

**KARAKTERISASI GASIFIKASI BATUBARA *LOW RANK*
DENGAN METODE TG/DTA – FTIR**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian syarat penyelesaian program Diploma IV
Program studi Teknologi Kimia Industri pada Sekolah Tinggi Manajemen Industri

**Di Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), Balai Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
(02 Maret 2015 – 08 Mei 2015)**



Disusun oleh :

ANGGITA LUTHFIYANI 15.11.035

RISKY DWI YUNIAR 16.11.003

**TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI
SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA**

2015

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

JUDUL : **KARAKTERISASI GASIFIKASI BATUBARA LOW RANK**
DENGAN METODE TG/DTA-FTIR

NAMA / NIM : ANGGITA LUTHFIYANI / 1511.035
RISKY DWI YUNIAR / 1611.003

JURUSAN : TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan
Dalam sidang Tugas Akhir Sekolah Tinggi Manajemen Industri
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia

Ketua Program Studi
Teknologi Kimia Industri

Dosen Pembimbing

Dr.Ir.Gatot Ibnusantosa, DEA

NIP. 19510302. 198003.1003

Sakri Widhianto, S.Teks, MM

NIP. 195303171978031003

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PENELITIAN : KARAKTERISASI GASIFIKASI BATUBARA LOW RANK
DENGAN METODE TG/DTA-FTIR

NAMA / NIM : ANGGITA LUTHFIYANI (1511035)
RISKY DWI YUNIAR (1611003)

PROGRAM STUDI : TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknologi Kimia Industri
Sekolah Tinggi Manajemen Industri pada hari Senin, 6 Juli 2015.

Jakarta, Juni 2015

Pembimbing,

Sakri Widhianto, S.Teks, MM

Penguji,

Penguji,

Dr.Ir. Gatot Ibnusantosa, DEA

Dr.Ir. Agus Mundiyo

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya Mahasiswa Program Studi Teknologi Kimia Industri, Sekolah Tinggi Manajemen Industri, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia :

Nama : Anggita Luthfiyani
NIM : 1511035
Program Studi : Teknologi Kimia Industri

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang saya buat dengan judul :

KARAKTERISASI GASIFIKASI BATUBARA LOW RANK DENGAN METODE TG/DTA-FTIR

- Dibuat dan diselesaikan sendiri, dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing di tempat saya melakukan penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dengan dicantumkan melalui referensi pendukung untuk melengkapi informasi.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir saya.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah nyatakan seperti yang diatas, maka karya Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, Juni 2015
Yang Membuat Pernyataan

Anggita Luthfiyani

Lembar Bimbingan dosen kampus

KATA PENGANTAR

Laporan Penelitian, merupakan salah satu syarat kelulusan D4 tahun ajaran 2011-2015 Sekolah Tinggi Manajemen Industri, Teknologi Kimia Industri. Laporan ini berisi mengenai kegiatan Penelitian yang dilakukan di B2TE-BPPT, dilaksanakan mulai tanggal 02 Maret 2015 sampai dengan 08 Mei 2015 yaitu dengan judul “Karakterisasi Gasifikasi Batubara *Low Rank* dengan Metode TG/DTA - FTIR ”.

Adapun garis besar laporan ini meliputi pendahuluan, gambaran umum instansi, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, Kesimpulan dan saran, serta Daftar Pustaka.

Puji dan Syukur penyusun panjatkan kepada Tuhan semesta alam, Allah SWT karena atas Rahmat dan Kekuatan-Nya penyusunan laporan Penelitian ini telah selesai. Penyusun juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ketua Sekolah Tinggi Manajemen Industri Kementerian Perindustrian Bapak Achmad Zawawi, MA, M.M, yang telah memberikan izin.
2. Ketua Jurusan Teknologi Kimia Industri Bapak Dr. Ir. Gatot Ibnsantosa, DEA yang telah memberikan persetujuan kepada penyusun dan mahasiswa/i selama penelitian berlangsung.
3. Pembimbing penelitian di B2TE-BPPT Bapak Dr. Ir. Cahyadi, M.Kom yang telah mengarahkan dan membimbing penyusun selama penelitian.
4. Dosen pembimbing penelitian Bapak Sakri Widhianto, S.Teks, MM yang telah memberikan dorongan dan nasihat kepada penyusun
5. Orang tua, Ibu-Bapak yang selalu memberikan doa, nasihat, dan motivasi.
6. Kepala Balai Besar Teknologi Energi, Bapak Dr.Ir.Andika Prastawa, M.SEE.
7. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan nasihat dan ilmunya dengan tulus tanpa balas jasa.
8. Seluruh Perekayasa dan Litkayasa pada Bidang Energi Fosil khususnya Sub-bidang Konversi dan Pengendalian Polusi, B2TE yang telah membantu dalam memberikan fasilitas selama penelitian.
9. Koordinator Administrasi Sub. Bidang pelayanan Jasa, Ibu Risma Simamora, SE yang telah membantu admistrasi persyaratan penelitian.
10. Teman-teman seperjuangan satu angkatan TKI 2011 yang telah berjuang bersama-sama selama empat tahun.

11. Semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penyusun menyadari bahwa pengetahuan yang dimiliki masih kurang luas, sehingga laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penyusun menerima saran dan kritik yang membangun dari semua pihak guna perbaikan dan penyempurnaan laporan berikutnya.

Laporan ini bukan merupakan titik akhir sebuah perjuangan. Penyusun mengharapkan laporan ini dapat menimbulkan motivasi positif bagi pembaca. Semoga keberadaan laporan dengan isi yang memiliki keterbatasan akan memberikan manfaat yang tidak terbatas bagi pembaca.

Jakarta, Juli 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	ii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SPEKTRUM	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Jadwal Kegiatan	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pengenalan Batubara	7
2.1.1 Klasifikasi Batubara	7
2.1.2 Karakteristik Batubara	11
2.1.2.1 Sifat kimia.....	12
2.1.2.2 Sifat Fisis	14
2.1.2.3 Sifat Mekanis	14
2.1.2.4 Sifat Termal	15
2.1.2.5 Sifat Elektrik	16
2.1.2.6 Sifat Abu	16

2.2 Deskripsi Alat.....	17
2.2.1 <i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i>	17
2.2.2 <i>Mixer Mill</i>	18
2.2.3 <i>Test Sieve Shaker</i>	19
2.2.4 <i>Thermo Gravimetric - Differential Thermal Analysis (TG-DTA)</i>	20
2.2.4.1 Thermo Gravimetric Analyzer.....	20
2.2.4.2 Differential Thermal Analysis	22
2.2.5 <i>Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	23
BAB III	26
METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Alat yang digunakan.....	26
3.1 Analisis Ultimat.....	26
3.1.1 Instruksi Kerja Analisis Ultimat	26
3.2 Analisis Proksimat.....	28
3.3 Prosedur Gasifikasi	32
4.3.1 Pengeringan	32
4.3.2 Gasifikasi TG - DTA	38
BAB IV	41
HASIL dan PEMBAHASAN	41
4.1 Analisis Proksimat dan Ultimat.....	41
4.2 Hasil dan Pembahasan Pengamatan Pengeringan	42
4.2.1 <i>Oven Drying</i>	42
4.2.3 <i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i>	44
4.2.2.1 Grafik Hasil Pengamatan FBR Isotermal	44
4.2.2.2 Grafik Hasil Pengamatan FBR Non-Isotermal	45

4.3 Hasil dan Pembahasan Pengamatan Gasifikasi	49
4.3.1 <i>Kurva Hasil Pengamatan TG/DTA</i>	49
4.3.2 Analisis Kualitatif Gas dengan Metode FTIR	51
4.3.2.1 Hasil Karakteristik Batubara Sumsel dan Kaltim dalam metode FTIR pada Lingkungan CO ₂ dan N ₂	51
4.3.2.2 Karakteristik Spektrum gas CO ₂	51
4.3.2.3 Karakteristik Spektrum gas CO	53
4.3.2.4 Karakteristik Spektrum gas CH ₄	53
4.3.2.5 Karakteristik Spektrum gas H ₂ O.....	54
4.3.2.6 Karakteristik Spektrum gas NO ₂	55
4.3.3 Pembahasan Analisis Kualitatif Gas dengan Metode FTIR pada Lingkungan CO ₂ dan N ₂	55
BAB V	58
PENUTUP.....	58
5.1 Kesimpulan.....	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	61
4.3.1 Data Oven Drying.....	61
4.2.2 Data <i>FBR</i> Isotermal	63
4.2.2.1 Data Pengamatan FBR Isotermal Batubara Sumatera Selatan	63
4.2.2.2 Data Pengamatan FBR Isotermal Batubara Kalimantan Timur.....	65
4.2.3 Data FBR Non-Isotermal.....	68
4.2.3.1 Laju Temperatur Fixed Bed Reactor 10°C per 2 menit (5°C/menit).....	68
4.2.3.2 Laju Temperatur Fixed Bed Reactor 5°C per 5 menit (1°C/menit).....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi batubara berdasarkan level ASTM	8
Gambar 2.2 Langkah kerja Penggunaan <i>mixer mill</i>	18
Gambar 2.3 <i>Test sieve shaker</i>	19
Gambar 2.4 TG-DTA.....	20
Gambar 2.5 Cawan sampel	21
Gambar 3.1 Diagram alir pengeringan batubara dengan metode oven <i>drying</i> dan <i>fixed bed reactor</i>	33
Gambar 3.2 <i>Crusher</i>	34
Gambar 3.3 Pengayakan batubara.....	35
Gambar 3.4 Rangkaian <i>fix bed reactor</i>	36
Gambar 3.5 Penyangga dan basket contoh.....	36
Gambar 3.6 Gambar Contoh dan rangkaian alat proses menggunakan <i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i>	37
Gambar 3.7 Diagram alir gasifikasi batubara metode TG/DTA-FTIR dalam lingkungan <i>oxyfuel</i>	38
Gambar 3.8 Gambar Contoh dan rangkaian alat proses gasifikasi menggunakan <i>Thermo Gravimetric/Differential Thermal Analysis - Fourier Transform Infra Red (TG/DTA-FTIR)</i>	39
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Waktu Pengeringan Terhadap Kadar Air Batubara Sumatera Selatan dengan Batubara kalimantan Timur dengan Metode <i>Oven Drying</i>	42
Gambar 4.2 Batubara Sumatera Selatan.....	44
Gambar 4.3 Batubara Kalimantan Timur.....	44
Gambar 4.4 Pengeringan Batubara Sumatera dan Kalimantan secara isothermal dengan FBR.....	45

Gambar 4.5 Temperatur terhadap Batubara Sumatera dan Kalimantan secara non-isothermal FBR	46
Gambar 4.6 Hubungan perbandingan energy aktivasi secara isothermal FBR.....	47
Gambar 4.7 Kurva TG-DTA Batubara Sumsel dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂	49
Gambar 4.7 Kurva TG-DTA Batubara Kaltim dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Jadwal Kegiatan Kerja Praktek.....	5
Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Batubara menurut ASTM 1981, op cit Wood et al, 1983 (culp Archie,1995).....	10
Tabel 2.1 Spesifikasi peralatan gas <i>analyzer</i>	17
Tabel 3.3 Daerah spektrum radiasi IR	24
Tabel 4.1 Hasil Analisis Ultimat dan Proksimat Batubara Sumsel dan Kaltim.....	41
Tabel 4.2 Data Pengeringan Batubara Sumatera Selatan (120 °C).....	61
Tabel 4.3 Data Pengeringan Batubara Kalimantan Timur (120 °C).....	62
Tabel 4.4 Tingkat Temperatur dalam Pengengeringan Batubara.....	43
Tabel 4.5 Data <i>Setting Temperature</i> dan <i>Fixed Bed Reactor Air Temperature</i> Batubara Sumatera Selatan.....	63
Tabel 4.6 Data Gradien () Massa <i>FBR</i> Batubara Sumatera Selatan.....	64
Tabel 4.7 Data <i>Setting Temperature</i> dan <i>Fixed Bed Reactor Air Temperature</i> Batubara Kalimantan Timur.....	65
Tabel 4.8 Data Gradien () Massa <i>FBR</i> Batubara Kalimantan Timur.....	66
Tabel 4.9 Data <i>Setting Temperature</i> dan <i>Fixed Bed Reactor Air Temperature</i> Batubara Sumatera Selatan.....	68
Tabel 4.10 Data Gradien () Massa Batubara Sumatera Selatan.....	68
Tabel 4.11 Data <i>Setting Temperature</i> dan <i>Fixed Bed Reactor Air Temperature</i> Batubara Kalimantan Timur.....	68
Tabel 4.12 Data Gradien () Massa Batubara Kalimantan Timur.....	69

Tabel 4.13 Data <i>Setting Temperature</i> dan <i>Fixed Bed Reactor Air Temperature</i> Batubara Sumatera Selatan.....	69
Tabel 4.14 Data Gradien () Massa Batubara Sumatera Selatan.....	70
Tabel 4.15 Data <i>Setting Temperature</i> dan <i>Fixed Bed Reactor Air Temperature</i> Batubara Kalimantan Timur.....	70
Tabel 4.16 Data Gradien () Massa Batubara Kalimantan Timur.....	71
Tabel 4.17 Hasil dm/dt , T_{in} , T_{max} serta $T_{burn out}$	50
Tabel 4.17 <i>Absorption band some typical gases</i>	56

DAFTAR SPEKTRUM

Gambar 4.9 Spektrum Batubara Sumsel dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (400-4000 cm ⁻¹)	51
Gambar 4.10 Spektrum Batubara Kaltim dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (400-4000 cm ⁻¹).....	51
Gambar 4.11a Spektrum Batubara Sumsel dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (600-780 cm ⁻¹).....	51
Gambar 4.11b Spektrum Batubara Kaltim dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (600-780 cm ⁻¹)	52
Gambar 4.12a Spektrum Batubara Sumsel dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (2200-2400 cm ⁻¹).....	52
Gambar 4.12b Spektrum Batubara Kaltim dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (2200-2400 cm ⁻¹).....	52
Gambar 4.13a Spektrum Batubara Sumsel dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (2000-2200 cm ⁻¹).....	53
Gambar 4.13b Spektrum Batubara Kaltim dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (2000-2200 cm ⁻¹)... ..	53
Gambar 4.14a Spektrum Batubara Sumsel dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (1100-1400 cm ⁻¹).....	53
Gambar 4.14b Spektrum Batubara Kaltim dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (1100-1400 cm ⁻¹).....	54
Gambar 4.15a Spektrum Batubara Sumsel dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (1270-2000 cm ⁻¹).....	54
Gambar 4.15b Spektrum Batubara Kaltim dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (1270-2000 cm ⁻¹).....	54
Gambar 4.16a Spektrum Batubara Sumsel dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (1550-1650 cm ⁻¹).....	55
Gambar 4.16b Spektrum Batubara Kaltim dalam lingkungan N ₂ dan CO ₂ (1550-1650 cm ⁻¹).....	55

ABSTRAK

Salah satu teknologi pemanfaatan batubara adalah teknologi gasifikasi yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau industri kimia yang menghasilkan syn-gas dan turunannya. Pada penelitian ini difokuskan pada penelitian gasifikasi batubara untuk menghasilkan syn-gas. Pemanfaatan batubara peringkat rendah dengan kandungan air tinggi membutuhkan proses pengeringan sebelum masuk dalam proses gasifikasi. Gas pembawa pada gasifikasi batubara umumnya menggunakan gas CO₂ dan N₂. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi pengeringan dan gasifikasi batubara dalam lingkungan CO₂ dan N₂ menggunakan peralatan pengujian skala laboratorium. Pada penelitian ini dibahas mengenai karakteristik batubara saat pengeringan dengan metode *Fixed Bed Reactor* (FBR) dan karakteristik penyalaan batubara dengan metode TG/DTA-FTIR. Dua jenis batubara Indonesia dengan peringkat lignit (Sumsel) dan sub-bituminus (Kaltim) telah digunakan sebagai sampel batubara. Hasil karakterisasi pengeringan secara isothermal di dalam FBR menunjukkan batubara dengan kadar air yang lebih tinggi akan lebih cepat melepaskan *surface moisture* dibandingkan batubara dengan kadar air yang lebih rendah. Untuk pengeringan secara non-isothermal di dalam FBR menunjukkan batubara dengan kadar air yang lebih rendah dengan laju kenaikan temperatur yang lebih lama memiliki energi aktivasi yang lebih besar. Hasil karakterisasi penyalaan batubara pada dua lingkungan udara yang berbeda (CO₂ dan N₂) memberikan pengaruh puncak DTA menjadi lebih tinggi yang berarti temperatur batubara lebih tinggi tergantung pada karakteristik batubara. Kurva DTA yang lebih tinggi laju penyalaannya lebih singkat. Pada sampel batubara lignit (Sumsel), kurva lebih tinggi pada lingkungan udara N₂ sedangkan pada sampel batubara sub-bituminus (Kaltim) kurva DTA lebih tinggi pada lingkungan CO₂. Berdasarkan pengeringan secara *oven drying* batubara lignit memiliki kadar *total moisture* sebesar 61,22% dan batubara sub-bituminus 50,29%. Pengeringan secara non-isothermal di dalam FBR menunjukkan energi aktivasi terbesar yaitu pada batubara sub-bituminus dengan laju temperatur 5°C/menit yaitu sebesar 59,4178 KJ/mol. Gasifikasi sampel batubara lignit pada kurva TG-DTA lebih reaktif di lingkungan gas N₂ dengan dm/dt_{max} 12,5584; T_{in} 242,37 °C, $T_{burn\ out}$ 532,57°C. Sedangkan batubara sub-bituminus pada kurva TG-DTA lebih reaktif di lingkungan gas CO₂. dm/dt_{max} 6,3412; T_{in} 277,32 °C, dan $T_{burn\ out}$ 629,48 °C. Penerapan manfaat penelitian gasifikasi batubara ini baik batubara lignit maupun sub-bituminus dapat digunakan dalam PLTU. Melalui tahap gasifikasi dengan menggunakan metode TG/DTA dapat diketahui lingkungan udara yang paling efektif untuk proses pembakaran batubara menjadi *steam* dalam PLTU.

Keyword : Batubara *low rank*, gasifikasi, pengeringan batubara, TG/DTA-FTIR

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara Indonesia memiliki karakteristik yang beragam, baik karakteristik secara fisika maupun kimia tergantung lingkungan sumber tambang batubara dan material dasar pembentuk batubara sehingga akan menghasilkan komposisi zat-zat kimia (terutama organik) yang berbeda-beda. Batubara merupakan komoditas tambang yang bahan utamanya berasal dari tumbuh-tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan selama \pm 45 juta tahun (tersier bawah; Eosen) atau sekitar 20 juta tahun yang lalu (tersier atas; Miosen) menurut skala waktu geologi. Unsur utama batubara terdiri dari C, H, O (hidrokarbon), N, dan S.

Salah satu pemanfaatan batubara yang paling besar di Indonesia adalah sebagai bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), selain itu batubara merupakan bahan baku utama selain solar (*diesel fuel*) yang telah umum digunakan pada banyak industri, seperti untuk bahan bakar penunjang proses produksi dan lain sebagainya, karena berdasarkan segi ekonomis batubara jauh lebih hemat dibandingkan solar. Menurut Energi Sumber Daya Mineral (ESDM), April 2015 harga batubara senilai 64 US\$/ton. Dari segi kuantitas batubara termasuk cadangan energi fosil terpenting bagi Indonesia yang berlimpah sekitar mencapai 30,94 milyar ton. Yang tersebar di Sumatera sejumlah 50% (terbesar di Sumatera Selatan) dan 50% di Kalimantan. Potensi batubara Indonesia sebagian besar termasuk kategori batubara muda atau batubara peringkat rendah, dengan perkiraan lignit 58,7%, sub-bituminus 26,7%, bituminous 14,35% dan antrasit 0,3% (CDIEMR, 2009). Perpres No.5 tahun 2006, yang menyatakan bahwa konsumsi batubara akan terus ditingkatkan hingga tahun 2025, membuat adanya peluang yang besar dan berkembang untuk batubara peringkat rendah sebagian besar pemanfaatannya adalah pembangkit energi. Jumlah ini diprediksikan cukup untuk memasok kebutuhan energi listrik hingga ratusan tahun ke depan. Namun, karena keterbatasan teknologi pengolahan batubara dan memperhatikan faktor ekologis lingkungan (polutan CO₂, SO₂, NO_x, dan C_xH_y), Indonesia tidak memanfaatkan seluruh sumber daya alam batubara yang melimpah tersebut.

Oleh karena itu perlu diperhatikan dalam proses pengolahan batubara yang ramah lingkungan. Khususnya penelitian melalui gasifikasi ini, pada proses pirolisis gas yang terkandung dalam batubara menggunakan dua lingkungan udara yaitu, gas CO₂ dan gas N₂. Sehingga dapat mengurangi polutan yang berbahaya. Selain itu untuk meningkatkan devisa negara sebagian besar batubara dengan kualitas tinggi diekspor. Rata-rata produksi pertambangan batubara di Indonesia mencapai 300 juta ton per tahun. Dari jumlah itu sekitar 10 % digunakan untuk kebutuhan energi dalam negeri, dan sebagian besar sisanya (>90%) diekspor. Oleh karena itu, batubara Indonesia yang memiliki karakteristik fisika dengan kadar air yang cukup tinggi sekitar 40 %- 60 % (*low rank coal*) ini harus dilakukan *coal upgrading* untuk meningkatkan kualitas batubara sehingga memiliki nilai tambah yang lebih tinggi untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar dan berbagai produk kimia turunan yang bersumber dari syn-gas, seperti yang berbahan dasar dari CH₄, H₂, ataupun CO. Karena batubara yang memiliki kandungan *moisture* lebih rendah akan lebih mudah dalam proses konversi menjadi bahan bakar serta batubara lebih ringan, sehingga memudahkan dalam proses pengolahan dan pendistribusian batubara dalam skala jarak jauh.

Proses *coal upgrading* batubara pada penelitian ini dengan kandungan air sekitar 40 % - 60 % pada kondisi *surface moisture* dan *inherent moisture* akan mengalami peningkatan kualitas batubara setelah pengeringan yaitu pada kondisi *air dry basis*. Klasifikasi Peringkat batubara yang paling mudah yaitu berdasarkan kandungan *moisture*-nya dapat dibedakan menjadi lima peringkat, yakni batubara lignit, sub-bituminus, bituminus, semi-bituminus, dan antrasit. Batubara yang paling rendah peringkatnya adalah lignit, merupakan formasi pertama dari gambut menjadi lignit, low rank. Berwarna hitam, cokelat, *earthy*, dengan struktur seperti kayu. Kandungan *moisture* dalam kondisi udara kering sekitar 15-25%. Sub-bituminus merupakan peringkat batubara antara lignit dan bituminus kandungan *moisture* dalam kondisi udara kering sekitar 5-16%. Untuk batubara bituminus, semi bituminus, dan antrasit memiliki kandungan *moisture* dalam kondisi udara kering secara berurutan senilai 1-10 %; 0,6-1 %; 1-3 %. Mulai peringkat batubara bituminus-antrasit berwarna hitam, khususnya antrasit memiliki ciri-ciri fisik hitam mengkilat. (Norman Chigier, 1981)

Pada penelitian ini membandingkan karakteristik sampel batubara Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur baik pengeringan dengan menggunakan *Drop Tube Furnace (DTF)* dan maupun gasifikasi *Thermografimetri/Differential Thermal Analyzer*

(*TG-DTA*) serta analisis gas secara kualitatif dengan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*. Berdasarkan kandungan *moisture*-nya sampel batubara Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur termasuk ke dalam level *low rank coal* dan jumlahnya paling melimpah di Indonesia . Sehingga dalam perlakuan sampel harus dilakukan *coal upgrading* melalui pengeringan yang optimal untuk dapat dilanjutkan pada tahap inti yaitu gasifikasi. Sebelum berlangsung gasifikasi, dilakukan pengeringan pada penelitian ini menggunakan metode *Fixed Bed Reactor (FBR)* 120 °C baik secara isothermal maupun non-isothermal. Untuk mendapatkan data laju kinetika massa yang berkorelasi dengan temperatur *furnace* dan waktu pengeringan. Selain melalui metode *FBR* juga melakukan metode pengeringan secara *oven drying* 120 °C untuk mendapatkan prosentase *total moisture* dalam batubara. Metode *Thermografimetri/Differential Thermal Analyzer (TG-DTA)* dapat mengetahui karakteristik pembakaran batubara berdasarkan laju kinetika massa dan temperatur pengeringan serta pembakaran batubara sampai temperatur 800°C. *Fourier Transform Infra- Red (FTIR)* untuk mengetahui kandungan gas dalam batubara berdasarkan nilai absorbansi pada bilangan gelombang (*wavenumber*) antara 400–4000 cm^{-1} .

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang pada pendahuluan, dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut :

- a. Bagaimana cara penetapan dan menghitung konsentrasi *total moisture* dalam % (g/g) dengan metode pengeringan secara *oven drying* 120 °C.
- b. Bagaimana karakteristik pengeringan batubara *low rank* pada *Fixed Bed Reactor (FBR)*.
- c. Bagaimana karakterisasi batubara dalam proses gasifikasi dengan metode analisis *TG-DTA (Thermo Gravimetric-Differential Thermo Analyzer)* dan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian di B2TE, BPPT ini sesuai dengan rumusan masalah adalah sebagai berikut :

- a. Untuk memahami dan menghitung konsentrasi *total moisture* dalam % (g/g) dengan metode pengeringan secara *oven drying* 120 °C.

- b. Untuk mengamati dan mempelajari karakteristik pengeringan batubara *low rank* pada *Fixed Bed Reactor (FBR)*.
- c. Untuk mengamati dan mempelajari karakterisasi batubara dalam proses gasifikasi dengan metode analisis *TG-DTA* (*Thermo Gravimetric-Differential Thermo Analyzer*) dan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini permasalahan dibatasi pada :

- a. Sampel yang dianalisis adalah sampel batubara Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur.
- b. Konsentrasi *total moisture* dalam % (g/g) dengan metode pengeringan secara *oven drying* 120 °C hingga bobot tetap.
- c. Karakteristik pengeringan (kinetika massa) menggunakan *FBR* secara isothermal pada temperatur 120°C dan non-isothermal laju reaksi 1°C/menit dan 5°C/menit .
- d. Karakterisasi batubara dengan proses gasifikasi metode *TG-DTA* hingga temperatur 900 °C serta analisis kandungan gas menggunakan FTIR pada wavenumber 400-4000 cm^{-1} di dalam lingkungan gas CO_2 dan N_2 .

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian gasifikasi batubara ini baik batubara lignit maupun sub-bituminus dapat digunakan dalam PLTU. Melalui tahap pengeringan, batubara telah di-*upgrading* (peningkatan kualitas batubara). Karena syarat batubara yang dapat digunakan pada PLTU memiliki kadar maksimal *moisture content* 25 % dalam kondisi Adb untuk dapat menghasilkan nilai kalor yang tinggi. Dan melalui tahap gasifikasi dengan menggunakan metode TG/DTA dapat diketahui lingkungan udara yang paling efektif untuk proses pembakaran batubara menjadi *steam* dalam PLTU.

1.6 Jadwal Kegiatan

Pelaksanaan kerja praktek di B2TE, BPPT Serpong-Tangerang berlangsung selama satu bulan yaitu terhitung sejak tanggal 2 Maret 2015 sampai 30 April 2015. Berikut merupakan kegiatan yang dilakukan selama kerja praktek:

Tabel 1.1 Jadwal Kegiatan Kerja Praktek

No	Kegiatan	Maret				April			
		Minggu ke-				Minggu ke-			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Orientasi BPPT khususnya B2TE :								
	a. Pengenalan seluruh Perekayasa dan Litkayasa pada Bidang Energi Fosil.								
	b. Edukasi materi mengenai energi batubara.								
	c. Laboratorium dan perangkat alat non/instrument dalam Bidang Energi Fosil.								
2	Studi literatur mengenai Pengeringan dan Gasifikasi Batubara								
3	Pematangan konsep penelitian tahap pengeringan								
4	Penerapan konsep penelitian pengeringan								
	a. Preparasi sampel (penghancuran dan pengayakan)								
	b. Persiapan alat <i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i> untuk pengeringan								
	d. Pengeringan Sampel Batubara Sumsel dengan <i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i> $T= 115^{\circ}C$. Pengolahan data.								
	e. Pengeringan sampel Batubara Sumsel dan Kaltim dengan Oven Drying $T=120^{\circ}C$ dan $T=135^{\circ}C$ Pengolahan data dan evaluasi.								
	f. Pengeringan Sampel Batubara Sumsel dan Kaltim dengan <i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i> secara non-isotermal $1^{\circ}C$ per menit								
	g. Pengeringan Sampel Batubara Sumsel dan Kaltim dengan <i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i> secara non-isotermal $5^{\circ}C$ per menit								
	h. Pengeringan Sampel Batubara Sumsel dan Kaltim dengan <i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i> secara isothermal $T=120^{\circ}C$								
	5	Pengolahan data dan evaluasi Tahap Pengeringan							
	6	Penetapan konsep penelitian gasifikasi dengan TG/DTA-FTIR							

7	Preparasi Sampel gasifikasi Batubara dengan TG/DTA-FTIR								
	a. Pengeringan secara oven drying								
	b. Penghalusan dengan <i>mixer mill</i>								
	d.Pengayakan sampai ukuran 200 mesh dengan <i>sieve shaker</i>								
8	<i>Running</i> Penelitian gasifikasi Batubara dengan TG/DTA-FTIR								
	a. Gasifikasi lingkungan CO ₂								
	b. Gasifikasi lingkungan N ₂								
	c. Pengolahan data dan evaluasi hasil gasifikasi								
9	Pengolahan data dan evaluasi Pengeringan dan Gasifikasi								
10	Penyusunan laporan penelitian								
11	Pembimbingan laporan penelitian								
12	Presentasi hasil penelitian kepada pembimbing lapangan								
13	Penyerahan draf laporan								

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengenalan Batubara

Batubara merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar berasal dari fosil tumbuh-tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan yaitu, terbentuk akibat dekomposisi tumpukan tanaman yang tertimbun di kedalaman tanah memiliki struktur yang padat dan berwarna gelap. Dekomposisi ini dapat terjadi melalui proses biologis yang dilakukan oleh mikroba (*peatification*) dengan bantuan tekanan dan pemanasan (*coalification*). Fenomena ini juga disebut dengan istilah penggambutan. Batubara merupakan komoditas tambang yang bahan utamanya berasal dari fosil tumbuh-tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan selama \pm 45 juta tahun (tersier bawah; Eosen) atau sekitar 20 juta tahun yang lalu (tersier atas; Miosen) menurut skala waktu geologi. (Frederich, dkk; 1999)

Batubara Indonesia memiliki karakteristik yang beragam, baik karakteristik secara fisika maupun kimia tergantung lingkungan sumber tambang batubara dan material dasar pembentuk batubara sehingga akan menghasilkan komposisi zat-zat kimia (terutama organik) yang berbeda-beda. Batubara tidak dibentuk dari campuran homogen unsur-unsur kimia seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), sulfur (S), nitrogen (N) maupun unsur-unsur minor lainnya, namun terdiri dari maseral organik dan kristal mineral anorganik. Maseral organik yang dimiliki batubara diantaranya adalah vinitrit, lipnitit, dan inertinit, sedangkan untuk kristal mineral anorganik seperti kaolin, clay, pyrite, dan calcie (Rachmat dkk, 2004).

2.1.1 Klasifikasi Batubara

Pengklasifikasian batubara didasarkan pada umur geologi, kandungan petrografis, sifatnya terhadap pelarut atau bahan kimia tertentu, kemampuan untuk teroksidasi, sifat *cooking*, nilai kalor maupun kombinasi beberapa sifat. Beberapa negara telah melakukan klasifikasi tersebut berdasarkan ranking batubara. Adapun acuan klasifikasinya antara lain adalah *American Society of Testing and Materials*

(ASTM), the National Coal Board of The United Kingdom, International Organization for Standardization (ISO), the German DIN System, Japan Industrial Standard (JIS), dan the Association Francaise de Normalisation (AFNOR) (Rachmat dkk, 2004). Berikut merupakan contoh pengklasifikasian batubara menurut standar ASTM, pada standar ini dilakukan pengklasifikasian berdasarkan level karbon tetap dan nilai kalor. Terdapat 12 grup batubara mulai dari soft lignit sampai meta-antrasit yang keras seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.

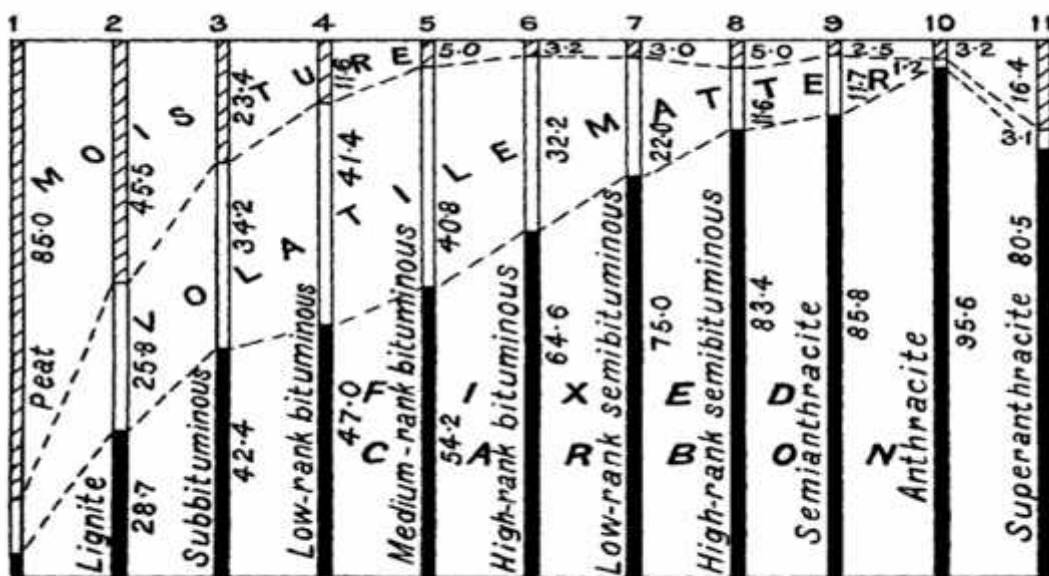


FIG. 1. Upper diagram : Calorific values of different ranks of coal.
 Lower diagram : Composition of different ranks of coal on ash-free basis.
 (After M. R. Campbell.)

Gambar 2.1 Klasifikasi batubara berdasarkan level ASTM

(Smoot dan Smith, 1985)

Batubara berdasarkan peringkatnya seperti pada Grafik 3.1 di atas diklasifikasikan berdasarkan Moisture Content, Volatile Matter, dan Fixed Carbon yaitu :

1. Low Rank

Batubara low rank, gambut merupakan tahapan awal pembentukan batubara yang memiliki kandungan air sangat tinggi sehingga nilai kalorinya rendah. Pada fase ini batubara yang berbentuk gambut masih berwarna kuning hingga kecoklatan yang heterogen. Hal ini dipengaruhi oleh tingkatan proses dekomposisi yang terjadi saat pembentukan gambut.

Kata lignit berasal dari bahasa latin *lignum* yang artinya kayu. Batubara level rendah ini memiliki kandungan air dan zat terbang (*volatile matter*) yang tinggi, tetapi nilai kalorinya terendah. Lignit biasanya lunak dan mempunyai warna kecoklatan yang seringkali mengandung bagian-bagian tanaman yang mudah dikenali dari struktur selnya. Karena kandungan zat terbangnya yang tinggi, lignit sangat mudah terbakar, dan sering terjadi pembakaran spontan pada penyimpanan dan pengapalannya. Kandungan airnya yang tinggi menyebabkan transportasi jarak jauh tidaklah ekonomis oleh karena itu dilakukan coal up-grading agar saat distribusi diperjalanan massa batubara menjadi lebih ringan sehingga lebih efisien dalam transportasinya. Batubara yang tergolong *low rank* dibagi menjadi tiga, yaitu :

- a. Lignit
- b. Sub-bituminus
- c. *Low rank* bituminus

2. Medium Rank

Sub-bituminus merupakan batubara level menengah. Batubara jenis ini sudah tidak memiliki sifat kayu lagi dan berwarna hitam kecoklatan sampai hitam. Batubara ini tidak dapat dibuat menjadi kokas karena memiliki kecenderungan merapuh bila diekspos ke udara dan terjadi pembakaran spontan seperti halnya lignit.

Bituminus merupakan batubara level tinggi karena memiliki nilai kalor tertinggi dengan temperatur nyala yang tinggi pula. Berdasarkan ranking yang dimiliki oleh batubara bituminus, batubara jenis ini banyak digunakan dalam pembangkit listrik tenaga batubara. Penamaanya pun disesuaikan dengan karakteristik yang dimilikinya yaitu bila dipanaskan biasanya menjadi massa yang kohesif, mengikat dan melekat dengan warna hitam yang mengkilat dan menunjukkan sifat *caking* dan *agglomerating*, sehingga cocok untuk bahan baku pembuatan kokas bagi industri besi baja. Medium rank ini terbagi menjadi :

- a. Medium bituminus
- b. *High Rank* Bituminus
- c. *Low Rank* Semibituminus
- d. *High Rank* Semibituminus

3. High Rank

- a. *High Rank Semibitumnus*
- b. Antrasit
- c. Semi Antrasit
- d. Super Antrasit

Antrasit merupakan batubara yang memiliki ranking tertinggi. Batubara ini memiliki kandungan zat terbang yang rendah dan sebagian besar partikelnya berupa karbon tetap sehingga berwarna hitam kemilau. Antrasit memiliki struktur paling padat, keras, dan homogen sehingga menjadi getas. Batubara jenis ini biasanya digunakan untuk pemanas rumah, kokas maupun untuk memproduksi gas.

Selain menggunakan pengklasifikasian dengan metode yang telah ditetapkan dengan standar yang berbasis abu dan air, ranking batubara juga dapat ditentukan dengan reflektansi vinitrit batubara. Prinsipnya adalah dengan makin tingginya ranking batubara, maka ukuran molekuler dan derajat kearomatikan ikatan batubara juga meningkat sehingga reflektansi komponen-komponen dari batubara juga bertambah. Prinsip ini dapat digunakan untuk menentukan ranking dan sifat-sifat batubara seperti nilai kalor, kandungan zat terbang dan kandungan produksi (yield) gas atau minyak batubara (Rachmat dkk, 2004).

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Batubara Menurut ASTM 1981, op cit Wood et al., 1983 (Culp Archie, 1995)

<i>Class</i>	<i>Group</i>	<i>Fixed Carbon (FC) (%)</i>		<i>Volatile Matter Limit (VM) (%)</i>		<i>Calorific Value Limit (btu/lb)</i>		<i>Agglomerating</i>
		<i>Equal or greater than</i>	<i>Less than</i>	<i>Greater than</i>	<i>Equal or greater than</i>	<i>Equal or greater than</i>	<i>Less than</i>	
I.	Meta Anthracite	98			2			<i>Non agglomerating</i>
	Anthracite	92						
	Semi	86						

	Anthracite							
II. Bituminous	<i>Low Volatile Bituminous Coal</i>	78	86	14	22			<i>Commonly Agglomerating</i>
	<i>Medium Volatile Bituminous Coal</i>	69	78	22	31			
	<i>High Volatile A Bituminous</i>		69	31		14000		
	<i>High Volatile B Bituminous</i>					13000	14000	
	<i>High Volatile C Bituminous</i>					11500	13000	
						10500	11500	<i>Agglomerating</i>
III. Sub-Bituminous	<i>Subbituminous A coal</i>					10500	11500	<i>Non Agglomerating</i>
	<i>Subbituminous B coal</i>					9500		
	<i>Subbituminous C coal</i>					8300	9500	
IV. Lignite	<i>Lignite A</i>					6300	8300	
	<i>Lignite B</i>						6300	

2.1.2 Karakteristik Batubara

Klasifikasi karakteristik batubara salah satu tujuannya adalah untuk mengetahui kualitas sampel batubara yang diuji. Selain itu, untuk mengetahui

pemanfaatan sumber energi batubara yang tepat sesuai klasifikasi karakteristik yang telah didapat, sehingga pemanfaatan batubara dapat efektif dan optimal. Oleh karena itu, sebelum menggolongkan karakteristik batubara harus diketahui terlebih dahulu faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas batubara. Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas batubara :

- a. Jenis tanaman merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kandungan zat yang terdapat dalam batubara. Faktor ini juga merupakan salah satu yang menentukan karakteristik batubara secara fisika dan kimia.
- b. Kondisi pembusukan seperti kedalaman, temperatur, derajat keasaman, dan gerakan air di dalam permukaan tanah.
- c. Cara pendeposisian dan penimbunan oleh sedimen. Jika sedimen batubara organik dan anorganik berinteraksi secara intim, maka akan berpengaruh pada banyak tingkat (grade) batubara.

Masing-masing jenis batubara memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Berdasarkan sifat-sifatnya karakteristik batubara dibedakan menjadi enam bagian yaitu:

2.1.2.1 Sifat kimia

Sifat kimia yang dimiliki oleh batubara dapat diperoleh dengan menggunakan analisa proksimat dan analisa ultimat.

- a. Analisa Proksimat,

Pada analisa proksimat sifat kimia yang didapatkan batubara berupa kadar air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), presentase abu atau kadar abu, karbon tetapnya (*fixed carbon*) sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi sifat reaktivitas penyalaan dan pembakaran batubara, basis data dalam perancangan boiler, dan pengklasifikasian batubara.

- Kadar Air (*moisture*)

Kadar air atau *moisture* dalam batubara berpengaruh terhadap kandungan panas per kg batubara. Sampel batubara dipanaskan dalam oven sampai pada temperatur sekitar 200°C kemudian

dinginkan hingga mencapai temperatur kamar. Berat yang hilang ketika dilakukan penimbangan setelah dilakukan pemanasan dan pendinginan merupakan kadar air yang terkandung dalam batubara.

- Zat terbang (*volatile matter*)

Zat terbang atau *volatile matter* merupakan bahan yang mudah menguap atau mudah terbang. Zat terbang yang dimiliki oleh batubara antara lain adalah metan, hidrokarbon, hidrogen, karbonmonoksida dan gas yang mudah terbakar seperti karbondioksida dan nitrogen. Zat terbang pada batubara mempengaruhi karakteristik pembakaran batubara dan kondisi operasi dari *furnace* seperti kebutuhan minyak dan udara sehingga mempengaruhi bentuk dan volume *furnace*. Semakin banyak zat terbang yang dimiliki oleh suatu batubara maka semakin besar pula panjang nyala api yang dihasilkan sehingga memudahkan penyalaan batubara.

- Kadar Abu

Kadar abu yang terkandung dalam batubara mempengaruhi proses pembakaran seperti pengurangan kapasitas handling dan pembakaran, efisiensi pembakaran dan efisiensi boiler. Hal ini dikarenakan abu tidak dapat terbakar atau teroksidasi oksigen ketika terjadi proses pembakaran.

- Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

Karbon tetap merupakan bahan padat berupa karbon yang tertinggal di dalam *furnace* setelah proses pembakaran selesai. Selain karbon didalamnya masih mengandung hidrogen, oksigen, sulfur dan sedikit nitrogen.

b. Analisa Ultimat

Pada analisa ultimat, sifat kimia batubara yang diperoleh diantaranya adalah kadar unsur-unsur karbon, hidrogen, nitrogen, dan sulfur sehingga dapat dilakukan penghitungan kebutuhan udara minimum

untuk dapat terbakar sempurna, perhitungan presentase udara lebih (*percentage of excess air*), perhitungan konsentrasi gas buang termasuk polutan oksida sulfur dan nitrogen, perhitungan rasio atom oksigen dan karbon, dan rasio atom hidrogen dan karbon.

Selain dua metode di atas dapat pula dilakukan penentuan bentuk sulfur yaitu penentuan kandungan sulfur dalam batubara yang terikat dalam struktur molekul organik dan non organiknya. Selain itu reaktivitas batubara dapat diukur dengan menggunakan alat termogravimetri sehingga dapat diperoleh profil pembakaran atau *burning profile* batubara yang dibakar.

2.1.2.2 Sifat Fisis

Sifat fisis yang dimiliki oleh batubara dapat diuraikan seperti di bawah ini:

- a. Berat jenis, Pengukurannya dapat dilakukan dengan piknometer cairan atau gas helium. Berat jenis ini digunakan sebagai parameter untuk menentukan ukuran penyimpangan batubara maupun perkiraan jumlah cadangan batubara pada tambang.
- b. Porositas, merupakan perbandingan volume pori batubara terhadap volume total batubara.
- c. Struktur pori atau distribusi ukuran (diameter) pori luas permukaan, yaitu luas permukaan batubara untuk setiap satuan beratnya dengan penyerapan gas nitrogen.
- d. Reflektivitas, merupakan analisa petrografi untuk menentukan kandungan vitrit batubara.

2.1.2.3 Sifat Mekanis

Sifat mekanis yang dimiliki oleh batubara dapat diuraikan seperti di bawah ini:

- a. *Grindability*, ditunjukkan oleh *hardgrove indeks* yaitu pengukuran empiris kerja yang dibutuhkan untuk menghancurkan batubara yang telah dikeringkan menjadi berukuran 200 mesh pada penggiling dengan

putaran 60 rpm. Nilai *indeks hardgrove* yang tinggi menunjukkan kebutuhan kerja yang kecil. Data ini penting dalam persiapan penggilingan batubara.

- b. *Friability*, meliputi tumbler test dan drop shatter test kekuatan, yaitu spesifikasi kekuatan kompresibilitas dalam psi.
- c. *Dustiness index*, yaitu jumlah debu yang dihasilkan bila batubara diperlakukan dengan cara standar.
- d. *Hardness/abrasiveness* atau kekerasan diukur dengan *Vickers Hardness Number* dan sifat abrasi batubara.
- e. Elastisitas, yaitu kualitas batubara dalam mempertahankan bentuknya setelah terjadi deformasi.

2.1.2.4 Sifat Termal

Sifat termal yang dimiliki oleh batubara dapat diuraikan seperti di bawah ini:

- a. Nilai kalor, pengukuran nilai kalor dilakukan dengan pembakaran dalam kalorimeter. Penelitian yang dilakukan *Institute of Gas Technology* terhadap berbagai jenis batubara menghasilkan rumus empiris yang menghubungkan nilai kalor dan presentase unsur-unsur pada analisa ultimat yaitu:

$$\text{HHV (btu/lb)} = 146.58 C + 568.78 H + 29 S - 6.58 A - 51.5 (O+N)$$

Dimana C, H, S, A, O, N adalah persen berat kering dari karbon, hidrogen, sulfur, abu, oksigen, dan nitrogen pada analisa ultimat. Data nilai kalor batubara berguna untuk mrngitung kebutuhan laju alir batubara bila diinginkan perngoperasian boiler pada kapasitas panas tertentu.

- b. Kapasitas panas, berguna untuk melihat sifat penyalaan batubara (temperatur penyalaan).
- c. Indeks *welling*, untuk mengukur kecenderungan batubara untuk membengkak akibat pembakaran. Semakin tinggi indeks *welling* semakin

cenderung terjadi pembakaran tidak sempurna. Hal ini dikarenakan pelelehan abu yang menutupi permukaan partikel batubara sehingga menahan masuknya oksigen ke dalam pori batubara, sementara pada kondisi temperatur tinggi terjadi pelepasan zat terbang pada bagian dalam partikel batubara sehingga partikel batubara menggelembung.

- d. Konduktivitas panas berguna untuk melihat waktu penyalaan batubara.
- e. Plastisitas yaitu sifat perubahan batubara terhadap pemanasan dan sifat caking batubara diukur.
- f. Indeks Aglomerasi atau penggumpalan didasarkan oleh sifat residu dari 1 gram sampel batubara bila dipanaskan pada 950 °C yang diukur dengan Rga Index.

2.1.2.5 Sifat Elektrik

Sifat elektrik yang dimiliki oleh batubara dapat diuraikan seperti di bawah ini:

- a. Resistivitas Elektrik, resistivitas ini diukur dalam satuan Ohm-cm. Batubara diperkirakan bersifat semikonduktor.
- b. Konstanta Dielektrik, dilakukan dengan pengukuran kemampuan polarisasi elektrositas batubara.
- c. Sifat Magnetik Batubara, meliputi sifat diamagnetik, ferromagnetik.

2.1.2.6 Sifat Abu

Sifat abu yang dimiliki oleh batubara dapat diuraikan dengan analisa abu seperti di bawah ini:

- a. Analisa Oksida elemen abu yang mayoritas terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 .
- b. Analisa Mineralogi, analisa kandungan mineral dalam bentuk senyawa Kristal.
- c. *Ash Fussibility*, temperatur leleh batubara yang diukur dengan menentukan temperature deformasi, temperatur pelunakkan dan

temperatur fluida. Selang temperatur antara temperatur de formasi awal dan temperatur pelunakan disebut selang temperatur pelunakan (*softening temperature*). Sedangkan selang temperatur pelunakan dan temperatur fluida disebut *Fluida Interval*.

- d. Karakteristik *Slagging* dan *Fouling* adalah karakteristik batubara membentuk deposit abu dan kerak pada pipa dan dinding boiler.

2.2 Deskripsi Alat

2.2.1 Fixed Bed Reactor (FBR)

Fixed Bed Reactor (FBR) sudah banyak digunakan dalam penelitian pembakaran batubara. *FBR* mempunyai diameter dalam 7 cm dan panjang pipa keramik 120 cm. Pipa keramik ini dipanaskan oleh pemanas listrik yang target temperaturnya dapat dikontrol melalui panel. *FBR* dilengkapi dengan sistem pengumpan batubara yang menggunakan *screw feeder*. Putaran motor *screw feeder* dapat diatur dengan mengatur frekuensi suplai listrik ke motor. Kalibrasi umpan batubara halus dilakukan sebelum pengujian. Udara primer dan sekunder dipanaskan menggunakan pemanas listrik hingga temperatur 180 °C. *FBR* dipanaskan hingga mencapai temperatur 1000 °C dengan mengatur unit kontrol DTF.

Rangkaian alat *FBR* juga dilengkapi dengan *gas analyzer*, alat analisis gas digunakan untuk mendeteksi gas buang (O₂, CO, CO₂, Nox, SO₂) menggunakan sensor elektrokimia. Kisaran pengukuran *gas analyzer* berbeda antara gas satu dengan yang lainnya. Seperti ditunjukkan tabel 2.2. Kalibrasi *gas analyzer* menggunakan tabung gas standar dilakukan sebelum pengujian.

Tabel 2.2 Spesifikasi peralatan *gas analyzer*

Jenis Gas / Temp.	Kisaran	Akurasi	Sensitifitas
O ₂	0-20,9 %	2.00%	0.10 %
CO	0-8000 ppm	2.00%	1.0 ppm
CO ₂	0-2,5 ppm	2.00%	1.0 ppm

SO ₂	0-4000 ppm	2.00%	1.0 ppm
NO	0-4000 ppm	2.00%	1.0 ppm
Temp.	0-2200 F	2.00%	1.8 F

Untuk mengetahui kondisi temperatur gas dan *reactor* dalam *FBR* diatur oleh sistem pemantauan temperatur. Gas diukur menggunakan termokopel tipe K, omega, 1370 °C, dengan ketidakpastian pengukuran ± 1 %. Temperatur tungku listrik menggunakan termokopel tipe R hingga 1550 °C yang digunakan untuk mengontrol temperatur tungku. Kontrol temperatur *FBR* memiliki tiga unit kontrol yang memantau masing-masing tiga zona yaitu, *top*, *middle*, dan *bottom* sehingga ketiga zona temperatur di dalam *fixed bed reactor* dapat sama pada waktu pengujian.

2.2.2 Mixer Mill



Gambar 2.2 Langkah Kerja Penggunaan *Mixer Mill*

Sampel Batubara dengan ukuran 50 mesh yang sebelumnya telah dikeringkan terlebih dahulu menggunakan oven pada temperatur 120 °C. Kemudian sampel yang telah kering dimasukkan ke dalam wadah *mixer mill* untuk dihancurkan menjadi bentuk yang lebih halus. Setelah sampel dimasukkan dan satu per satu bagian alat *mixer mill* telah

terpasang sesuai urutannya seperti gambar 2.2 pada langkah dua sampai dengan tiga. Untuk dapat beroperasi *mixer mill* harus dalam keadaan tertutup, lalu tekan tombol *start (on)*, dan tunggu hingga *mixer mill* berhenti secara otomatis. *Mixer mill* terdiri dari rotor yang berfungsi untuk memutar dan memukul, sehingga sampel yang masuk akan terpukul oleh rotor yang berputar dan bertumbukkan dengan dinding dan sesama sampel batubara. Akibatnya akan terjadi penghancuran sampel. Proses ini berlangsung selama 30 detik, sehingga akan menghasilkan batubara yang lebih halus dengan ukuran rata-rata kisaran 100-400 mesh.

2.2.3 Test Sieve Shaker

Test Sieve Shaker dilakukan dengan menggunakan ayakan seri yang ukuran lubangnya tertentu, biasanya berbanding 2. Sebagai ukuran standar adalah lubang ayakan yang dibuat dari kawat berdiameter 0,0021 inci, dianyam sehingga menghasilkan lubang sebanyak 200 buah untuk tiap inci linear. Lubang ayakan ini dinyatakan berukuran 0,0029 inci atau 74 mikron dan disebut 200 mesh.

Analisis ayak dilakukan dalam suatu alat yang terdiri dari susunan ayakan dan mesin penggetar atau *vibrator*. Ayakan disusun dengan lubang ayakan besar di atas dan ayakan berlubang kecil di bawah secara berurutan. Sampel dimasukkan di ayakan teratas.



Gambar 2.3 *Test Sieve Shaker*

2.2.4 Thermo Gravimetric - Differential Thermal Analysis (TG-DTA)

2.2.4.1 Thermo Gravimetric Analyzer

Metode *TGA* merupakan prosedur yang cukup banyak dilakukan dalam karakterisasi bahan. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar sampai temperatur tinggi yang biasanya sekitar 900 °C. Alat *TGA* dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan disajikan dalam tampilan grafik.



Gambar 2.4 TG-DTA

Pada pemanasan yang kontinyu dari temperatur kamar, maka pada temperatur – temperatur tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya. Kehilangan massa pada temperatur tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji, meski tidak bisa secara spesifik merujuk pada suatu senyawa tertentu seperti yang misalnya ditunjukkan oleh puncak – puncak dari histogram *FTIR* ataupun *XRD*. Sehingga biasanya *TGA* digunakan untuk melakukan analisa *proximate* seperti kadar air, kadar senyawa volatil dan kadar abu dalam bahan. Sebenarnya *TGA* bisa beroperasi dalam kondisi inert dengan mengalirkan gas tertentu seperti nitrogen, karbon dioksida, ataupun helium. Tapi *TGA* juga bisa beroperasi dalam atmosfer gas non-inert seperti udara dan oksigen yang memungkinkan terjadinya reaksi dengan sampel dengan adanya kenaikan

temperatur. Sehingga disini *TGA* juga bisa berfungsi sebagai reaktor untuk menganalisa massa bahan yang bereaksi dalam kondisi operasi tertentu.

Cara pemakaian alat ini, sampel yang berupa serbuk dimasukkan ke dalam cawan kecil dari bahan platina, atau alumina ataupun teflon seperti pada gambar dibawah ini. Pemilihan bahan dari cawan ini perlu disesuaikan dengan bahan uji. Pastikan bahan uji tidak bereaksi dengan baha cawan serta tidak lengket ketika dipanaskan.



Gambar 2.5 Cawan sampel

Analisis memerlukan juga bahan standar sebagai referensi dan penyeimbang dari timbangan mikro. Biasanya dipakai alumina sebagai standar yang juga perlu dimasukkan dalam cawan. Alumina dan bahan uji kemudian dimasukkan ke dalam alat *TGA*.

Yang perlu dilakukan dengan sangat hati – hati adalah ketika meletakkan cawan – cawan (lempeng timbal) diatas pan timbangan. Karena lengan dari pan timbangan sangat mudah patah sehingga dalam menempatkan dan mengambil cawan perlu dilakukan dengan hati – hati. Setelah sampel dimasukkan maka kita bisa memprogram urutan pemanasannya. Pemanasan bisa diprogram sesuai dengan kebutuhan misalkan kita bisa mengatur memanaskan sampel sampai 110°C dan ditahan 10 menit kemudian pemanasan dengan cepat dilanjutkan sampai 900°C kemudian temperatur diturunkan menjadi 600°C ditahan selama 30 menit. Kita dapat memprogram temperatur dan juga kecepatan pemanasan, alat ini bisa memanaskan sampai sekitar 1000°C dengan kecepatan sampai 100 °C/menit atau lebih tergantung tipe alat.

2.2.4.2 Differential Thermal Analysis

Thermal analysis merupakan teknik untuk mengkarakterisasi sifat material yang dipelajari berdasarkan respon material tersebut terhadap temperatur. Untuk menentukan sifat termo-fisiknya metode yang biasa digunakan salah satunya adalah *differential thermal analysis (DTA)*. Dalam bidang metalurgi dan ilmu material kegunaan dari DTA ini adalah untuk mempelajari transisi fasa yang terjadi dibawah pengaruh atmosfer, temperatur, laju pemanasan atau pendinginan.

Differential thermal analysis adalah analisis termal yang menggunakan referensi sebagai acuan perbandingan hasilnya, material referensi ini biasanya material inert. Sampel dan material referensi dipanaskan secara bersamaan dalam satu dapur. Perbedaan temperatur sampel dengan temperatur material referensi direkam selama siklus pemanasan dan pendinginan.

DTA melibatkan pemanasan atau pendinginan dari sampel pengujian dan sampel referensi dibawah kondisi yang identik saat dilakukan perekaman dalam berbagai perbedaan temperatur antara sampel dan referensi. Perbedaan temperatur ini lalu di plot berdasarkan waktu atau temperatur.

Differential temperatur juga dapat meningkat diantara dua sampel inert saat respon mereka ke perlakuan panas yang diberikan tidak identik. *DTA* digunakan untuk studi sifat termal dan perubahan fasa yang tidak mengakibatkan perubahan entalpi. Hasil pengujian *DTA* ini merupakan kurva yang menunjukkan diskontinuitas pada temperatur transisi dan kemiringan kurva pada titik tertentu akan tergantung pada konstitusi mikrostruktur sampel pada temperatur tersebut. Kurva *DTA* secara garis besar adalah kurva perbedaan temperatur antara material sampel dengan material referensi. Kurva *DTA* dapat digunakan sebagai *finger print* untuk tujuan identifikasi. Area dibawah *peak* kurva *DTA* dapat diidentifikasi sebagai perubahan entalpi dan tidak dipengaruhi oleh kapasitas panas contoh.

Salah satu contohnya pada penelitian menentukan lingkungan udara yang optimal pada proses gasifikasi batubara. Diamati berdasarkan titik *initiation temperature*, *maksimal temperature*, dan *burn out temperature*. Kondisi lingkungan yang optimal akan menunjukkan *initiation temperature* dan *burn out temperature* yang lebih cepat. Sehingga gasifikasi dapat berlangsung lebih efisien dan efektif. Lingkungan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gas CO₂ dan N₂.

2.2.5 Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Pada dasarnya *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)* adalah sama dengan *Spektrofotometer Infra Red dispersi*, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati contoh. Dasar pemikiran dari *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* adalah dari persamaan gelombang yang dirumuskan oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) seorang ahli matematika dari Perancis, dari deret Fourier tersebut intensitas gelombang dapat digambarkan sebagai daerah waktu dan daerah frekuensi. Perubahan gambaran intensitas gelombang radiasi elektromagnetik dari daerah waktu ke daerah frekuensi atau sebaliknya disebut *Transformasi Fourier (Fourier Transform)*.

Spektrofotometri IR (infra merah) merupakan salah satu teknik analisis yang handal untuk identifikasi senyawa-senyawa organik maupun anorganik berdasarkan absorpsi gugus fungsional terhadap sinar IR. Hampir semua senyawa kimia dapat mengadsorpsi radiasi infra merah kecuali beberapa molekul berinti sama, misalnya: O₂, N₂, Cl₂, dan H₂, dll, karena vibrasi kedua atom tersebut tidak menghasilkan momen dipol. Setiap senyawa memiliki spektrum IR yang karakteristik dan ini dijadikan dasar analisis. Disamping itu informasi yang sangat penting bahwa gugus-gugus fungsional antara lain : C=O, -OH, -NH, -CH mempunyai puncak-puncak absorpsi IR yang karakteristik dan ini berguna untuk penentuan struktur molekul. Daerah spektrum radiasi IR yang sering digunakan dalam analisis, yaitu :

Daerah Spektrum	Panjang gelombang (μm)	Angka Geombang (cm^{-1})
IR Dekat	0,7 - 2,5	14.300 - 4.000
IR Sedang	2,3 – 15	4.000 – 650
IR Jauh	15 – 100	650 – 200

Tabel 2.3 Daerah Spektrum Radiasi IR

(Wiwi Widarsih, dkk; 2009)

Peralatan spektrofotometer IR dapat dibedakan berdasarkan perjalanan proses cahaya yang dikenal jenis dispersif karena menggunakan prisma atau *grating* dan yang lain adalah non-dispersif. Pada kenyataannya IR-dispersif mengalami perkembangan yang relatif baik. Namun demikian perkembangan spektrometer IR tersebut masih belum memadai dengan tuntutan dalam bidang analisis. Akhirnya dengan adanya perkembangan sistem elektronik dan didukung oleh teknologi komputer sebagai media transfer data, maka munculah spektrometer IR modern yang dikenal dengan *Fourier transform Infra Red (FTIR)*. Selanjutnya pada sistem optik peralatan instrumen *Fourier Transform Infra Red* dipakai dasar daerah waktu yang non dispersif, karena menggunakan filter. Sebagai contoh aplikasi pemakaian gelombang radiasi elektromagnetik yang berdasarkan daerah waktu adalah interferometer yang dikemukakan oleh Albert Abraham Michelson (Jerman, 1831).

Sistem optik *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* seperti pada gambar disamping ini dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin yang diam. Dengan demikian radiasi infra merah akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak (M) dan jarak cermin yang diam (F). Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut adalah $2M$ yang selanjutnya disebut sebagai retardasi (Δ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistem optik dari *Spektrofotometer Infra Red* yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistem optik *Fourier Transform Infra Red*.

Pada sistem optik *Fourier Transform Infra Red* digunakan radiasi *LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)* yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik.

Detektor yang digunakan dalam *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* adalah *Tetra Glycerine Sulphate* (disingkat TGS) atau *Mercury Cadmium Telluride* (disingkat MCT). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekuensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah.

Secara keseluruhan, analisis menggunakan Spektrofotometer ini memiliki dua kelebihan utama dibandingkan metoda konvensional lainnya, yaitu:

- a. Dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat daripada menggunakan cara sekuensial atau pemindaian.
- b. Sensitifitas dari metoda *Spektrofotometri Fourier Transform Infra Red* lebih besar daripada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah.



Gambar 2.6 FTIR

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu : 02 Maret 2015 – 08 Mei 2015

Tempat : Balai Besar Teknologi Energi (B2TE),
Balai Pengkajian dan Penelitian Teknologi (BPPT)

3.2 Alat yang digunakan

Dalam penelitian ini sebelum melakukan gasifikasi batubara skala laboratorium dengan TG/DTA-FTIR sebelumnya dilakukan terlebih dahulu beberapa tahap pengujian yaitu analisis ultimat untuk mengetahui komposisi hidrokarbon, kadar air, kadar abu dan oksigen. Selanjutnya analisis proksimat untuk menentukan kandungan atau kadar air, kadar abu, zat mudah terbang, dan karbon terikat yang dinyatakan dalam persen berat dari sampel batubara. Selain kedua pengujian tersebut, langkah yang harus dilakukan sebelum melangkah ke tahap gasifikasi yaitu pengeringan batubara karena sampel batubara yang akan digasifikasi tidak boleh mengandung kadar air yang melebihi 15% dalam kondisi kering (*air dried*).

3.1 Analisis Ultimat

3.1.1 Instruksi Kerja Analisis Ultimat

Berdasarkan *Annual Book of ASTM Standard 1998, Volume 05.05 (D 5373)*.

a. Tujuan

Tujuan analisis ultimat adalah untuk mengetahui komposisi Carbon (C), Hidrogen (H), Nitrogen (N), Total Sulfur, Kadar Air ((H₂O)), Kadar Abu dan Oksigen (O) dalam sampel yang dinyatakan dalam persen berat.

b. Langkah Kerja analisis ultimat meliputi :

- 1) Penyiapan sampel batu bara untuk analisis ultimat
- 2) Analisis sampel batubara dengan alat *CHN Analyzer*
- 3) Perhitungan hasil analisis

- 4) Pelaporan
- c. Analisis Sampel
- 1) Hidupkan alat CHN – 1000
 - 2) Set kondisis operasi analisis dan tunggu ± 2 Jam sampai kondisi stabil.
 - 3) Lakukan analisis blanko, yaitu analisis tanpa sampel untuk mendapatkan %C, %H dan %N bernilai 0%.
 - 4) Lakukan kalibrasi dengan sampel standard untuk meyakinkan bahwa alat mampu menganalisis dengan benar.
 - 5) Timbang berat sampel batubara 0,1 – 0,2 gram dalam *aluminium foil*.
 - 6) Catat dalam alat nilai berat sampel yang akan dianalisis.
 - 7) Masukkan sampel dalam alat CHN – 1000 untuk analisis.
 - 8) Hasil analisis akan keluar dari *print-out*.
- d. Instruksi Kerja Alat CHN – 1000
1. Alat CHN – 1000
Menurut buku Manual CHN 1000. Alat CHN–1000 ini dilengkapi dengan alat timbangan dan *printer* untuk mencetak hasil analisis. CHN–1000 digunakan untuk menganalisis karbon (C), Hidrogen (H), dan Nitrogen (N).
 2. Gas dan Bahan
Gas dan bahan yang digunakan untuk menganalisis C, H, dan N adalah :
 - a. Gas Helium dan gas Oksigen kemurnian 99,99% (UHP)
 - b. Udara tekan
 - c. Sampel standar EDTA
 - d. *Aluminium foil*
 3. Langkah Kerja
 - a. Menghidupkan Peralatan
 - 1) Buka aliran gas helium, oksigen dan udara tekan, set tekanan gas 40 psi.
 - 2) Hidupkan alat CHN *Analyser* dengan menekan tombol “on”.
 - 3) Hidupkan printer dengan menekan tombol “on”.
 - 4) Pilih metode analisis pada layar monitor yang telah diprogram pada temperatur analisis 1050 °C.

- 5) Ditunggu sampai kondisi operasi alat tercapai dan stabil minimal 2 jam.
 - 6) Cek kebocoran gas pada peralatan, yakinkan bahwa tidak terjadi kebocoran.
 - 7) Jika kondisi sudah stabil dan tidak ada kebocoran, alat siap untuk analisis sampel.
- b. Menganalisis Sampel
- 1) Analisis blanko, yakni analisis tanpa sampel untuk mendapatkan hasil analisis 0% C, 0% H, 0% N.
 - 2) Analisis sampel standar EDTA untuk kalibrasi alat, kalibrasi ini dilakukan setiap kali ingin melakukan analisis ultimat.
 - 3) Analisis sampel batubara
- c. Mematikan Alat
- 1) Dinginkan peralatan dengan menurunkan *setting* temperatur 250 °C.
 - 2) Jika temperatur sudah tercapai matikan alat dengan menekan tombol “*off*”.
 - 3) Tutup semua aliran gas.
 - 4) Tekan tombol “*off*” pada timbangan dan printer.

3.2 Analisis Proksimat

Berdasarkan *Annual Book Of ASTM Standard 1998, Volume 05.05 (D3172 - D3175)*.

1. Tujuan

Tujuan analisis proksimat adalah untuk menentukan kandungan atau kadar air, kadar abu, zat mudah terbang, dan karbon terikat yang dinyatakan dalam persen berat dari sampel batubara.

2. Definisi dan Istilah

- a. *Krusibel silica* – Wadah yang berukuran 10 ml terbuat dari silika yang tahan pada temperature 1000 °C atau lebih.
- b. *Desikator* – Suatu wadah yang berisi silika gel, dapat menyerap uap air sambil mendinginkan sampel.

- c. *Oven moisture* – Alat yang digunakan untuk memanaskan sampel mempunyai temperature yang sama di dalam seluruh peralatan, mempunyai lubang udara dan umumnya dapat dioperasikan sampai temperature 200 °C.
- d. *Furnace* – Alat yang digunakan untuk membakar atau mengabukan sampel. Dapat dioperasikan sampai temperature 1000 °C.

3. Alat utama yang digunakan

- a. *TGA – 501 Analyzer* (IK – 006.1/LKKB/04)
- b. Timbangan Analitis (IK – 002.2/LKKB/04)
- c. *Oven* (IK – 002. 4/LKKB/04)
- d. *Furnace* (IK – 006.2/LKKB/04)
- e. *Desikator* (IK – 003. 3/LKKB/04)

4. Langkah Kerja

Langkah kerja analisis proksimat meliputi :

- a. Penyiapan sampel batubara untuk analisis proksimat
- b. Analisis sampel batubara secara manual dan dengan alat Proksimat *Analyser*
- c. Perhitungan hasil analisis
- d. Pelaporan

5. analisis proksimat cara manual

- a. Analisis kadar air (ASTM D 3173)
 - 1) Timbang krusibel silika, catat beratnya.
 - 2) Masukkan sampel lolos ayakan No.60 sebanyak 1,000 gram $\pm 0,0001$ ke dalam krusibel, catat beratnya.
 - 3) Tutup krusibel dengan tutupnya.
 - 4) Hidupkan *oven moisture*, set temperatur 105 °C.
 - 5) Setelah temperatur tercapai buka tutup krusibel segera masukan krusibel kedalam oven.
 - 6) Lama pemanasan dalam oven 60 menit. Setelah selesai keluaran krusibel dari oven segera tutup dengan tutup krusibel, lalu masukan kedalam desikator.

- 7) Setelah krusibel dingin, keluarkan krusibel dari desikator kemudian timbang, catat beratnya.
 - 8) Matikan *oven moisture*-nya.
 - 9) Hitung kadar airnya.
- b. Analisis zat mudah terbang (ASTM D 3175)
- 1) Timbang krusibel silika, dan tutup, catat beratnya.
 - 2) Masukkan sampel lolos ayakan No.60 sebanyak 1,000 gram $\pm 0,0001$ ke dalam krusibel, catat beratnya.
 - 3) Hidupkan *furnace*, set temperatur 950 °C.
 - 4) Setelah temperatur tercapai masukan krusibel dengan tutupnya kedalam *furnace*.
 - 5) Waktu pemanasan selama 7 menit.
 - 6) Setelah 7 menit keluarkan krusibel lalu masukan kedalam desikator.
 - 7) Setelah dingin, keluarkan krusibel dari desikator kemudian timbang, catat beratnya.
 - 8) Matikan *furnace*.
 - 9) Hitung kadar zat mudah terbang.
- c. Analisis kadar abu (ASTM D 3174)
- 1) Timbang krusibel , catat beratnya.
 - 2) Masukkan sampel lolos ayakan No.60 sebanyak 1,000 gram $\pm 0,0001$ ke dalam krusibel, catat beratnya.
 - 3) Hidupkan *furnace*.
 - 4) Buka tutup krusibel, masukan krusibel dalam *furnace*, *setting* temperatur 105 °C selama 30 menit, naikan temperatur sampai 550 °C selama 60 menit, naikan lagi temperatur sampai 750 °C tahan selama 120 menit atau terabukan seluruhnya.
 - 5) Setelah selesai pemanasan masukan krusibel kedalam desikator.
 - 6) Setelah dingin, keluarkan krusibel dari desikator kemudian timbang, catat beratnya.
 - 7) Matikan *furnace*.
 - 8) Hitung kadar abunya.

d. Perhitungan

$$\text{Kadar air} = MC = \frac{(\text{berat awal sampel}) - (\text{berat setelah dipanaskan})}{\text{berat awal sampel}} \times 100 \%$$

Zat mudah terbang =

$$VM = \frac{(\text{berat awal sampel}) - (\text{berat setelah dipanaskan})}{\text{berat awal sampel}} \times 100 \% - MC$$

$$\text{Kadar Abu} = A = \frac{(\text{berat abu})}{(\text{berat awal sampel})} \times 100\%$$

$$\text{Karbon teikat} = FC = 100\% - MC - VC - VM - A$$

e. Analisis proksimat dengan alat TGA (ASTM D 5142)

- 1) Hidupkan alat TGA 501 dan set kondisi operasi sesuai instruksi pengoperasian alat TGA 501.
- 2) Timbang sampel batubara dalam krusibel dengan berat 1-5 gram.
- 3) Alat akan menganalisis kadar air dalam sampel.
- 4) Hasil analisis akan tercatat dalam alat.
- 5) Setelah selesai menganalisis kadar air dilanjutkan analisis zat mudah terbang.

f. Analisis zat mudah terbang

- 1) Tutup krusibel yang berisi sampel dengan tutup krusibel.
- 2) Lakukan analisis zat mudah terbang
- 3) Hasil analisis akan tercatat dalam alat
- 4) Setelah selesai menganalisis kadar zat mudah terbang dilanjutkan analisis kadar abu

g. Analisis kadar abu

- 1) Buka tutup krusibel
- 2) Lakukan analisis kadar abu
- 3) Hasil analisis akan tercatat dalam alat

h. Perhitungan

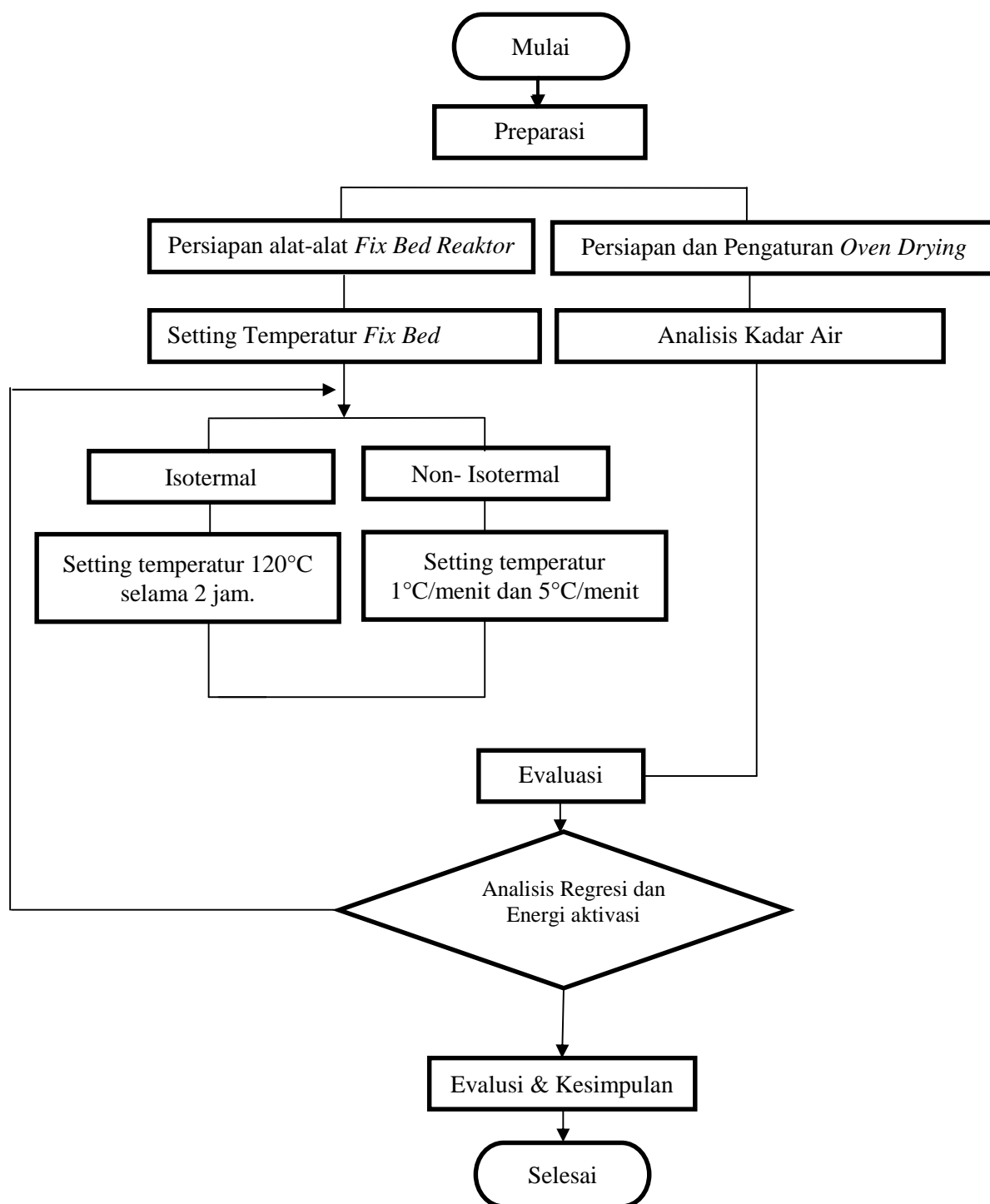
Setelah selesai melakukan analisis kadar air, kadar zat mudah terbang, dan kadar abu, alat TGA akan menghitung secara otomatis kadar karbon terikat dari sampel.

3.3 Prosedur Gasifikasi

4.3.1 Pengerinan

Metode pengeringan batubara dalam tahapan gasifikasi pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu *Oven Drying* dan *Fixed Bed Reactor (FBR)*. Dilakukan dua metode pengeringan yang berbeda, metode pengeringan pertama secara *Oven Drying* dengan tujuan untuk mengetahui total kadar air (*moisture loss*) pada sampel batubara. Sedangkan metode *Fixed Bed Reactor* dilakukan untuk mengetahui kinetika laju massa batubara saat pengeringan berlangsung.

Berikut diagram alir proses pengeringan batubara dengan metode *Oven Drying* dan *Fixed Bed Reactor*:



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengeringan Batubara dengan Metode *Oven Drying* dan *Fixed Bed Reactor*

Terdapat beberapa langkah - langkah sebelum melakukan pengeringan batubara menggunakan *Fixed Bed Reactor (FBR)*. Adapun langkah yang ditempuh mulai dari preparasi contoh hingga meghilangnya kadar air dalam batubara, yaitu sebagai berikut :

a. Pengambilan Contoh

Contoh yang akan diuji pada proses pengeringan dengan menggunakan *Fixed Bed Reactor(FBR)* ini ada dua jenis Batubara dengan karakteristik yang berbeda. Dengan tujuan untuk membandingkan fenomena karakteristik batubara pada saat pengeringan dengan *FBR* baik pada kondisi isothermal maupun non-isothermal. Yaitu tambang Batubara Sumatera Selatan dan Batubara Kalimantan Timur. Kedua batubara ini termasuk kedalam jenis batubara *low rank*. Bentuk contoh yang diambil untuk pengujian ini awalnya masih dalam bentuk bongkahan besar yang selanjutnya akan dilakukan preparasi contoh batubara untuk memudahkan pada saat pengeringan dengan *FBR*.

b. Preparasi Contoh

Ada dua tahap preparasi contoh sebelum contoh batubara siap untuk diuji, yaitu :

1) Penghancuran

Batubara berbentuk bongkahan besar dimasukkan ke dalam *container* contoh *crusher*, dihancurkan (diperkecil) oleh penggiling jeruji, kemudian hasil gilingannya ditampung pada box bagian bawah *crusher* .



Gambar 3.2 *Crusher*

2) Pengayakan

Setelah didapatkan batubara dengan ukuran yang lebih kecil, batubara masih perlu diayak (ayakan kawat) untuk mendapatkan ukuran yang sesuai penentuan dalam *Fixed Bed Reactor*, yaitu pada pengujian ini ± 1 cm.



Gambar 3.3. Pengayakan Batubara

c. Penimbangan

Untuk masing-masing jenis variasi Batubara (Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur) dilakukan penimbangan contoh sejumlah 200 gram dengan ukuran ± 1 cm dengan menggunakan *neraca digital analitik*.

d. Persiapan FBR

Perlengkapan alat FBR yang digunakan adalah :

- 1) Serangkaian alat DTF (*Furnace, control funnel, temperature setting funnel*)
- 2) *Neraca digital analitik*
- 3) *Thermocouple*
- 4) Penyangga contoh
- 5) Basket Contoh



Gambar 3.4. Rangkaian *Fixed Bed Reactor*



Gambar 3.5. Penyangga dan Basket Contoh

e. Perangkaian FBR

Setelah semua perlengkapan alat untuk pengujian pengeringan dengan FBR ini siap untuk digunakan, penyangga dan basket contoh diatur sedemikian rupa agar tidak menyentuh *heater* di dalam *furnace*. Setelah dirangkai dengan dengan baik contoh yang ditimbang dimasukkan ke dalam basket contoh secara perlahan-lahan agar menghindari galat massa contoh. Kemudian tutup *furnace* secara hati-hati dan rapat.

f. Pengaturan Temperatur FBR

Dalam pengujian ini, pada kondisi isothermal, temperatur awal operasi diatur pada 120 °C. Sedangkan pada kondisi non-isothermal temperatur awal diatur pada 60-70 °C sampai dengan temperatur 150 °C, dengan laju temperatur 1°C /menit dan 5°C / menit.

g. Pemanasan Batubara Isothermal dan Non-Isothermal

Pemanasan batubara yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air pada batubara baik *surface moisture* maupun *interface moisture* dengan temperatur yang berbeda sesuai kondisi isothermal ataupun non-isothermal. Proses pemanasan ini berlangsung minimal 120 menit untuk mencapai kondisi uap jenuh.

h. Pencatatan Data

Dalam proses pengeringan dengan FBR ini setiap perubahan massa batubara yang teramati secara kuantitatif dicatat sesuai waktu penentuan pengujian (menit). Pada pengujian ini pencatatan data isothermal setiap 2 menit sedangkan pada kondisi non-isothermal setiap 5 menit dan setiap 2 menit.

i. Pengolahan Data

Data yang didapatkan dari pengujian ini yaitu berupa data perubahan massa contoh batubara, temperatur pengaturan, temperatur udara *furnace (top, middle, dan bottom)*, dan temperatur pengeringan Batubara. Data tersebut dibuat dalam bentuk tabel dan grafik korelasi temperatur dan jenis batubara.

j. Evaluasi Data

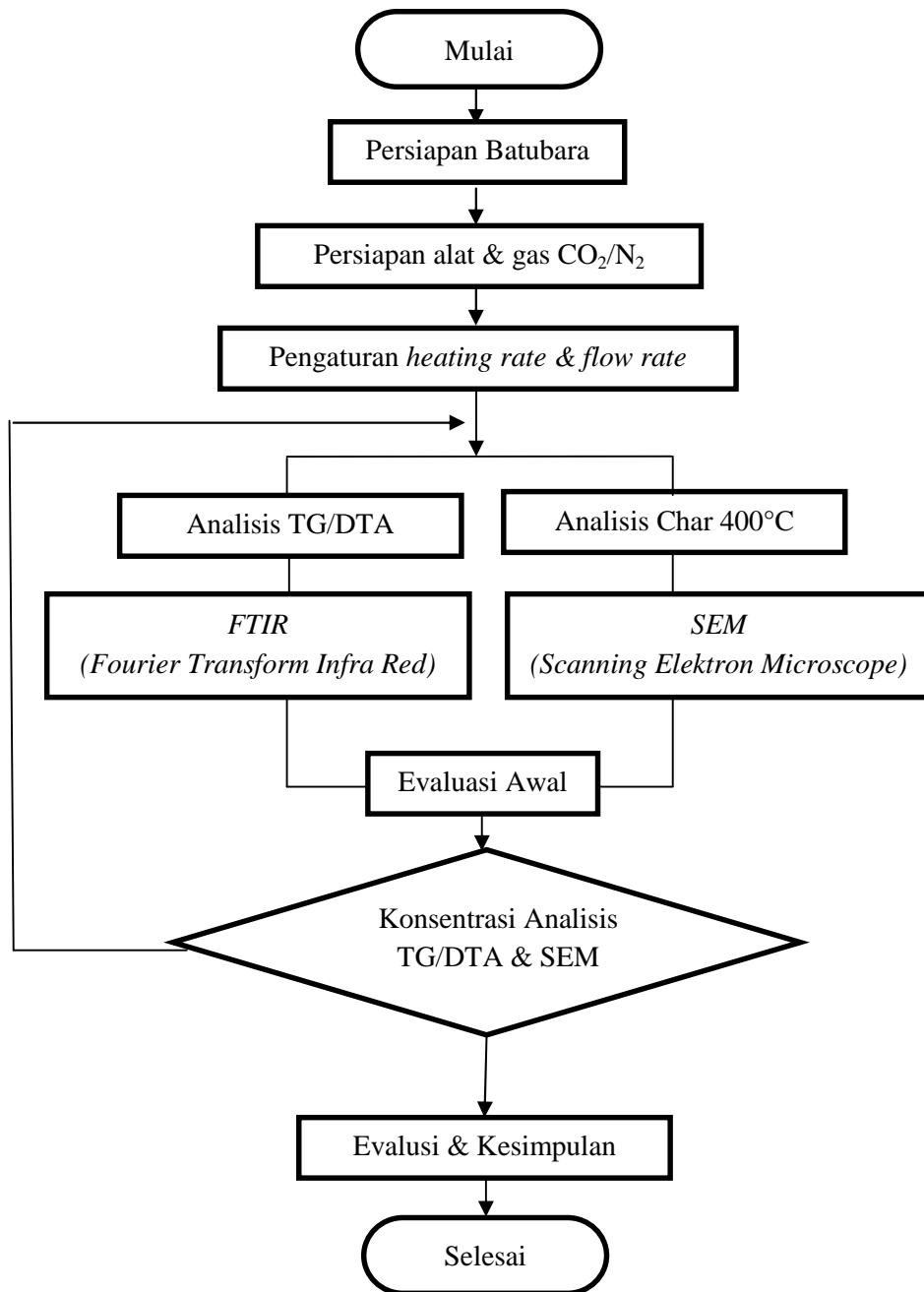
Berdasarkan data pengujian yang didapatkan dapat dilakukan evaluasi untuk pengujian selanjutnya agar lebih efektif.



<i>Input</i> Contoh	<i>Fixed Bed Reactor (FBR)</i>	<i>Output</i> Contoh
---------------------	--------------------------------	----------------------

Gambar 3.6 Contoh dan rangkaian alat *Fixed Bed Reactor (FBR)*

4.3.2 Gasifikasi TG - DTA



Gambar 3.7. Diagram Alir Gasifikasi Batubara Metode TG/DTA – FTIR dalam Lingkungan *Oxyfuel*

Berikut Langkah-langkah metodologi penelitian secara keseluruhan dimulai dari persiapan sampel hingga evaluasi dan kesimpulan :

1. Persiapan batubara

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel batubara Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur. Sebelum memulai pengamatan sampel batubara padat berupa bongkahan perlu dirubah terlebih dahulu menjadi batubara serbuk dengan melakukan *sizing* menggunakan *mixer mill*, *shieve shaker* dan *rotap* agar batubara lolos 200 mesh. Bahan baku inilah yang akan digunakan sebagai bahan baku penelitian.

2. Persiapan alat dan gas CO₂/N₂

Kemudian penelitian dimulai dengan mempersiapkan alat dan gas, alat yang digunakan yaitu TG/DTA (*Thermogravimetric/Differential Analyzer*) dan gas yang digunakan pada penelitian ini adalah gas CO₂ dan N₂.

3. Pengaturan *Heating Rate* dan *Flow rate*

Temperatur diatur hingga 800°C - 900°C dengan waktu pengambilan sampel setiap kenaikan temperatur 100°C, sedangkan *flow rate* pada gas CO₂ dan N₂ diatur pada *flow* 50 ml/menit.

4. Analisis TG/DTA-FTIR

Proses pembakaran batubara dengan menggunakan *termogravimetric analyzer* merupakan pembakaran skala kecil atau masih dalam skala laboratorium. Analisis penyalaan batubara dilakukan dalam lingkungan udara N₂ dan CO₂. TG-DTA digunakan untuk mengamati temperatur penyalaan pada sampel. Sedangkan penelitian pembakaran batubara yang dilakukan dalam N₂ dan CO₂ dengan menggunakan TG-DTA-FTIR untuk mengamati karakterisasi pembakaran dan juga mengamati gas yang timbul. Selain analisis penyalaan batubara dilakukan juga analisis *char* untuk mengetahui struktur sampel batubara tersebut dengan menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscope*).



Contoh Input	Cawan	<i>Thermo Gravimetric/Differential Thermal Analysis - Fourier Transform Infra Red (TG/DTA- FTIR)</i>
--------------	-------	--

Gambar 3.8 Contoh dan rangkaian alat gasifikasi menggunakan *Thermo Gravimetric/Differential Thermal Analysis - Fourier Transform Infra Red (TG/DTA-FTIR)*

BAB IV

HASIL dan PEMBAHASAN

Setelah melakukan penelitian didapatkan hasil analisis proksimat dan ultimat, pengeringan menggunakan oven pada temperatur 120°C dan *fixed bed reactor* pada kondisi isothermal dan non-isothermal, serta gasifikasi menggunakan TG/DTA-FTIR.

4.1 Analisis Proksimat dan Ultimat

Berikut adalah hasil analisis proksimat dan ultimat dari sampel batubara Sumatera Selatan dan Kalimantan Timur. Analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor ditentukan mengikuti standar prosedur analisis ASTM-D-3172, ASTM-D-3174, ASTM-D-3176, dan ASTM-D-5865.

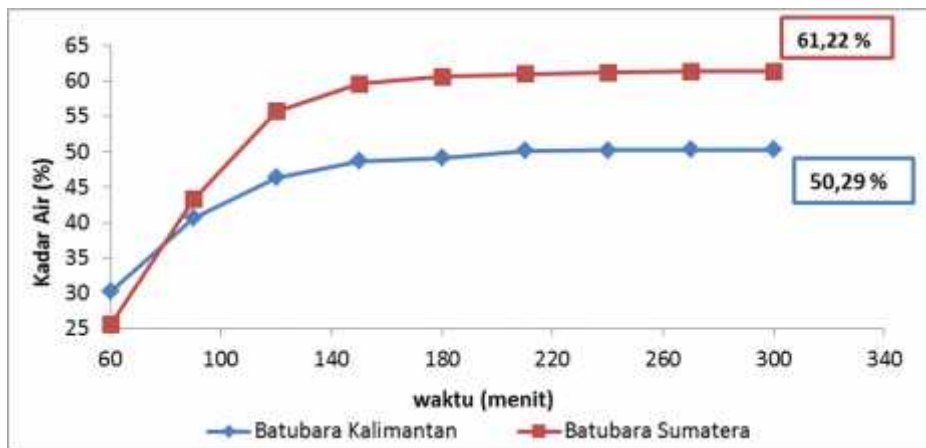
Jenis Analisis	Jenis Batubara	
	Kaltim	Sumsel
Total Moisture	49.93	58.27
<i>Proximate Analysis (%)</i>		
MC (adb)	10.11	14.34
Ash (adb)	16.78	5.47
VM (adb)	39.49	43.43
FC (adb)	33.62	36.76
<i>Ultimate Analysis (%)</i>		
MC (adb)	10.11	14.34
Ash (adb)	16.78	5.47
Carbon (adb)	50.46	54.87
Hydrogen (adb)	3.91	3.89
Nitrogen (adb)	0.18	0.22
Total Sulfur (adb)	0.32	0.21
Oxygen (adb)	18.42	21
<i>Calorific Value</i> (adb) ,cal/gram	4907	5093

Tabel 4.1 Hasil Analisis Ultimat dan Proksimat Batubara Sumsel dan Kaltim

4.2 Hasil dan Pembahasan Pengamatan Pengeringan

4.2.1 Oven Drying

Berdasarkan hasil pengamatan pengeringan secara gravimetri dengan menggunakan oven pada temperatur 120°C dengan sampel batubara Sumatera Selatan dan batubara Kalimantan Timur diperoleh data seperti pada Gambar 5.1, grafik menunjukkan perbandingan antara waktu terhadap persentase kadar air (g/g) yang menguap pada saat proses pengeringan berlangsung. Korelasi antara waktu dan kadar air saat pengeringan berlangsung berbanding lurus. Pada titik waktu yang sama, sampel batubara yang lebih banyak mengandung kadar air grafiknya akan lebih tinggi yaitu, pada penelitian ini sampel batubara Sumatera Selatan. Setelah dilakukan pengeringan selama 90 menit kadar air sampel batubara Sumatera Selatan 43,2615 %; sedangkan batubara Kalimantan Timur nilainya lebih rendah yaitu 40,6048 %.



Gambar 4.1 Perbandingan Waktu Pengeringan Terhadap Kadar Air Batubara Sumatera Selatan dengan Batubara Kalimantan Timur dengan Metode *Oven Drying*

Grafik sampel batubara yang mengandung kadar air lebih tinggi akan meningkat lebih tajam ketika awal pengeringan. Kenaikan kadar air saat pengeringan sudah terlihat mulai stabil (hampir mencapai bobot) baik pada sampel batubara Sumatera Selatan maupun batubara Kalimantan Timur yaitu dimulai setelah 210 menit. Perbedaan antara kedua sampel pada kondisi stabil yaitu, kenaikan batubara Kalimantan Timur lebih halus dimulai setelah 210 - 240 menit, selisih massa pengeringan terakhir $\pm 0,0100$ g. Sampel yang memiliki massa besar

berarti mengandung jumlah *inherent moisture* yang lebih besar juga, sehingga pada pemanasan yang sama akan diperlukan lebih banyak waktu untuk menghilangkan *moisture* tersebut. (Caalban, 2011)

Temperatur operasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah massa yang hilang pada saat proses pengeringan berlangsung, semakin tinggi temperatur operasi maka akan semakin banyak massa yang hilang. Maka pada penelitian ini temperatur ditetapkan pada interval tengah temperatur penguapan kadar air, yaitu 120°C. Penetapan temperatur ini didasarkan pada interval temperatur penguapan kadar air (*moisture loss*), seperti yang ditampilkan pada tabel 4.4. Jika temperatur pengeringan $\leq 120^\circ\text{C}$, dikhawatirkan akan membutuhkan waktu pengeringan yang lebih lama sehingga kurang efektif. *Inherent moisture* ditetapkan melalui pemanasan beberapa sampel batubara (gram) dengan pengeringan menggunakan oven pada temperatur 380°K (107°C). (Norman Chigier, 1981) Untuk itu dalam penelitian ini ditetapkan temperatur 120°C agar didapatkan hasil penetapan kadar air yang lebih optimal. Massa yang hilang ini mengandung sejumlah besar air (*inherent moisture*) yang mengalami dekomposisi termal. Penetapan temperatur pada kedua metode pengeringan ini, merujuk pada acuan literatur :

Tabel 4.4 Tingkat Temperatur dalam Pengeringan Batubara

Tujuan Penetapan	Interval Temperatur (°C)
Penguapan % air (<i>moisture loss</i>)	100 – 150
Volatilisasi (<i>volatil Matter</i>)	150 – 250
Pengabuan (<i>free ash</i>)	400 – 500

(Lutfi Al.Baqy, dkk; 2013)

Perubahan massa yang hilang paling besar terjadi pada sampel batubara Sumatera dibandingkan batubara Kalimantan. Karena sampel batubara Sumatera dilihat dari karakteristik fisiknya lebih lembab dan mudah rapuh dari pada batubara Kalimantan. Nilai kadar air mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu

pengeringan, sehingga semakin besar kenaikan kadar air yang terjadi pada batubara Sumatera dan batubara Kalimantan. Kenaikan kadar air akan stabil ketika udara pengering tidak dapat mengambil kadar air dari batubara tersebut yang menandakan bahwa kadar air telah mencapai bobot tetap. Namun untuk dapat mencapai bobot tetap dibutuhkan waktu pengeringan yang panjang, karena selisih bobot pengeringan terakhir 0,004 g. Adapun pernyataan yang menyatakan pemanasan dilakukan hingga massa yang hilang mencapai konstan atau mendekati konstan 2 % g/min. (Wulan Erna Komariah, 2012)



Gambar 4.2 Batubara Sumatera Selatan



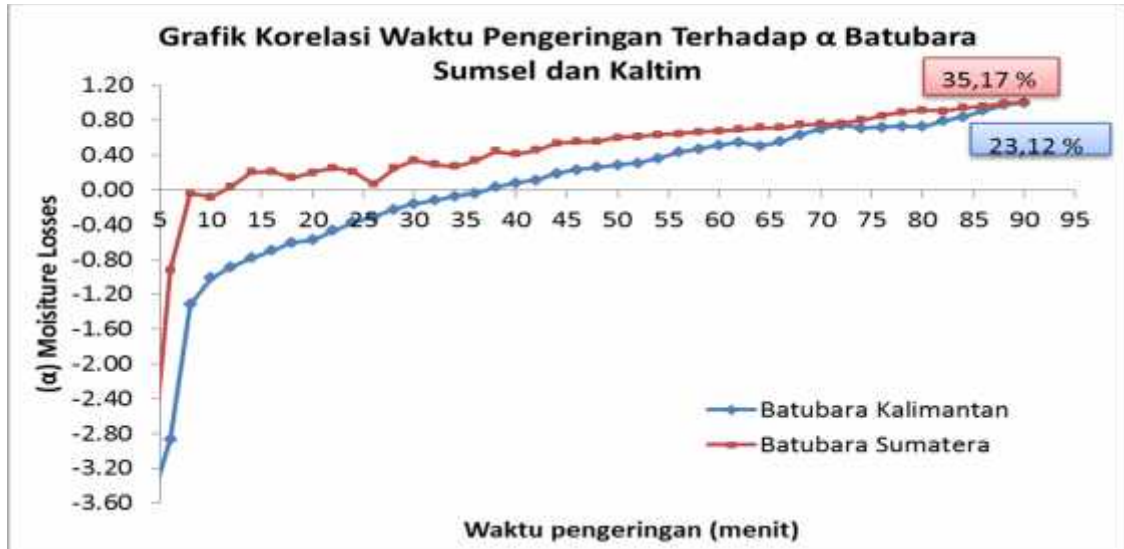
Gambar 4.3 Batubara Kalimantan Timur

4.2.3 *Fixed Bed Reactor (FBR)*

4.2.2.1 Grafik Hasil Pengamatan *FBR* Isotermal

Berdasarkan hasil pengamatan pengeringan dengan menggunakan *Fixed Bed Reactor (FBR)* pada temperatur 120°C, didapatkan hasil analisis dalam bentuk grafik antara perbandingan waktu pengeringan terhadap gradien *moisture loss*. Gradien *moisture loss* pada awal pengeringan dengan FBR menunjukkan nilai negatif, hal ini disebabkan karena temperatur batubara masih belum stabil. Sehingga yang seharusnya massa batubara semakin berkurang (penguapan), akan tetapi pada kenyataannya massa batubara bertambah sampai dengan temperatur batubara stabil, yaitu sekitar menit ke-10 untuk batubara Sumsel dan menit ke-35 untuk batubara Kaltim. Hal ini menunjukkan batubara Sumsel lebih cepat melepaskan kandungan *moisture* daripada batubara Kaltim. Prosentase *surface moisture* batubara Sumsel (35,17%) lebih tinggi dari pada batubara Kaltim (23,12%). Pada pengujian

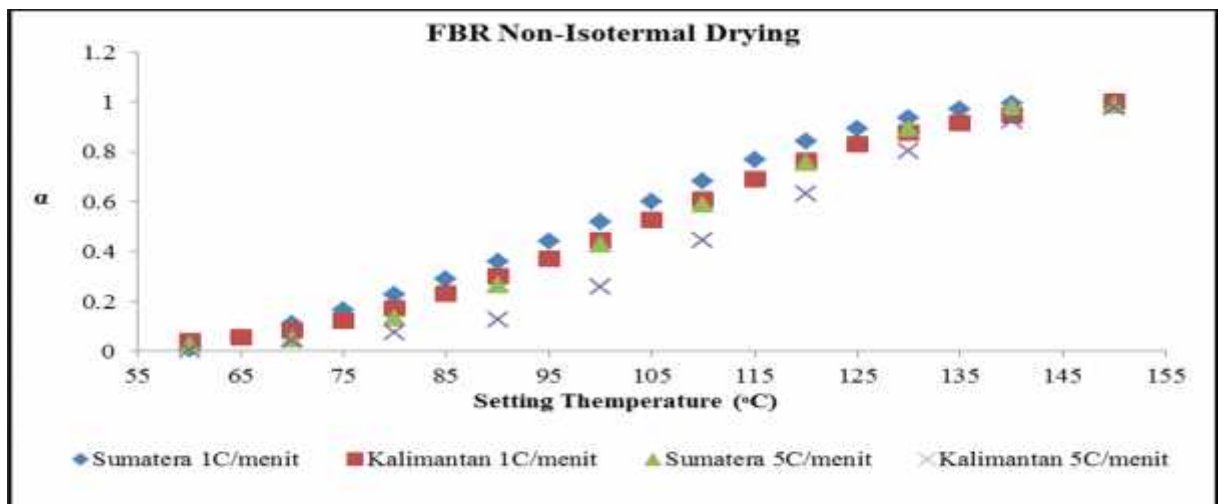
dengan FBR ini pengeringan tidak dilakukan hingga titik jenuh (bobot tetap), sehingga belum diperoleh prosentase *total moisture* hanya sampai dengan *surface moisture*.



Grafik 4.2 Pengeringan Batubara Sumatera dan Kalimantan secara Isotermal dengan *FBR*

4.2.2.2 Grafik Hasil Pengamatan *FBR* Non-Isotermal

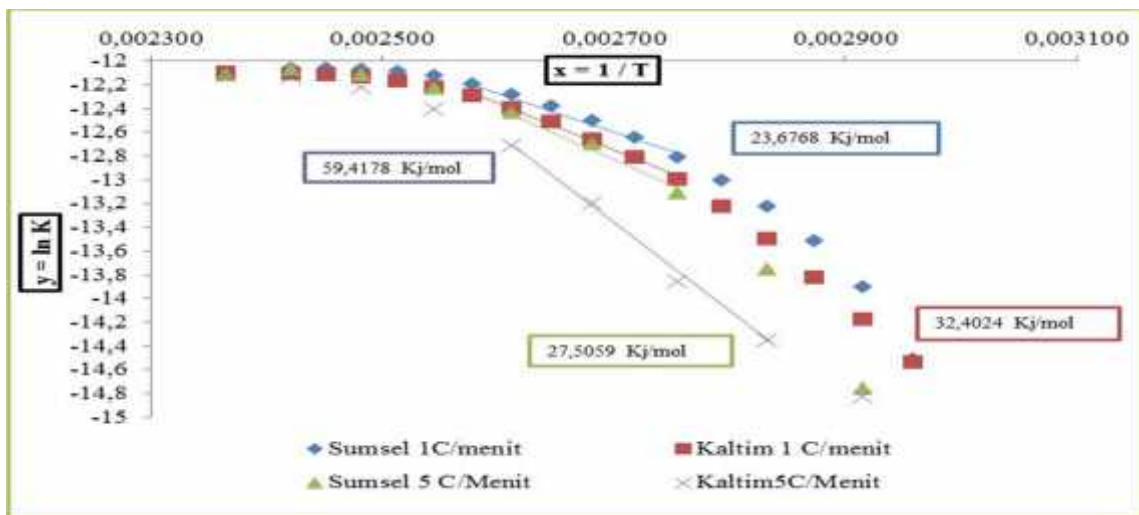
Pengeringan dengan menggunakan *FBR* dalam pengujian ini dilakukan pada dua kondisi laju temperatur yang berbeda secara non-isotermal, yaitu yang pertama pengaturan laju temperatur pada 10°C per 2 menit (5°C/menit) dan yang ke-dua pada 5°C per 5 menit (1°C/menit). Tujuan melakukan pengeringan pada laju temperatur yang berbeda untuk mengetahui kinetika laju massa yang lebih cepat pada pengeringan batubara Sumatera maupun Kalimantan secara non-isotermal dengan *FBR* sehingga dapat diketahui gradien massa yang lebih tinggi.



Grafik 4.3 Temperatur terhadap Batubara Sumatera dan Kalimantan secara Non-Isotermal FBR

Untuk melakukan pengujian kadar air berdasarkan laju reaksi massa batubara secara non-isotermal dengan menggunakan *Fix Bed Reactor* (FBR). Temperatur *FBR* ini terbagi kedalam tiga bagian pengaturan yaitu *top*, *middle* dan *bottom*, sehingga kondisi temperatur dalam *Fix Bed Reactor* dapat merata. Secara non-isotermal perbandingan laju reaksi massa batubara berbanding terbalik dengan temperatur *Fix Bed Reactor*, semakin meningkatnya temperatur *Fix Bed Reactor* maka massa batubara akan semakin berkurang, karena penguapan kadar air batubara tersebut. Pada awal pengeringan terjadi penguapan kadar air pada bagian *surface moisture*, sehingga gradien massa contoh batubara masih kecil. Gradien massa akan meningkat berbanding lurus dengan peningkatan temperatur *Fix Bed Reactor*. Kadar air yang hilang dari masing-masing sampel batubara dengan ukuran partikel 10 mm pada tingkat pemanasan yang berbeda dapat ditunjukkan pada grafik 4.3. Pada saat dilakukan pengujian nilai temperatur naik secara linear.

Berdasarkan grafik 4.3 kurva batubara Kaltim lebih landai dibandingkan dengan kurva batubara Sumsel. Semakin meningkatnya temperatur *Fix Bed Reactor*, maka gradien massa akan meningkat. Pada grafik 4.3 gradien massa batubara Sumsel lebih tinggi nilainya dari pada batubara Kaltim, fenomena ini mengindikasikan bahwa kadar air batubara Sumatera lebih tinggi dari pada batubara Kalimantan. Berdasarkan karakteristik fisiknya, batubara Sumatera lebih lunak, lebih mudah rapuh, lebih lembab sehingga gradien massa batubara Sumatera saat pengeringan menggunakan FBR-pun lebih tinggi nilainya.



Grafik 4.4 Hubungan Perhitungan Energi Aktivasi secara Isotermal FBR

Energi aktivasi merupakan energi minimum yang diperlukan untuk memulai reaksi kimia agar berjalan optimal. Laju reaksi menurun seiring meningkatnya temperatur. Hal ini menyebabkan adanya energi aktivasi negatif. Reaksi seperti ini disebut reaksi tak berhalangan. Beberapa faktor yang mempengaruhi laju reaksi seperti temperatur dan luas permukaan. Pada umumnya jika temperatur dinaikan, laju Reaksi bertambah cepat, hal ini disebabkan energi kinetik partikel akan ikut meningkat. Sampel yang memiliki luas permukaan kepingan atau butiran reaksinya lebih lama dibandingkan dengan yang serbuk (ukuran partikel lebih kecil). Jadi laju reaksi akan meningkat jika luas permukaan sampel semakin besar; ukuran partikel semakin kecil.

Pernyataan Arrhenius menyatakan hubungan antara energi aktivasi dan laju reaksi dari persamaan Arrhenius, energi aktivasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$ $\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \cdot \frac{1}{T}$ $Y = a - b x$	<p>k = koefisien laju reaksi</p> <p>A = faktor frekuensi reaksi</p> <p>E_a = Energi Aktivasi (J/mol)</p> <p>R = konstanta gas (8,314 J/mol °K)</p> <p>T = temperatur (°K)</p>
---	--

Berdasarkan Persamaan di atas,

$$b = \frac{EA}{RT} \dots \dots \dots (1)$$

a= intersep	b = slop
-------------	----------

Jadi untuk mendapatkan nilai Energi aktivasi dicari terlebih dahulu nilai slop berdasarlan grafik linearitas, x (1/T) terhadap Y (ln k). Sehingga setelah diplot akan diketahui

pula nilai regresi (linearitas hasil grafik). Maka berdasarkan persamaan turunan (1) diperoleh persamaan :

$$E_a = b \times R \dots\dots\dots (2)$$

Data Perhitungan Energi Aktivasi

a. Laju Reaksi 1 °C /menit

<p>Batubara Sumatera Selatan</p> $E_a = b \times R$ $= 2847,82 \times 8.314$ $= 23676,7754 \text{ (J/mol)}$ $= 23,6768 \text{ (KJ/mol)}$
--

<p>Batubara Kalimantan Timur</p> $E_a = b \times R$ $= 3897,33 \times 8.314$ $= 32402,4016 \text{ (J/mol)}$ $= 32,4024 \text{ (KJ/mol)}$
--

b. Laju Reaksi 5 °C /menit

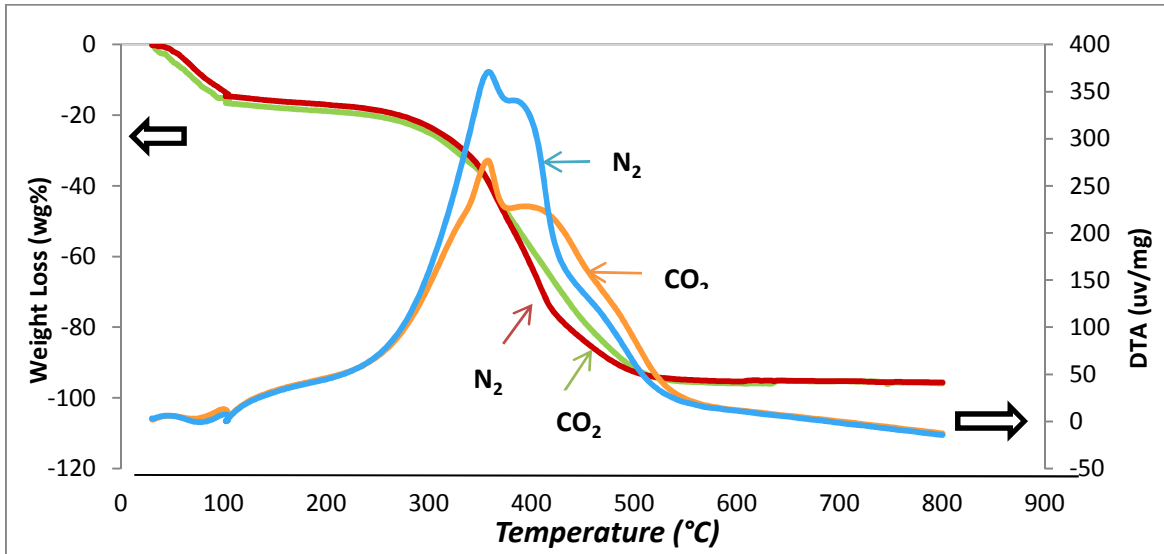
<p>Batubara Sumatera Selatan</p> $E_a = b \times R$ $= 7533,23 \times 8.314$ $= 27505,871 \text{ (J/mol)}$ $= 27,5059 \text{ (KJ/mol)}$

<p>Batubara Kalimantan Timur</p> $E_a = b \times R$ $= 7146,7128 \times 8.314$ $= 59417,77 \text{ (J/mol)}$ $= 59,4178 \text{ (KJ/mol)}$
--

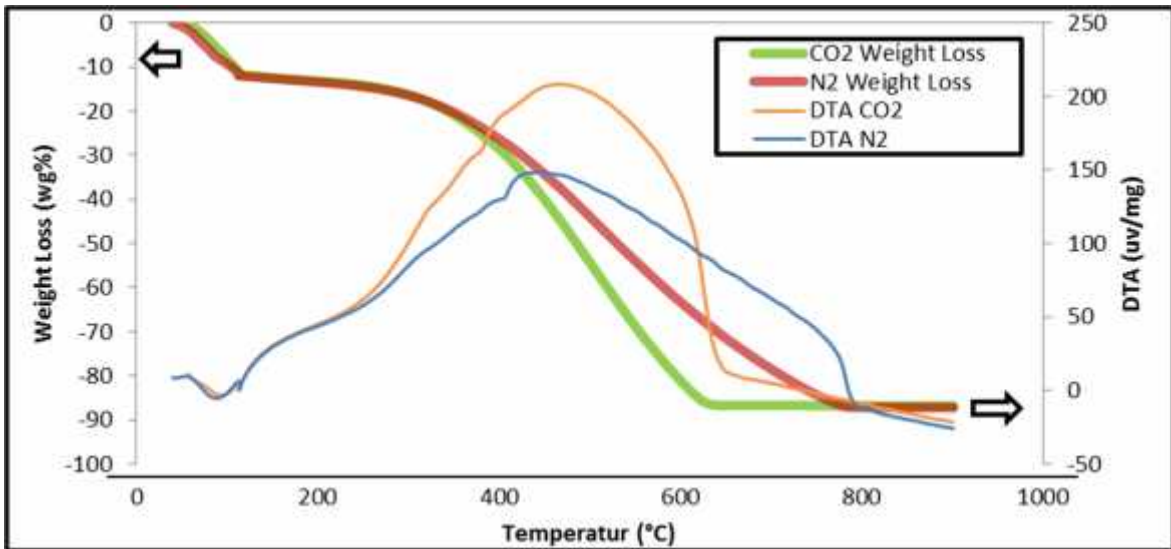
Persamaan ini menunjukkan bahwa energi aktivasi tergantung pada temperatur. Kenaikan laju temperatur reaksi akan meningkatkan Energi aktivasi (korelasinya berbanding lurus). Nilai Energi aktivasi dapat dihitung berdasarkan nilai slop pada grafik. Dimana nilai slop didapat berdasarkan grafik linearitas, x (1/T) terhadap Y (ln k). Pada penelitian ini Nilai x (1/T) dan Y (ln k) menurun maka nilai slop akan meningkat. Korelasi slop dengan energi aktivasi berbanding lurus, sehingga jika slop meningkat maka energi aktivasi akan meningkat. Berdasarkan data yang telah diolah dapat disimpulkan bahwa, energi aktivasi terbesar terdapat pada sampel batubara Kalimantan Timur dengan laju reaksi 5°C/menit yaitu senilai - 59,4178 (KJ/mol), dengan nilai slop 7146,7128. Pada penelitian ini energi aktivasi bernilai negatif , Seperti telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya karena Laju reaksi menurun seiring meningkatnya temperatur.

4.3 Hasil dan Pembahasan Pengamatan Gasifikasi

4.3.1 Kurva Hasil Pengamatan TG/DTA



Gambar 4.7 Kurva TG-DTA Batubara Sumsel dalam lingkungan N₂ dan CO₂



Gambar 4.8 Kurva TG-DTA Batubara Kaltim dalam lingkungan N₂ dan CO₂

Pada perilaku pirolisis sampel batubara Sumsel yang tergolong batubara lignit dalam lingkungan N₂ dan CO₂ sampai temperatur 800 °C dapat diamati bahwa N₂ berperilaku sangat mirip hingga temperatur sekitar 300 °C. Di tahap pertama pada temperatur 200 °C terjadi penghilangan kandungan kadar air, kemudian pirolisis berlanjut dengan pelepasan bahan zat volatil di kisaran 300-400 °C.

Pada pembentukan N₂ menampilkan kecenderungan meningkat mulai pada temperatur sekitar 300°C, dengan temperatur maksimum senilai 347,4 °C dengan nilai dm/dt senilai 12,5584 %/min. Temperatur inisiasi merupakan temperatur pada saat rata-rata konsentrasi massa yang hilang mendekati 1% per menit, yaitu pada N₂ senilai 240,16 °C sedangkan pada CO₂ senilai 242,37 °C. Temperatur maksimum yaitu pada saat dm/dt tertinggi antara temperatur inisiasi dengan temperatur *burn out*. Kisaran ini sesuai dengan interval temperatur devolatilisasi yang dipresentasikan dalam kurva DTA batubara lignit. Temperatur inisiasi merupakan temperatur pada saat rata-rata konsentrasi massa yang hilang mendekati 1% per menit, yaitu pada N₂ senilai 240,16 °C sedangkan pada CO₂ senilai 242,37 °C. Pembentukan N₂ berakhir pada 607,82 °C (T_{burn out}), dimana kurva DTA mulai mendekati nol. Berdasarkan grafik diatas kurva TG/DTA batubara Sumsel lebih reaktif pada lingkungan gas N₂. Ditunjukkan berdasarkan nilai dm/dt N₂ (12,5584) lebih besar daripada CO₂ (8,7564).

Sedangkan pada perilaku pirolisis sampel batubara Kaltim yang tergolong batubara sub-bituminus dalam lingkungan N₂ dan CO₂ sampai temperatur 900 °C dapat diamati bahwa CO₂ berperilaku sangat mirip hingga temperatur sekitar 250°C. Di tahap pertama pada temperatur 200 °C terjadi penghilangan kandungan kadar air, kemudian pirolisis berlanjut dengan pelepasan bahan zat volatil di kisaran 300-400 °C.

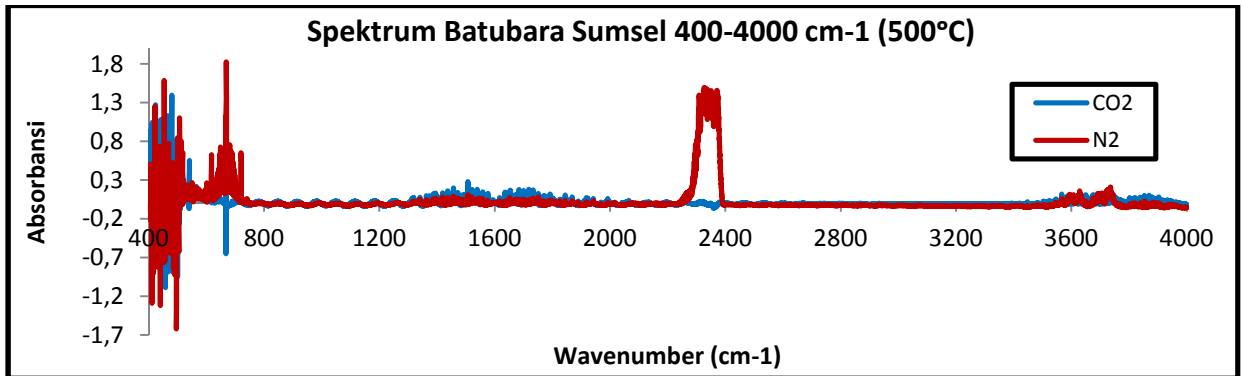
Pada pembentukan CO₂ kecenderungan meningkat mulai pada temperatur sekitar 270°C, dengan temperatur maksimum senilai 486,26°C dengan nilai dm/dt senilai 5,7040 %/min. Kisaran ini sesuai dengan interval temperatur devolatilisasi yang dipresentasikan dalam kurva DTA batubara sub-bituminus. Temperatur inisiasi batubara Kaltim yaitu pada N₂ senilai 280,27 °C sedangkan pada CO₂ senilai 277,32 °C. Hal ini menunjukkan batubara Kaltim lebih reaktif pada lingkungan CO₂ dengan nilai dm/dt CO₂ (5,7040 %/min) lebih besar dari pada N₂ (3,8871 %/min). Pembentukan CO₂ berakhir pada 629,48 °C (T_{burn out}).

Parameter	Batubara Sumsel		Batubara Kaltim		Unit
	CO2	N2	CO2	N2	
dm/dt (Max)	8,7564	12,5584	6,3412	5,7785	%/min
dm/dt (Mean)	2,3051	2,2078	1,8558	1,8026	% min
T _{in}	242,37	240,16	277,32	280,27	°C
T _{max}	359,96	347,4	82,03	80,52	°C
T _{burn out}	532,57	607,82	629,48	777,84	°C

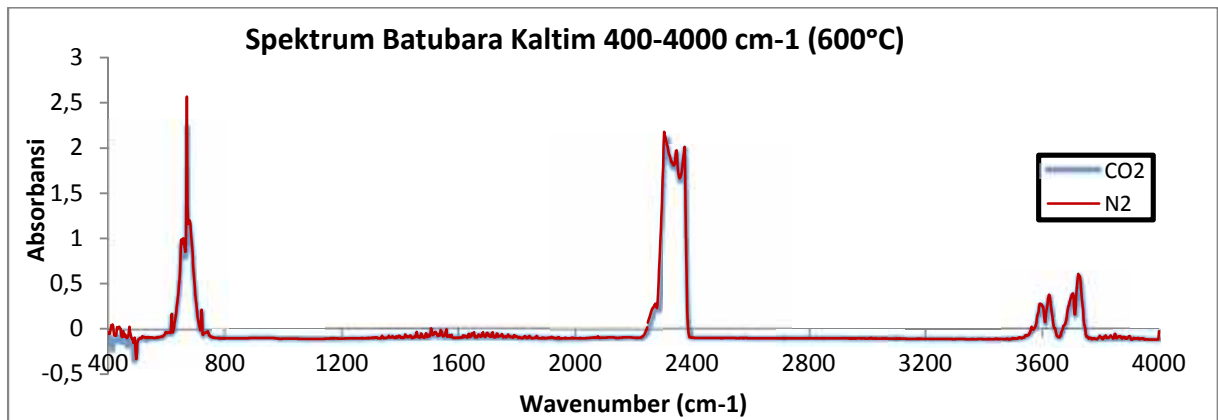
Tabel 4.17 Hasil dm/dt, T_{in}, T_{max} dan T_{burnout}

4.3.2 Analisis Kualitatif Gas dengan Metode FTIR

4.3.2.1 Hasil Karakteristik Batubara Sumsel dan Kaltim dalam metode FTIR pada Lingkungan CO_2 dan N_2

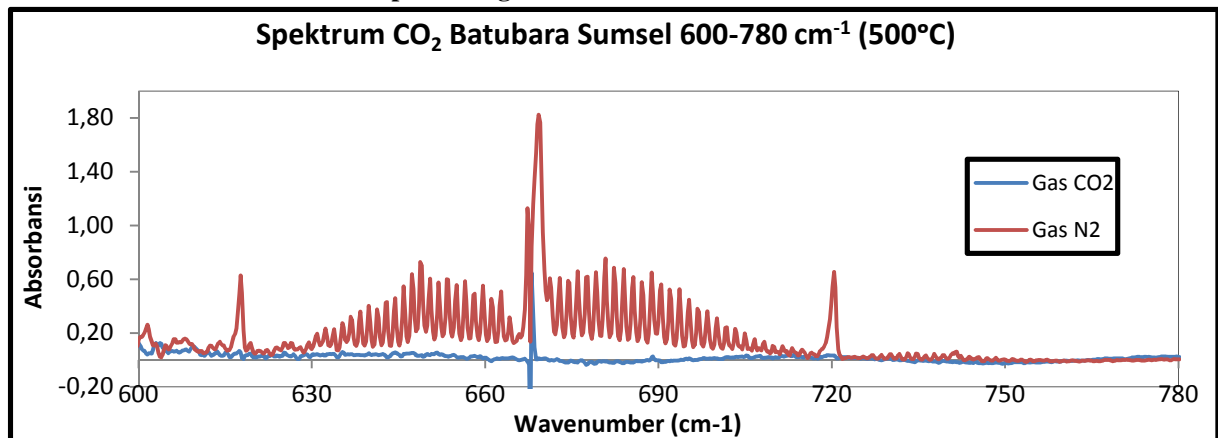


Spektrum 4.1 Batubara Sumsel dalam lingkungan N_2 dan CO_2 ($400\text{-}4000\text{cm}^{-1}$)

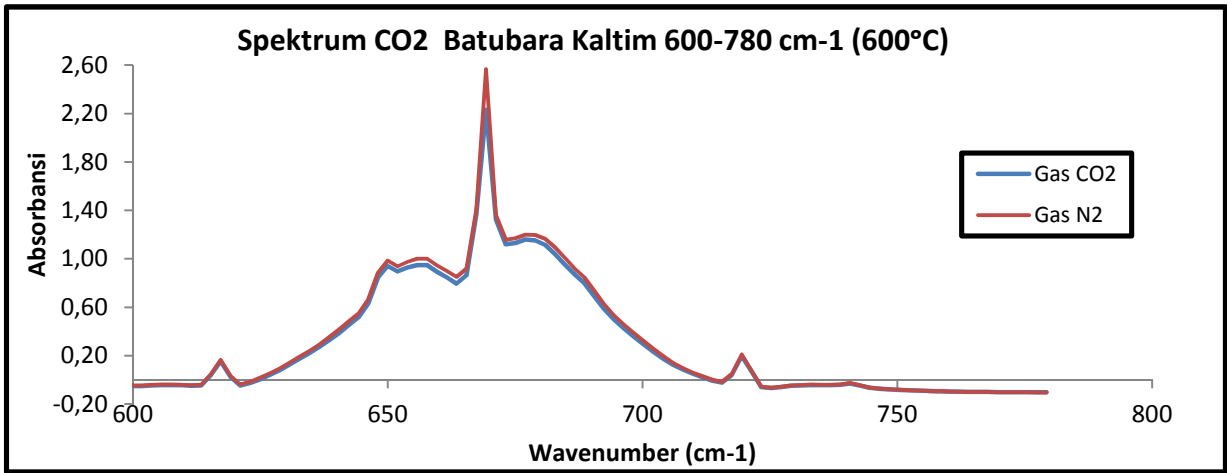


Spektrum 4.2 Batubara Kaltim dalam lingkungan N_2 dan CO_2 ($400\text{-}4000\text{cm}^{-1}$)

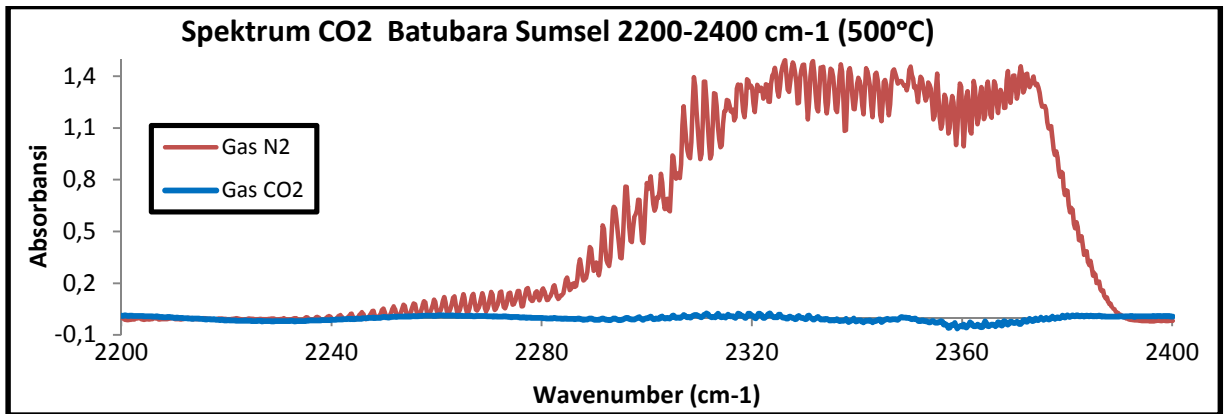
4.3.2.2 Karakteristik Spektrum gas CO_2



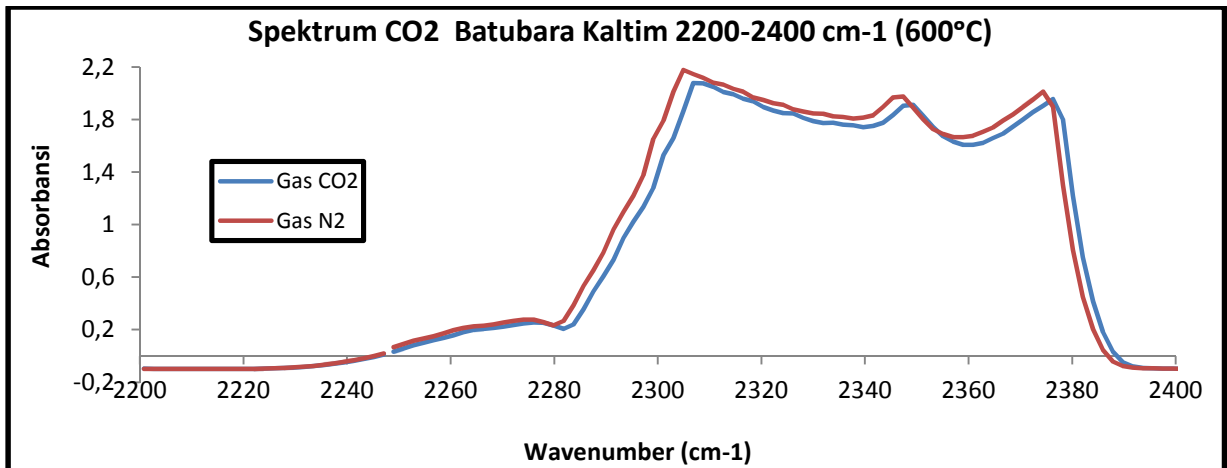
Spektrum 4.3a Batubara Sumsel dalam lingkungan N_2 dan CO_2 ($600\text{-}780\text{cm}^{-1}$)



Spektrum 4.3b Batubara Kaltim dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (600-780 cm⁻¹)

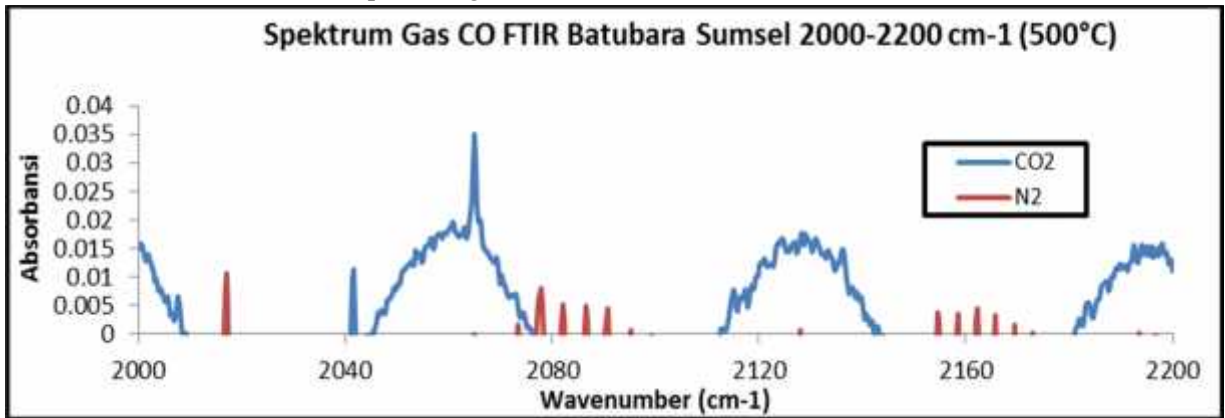


Spektrum 4.4a Batubara Sumsel dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (2200-2400 cm⁻¹)

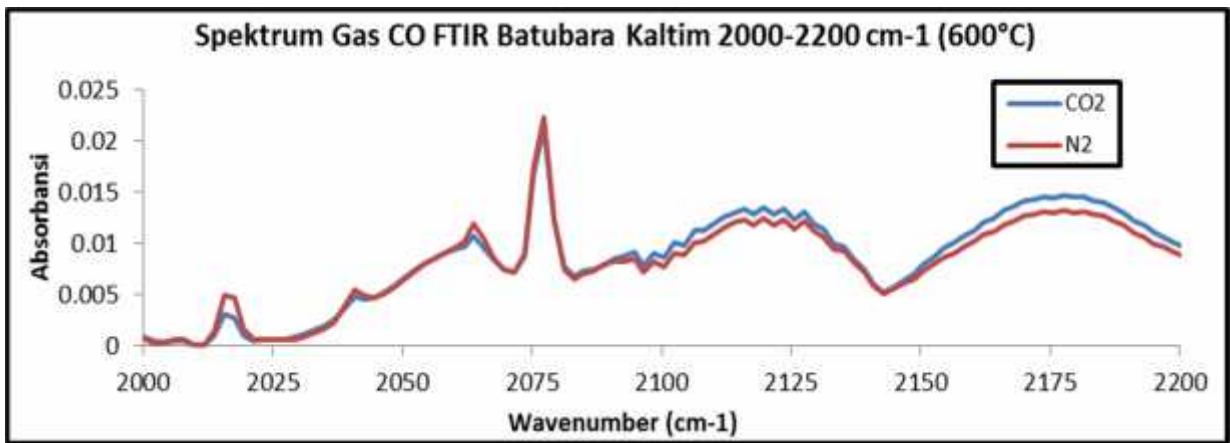


Spektrum 4.4b Batubara Kaltim dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (2200-2400 cm⁻¹)

4.3.2.3 Karakteristik Spektrum gas CO

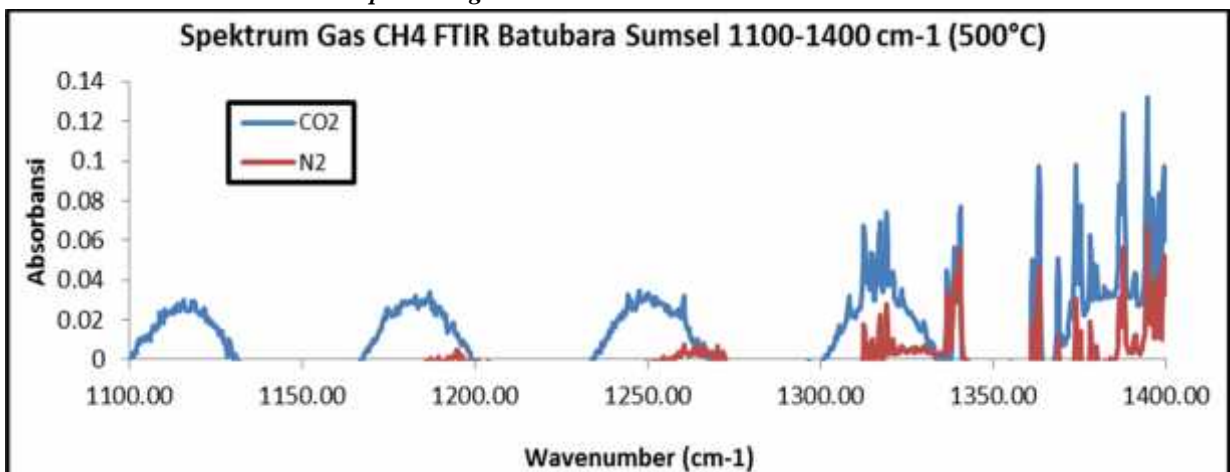


Spektrum 4.5a Batubara Sumsel dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (2000-2200 cm⁻¹)

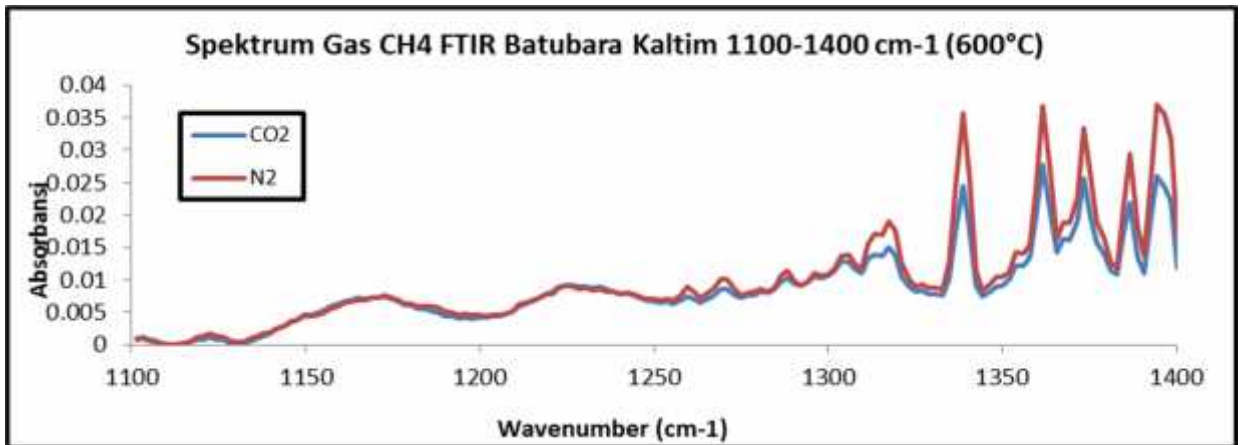


Spektrum 4.5b Batubara Kaltim dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (2000-2200 cm⁻¹)

4.3.2.4 Karakteristik Spektrum gas CH₄

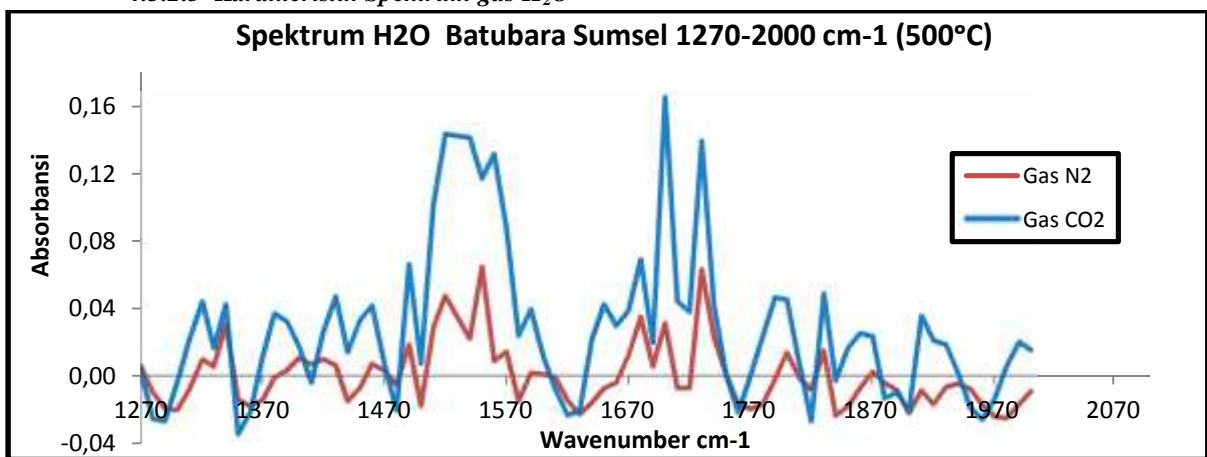


Spektrum 4.6a Batubara Sumsel dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (1100-1400 cm⁻¹)

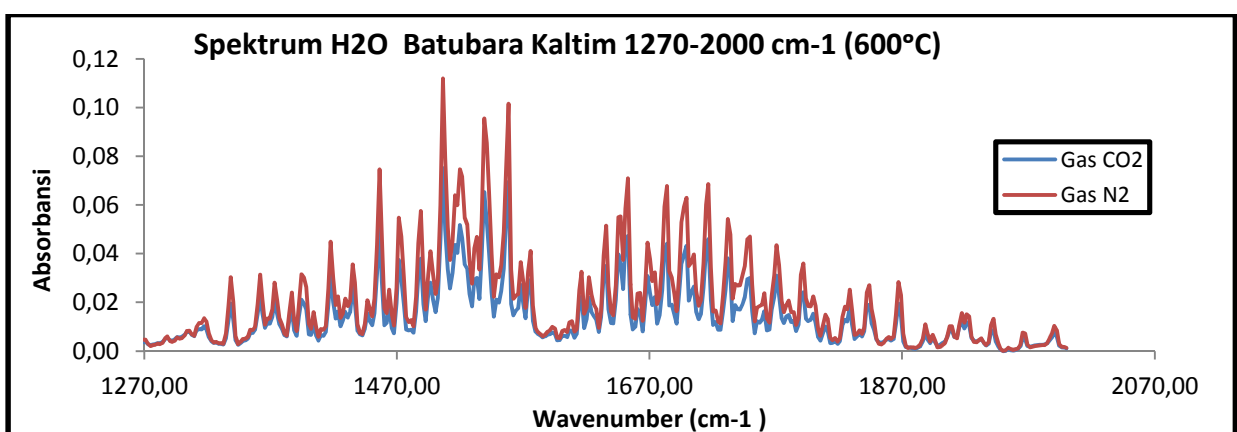


Spektrum 4.6b Batubara Kaltim dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (1100-1400 cm⁻¹)

4.3.2.5 Karakteristik Spektrum gas H₂O

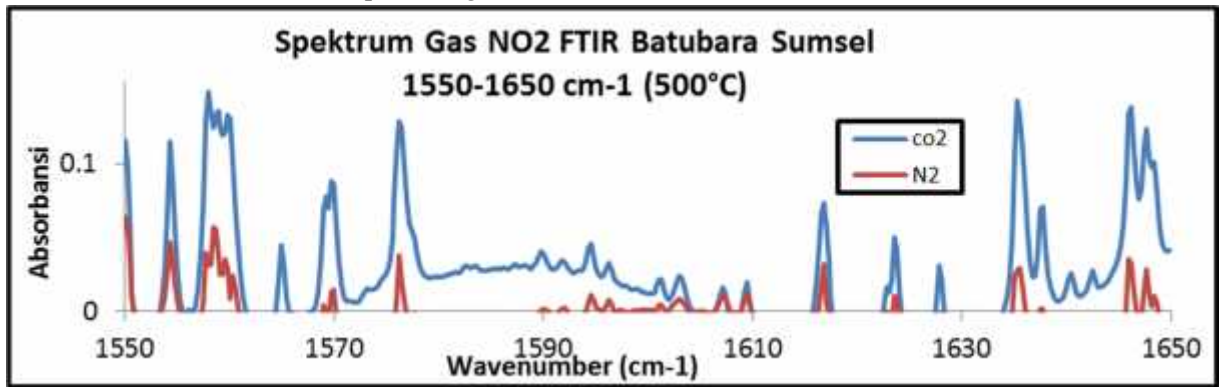


Spektrum 4.7a Batubara Sumsel dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (1270-2000 cm⁻¹)

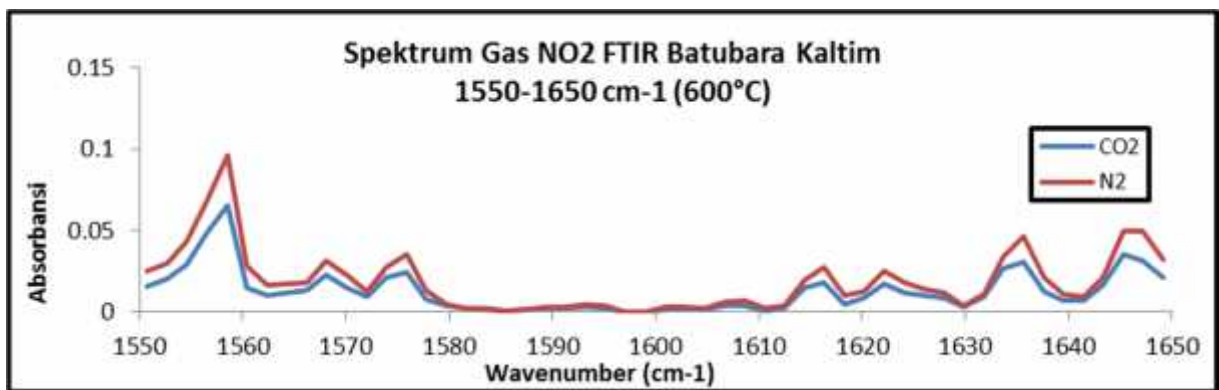


Spektrum 4.7b Batubara Kaltim dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (1270-2000 cm⁻¹)

4.3.2.6 Karakteristik Spektrum gas NO₂



Spektrum 4.8a Batubara Sumsel dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (1550-1650 cm⁻¹)



Spektrum 4.8b Batubara Kaltim dalam lingkungan N₂ dan CO₂ (1550-1650 cm⁻¹)

4.3.3 Pembahasan Analisis Kualitatif Gas dengan Metode FTIR pada Lingkungan CO₂ dan N₂

Analisis Kualitatif kandungan gas dengan metode FTIR dalam sampel batubara Sumsel (lignit) dan batubara Kaltim (sub-bituminus) yang bertujuan membandingkan karakteristik pirolisis dalam gasifikasi pada dua lingkungan udara yang berbeda yaitu gas CO₂ dan gas N₂. Dalam analisis dengan metode FTIR ini untuk mem-plot spektrum berdasarkan temperatur *burn out*, yaitu sebelum temperatur *burn out* dan puncak tertinggi pada *peak* dalam interval bilangan gelombang yang telah ditentukan mengacu pada studi literatur jurnal "A TG-FTIR Study on Catalytic Pyrolysis of Coal" oleh Yang Jing-Biao dan Cai Ning-Sheng tahun 2006, yaitu :

Gas	CH ₄	CO ₂	CO	NO ₂	H ₂ O
Wave number	3100 - 2800	2400 - 2250			4000 - 3400
(cm ⁻¹)	1400 - 1100	780 - 600	2250 - 2000	1650 - 1550	2230 - 2000
					2000 - 1270

Tabel 4.18 *Absorption band some typical gases*

Pada batubara Sumsel di-plot di temperatur 500°C (berdasarkan penelitian $T_{\text{burn out CO}_2}$ 532,57°C dan N_2 607,82°C), sedangkan batubara Kaltim di-plot pada temperatur 600°C (berdasarkan penelitian $T_{\text{burn out CO}_2}$ 629,48°C dan N_2 777,84°C). Temperatur di-plot sebelum temperatur *burn out* karena, jika setelah temperatur *burn out* wujud sampel batubara sudah menjadi abu sehingga tidak dapat dilakukan analisis kualitatif gas dalam sampel batubara. Oleh karena itu dilakukan analisis sebelum temperatur *burn out* pada saat sampel berwujud *char*.

Setiap gas yang terkandung dalam batubara pada pengujian ini memiliki bilangan gelombang yang spesifik untuk dapat ditransmisikan oleh alat FTIR. Pada Spektrum 4.3a dan Spektrum 4.3b menunjukkan peak gas CO₂ dalam sampel batubara Sumsel dan Kaltim lebih tinggi di lingkungan das yang sama, yaitu dilingkungan gas N₂. Diantara kedua bilangan gelombang tersebut gas CO₂ lebih tegas pada peak dengan bilangan gelombang 600-780cm⁻¹ sehingga terlihat jelas puncak *peak* tertingginya (batubara Sumsel pada bilangan gelombang 669,04cm⁻¹ dan Kaltim 669,3cm⁻¹). Jika dibandingkan dengan studi pendahuluan yang telah dilakukan sebelumnya oleh Nevin Selcuk dan Nur Sena Yuzbasi pada tahun 2011 dalam jurnalnya yang berjudul “*Combustion Behaviour of Turkish Lignit in O₂/N₂ dan O₂/CO₂ Mixtures by using TGA-FTIR*” (pembanding). Gas CO₂ antara penelitian yang dilakukan dengan pembading hasilnya sama, yaitu pada Turkish Lignit juga lebih tinggi dilingkungan N₂.

Pada spektrum 4.5a dan spektrum 4.5a menunjukkan gas CO dibaca pada bilangan gelombang 2000-2200 cm⁻¹ pada sampel batubara Sumsel peak cenderung lebih tinggi pada lingkungan CO₂ (2065cm⁻¹). Pada sampel batubara Kaltim peak sedikit lebih tinggi pada lingkungan N₂ (2077cm⁻¹). Pada pembading, CO lebih tinggi dilingkungan CO₂ ada kemiripan dengan sampel batubara Sumsel.

Pada Spektrum 4.6a dan Spektrum 4.6b menunjukkan gas metan (CH_4) di bilangan gelombang 1100-1400 cm^{-1} . Pada sampel batubara Sumsel peak lebih tinggi di lingkungan CO_2 (1394,49 cm^{-1}), sedangkan pada batubara Kaltim di lingkungan N_2 (1394,53 cm^{-1}) dan pada pembanding CH_4 lebih tinggi di lingkungan N_2 , sama seperti sampel batubara Kaltim.

Pada Spektrum 4.7a dan Spektrum 4.7b gas H_2O dibaca pada bilangan gelombang 1270-2000 cm^{-1} , terdapat perbedaan antara sampel batubara Sumsel dengan Kaltim yaitu sampel batubara Sumsel peaknya lebih tinggi pada lingkungan gas CO_2 (1700 cm^{-1}) sedangkan sampel batubara Kaltim pada lingkungan gas N_2 (1506,41 cm^{-1}). Pada pembanding lebih tinggi di lingkungan CO_2 .

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian “Karakterisasi Gasifikasi Batubara *Low Rank* dengan Metode TG/DTA – FTIR” yang telah dilakukan di Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), Balai Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), pada tanggal 02 Maret 2015 sampai dengan 08 Mei 2015 sesuai dengan tujuan penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Konsentrasi *total moisture* dalam % (g/g) dengan metode pengeringan batubara Sumatera Selatan berdasarkan *oven drying 120 °C* diperoleh 61,22 % dan Kalimantan Timur 50,29 %.
- b. Berdasarkan pengujian isothermal (120°C) di FBR menunjukkan bahwa pada kandungan air pada batubara Sumsel lebih banyak melepas air dibandingkan batubara Kaltim. Hal ini juga sesuai dengan pengujian non-isothermal yang menunjukkan energi aktivasi batubara Sumsel lebih rendah dari Kaltim.
- c. Karakterisasi batubara dalam proses gasifikasi dengan metode analisis *TG-DTA* (*Thermo Gravimetric - Differential Thermo Analyzer*) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), yaitu :
 - 1) Dalam Gasifikasi analisis laboratorium menunjukkan kandungan air di permukaan batubara Sumsel (43,94%) lebih tinggi dibandingkan Kaltim (39,82%).
 - 2) Gasifikasi sampel batubara Sumsel *pada kurva TG-DTA* lebih reaktif di lingkungan gas N₂ dm/dt max 12,5584; sedangkan batubara Kaltim *pada kurva TG-DTA* lebih reaktif di lingkungan gas CO₂ dm/dt max 6,3412.
 - 3) Penerapan manfaat penelitian gasifikasi batubara ini baik batubara lignit maupun sub-bituminus dapat digunakan dalam PLTU. Melalui tahap pengeringan, batubara telah di-*upgrading* (peningkatan kualitas batubara). Karena syarat batubara yang dapat digunakan pada PLTU memiliki kadar maksimal *moisture content* 25 % dalam kondisi Adb untuk dapat menghasilkan nilai kalor yang tinggi. Dan melalui tahap gasifikasi dengan menggunakan metode TG/DTA dapat diketahui lingkungan udara yang paling efektif untuk proses pembakaran batubara menjadi *steam* dalam PLTU.

d. Analisis kualitatif gas dengan metode FTIR menunjukkan untuk (CO, CH₄, H₂O, NO₂, dan SO₂) sampel Batubara Sumsel T= 500°C, peak lebih tinggi pada lingkungan gas CO₂ (kecuali gas CO₂ itu sendiri), sedangkan sampel batubara Kaltim T=600°C peak lebih tinggi di lingkungan gas N₂. Pada Pembandingan Studi literatur karakteristiknya cenderung sama dengan batubara Sumsel, karena jenis batubaranya sama yaitu lignit, lebih tinggi di lingkungan gas CO₂, ini mengindikasikan bahwa penelitian yang telah dilakukan akurat dan dapat dipertanggung-jawabkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyadi, Dwika Budianto, Adi Surjosatyo, dan Yulianto S. Nugroho. 2014. *Karakterisasi Pembakaran Batubara Halus dalam Lingkungan Udara dan Oxy-Fuel*. BPPT. Tangerang.
- Cahyadi. 2015. *Penyalaan dan Pembakaran Batubara dalam Lingkungan O₂/N₂ dan O₂/CO₂*. FT UI. Depok.
- Chieger Norman. 1981. *Energy, Combustion, and Environment*. McGraw-Hil Book Company. New York.
- Glassman Irvin. 1987. *Combustion Second Edition*. Academic Press. London.
- Jin KangTae, Hueon Namkung, Li Hua Xu, Sihyun Lee, Sangdo Kim, Hyok Bo Kwon, Hyung Taek Kim. 2012. *The Drying Kinetics of Indonesian Low Rank Coal (IBC) Using a Lab Scale Fix Bed Reactor and Thermobalance to Apply Catalytic Gasification Process*. Science Direct. Korea.
- Jing-Biao Yang, Cai Ning-Sheng. 2006. *A TG-FTIR Study on Catalytic Pyrolysis of Coal*. Science Direct. China.
- Selcuk Nevin, Nur Sena Yuzbasi. 2010. *Combustion Behaviour of Turkish Lignite in O₂/N₂ and O₂/CO₂ Mixtures by Using TGA-FTIR*. Science Direct. Turkey.
- Widarsih Wiwi, Rahman Arief, dan Siti Rohayati. 2009. *Spektrofotometri*. Sekolah Menengah Analis Kimia. Bogor.
- Wulan Erna Komariah. 2012. *Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah Melalui Penghilangan Moisture dengan Pemanasan Gelombang Mikro*. FT UI. Depok
- Xianchun Li, Song Hui, Wang Qi, Meesri Chatphol, Wall Terry, Yu Jianglong. 2009. *Experimental Study on Drying and Moisture Re-Adsorption Kinetic of an Indonesian Low Rank Coal*. Science Direct. China.
- <http://www.bppt.go.id> (27 Maret 2015; 10:15)
- <http://www.esdm.go.id> (03 April 2015; 11:09)
- <http://www.greenmining.or.id/new/index.php/berita/13-pertambangan/179-peta-jalan-produksi-batu-bara-nasional-periode-2015-2030> (20 April 2015; 14:50)
- <http://www.ilmukimia.org/2014/07/energi-aktivasi.html?m=1> (27 April 2015; 21:15)
- <http://maslatip.blogspot.com/2012/05/batubara-dan-manfaatnya.html>. (21 April 2015; 10:08)
- <http://smart-pustaka.blogspot.com/2011/02/batubara.html>. (21 April 2015; 14:00)
- <http://www.sridianti.com/pengertian-energi-aktivasi.html>. (27 April 2015 ; 21:07)

LAMPIRAN

4.3.1 Data Oven Drying

Tabel 4.2 Data Pengeringan Batubara Sumatera Selatan (120 °C)

Pengeringan ke	Waktu (menit)	m. Sampel + Petridish (g)	m. pengeringan (g)	% air (g)
1	60	149,5915	124,0100	25,5815
2	90	149,5915	106,3300	43,2615
3	120	149,5915	93,8765	55,7150
4	150	149,5915	89,9610	59,6305
5	180	149,5915	88,9495	60,6420
6	210	149,5915	88,5950	60,9965
7	240	149,5915	88,4723	61,1192
8	270	149,5915	88,3891	61,2024
9	300	149,5915	88,3589	61,2326

Data Penimbangan Sampel Sumatera Selatan

$$\text{Massa sampel + petridish} = 149,5915 \text{ g}$$

$$\text{Massa petridish} = 49,5893 \text{ g}$$

$$\text{Massa sampel} = 100,0022 \text{ g}$$

Perhitungan kadar air

$$\text{Moisture loss} = (\text{massa sampel + petridish}) - \text{massa pengeringan 6}$$

$$= 149,5915 \text{ g} - 88,3589 \text{ g}$$

$$= 61,2326 \text{ g}$$

$$\% \text{ Air} = \frac{\text{moisture loss}}{\text{massa sampel}} \times 100\%$$

$$= \frac{61,2326 \text{ g}}{100,0022 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 61,2193 \% = 61,22 \%$$

Tabel 4.3 Data Pengeringan Batubara Kalimantan Timur (120 °C)

Pengeringan ke-	waktu (menit)	m. sampel + Petridish (g)	m. Pengeringan (g)	% air
1	60	128,8078	98,5800	30,2278
2	90	128,8078	88,2030	40,6048
3	120	128,8078	82,4500	46,3578
4	150	128,8078	80,1017	48,7061
5	180	128,8078	79,6878	49,1200
6	210	128,8078	78,6300	50,1778
7	240	128,8078	78,6000	50,2078
8	270	128,8078	78,5200	50,2878
9	300	128,8078	78,5100	50,2978

Data Penimbangan Sampel Kalimantan Timur

Massa sampel + petridish = 128.8078 g

Massa petridish = 28.7877 g _

Massa sampel = 100,0201 g

Perhitungan kadar air

Moisture loss = (massa sampel + petridish) – massa pengeringan 9

$$= 128.8078 \text{ g} - 78.5100\text{g}$$

$$= 50,2978 \text{ g}$$

$$\% \text{ Air} = \frac{\text{moisture loss}}{\text{massa sampel}} \times 100\%$$

$$= \frac{50,2978 \text{ g}}{100,0201 \text{ g}} \times 100\% = 50,29 \%$$

4.2.2 Data FBR Isotermal

4.2.2.1 Data Pengamatan FBR Isotermal Batubara Sumatera Selatan

Tabel 4.5 Data *Setting Temperature* dan *Fixed Bed Reactor Air Temperature* Batubara Sumatera Selatan

Time (menit)	Temperatur <i>Drying Tube Furnace</i> (°C)							
	<i>Top</i> Temperatur		<i>Middle</i> Temperatur		<i>Bottom</i> Temperatur		Rata-rata Temperatur <i>Real</i>	Rata-rata Temperatur <i>Setting</i>
	Ts	Tr	Ts	Tr	Ts	Tr		
4	120	175	119	154	119	126	151.67	119.33
6	120	163	119	145	119	121	143.00	119.33
8	120	150	119	133	119	115	132.67	119.33
10	120	141	119	127	119	114	127.33	119.33
12	120	135	119	125	119	125	128.33	119.33
14	120	128	119	120	119	120	122.67	119.33
16	120	122	119	115	119	114	117.00	119.33
18	120	120	119	115	119	121	118.67	119.33
20	120	125	119	116	119	123	121.33	119.33
22	120	117	119	117	119	117	117.00	119.33
24	120	117	119	121	119	115	117.67	119.33
26	120	118	119	124	119	122	121.33	119.33
28	120	118	119	123	119	121	120.67	119.33
30	120	116	119	119	119	116	117.00	119.33
32	120	116	119	117	119	119	117.33	119.33
34	120	120	119	117	119	121	119.33	119.33
36	120	123	119	117	119	120	120.00	119.33
38	120	125	119	117	119	117	119.67	119.33
40	120	125	119	120	119	119	121.33	119.33
42	120	124	119	122	119	121	122.33	119.33
44	120	123	119	121	119	119	121.00	119.33
46	120	120	119	119	119	117	118.67	119.33
48	120	118	119	118	119	119	118.33	119.33
50	120	117	119	117	119	121	118.33	119.33
52	120	116	119	117	119	119	117.33	119.33
54	120	116	119	118	119	118	117.33	119.33
56	120	117	119	121	119	120	119.33	119.33
58	120	118	119	122	119	120	120.00	119.33
60	120	119	119	121	119	119	119.67	119.33
62	120	120	119	120	119	119	119.67	119.33
64	120	121	119	118	119	119	119.33	119.33
66	120	121	119	118	119	119	119.33	119.33
68	120	121	119	117	119	119	119.00	119.33

70	120	120	119	117	119	119	118.67	119.33
72	120	120	119	120	119	119	119.67	119.33
74	120	120	119	119	119	119	119.33	119.33
76	120	120	119	120	119	119	119.67	119.33
78	120	120	119	120	119	119	119.67	119.33
80	120	119	119	120	119	119	119.33	119.33
82	120	119	119	119	119	119	119.00	119.33
84	120	120	119	118	119	119	119.00	119.33
86	120	121	119	118	119	119	119.33	119.33
88	120	122	119	119	119	119	120.00	119.33
90	120	122	119	119	119	119	120.00	119.33

Tabel 4.6 Data Gradien () Massa *FBR* Batubara Sumatera Sealatan

<i>Time</i> (menit)	Rata-rata Temperatur <i>Real</i>	Rata-rata Temperatur <i>Setting</i>	<i>T (coal)</i>	<i>mcoal</i> <i>after</i> <i>drying</i> (g)	<i>A</i>
4	151.67	119.33	90.5	440.18	-3.41154
6	143.00	119.33	89.1	265.01	-0.92227
8	132.67	119.33	86.2	203.13	-0.04292
10	127.33	119.33	85.1	206.14	-0.08569
12	128.33	119.33	85.0	197.49	0.037232
14	122.67	119.33	83.4	185.77	0.20378
16	117.00	119.33	81.7	185.42	0.208754
18	118.67	119.33	82.1	190.26	0.139974
20	121.33	119.33	82.4	186.26	0.196817
22	117.00	119.33	82.1	182.40	0.25167
24	117.67	119.33	83.0	185.49	0.207759
26	121.33	119.33	84.6	195.60	0.06409
28	120.67	119.33	84.9	182.69	0.247549
30	117.00	119.33	84.0	176.20	0.339775
32	117.33	119.33	84.2	179.49	0.293023
34	119.33	119.33	85.2	181.02	0.27128
36	120.00	119.33	85.5	176.62	0.333807
38	119.67	119.33	85.6	169.01	0.44195
40	121.33	119.33	86.8	171.26	0.409976
42	122.33	119.33	87.8	168.19	0.453602
44	121.00	119.33	87.8	162.42	0.535598
46	118.67	119.33	87.5	161.31	0.551371
48	118.33	119.33	87.8	160.98	0.556061
50	118.33	119.33	88.0	157.69	0.602814
52	117.33	119.33	87.8	157.09	0.61134
54	117.33	119.33	88.1	155.45	0.634645

56	119.33	119.33	89.3	154.90	0.642461
58	120.00	119.33	90.0	153.15	0.66733
60	119.67	119.33	90.3	152.39	0.67813
62	119.67	119.33	90.7	151.18	0.695325
64	119.33	119.33	91.0	149.99	0.712235
66	119.33	119.33	91.4	149.74	0.715788
68	119.00	119.33	91.8	147.64	0.74563
70	118.67	119.33	92.5	146.68	0.759272
72	119.67	119.33	93.2	146.58	0.760693
74	119.33	119.33	93.9	143.55	0.803752
76	119.67	119.33	94.4	140.36	0.849083
78	119.67	119.33	94.8	137.36	0.891715
80	119.33	119.33	95.0	135.58	0.91701
82	119.00	119.33	95.6	136.34	0.90621
84	119.00	119.33	95.9	133.84	0.941737
86	119.33	119.33	96.9	132.45	0.961489
88	120.00	119.33	97.6	130.28	0.992326
90	120.00	119.33	98.8	129.74	1

4.2.2.2 Data Pengamatan FBR Isotermal Batubara Kalimantan Timur

Tabel 4.7. Data *Setting Temperature* dan *Fixed Bed Reactor Air Temperature* Batubara Kalimantan Timur

<i>Time</i> (menit)	Temperatur <i>Drying Tube Furnace</i> (°C)							
	<i>Top</i> Temperatur		<i>Middle</i> Temperatur		<i>Bottom</i> Temperatur		Rata-rata Temperatur <i>Setting</i>	Rata-rata Temperatur <i>Real</i>
	Ts	Tr	Ts	Tr	Ts	Tr		
4	120	173	118	150	117	118	118.33	147.00
6	120	163	118	1145	117	125	118.33	477.67
8	120	150	118	133	117	114	118.33	132.33
10	120	137	118	123	117	110	118.33	123.33
12	120	130	118	121	117	120	118.33	123.67
14	120	125	118	118	117	123	118.33	122.00
16	120	119	118	113	117	114	118.33	115.33
18	120	114	118	110	117	113	118.33	112.33
20	120	116	118	116	117	5	118.33	79.00
22	120	117	118	122	117	120	118.33	119.67
24	120	116	118	121	117	113	118.33	116.67
26	120	116	118	119	117	115	118.33	116.67
28	120	120	118	119	117	121	118.33	148.81
30	120	122	118	116	117	117	118.33	148.81
32	120	122	118	114	117	113	118.33	148.81
34	120	122	118	117	117	118	118.33	148.93

36	120	122	118	121	117	120	118.33	125.45
38	120	121	118	120	117	115	118.33	124.96
40	120	118	118	118	117	114	118.33	125.08
42	120	117	118	118	117	119	118.33	125.18
44	120	117	118	117	117	119	118.33	125.41
46	120	117	118	116	117	115	118.33	126.13
48	120	121	118	118	117	116	118.33	127.11
50	120	125	118	120	117	119	118.33	130.55
52	120	124	118	120	117	117	118.33	131.33
54	120	122	118	118	117	115	118.33	132.37
56	120	119	118	117	117	117	118.33	133.49
58	120	118	118	117	117	119	118.33	132.40
60	120	117	118	117	117	117	118.33	131.23
62	120	117	118	118	117	116	118.33	129.97
64	120	118	118	120	117	118	118.33	128.62
66	120	119	118	121	117	119	118.33	128.84
68	120	120	118	120	117	118	118.33	129.12
70	120	120	118	118	117	117	118.33	129.41
72	120	120	118	117	117	119	118.33	129.71
74	120	120	118	116	117	119	118.33	130.02
76	120	120	118	116	117	117	118.33	130.30
78	120	120	118	117	117	117	118.33	130.53
80	120	122	118	120	117	119	118.33	130.52
82	120	121	118	120	117	118	118.33	130.47
84	120	120	118	120	117	117	118.33	130.33
86	120	119	118	119	117	118	118.33	130.11
88	120	118	118	118	117	119	118.33	129.94
90	120	119	118	118	117	119	118.33	129.85

Tabel 4.8 Data Gradien () Massa FBR Batubara Kalimantan Timur

<i>Time</i> (menit)	Rata-rata Temperatur Setting	Rata-rata Temperatur Real	<i>Tcoal</i>	<i>mcoal</i> <i>after</i> <i>drying(g)</i>	A
4	118.33	147.00	97.0	367.95	-3.6216
6	118.33	477.67	96.8	333.00	-2.86674
8	118.33	132.33	94.0	261.27	-1.31749
10	118.33	123.33	90.5	247.12	-1.01188
12	118.33	123.67	89.9	241.41	-0.88855
14	118.33	122.00	89.0	236.49	-0.78229
16	118.33	115.33	86.6	232.65	-0.69935
18	118.33	112.33	85.0	228.35	-0.60648
20	118.33	79.00	87.0	226.97	-0.57667

22	118.33	119.67	88.8	222.08	-0.47106
24	118.33	116.67	88.5	217.48	-0.37171
26	118.33	116.67	88.9	214.65	-0.31058
28	118.29	145.10	90.5	210.62	-0.22354
30	118.33	147.60	90.2	207.77	-0.16199
32	118.33	148.45	89.3	205.85	-0.12052
34	118.33	148.56	90.6	203.63	-0.07257
36	118.33	125.05	92.2	202.06	-0.03866
38	118.33	124.53	91.6	198.88	0.030022
40	118.33	124.62	91.1	196.60	0.079266
42	118.33	124.68	91.8	195.09	0.111879
44	118.33	124.88	91.9	191.49	0.189633
46	118.33	125.56	91.8	189.56	0.231317
48	118.33	126.50	93.0	188.33	0.257883
50	118.33	129.89	95.2	187.17	0.282937
52	118.33	130.63	95.3	185.98	0.308639
54	118.33	131.62	95.0	183.43	0.363715
56	118.32	132.69	95.3	180.19	0.433693
58	118.33	131.80	95.9	178.55	0.469114
60	118.33	130.68	95.8	176.62	0.510799
62	118.33	129.41	96.3	174.96	0.546652
64	118.33	128.04	97.7	177.11	0.500216
66	118.33	128.25	98.8	174.78	0.55054
68	118.33	128.52	98.8	166.90	0.720734
70	118.33	128.80	98.9	167.90	0.699136
72	118.33	129.09	99.6	165.95	0.741253
74	118.33	129.39	100.0	167.45	0.708855
76	118.33	129.66	100.1	167.06	0.717279
78	118.33	129.89	101.1	166.32	0.733261
80	118.33	129.89	102.5	166.58	0.727646
82	118.33	129.84	103.2	163.59	0.792225
84	118.33	129.71	103.4	161.38	0.839957
86	118.33	129.50	103.6	158.18	0.909071
88	118.33	129.33	103.8	155.15	0.974514
90	118.33	129.24	103.9	153.97	1

4.2.3 Data FBR Non-Isotermal

4.2.3.1 Laju Temperatur Fixed Bed Reactor 10°C per 2 menit (5°C/menit)

Tabel 4.9. Data *Setting Temperature* dan *Fixed Bed Reactor Air Temperature* Batubara Sumatera Selatan

Time (menit)	Fixed Bed Reactor Temperature (°C)						Rate Ts	Rate Tr
	Top		Middle		Bottom			
	Ts	Tr	Ts	Tr	Ts	Tr		
0	60	90	58	78	57	50	58.33	72.67
2	70	103	68	93	67	69	68.33	88.33
4	80	107	78	98	77	85	78.33	96.67
6	90	103	88	93	87	84	88.33	93.33
8	100	98	98	90	97	83	98.33	90.33
10	110	103	108	105	107	99	108.33	102.33
12	120	110	118	117	117	119	118.33	115.33
14	30	118	128	125	127	130	95.00	124.33
16	140	130	138	133	137	133	138.33	132.00
18	150	142	148	146	147	146	148.33	144.67

Tabel 4.10 Data Gradien () Massa Batubara Sumatera Selatan

Ts	Time (menit)	Rate Temperature (°C)		T _{coal} (°C)	m _T (g)	m _{coal} after drying (g)	A	1/T	ln K (/ T ²)
		Ts	Tr						
60	0	58.33	72.67	51.40	1334.90	198.15	0.0252	0.0030	-15.2992
70	2	68.33	88.33	63.20	1335.00	198.25	0.0461	0.0029	-14.7533
80	4	78.33	96.67	71.80	1332.90	196.15	0.1331	0.0028	-13.7496
90	6	88.33	93.33	72.50	1327.80	191.05	0.2669	0.0028	-13.1098
100	8	98.33	90.33	72.60	1326.57	189.82	0.4279	0.0027	-12.6919
110	10	108.33	102.33	78.80	1330.80	194.05	0.5866	0.0026	-12.4294
120	12	118.33	115.33	86.60	1330.55	193.80	0.7551	0.0025	-12.2284
30	14	95.00	124.33	92.40	1328.83	192.08	0.8934	0.0025	-12.1106
140	16	138.33	132.00	98.30	1328.60	191.85	0.9776	0.0024	-12.0695
150	18	148.33	144.67	103.00	1325.55	188.80	0.9838	0.0024	-12.1110

Tabel 4.11 Data *Setting Temperature* dan *Fixed Bed Reactor Air Temperature* Batubara

Kalimantan Timur

Time (menit)	Fixed Bed Reactor Temperature (°C)						Rate Ts	Rate Tr
	Top		Middle		Bottom			
	Ts	Tr	Ts	Tr	Ts	Tr		
0	60	66	58	65	57	58	58.33	63.00
2	70	77	68	79	67	63	68.33	73.00

4	80	80	78	82	77	67	78.33	76.33
6	90	82	88	83	87	75	88.33	80.00
8	100	86	98	89	97	88	98.33	87.67
10	110	95	108	101	107	97	108.33	97.67
12	120	105	118	112	117	106	118.33	107.67
14	130	116	128	122	127	116	128.33	118.00
16	140	126	138	131	137	126	138.33	127.67
18	150	137	148	142	147	136	148.33	138.33

Tabel 4.12 Data Gradien () Massa Batubara Kalimantan Timur

TS	Time (menit)	Rate Temperature(°C)		T _{coal} (°C)	m _T (g)	m _{coal} After drying (g)		1/T	ln K (a / T ²)
		T _s	T _r						
60	0	58.33	63.00	40.4	1336.80	200.34	0.0054	0.0030	-16.8432
70	2	68.33	73.00	47.7	1335.74	199.28	0.0428	0.0029	-14.8279
80	4	78.33	76.33	51.4	1336.15	199.69	0.0734	0.0028	-14.3450
90	6	88.33	80.00	54.6	1334.21	197.75	0.1260	0.0028	-13.8600
100	8	98.33	87.67	59.0	1332.8	196.34	0.2596	0.0027	-13.1917
110	10	108.33	97.67	63.9	1327.32	190.86	0.4443	0.0026	-12.7074
120	12	118.33	107.67	68.7	1322.45	185.99	0.6327	0.0025	-12.4054
130	14	128.33	118.00	74.2	1326.3	189.84	0.80122	0.0025	-12.2195
140	16	138.33	127.67	78.3	1338.58	202.12	0.92425	0.0024	-12.1257
150	18	148.33	138.33	84.0	1350.01	213.55	0.97743	0.0024	-12.1176

4.2.3.2 Laju Temperatur Fixed Bed Reactor 5°C per 5 menit (1°C/menit)

Tabel 4.13 Data Setting Temperature dan Fixed Bed Reactor Air Temperature Batubara Sumatera Selatan

Fixed Bed Reactor Temperature (°C)						Rate Ts	Rate Tr
Top		Middle		Bottom			
Ts	Tr	Ts	Tr	Ts	Tr		
60	75	72	84	71	71	67.67	76.67
65	69	78	73	77	64	73.33	68.67
70	73	75	82	74	77	73.00	77.33
75	73	78	81	77	78	76.67	77.33
80	77	81	80	80	77	80.33	78.00
85	92	90	87	89	86	88.00	88.33
90	91	94	88	93	89	92.33	89.33
95	92	99	94	97	94	97.00	93.33
100	102	103	99	102	98	101.67	99.67
105	106	108	103	107	102	106.67	103.67
110	110	113	109	112	108	111.67	109.00
115	116	117	113	116	112	116.00	113.67

Tabel 4.14 Data Gradien () Massa Batubara Sumatera Selatan

Time (menit)	Rate Temperature (°C)		T_{coal} (°C)	m_T (g)	m_{coal} after drying (g)		1/T	ln K (/ T ²)
	Ts	Tr						
10	60	76.67	66.70	1318.23	192.00	0.0102	0.0030	-16.2066
15	65	68.67	62.80	1314.78	188.55	0.0570	0.0030	-14.5108
20	70	77.33	66.50	1314.75	188.52	0.1085	0.0029	-13.8969
25	75	77.33	66.70	1312.67	186.44	0.1645	0.0029	-13.5092
30	80	78.00	66.60	1308.20	181.97	0.2252	0.0028	-13.2238
35	85	88.33	71.00	1306.51	180.28	0.2904	0.0028	-12.9974
40	90	89.33	73.50	1302.87	176.64	0.3606	0.0028	-12.8088
45	95	93.33	77.70	1300.38	174.15	0.4406	0.0027	-12.6358
50	100	99.67	83.00	1297.77	171.54	0.5201	0.0027	-12.4969
55	105	103.67	87.80	1294.44	168.21	0.6012	0.0026	-12.3786
60	110	109.00	92.90	1291.00	164.77	0.6814	0.0026	-12.2797
65	115	113.67	97.90	1288.23	162.00	0.7674	0.0026	-12.1868
70	120	118.76	102.2	1280.54	154.31	0.8394	0.0025	-12.1227
75	125	124.45	102.9	1277.62	151.39	0.8931	0.0025	-12.0860
80	130	128.38	106.4	1275.2	148.97	0.9363	0.0025	-12.0636
85	135	134.98	108.7	1273.48	147.25	0.9691	0.0025	-12.0539
90	140	138.26	110.3	1272.19	145.96	0.9915	0.0024	-12.0555
95	150	150.9	115.2	1271.8	145.57	1.0000	0.0024	-12.0947

Tabel 4.15 Data Setting Temperature dan Fixed Bed Reactor Air Temperature Batubara Kalimantan Timur

Fixed Bed Reactor Temperature (°C)						Rate Ts	Rate Tr
Top		Middle		Bottom			
Ts	Tr	Ts	Tr	Ts	Tr		
60	63	58	67	57	57	58.33	62.33
65	70	63	71	62	61	63.33	67.33
70	67	68	66	61	57	66.33	63.33
75	69	73	68	72	69	73.33	68.67
80	71	78	71	78	73	78.67	71.67
85	79	83	81	83	79	83.67	79.67
90	87	88	85	88	84	88.67	85.33
95	92	93	89	93	89	93.67	90.00
100	95	98	94	98	93	98.67	94.00
105	101	104	100	104	100	104.33	100.33
110	106	109	106	109	104	109.33	105.33
115	110	114	109	114	108	114.33	109.00
120	116	119	116	119	116	119.33	116.00
125	121	124	120	124	119	124.33	120.00

130	125	129	124	129	124	129.33	124.33
135	132	134	131	134	129	134.33	130.67
140	134	139	134	139	134	139.33	134.00

Tabel 4.16 Data Gradien () Massa Batubara Kalimantan Timur

Ts	Time (menit)	Rate (°C)		T _{coal} (°C)	m _T (g)	m _{coal} after Drying (g)		1/T	ln K (a / T ²)
		Ts	Tr						
60	0	58,33	62,33	41,1	1340,05	200,81	0,0390	0,0030	-14,8607
65	5	63,33	67,33	49	1335,61	196,37	0,0559	0,0030	-14,5301
70	10	66,33	63,33	49,2	1326,00	186,76	0,0820	0,0029	-14,1761
75	15	73,33	68,67	52,6	1333,83	194,59	0,1202	0,0029	-13,8233
80	20	78,67	71,67	55,4	1333,34	194,10	0,1716	0,0028	-13,4957
85	25	83,67	79,67	60,2	1335,17	195,93	0,2319	0,0028	-13,2226
90	30	88,67	85,33	63,9	1330,02	190,78	0,2995	0,0028	-12,9945
95	35	93,67	90,00	67,6	1321,67	182,43	0,3717	0,0027	-12,8058
100	40	98,67	94,00	70,3	1319,55	180,31	0,4448	0,0027	-12,6532
105	45	104,33	100,33	74,1	1315,37	176,13	0,5277	0,0026	-12,5090
110	50	109,33	105,33	77,7	1312,06	172,82	0,6095	0,0026	-12,3912
115	55	114,33	109,00	80,8	1309,95	170,71	0,6911	0,0026	-12,2914
120	60	119,33	116,00	84,3	1323,48	184,24	0,7650	0,0025	-12,2155
125	65	124,33	120,00	88,5	1311,73	172,49	0,8278	0,0025	-12,1618
130	70	129,33	124,33	92,2	1310,54	171,30	0,8750	0,0025	-12,1314
135	75	134,33	130,67	97,4	1302,05	162,81	0,9135	0,0025	-12,1130
140	80	139,33	134,00	101,1	1296,51	157,27	0,9456	0,0024	-12,1029
150	85	149,33	145	106,4	1291,87	152,63	1,0000	0,0024	-12,0947