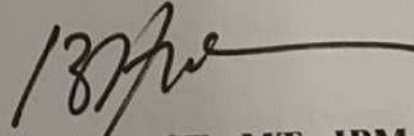
3. Dr.Ir H. Maulana Yusuf, M.S., MT.
NIP. 195909251988111001

4. Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA
NIP. 195805141984031001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya


Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, MT.
NIP. 196706151995121002

Koordinator Program Studi
Magister Teknik Pertambangan


Ir. Bochori, ST., MT., IPM
NIP. 197410252002121003

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : KM Farobi Balyani
Tempat dan tanggal lahir : Palembang, 20 Mei 1985
Program Studi : Magister Teknik Pertambangan
NIM : 03042682024003

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa

1. Seluruh data, informasi, interpretasi serta pernyataan dalam pembahasan dan kesimpulan yang disajikan karya ilmiah ini, kecuali yang disebutkan sumbernya adalah hasil pengamatan, penelitian, pengelolaan, serta pemikiran saya dengan pengarahan dari pembimbing yang ditetapkan.
2. Karya ilmiah yang saya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Dengan pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan apabila dikemudian hari ditemukan adanya bukti ketidakbenaran dalam pernyataan tersebut diatas, maka saya bersedia menerima sanksi akademis berupa pembatalan gelar yang saya peroleh melalui pengajuan karya ilmiah.

Palembang, 7 Agustus 2023



KM Farobi Balyani
03042682024003

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pemilihan Jenis Reaktor dan Produk Gasifikasi Batubara di Aceh Barat Site PT Mifa Bersaudara Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* dan Simulasi Gasifikasi”**

Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik di Program Studi Magister Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Penulis banyak menerima bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU., sebagai Pembimbing Pertama
2. Dr. David Bahrin, ST., MT., sebagai Pembimbing Dua
3. Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ir. Bochori, ST., MT., Koordinator Program Studi Magister Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Bapak dan Ibu wakil dekan serta staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
6. Bapak dan Ibu staf pengajar Program Studi Magister Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
7. Istri tercinta Nyayu Almira Permata ST., M.Si yang telah memberikan dukungan moril dan materil dengan sepenuh hati.
8. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan semangat dan doa.
9. Rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya khususnya angkatan 2020 serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proposal tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan yang belum penulis sadari. Kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan dari semua pihak untuk kesempurnaan proposal tesis ini. Akhir kata penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca. Amin.

Palembang, Agustus 2023

Penulis

**PEMILIHAN JENIS REAKTOR DAN PRODUK GASIFIKASI
BATUBARA DI ACEH BARAT SITE PT MIFA BERSAUDARA
MENGUNAKAN METODE *ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS*
DAN SIMULASI GASIFIKASI**

**KM FAROBI BALLYANI
NIM 03042682024003**

**MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN, FAKULTAS TEKNIK,
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

ABSTRAK

Teknologi gasifikasi saat ini semakin berkembang dengan berbagai tipe reaktor gasifikasi. Dari berbagai tipe reaktor tersebut juga memiliki jenis dan karakter material *feeding* yang cocok sebagai bahan baku dan Indonesia memiliki berbagai kualitas batubara sehingga perlu dilakukan kajian penelitian terkait penentuan jenis reaktor gasifikasi yang sesuai dengan peringkat batubara dan simulasi gasifikasi untuk mengetahui komposisi dan produk *syngas* dari proses gasifikasi. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dipilih untuk mengambil keputusan terkait pemilihan reaktor gasifikasi yang akan digunakan. Ada 3 jenis kelompok responden yang dipilih untuk menganalisis reaktor yang akan dipilih untuk Gasifikasi Batubara yaitu: Praktisi, Pemerintah, dan Akademisi. Simulasi gasifikasi menggunakan perangkat lunak ASPEN PLUS. Hasil penelitian AHP menunjukkan para responden lebih memilih reaktor *entrained flow* sebagai reaktor yang cocok untuk batubara di lokasi penelitian dengan kriteria %H₂ dan %CO dan karakteristik batubara menjadi kriteria utama dalam pemilihan reaktor gasifikasi. Reaktor *entrained flow* cocok digunakan juga didukung hasil dari simulasi dengan nilai CGE (*Cold Gas Efficiency*) 99% dan nilai CCE (*Carbon Conversion Efficiency*) 83% serta hasil *syngas* dominan CO 92.21%, H₂ 3,13% dan CH₄ 0.31%.

Kata Kunci : *Analytical Hierachy Process*, Gasifikasi Batubara, Reaktor Gasifikasi, Simulasi, *Syngas*.

***SELECTION OF COAL GASIFICATION REACTOR TYPE AND
PRODUCTS AT WEST ACEH SITE OF PT MIFA BERSAUDARA USING
THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS METHOD AND
GASIFICATION SIMULATION***

**KM FAROBI BALYANI
NIM 03042682024003**

***MASTER OF MINING ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING,
SRIWIJAYA UNIVERSITY***

ABSTRACT

Gasification technology is currently advancing with various types of gasification reactors. These reactors have different types and characteristics of material feeding suitable for raw materials, and Indonesia possesses various coal qualities, necessitating research to determine the appropriate gasification reactor type based on coal rank. A simulation of gasification is conducted to determine the composition and syngas products of the gasification process. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method is employed for decision-making in selecting the gasification reactor. Three categories of respondents—practitioners, Government Officials, and academics—were chosen to analyse the reactor suitable for Coal Gasification. Gasification simulation is performed using the ASPEN PLUS software. The AHP research results indicate that respondents prefer the entrained flow reactor as the suitable choice for coal at the research location, with criteria based on %H₂ and %CO, as well as coal characteristics, being the primary considerations for reactor selection. The entrained flow reactor's suitability is supported by simulation results, showing a Cold Gas Efficiency (CGE) of 99% and a carbon conversion efficiency (CCE) of 83%, with the resulting syngas being predominantly composed of CO at 92.21%, H₂ at 3.13%, and CH₄ at 0.31%.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, Coal Gasification, Gasification Reactor, Simulation, Syngas.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Batubara	7
2.2 Peringkat Batubara.....	7
2.3 Struktur Kimia Batubara	11
2.4 Petrologi dan Petrografi Batubara.....	12
2.4.1 Petrologi.....	12
2.4.2 Petrografi.....	13
2.5 Kualitas Batubara.....	20
2.6 Pengertian Gasifikasi Batubara.....	25
2.7 Reaktor Gasifikasi Batubara	27
2.7.1 Generasi Reaktor Gasifikasi Batubara	29
2.7.2 <i>Fixed Bed Gasifier</i>	31

2.7.3	<i>Fluidized-Bed Gasifier</i>	34
2.7.4	<i>Entrained-Bed Gasifier</i>	42
2.8	Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i>	48
2.8.1	Aksioma-Aksioma <i>Analytical Hierarchy Process</i>	48
2.8.2	Prinsip <i>Analytical Hierarchy Process</i>	49
2.8.3	Langkah-Langkah Penggunaan Metode AHP.....	50
2.9	Simulasi Gasifikasi Batubara	53
2.9.1	Devolatilisasi.....	54
2.9.2	Reaksi terhadap Oksigen.....	54
2.9.3	Gasifikasi Arang.....	55
2.10	<i>State Of The Art</i>	56
BAB III METODE PENELITIAN		58
3.1	Lokasi Penelitian.....	58
3.2	Jenis Penelitian dan Metode Penelitian.....	58
3.3	Kajian Literatur.....	61
3.4	Jenis Data	61
3.4.1	Data Primer	61
3.4.2	Data Sekunder	62
3.5	Populasi dan Sampel.....	62
3.6	Pengolahan dan Analisis Data.....	64
3.6.1	Editing dan Tabulasi	64
3.6.2	Analisis Data	65
3.6.3	Diagram Alir	65
3.6.4	Simulasi Gasifikasi	67
3.7	Waktu Penelitian.....	67
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		68
4.1	Karakteristik Batubara	68
4.1.1	Peringkat Batubara Aceh Barat.....	68
4.1.2	Hasil Analisa Proksimat.....	70

4.1.3	Hasil Analisa Ultimat.....	72
4.2	Analisis Hasil AHP	74
4.2.1	Subkriteria, Kriteria dan Alternatif	74
4.2.2	Hasil Akhir Metode AHP Pemilihan Reaktor Gasifikasi.....	89
4.3	Hasil Simulasi Gasifikasi Batubara.....	90
4.4	Pemilihan Reaktor Gasifikasi.....	96
4.5	Pemanfaatan Syngas Hasil Gasifikasi.....	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		98
5.1	Kesimpulan	98
5.2	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA		100
LAMPIRAN.....		110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peringkat Batubara ASTM D 388-99 (Bell et al, 2011).....	8
Gambar 2.2 Struktur Kimiawi Batubara. (Pasyimi, 2008).....	12
Gambar 2.3 Gambar Skematik Proses <i>Coalification</i> (Speight, 2015).	21
Gambar 2.4 Dasar dan Basis Data Analisis Batubara (Riadi, 2018).....	23
Gambar 2.5 Rantai Konversi Gasifikasi dari Bahan Mentah Menjadi Produk (Hingman, 2013).....	26
Gambar 2.6 Perbandingan Jenis <i>Gasifier</i>	27
Gambar 2.7 Diversifikasi Teknologi Gasifikasi (Grabner, 2015).....	31
Gambar 2.8 Reaksi yang Terjadi dalam <i>Fixed Bed Gasifier</i> (Huda, 2021).	32
Gambar 2.9 <i>Fluidized Bed Gasifier</i>	35
Gambar 2.10 Kisaran Bahan Bakar yang dapat Digunakan dalam Reaktor <i>Fluidized Bed</i> (Koorneev, 2006).	39
Gambar 2.11 Struktur <i>Analytical Hierachy Process</i>	50
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (RPM, 2017).....	58
Gambar 3.2 Diagram Alir Metode dan Langkah Penelitian.	60
Gambar 3.3 Diagram Alir Analisis AHP.	66
Gambar 3.4 Simulasi Gasifikasi Menggunakan ASPEN PLUS (Hardianto et al, 2014).....	67
Gambar 3.5 <i>Time Line</i> Penelitian.....	67
Gambar 4.1 Grafik Batang Rasio Konsistensi K-1 pada Penilaian Subkriteria Karakteristik Batubara.	75
Gambar 4.2 Garfik Batang Pembobotan Subkriteria Karakteristik Batubara Hasil Penilaian Responden K-1.	76
Gambar 4.3 Grafik Batang Rasio Konsistensi K-2 pada Penilaian Subkriteria Karakteristik Batubara.	76
Gambar 4.4 Grafik Batang Pembobotan Subkriteria Karakteristik Batubara Hasil Penilaian Responden K-2.	77
Gambar 4.5 Grafik Batang Rasio Konsistensi K-3 pada Penilaian Subkriteria Karakteristik Batubara.	78

Gambar 4.6 Grafik Batang Pembobotan Subkriteria Karakteristik Batubara Hasil Penilaian Responden K-3.	78
Gambar 4.7 Grafik Batang Rasio Konsistensi K-1 pada Penilaian Kriteria Reaktor Gasifikasi.	81
Gambar 4.8 Grafik Batang Pembobotan Kriteria Reaktor Gasifikasi Batubara Hasil Penilaian Responden K-1.	82
Gambar 4.9 Grafik Batang Rasio Konsistensi K-2 pada Penilaian Kriteria Reaktor Gasifikasi.	83
Gambar 4.10 Pembobotan Kriteria Reaktor Gasifikasi Batubara Hasil Penilaian Responden K-2.	83
Gambar 4.11 Grafik Batang Rasio Konsistensi K-3 pada Penilaian Kriteria Reaktor Gasifikasi.	84
Gambar 4.12 Grafik Batang Pembobotan Kriteria Reaktor Gasifikasi Batubara Hasil Penilaian Responden K-3.	85
Gambar 4.13 Grafik Batang Prioritas Alternatif Kelompok Satu (K-1).	88
Gambar 4.14 Grafik Batang Prioritas Alternatif Kelompok Dua (K-2).	88
Gambar 4.15 Grafik Batang Prioritas Alternatif Kelompok Tiga (K-3).	88
Gambar 4.16 Grafik <i>Pie</i> Pilihan Alternatif dari Semua Responden.	89
Gambar 4.17 Grafik <i>Pie</i> Pilihan Kriteria dan Subkriteria dari Semua Responden.	89
Gambar 4.18 Diagram Simulasi Gasifikasi Menggunakan Aspen Plus.	92
Gambar 4.19 Grafik Komposisi <i>Syngas</i>	93
Gambar 4.20 Grafik Fraksi Mol <i>Syngas</i>	94
Gambar 4.21 Hasil Simulasi Reaktor <i>Fixed Bed</i> dengan Variasi Suhu.	95
Gambar 4.22 Simulasi Gasifikasi Reaktor <i>Fluidized Bed</i>	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Deskripsi umum peringkat batubara (Speight. 2015).	10
Tabel 2.2 Klasifikasi maseral berdasarkan ASTM D121-05 dan ASTM 2799-05a.	18
Tabel 2.3 Karakteristik <i>Gasifier</i> (Cholidie, 2021).	28
Tabel 2.4 Kualitas Batubara pada Reaktor <i>Fixed Bed</i> (Ismail et al, 2020).	33
Tabel 2.5 Perbandingan Reaktor <i>Fixed Bed</i> dengan <i>Fluidized Bed</i> , (Wernecke, 2000).	36
Tabel 2.6 Analisis Batubara Peringkat Rendah dan Menengah (Cahyo et al, 2019).	37
Tabel 2.7 Hasil Analisis Bahan Bakar Reaktor <i>Fluidized Bed</i> (Mallick Et Al, 2019).	37
Tabel 2.8 Analisis Batubara Subbituminus Montana (Skone, 2014).	38
Tabel 2.9 Analisis Biomassa Pinus Montana (Skone, 2014).	38
Tabel 2.10 Komposisi Campuran dan Sifat Fisik Bahan Bakar (Zaccarello, 2015).	40
Tabel 2.11 Analisis Kualitas Bahan Bakar (Zaccarello & Mastellone, 2015).	40
Tabel 2.12 Analisis Kualitas Bahan Bakar (Datta et al, 2018).	41
Tabel 2.13 Analisis Kualitas Batubara Peringkat Rendah (Rianda et al, 2019). ..	42
Tabel 2.14 Analisis Kualitas Batubara Shenmu (Dong et al, 2020).	44
Tabel 2.15 Analisis Kualitas Batubara (Tremel et al, 2012).	44
Tabel 2.16 Analisis Kualitas Batubar Shenfu dan Petroleum Kokas (Sun et al, 2012).	45
Tabel 2.17 Analisis Kualitas Batubara Shenhua (Li et al, 2020).	45
Tabel 2.18 Analisis Proksimat, Ultimat, Komposisi Kimia Abus Dan AFT Batubara Yinli Xinjiang (Kong et al, 2014).	46
Tabel 2.19 Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara Tabas (Ghassemi et al, 2014).	47
Tabel 2.20 Skala Tingkat Kepentingan (Pratiwi, 2020).	51
Tabel 2.21 Matriks Perbandingan <i>Geometric Mean</i> (Aini, 2017).	52

Tabel 2.22 Perhitungan Prioritas Lokal (Aini, 2017).....	53
Tabel 4.1 Karakteristik Batubra di Lokasi Penelitian.	68
Tabel 4.2 Reaksi pada Gasifikasi.	73
Tabel 4.3 Konversi Nilai Analisa Ultimat daf ke adb.	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia membutuhkan energi dalam kehidupan sehari-harinya untuk menjalankan setiap bagian dari kehidupan. Energi merupakan salah satu faktor penting dalam mencapai pembangunan yang berkesinambungan (Khan et al, 2020). Energi yang dibutuhkan tersebut terdiri dari energi terbarukan yaitu energi matahari, energi air, energi angin maupun energi yang tidak terbarukan yang berasal dari fosil minyak bumi, batubara.

Lippelt & Maximilian (2011) menyatakan energi tidak terbarukan juga disebut sebagai energi primer yang berasal dari fosil. Konsumsi energi primer ini pada tahun 2004 secara global lebih kurang 77.8% terdiri dari 32.8% minyak, 21,1% gas alam dan 24,1 % batubara (Beretta, 2007). Sedangkan menurut Seger (2016) konsumsi energi primer mencapai 80 % dari total energi yang banyak digunakan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 17.4 terrawatts pada tahun 2015.

Dewan Energi Nasional Indonesia (2021) menyatakan bahwa konsumsi energi tahun 2020 sebesar 118,3 juta TOE, yang terdiri dari sektor transportasi 51,0 juta TOE, industri 40,3 juta TOE, rumah tangga 19,9 juta TOE, komersial 5,7 juta TOE dan sektor lainnya sebesar 1,4 juta TOE. Pasokan energi di Indonesia terutama oleh batubara 38.46% dan minyak bumi 32.82% (Dihni, 2021).

Sumber energi dunia sudah mengalami beberapa kali perubahan, dari penggunaan biomassa berubah menjadi energi fosil yang dipicu revolusi industri pada tahun 1900-an (Setyono & Kiono, 2021). Penggunaan energi fosil yang semakin tinggi menyebabkan kenaikan emisi gas rumah kaca sehingga iklim menjadi tidak stabil serta meningkatnya suhu bumi dan permukaan air laut (Pertamina, 2020). Kenaikan temperatur ini lebih kurang 1.5 °C sampai 3 °C (Batch dalam Ntanos, 2015)

Menurut Ntanos (2015) konsentrasi karbon dioksida telah meningkat pesat selama abad terakhir, dibandingkan dengan tingkat konsentrasi CO₂ sebelum era

industri. IEA (2021) menyatakan emisi CO₂ global dari pembakaran energi dan proses industri meningkat mencapai tingkat tahunan tertinggi dengan kenaikan 6% dari tahun 2020 mendorong jumlah emisi menjadi 36,3 gigaton (Gt) dengan sumber emisi berasal dari batubara sebesar 42% sebesar 15.3 Gt sedangkan sisanya berasal dari gas alam dan minyak.

Energi baru dan terbarukan merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat menggantikan energi tak terbarukan. Syukri & Roben (2016) menyatakan bahwa energi baru merupakan upaya memproduksi energi dengan mengubah energi fosil menjadi energi yang lebih efisien. Sedangkan energi terbarukan merupakan upaya memproduksi energi dengan mengubah energi dari alam menjadi energi yang lebih efisien dan dapat diperoleh dengan cepat dan berkesinambungan.

Pencarian energi baru dan terbarukan sebagai sumber energi alternatif karena dituntut beberapa kepetingan-kepedulian yaitu tuntutan perbaikan terhadap lingkungan karena perubahan iklim, peningkatan gas rumah kaca akibat emisi dari pembakaran energi fosil serta perubahan tata guna lahan. Lingkungan menuntut pelestarian sedangkan masyarakat menuntut peningkatan kesejahteraan.

Batubara adalah salah satu sumber energi terbesar di Indonesia. Djamaludin (2021) menyatakan bahwa total sumberdaya seluruh Indonesia yaitu 143,7 miliar ton sedangkan cadangan sebesar 38.84 miliar ton, dimana wilayah Sumatera memiliki sumberdaya batubara sebesar 55.08 miliar ton dan cadangan sebesar 12.96 miliar ton. Secara spesifik sumberdaya batubara di daerah penelitian yang berada di Kabupaten Aceh Barat Desa Sumber Batu sebesar 350 juta ton dengan cadangan sebesar 226 juta ton.

Pemerintah melalui undang-undang minerba No.3 tahun 2020 memberikan kewajiban pengembangan dan atau pemanfaatan batubara terhadap perusahaan-perusahaan penambang batubara yang kemudian dikuatkan dalam pasal 102 terkait kewajiban peningkatan nilai tambah batubara salah satunya dalam pemanfaatan gasifikasi batubara. Payung hukum selanjutnya yang mendukung kewajiban pengembangan dan pemanfaatan batubara yaitu pada PP No.25 tahun 2021 tentang penyelenggaraan bidang energi dan sumberdaya mineral, untuk komoditas batubara yang melakukan kegiatan nilai tambah didalam negeri dapat diberikan perlakuan

tertentu berupa pengenaan royalti sebesar 0%. Selanjutnya pada PP No.79 Tahun 2014 tentang kebijakan pemanfaatan batubara, peningkatan nilai tambah batubara untuk gasifikasi dan likuifaksi.

Vamvuka (2000) menyatakan bahwa gasifikasi batubara umumnya merujuk pada reaksi batubara dengan udara atau oksigen dan uap untuk menghasilkan produk gas yang dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar atau sebagai bahan sintesis gas atau bahan bakar cair atau bahan kimia. Sedangkan Lee (2007) menyebutkan bahwa segala proses yang merubah batubara untuk menghasilkan gas yang mudah terbakar disebut gasifikasi batubara.

Gasifikasi merupakan proses pembakaran tidak sempurna yang mirip dengan *coal combustion* (Vamvuka, 2000) akan tetapi terdapat perbedaan pada proses pembentukan polutan. Sulfur dan nitrogen pada batubara umumnya terbentuk menjadi H_2S dari pada SO_2 dan Nitrogen akan menjadi NH_3 . Lee (2007) menyatakan bahwa CO dan HCN dapat diproses kembali untuk diubah menjadi H_2S dan NH_3 dalam proses hidrolisis katalik. Dari hal diatas, dapat disebut bahwa teknologi gasifikasi ini sebagai teknologi yang ramah terhadap lingkungan.

Teknologi gasifikasi saat ini semakin berkembang dengan berbagai tipe reaktor gasifikasi. Dari berbagai tipe reaktor tersebut juga memiliki jenis dan karakter material *feeding* yang cocok sebagai bahan baku yang akan menghasilkan gas sintesis sedangkan di Indonesia juga memiliki berbagai tingkat kualitas batubara sehingga perlu dilakukan kajian penelitian terkait penentuan jenis reaktor gasifikasi yang sesuai dengan peringkat batubara.

1.2 Rumusan Masalah

Penulis melihat latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya membuat penulis ingin memperdalam lagi bagaimana bila batubara pada lokasi penelitian penulis dilakukan proses gasifikasi. Dari hal tersebut penulis merumuskan beberapa pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik baik secara fisik, kimia maupun petrografi batubara aktual di PT Mifa Bersaudara.
2. Bagaimana menentukan tipe reaktor gasifikasi yang cocok dengan karakteristik batubara PT Mifa Bersaudara.
3. Bagaimana hasil produk gas sintesis dari gasifikasi batubara di PT Mifa Bersaudara

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang penulis harapkan dari pertanyaan-pertanyaan pada rumusan masalah adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis karakteristik batubara PT Mifa Bersaudara.
2. Menganalisis dan memilih reaktor gasifikasi yang cocok dengan parameter batubara PT Mifa Bersaudara berdasarkan metode AHP.
3. Menganalisis komposisi dan proporsi produk gas sintesis berdasarkan simulasi perhitungan reaksi kima utama gasifikasi.

1.4 Ruang Lingkup

Penulis melakukan penelitian dengan menggunakan metode kuantitatif. Metode kuantitatif yang penulis gunakan terletak pada metode *analytical hierarchy process* dan pada pengujian yang dilakukan di laboratorium dan simulasi sederhana dari data laboratorium untuk mendapatkan jumlah dan propors *syngas* dari proses gasifikasi.

Penulis memberikan batasan terhadap penelitian yang dilakukan hanya pada lingkup gasifikasi dengan beberapa hal yaitu :

1. Karakteristik batubara yang didapatkan dari hasil uji laboratorium pada analisis proksimat dan analisis ultimat.
2. Metode *analytical hierarchy process* yang digunakan dalam pemilihan tiper reaktor.
3. Simulasi reaksi kimia utama dalam gasifikasi untuk mendapatkan komposisi dan proporsi *syngas* dari gasfikasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penulis berharap penelitian yang dilakukan dapat memberikan manfaat atau hasil yang berguna bagi semua terutama bagi :

1. Manfaat Terhadap Ilmu Pengetahuan. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi atau panduan serta khazanah tambahan dalam pengembangan ilmu pengetahuan terutama terkait pemanfaatan batubara melalui metode gasifikasi.
2. Manfaat Terhadap Perusahaan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan suatu pengetahuan baru atau tambahan pilihan bagi perusahaan dalam pengolahan batubara sehingga diharapkan dapat menambahkan nilai atau value dari batubara yang ada dan secara signifikan dapat memberikan manfaat secara finansial bagi perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, R. Bindar, Y., Sudanto, H., and Sasangko, D., (2017). “Pengaruh Kadar Karbon Pada Proses Gasifikasi”. *SINERGI Vol. 21, No. 1, Februari 2017: 1-8*.
- Aini, Y. 2017. *Pengembangan Dan Penentuan Indikator Remunerasi Berdasarkan Persepsi Dosen Di Lingkungan Fmipa-Its Dalam Rangka Ptnbh Menggunakan Metode Structural Equation Modelling – Partial Least Square Dan Analytical Hierarchy Process*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Al-Latif, L. M., Solihin., and Sulistyohadi, F., (2019). “Kajian Potensi Pembentukan Slagging dan Fouling Berdasarkan Nilai Ash Fusion Temperature dan Indeks Slagging Fouling pada Proses Gasifikasi Batubara Menggunakan Unit Fixed Bed Downdraft Gasifier di Puslitbang tekMira Bandung”. *Prosiding Teknik Pertambangan ISSN: 2460-6499 Volume 5, No. 2*.
- ASTM D2793. 2013. *Standard Method for Microscopical Determination of the Reflectance of the Organic Components in a Polished Specimen of Coal*. Annual Book of Standards. Section 05.05. ASTM International, West onshohocken, Pennsylvania.
- Atnaw, S. M. Sulaiman, S. A. Yusup, S. 2011. “A Simulation Study of Drawndraft Gasification of Oil-Palm Fronds Using ASPEN PLUS”. *Journal of Applied science* 11 (11): 1913-1920,2011.
- Ayudhia, Amanda. 2020. *Batubara Sebagai Sumber Energi: Asal, Jenis dan Kegunaannya*. <https://ugrg.ft.ugm.ac.id/artikel/batubara-sebagai-sumber-energi-asal-jenis-dan-kegunaannya.html>.
- Basri dan Syarli. 2018. “Ahp-Standar Score: Pendekatan Baru Dalam Sistem Pemingkatan”. *Jurnal Keteknikan dan Sains. LPPM UNHAS. Vol 1, No 1*.
- Bell, D. Towler, B. Fan, M. 2011. *Coal Gasification And Its Application*. First edition 2011. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK.

- Beretta, G. P. 2007. "World Energy Consumption and Resources: An Outlook For The Rest Century". *International Jurnal Enviromental Technology and Mangement, Vol 7, Nos ½*.
- Cahyo, Nur. Sitanggang, R. Alif, H. Hudaya, C. 2019, "Co-combustion Characteristics of Low- and Medium-Rank Coal of the Circulating Fluidized Bed Boiler Coal Power Plant." *IEEE 2nd International onference on Power and Energy Applications*. Indonesia.
- Chen., W. H., and Chen, C. Y., (2019). Water gas shift reaction for hydrogen production and carbon dioxide capture: *A review. Elsevier. Aplied Energy*.
- Cholidie, S. 2021. "Potensi Sumberdaya Dan Karakteristik Batubara Untuk Gasifikasi Di Indonesia." *MGEI Coal Webinar Series*.
- Collot, Anne-Gae'lle. 2006. "Matching gasification technologies to coal properties." *International Journal of Coal Geology 65 (2006) 191 – 212*.
- Condori, O., Diego, L. F., Garcia-Labiano, F., Izquierdo, M. T., Abad, A., and Adanez, J., 2021. "Syngas Production in a 1.5 kWth Biomass Chemical Looping Gasification Unit Using Fe and Mn Ores as the Oxygen Carrier". *Enegy Fuel, 2021, 17182 - 17196*
- Datta, S. Sarkar, Pinaki. Chavan, Prakash. 2018. "Gasification of coal and press mud blends in fluidised bed gasifier." *Int. J. Oil. Gas and Coal Technology. Vol. 19. No. 2*.
- Dewan Energi Nasional. 2021. *Laporan Hasil Analisis Neraca Energi Nasional*. Sekretaris Jendral Dewan Energi Nasional.
- Dihni, V. 2021. Batu Bara Dominasi Kontribusi Pasokan Energi Primer Indonesia pada 2020. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/12/02/batu-bara-dominasi-kontribusi-pasokan-energi-primer-indonesia-pada-2020.html>.
- Djamaludin, Ridwan. 2021. *Siaran Pers Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral*. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/cadangan-batubara-masih-3884-miliar-ton-teknologi-bersih-pengelolaannya-terus-didorong.html>.
- Dong, Kai. Rong, Q., Li, M., Lin, J., Xiao, R. and Li, Y., 2020. "A novel simulation for gasification of Shenmu Coal in an entrained flow gasifier." *Chemical Engineering Research and Design 160 (2020) 454–464*.

- Ebrahimi, Parisa., Kumar, Anand., and Kharisheh, Majeda., 2020. A review of recent advances in water-gas shift catalysis for hydrogen production. *Emergent Materials (2020) 3:881–917*.
- Esterle, J.S. O'Brien, G. and Kojovic, T. 1994. "Influence of Coal Texture and Rank on Break age Energy and Resulting Size Distributions in Australian Coals." *Proceedings of the 6th Australian Coal Science Conference, Newcastle, Australia, Australian Institute of Energy. Page 175–181*.
- Hardianto, T. Rusviandi, M. Adrian, A., R. Prawisudha, P., 2014. "Studi Pemanfaatan Batubara Indonesia Peringkat Rendah dengan Metode Gasifikasi Entrained Flow pada Sistem PLTGU di Indonesia". *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII)*.
- Gagarin, S.G. 2010. "Thermochemical Properties of Coal Fractions of Different Density: A Review." *Coke and Chemistry, 53(6): 206–212*.
- Gagliano, A., Nocera, F., Bruno, M., and Cardillo, G., 2017. "Development of an equilibrium-based model of gasification of biomass by Aspen Plus" *Energia Procedia, 111 (2017) 1010-1019*.
- George, O., Ndritu, H., and Gathitu, B., 2020. "Effect of Oxygen – Air Ratio on The Gasification Of Mui Basin Coal Using Fixed-Bed Gasifier." *International Journal of Engineering Technology and Scientific Innovation*.
- Ghassemi, H., Mostavi, M. S., and Shahsavan, R., 2016. "Modeling of High-Ash Coal Gasification in an Entrained-Flow Gasifier and an IGCC Plant." *Journal of Energy Engineering. © ASCE. ISSN 0733-9402*.
- Grabner, Martin. 2015. *Industrial Coal Gasification Technologies Covering Baseline and High-Ash Coal*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany.
- Hastono, S. P. 2013. *Statistik Kesehatan*. Rajawali Pers. Jakarta.
- Hingman, C. 2013. "State of the gasification industry: the updated worldwide gasification database." *Proceedings of the Gasification Technologies Conference, October 13–16, 2013, Colorado*.
- Hingman, C. and van der Burgt, M. 2003. *Gasification*, Elsevier Science, New York
- Hotchkiss, R. 2003. "Coal gasification technologies. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers." *Part A: Journal of Power and Energy*.

- ICCP. 1994. "The New Vitrinite Classification (ICCP System 1994)." *Fuel*, 77: 349–358.
- International Committee for Coal and Organic Petrology, 2001. "New inertinite classification (ICCP system 1994)." *Fuel* 80, 459–471.
- International Energy Agency (IEA). 2021. *Global Energy Review: CO₂ Emission in 2021, Global Emissions Rebound Sharply to Highest Ever Level*. www.iea.org.
- Ismail, T.M., Shi, M., Xu, J., Chen, X., Wang, F., and El-Salam, M. A., 2020, "Assessment of coal gasification in a pressurized fixed bed gasifier using an ASPEN plus and Euler–Euler model." *Int J Coal Sci Technol* (3):516–535.
- Johnson, Filip. 2007. "Fluidized Bed Combustion for Clean Energy." *The 12th International Conference on Fluidization - New Horizons in Fluidization Engineering*.
- Karatepe, N., Haykjri, H., and Ersoy, A., 2007. "Analysis of Four Industrial Coal-Fired Fluidized Bed Systems." *ISSN: 0090-8312 (Print) 1521-0510 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/ueso19>*.
- Keller, J. 1990. "Diversification Of Feedstocks and Products: Recent Trends In The Development Of Solid Fuel Gasification Using The Texaco And The HTW rocess." *Fuel Processing Technology*, 24, 247–268.
- Khan, H., Khan, I., & Binh, T. T. (2020). The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach. *Energy Reports*, 859-867.
- Kheybari, S., Rezaie, F. M., Naji, A., and Najafi, F., 2019. "Evaluation of energy production technologies from biomass using analytical hierarchy process: The case of Iran". *Jurnal Cleaner of Production* 233.
- Khurshid, I., Baig, M. A. S., and Choe, J., 2013. "Utilization of Coal Deposits of Thar Colliers with Underground Coal Gasification, Oppurtinities and Challenges in Syngas Generation." *SPE/PAPG Annual Technical Conference. Society of Petroleum Engineers*.
- Kong, L., Bai, J., Bai, Z., Guo, Z., and Li, W., 2014. "Improvement of ash flow properties of low-rank coal for entrained flow gasifier." *Fuel. Volume 120 Pages 122 – 129*.

- Koornneef, J., Martin, J., and André, F., 2006. "Development of fluidized bed combustion—An overview of trends. performance and cost." *Progress in Energy and Combustion Science* 33 (2007) 19–55.
- Lee, Sunggyu. 2007. *Handbook of Alternative Fuel Technology*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Li, G., Wang, L., Wang, C., Wang, Changan., Wu, P., and Che, D., 2020. "Experimental Study on Coal Gasification in a Full-Scale Two-Stage Entrained-Flow Gasifier." *Energies* 2020. 13. 4937.
- Lippelt, J. & Maximilian Xindram. 2011. "Global Energy Consumption". *Centre for Economics Studies ifo Institute Forum*.
- Lu, Xijia & Ting Wang. 2014. "Investigation of Low Rank Coal Gasification in a Two-Stage Downdraft Entrained-Flow Gasifier." *International Journal of Clean Coal and Energy*. 2014. 3. 1-12.
- Ma, Honghe., Wang, S., and Zhou, Lu., (2012). "Combustion of Fixed Carbon in Supercritical Water". *Advanced Materials Research Vols. 347-353 (2012) pp 277-280*.
- Mallick, Debarshi. Pinakeswar Mahant &. Vijayanand S. Moholka. 2019. "Coegasification of coal/biomass blends in 50 kWe circulating fluidized bed gasifier." *Journal Of the Energy Institue Volume 93, Issue 1, 99-111 Assam. India*.
- Margono. 2004. *Metode Penelitian Pendidikan*. Rineka Cipta. Jakrata.
- Maulana, B. 2015. *Analisis Penentuan Prioritas Penunjukan Pejabat Struktural Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) (Studi Kasus YP. Shafiyatul Amaliyyah Medan)*. Medan: Badan Penerbit Universitas Sumatera Utara.
- Mazumder, B. 2012. *Coal Science and Engineering*. Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., G-2, Vardaan House, 7/28, Ansari Road. Daryaganj, New Delhi – 110002, India.
- Miftahul Huda, 2021, "Potensi Sumberdaya Dan Karakteristik Batubara Untuk Gasifikasi Di Indonesia." *MGEI Coal Webinar Series*.

- Mishra, B. K & Singh, B. D. 1994. "Susceptibility to Spontaneous Combustion of Indian Coals and Lignites: An Organic Petrographic Autopsy." *International Journal of Coal Geology*, 25: 265–286.
- Mufid, Faishal. dan Anis, Samsudin. 2019. Pengaruh Jenis dan Ukuran Biomassa Terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan *Downdraft Gasifier*. *Rekayasa Mesin eISSN 2477-6041 pp 217-226, 2019*.
- Muhari, R., Edianto., and Dwi, Harman. 2016. "Geologi dan Pengaruh Struktur Geologi Terhadap kualitas Batubara pada Satuan Batupasir Kampungbaru Daerah Mutiara dan Sekitarnya, Kecamatan Samboja, Kabupaten Kutai Karta Negara, Provinsi Kalimantan Timur". *Promine Jurnal. Vol 4 (2), Page 21 – 30*.
- Nirwalangga, Calvin., 2016. Reaktor Membran WGSR untuk Produksi Gas Hidrogen. [Researchgate.net/publication](https://www.researchgate.net/publication).
- Ntanos, S., Arabatzis. M., and Chalikia, L., 2015. "Energy Consumption and CO2 Emissions on a Global Level". *Conference: International Conference on Quantitative and Qualitative Methodologies in the Economic and Administrative Sciences At: Technological Educational Institute of Athens*.
- Nursanto, Edy, Ilcham, A., & Haryono, G., 2020. "Studi Awal Meningkatkan NilaiTambah Batubara Halus dengan Gasifikasi." *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. Yogyakarta.
- Pandeev, S., Srivastava, V. C., and Kumar, Vimal. 2023. High-Ash Low-Rank Coal Gassification: Process Modelling and Multi Objective Optimization. *ACS ENG. Au 2023, 3, 59-75*.
- Papalexando, M. A., Pilavachi, P. A., and Chatzimouratidis, A. I., 2008. "Evaluation of liquid bio-fuels using the Analytic Hierarchy Process". *Process Safety and Enviroment Protection 86 p360-374*
- Pasyimi. 2008. *Batubara*. Bung Hatta University Press.
- Pertamina Eney Institute. (2020). *Pertamina Energy Outlook 2020*. Jakarta: Pertamina Eney Institute.

- Pilavachi, P. A., Chatzipanagi, A. L., and Spyropoulou, A. I., et al. 2009. "Evaluation of Hydrogen Production Methods Using The Analytic Gierarchy Process". *International Journal of Hydrogen Energy* 34
- Pratiwi, H. 2020. "Metode *Analytical Hierarchy Process*." *Researchgate Publication* 341767794.
- Purnama, Asep., Ningrum, N. S., 2012. Petrographic Characteristics And Depositional Environment Of Coal Seams D (Merapi) And E (Keladi), Muara Enim Formation, South Sumatera Basin. *Indonesian Mining Journal* vol 15 No 1. February 2012.
- Reddy, R. & Vinu R. 2018. *Feedstock Characterization for Pirolysis and Gasification*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Rezaiyan, J. & Cheremisinoff. 2005. *Gasification Technology, A Primer for Engineers and Scientist*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Riadi, M. 2018. *Pembentukan, Jenis, Analisis Kualitas Batubara*. <https://www.kajianpustaka.com/2018/12/pembentukan-jenis-analisis-kualitas-batubara.html>.
- Rianda, Sapta. Dedy Yaskuri & M. Ade A. Efendi. 2019. "Low-Rank Coal Gasification Using A Bubbling Fluidized Bed Reactor At Low Operating Temperature." *Indonesian Mining Journal* Vol. 22. No. 2. 99 – 105.
- Robl, T. Anne Oberlink & Rod Jones. 2017. *Coal Combustion Products (CCP's) Characteristics, Utilization and Beneficiation*. The Officers' Mess Business Centre, Royston Road, Duxford, CB22 4QH, United Kingdom.
- Saaty, L Thomas. 2015. "How Many Judges Should There Be in a Group". *Annals of Data Science*. January.
- Salinita, S & Bahtiar, A. 2014. "Pengaruh Struktur Geologi Terhadap Kualitas Batubara Lapisan D Formasi Muara Enim". *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. Volume 10, No 2 : 91-104.
- Saparov, A., Kulmukanova, L., Mostafavi, E., Sarbassov, Y., Inglezakis, V., Anthony, E. J., and Shah, D., 2020. "Development and validation of a novel process model for fluidized bed combustion: Application for efficient combustion of low-grade coal." *The Canadian Journal of Chemical Engineering* Volume 99.

- Seger, B. 2016. *Global Energy Consumption: The Numbers for Now and in the Future*. Technical University of Denmark.
- Setyono, Agus E & Tamtomo Kiono. 2021. “ Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan Vol. 2, No. 3, pp 154 – 162*.
- Shahabuddin, M. & Sankar Bhattacharyab. 2019. “Gasification characteristics of Bangladeshi Barapukurian coal in a high-temperature entrained flow gasifier under CO₂ atmosphere.” *AIP Conference Proceedings 2121. 040013*.
- Siregar, S. 2017. *Statistik Parametrik untuk Penelitian Kuantitatif*. Bumi Aksara. Jakarta
- Skone. Timothy J. 2014. *Comprehensive Analysis of Coal and Biomass Conversion to Jet Fuel: Oxygen Blown. Transport Reactor Integrated Gasifier (TRIG) and FischerTropsch (F-T) Catalyst Configurations*. National Energy Technology Laboratory. US Departemen of Energy. United State of America.
- Spears, D.A. 2005. “A Review of Chlorine and Bromine in Some United Kingdom Coals.” *International Journal of Coal Geology 64, 257–265*.
- Speight, James G. 2015. *Handbook Of Coal Analysis Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Steigel. JG, Ramezan. 2005. “Hydrogen from Coal Gasification: An Economical Pathway to a Sustainable Energy Future.” *International Journal of Coal Geology 173 – 190*.
- Sun, Z., Dai, Z., Zhou, Z., Xu, J., and Yu, G., 2012. “Comparative Study of Gasification Performance between Bituminous Coal and Petroleum Coke in the Industrial Opposed Multiburner Entrained Flow Gasifier.” *Energy Fuels 2012. 26. 6792–6802*.
- Supropto, Slamet., Heryadi, D., dan Nurhadi. 2009. Pemanfaatan Gasifikasi Batubara untuk PLTD Sistem *Dual Feul*. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Vol.5 No.3 :121-130*.
- Susanto, Herri. 2018. “Pengembangan Teknologi Gasifikasi Untuk Mendukung Kemandirian Energi dan Industri Kimia. *Forum Guru Besar Institute Teknologi Bandung*. Bandung.

- Sykorová, I. 2005. "Classification of Huminite." *International Journal of Coal Geology* 62, 85–106.
- Syukri Nur, Muhammad & J Roben, Mifaqih. 2016. *Gasifikasi Batubara: Solusi Energi dan Lingkungan untuk Indonesia*. Jakarta.
- Talla, H & Taba, H. T., 2017. "Pengaruh Kadar Air Terhadap Proses Pencairan Dan Produk Minyak Batubara." *Journal Of Chemical Process Engineering, Vol.02, No.01, Mei-2017*.
- Talla, H., Amijaya, H., Harijoko, A., and Huda, M., 2013. "Karakteristik Batubara Dan Pengaruhnya Terhadap Proses Pencairan." *Reaktor, Vol. 14 No. 4, Oktober 2013, Hal. 267-271*.
- Thomas, L. 2020. *Coal Geology*. Third Edition. John Wiley & Sons Ltd.
- Timsina, R., 2020. "Aspen Plus Simulation of Biomass Gasification for Different Types of Biomass". *Proceeding of SIMS*.
- Tremel, A., Haselsteiner, T., Nakonz, M., and Spliethoff, H., 2012. "Coal and char properties in high temperature entrained flow gasification." *Energy* 45 (2012) 176 – 182.
- Vamvuka, D. 2000. *Gasification Of Coal. "Clean Uses of Coals. Low-Rank Coal Technologies*. MultiScience Publishing Co. Ltd.
- Wang, Lianyong, Jiuju Cai, 2010, "Experimental Investigation on high temperature air gasification of coal in a fixed-bed gasifier." *The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2008AA042901)*. China.
- Wang, Z., Zhang, K., Li, Y., He, Y., Kuang, M., Li, Q., and Cen, K., 2016. "Gasification Charactersitic of Different Rank Coal at H₂O and CO₂ Atmospheres". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.
- Warnecke, R. 2000. *Gasification of biomass: comparison of fixed bed and fluidized bed gasifier, Noell-KRC Energie- und Umwelttechnik*. Department of Process Development, Alfred-Nobel-Straûe 20, 97 080, WuÈrzburg, Germany.
- Werle, Sebastian. 2015. "Gasification of a dried sewage sludge in a laboratory scale fixed bed reactor." *The 12th International Conference on Combustion & Energy Utilisation – 12ICCEU*.

- Winarno, A., Amijaya D. H., and Harijoko, A., 2016. "Sudi Pendahuluan Pengaruh Karakteristik Batubara Peringkat Rendah Cekungan Kutai Terhadap Gasifikasi Batubara." *Promine Journal, December 2016, Vol. 4 (2)*
- Yeu, S., Wang, C., Xu, Z., Si, T., Zhou, C., and Anthony, E. J., 2020. "Formation and Reduction of NO₂ in Fixed Bed Combustion of Coal Char under Oxy–Fuel Conditions: Experimental and Density Functional Theory Analysis." *Energy Fuels 2020, 34, 6326–6337.*
- Yun, Y., & Chung, S., 2007. *Gasification of An Indonesian Subbituminous Coal in A Pilot-Scale Coal Gasification System.* Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering, Yongin 448-863, korea.
- Zaccariello, L., & Mastellone, M. L., 2015. "Fluidized-Bed Gasification of Plastic Waste. Wood. and Their Blends with Coal." *Energies 2015. 8. 8052-8068.* Italy.
- Zhang, C., Schulthies, K., Mitra, A., and Rahman, M., 2015. "Parametric Studies of Coal Gasification In An Entrained-Flow Gasifier." *Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Texas.*