

SKRIPSI

**ANALISIS KETERCUCIAN BATUBARA PT SEBUKU TANJUNG
COAL KALIMANTAN SELATAN DENGAN METODE
*WATER SPRAY***

Disusun dan diajukan oleh

NISA NUR IZZATI

D111181326



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS KETERCUCIAN BATUBARA PT SEBUKU TANJUNG COAL
KALIMANTAN SELATAN DENGAN METODE *WATER SPRAY***

Disusun dan diajukan oleh

NISA NUR IZZATI

D111181326

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 03 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Sufriadin, ST., MT.

NIP.1966081720001210001

Pembimbing Pendamping,



Dr. phil. nat. Sri Widodo, ST., MT.

NIP.197101012010121001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Purwanto, ST., MT.

NIP.1971112820050110002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nisa Nur Izzati
NIM : D111181326
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Ketercucian Batubara PT Sebuku Tanjung Coal
Kalimantan Selatan dengan Metode *Water Spray*

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Agustus 2022

Yang menyatakan



Nisa Nur Izzati

ABSTRAK

Batubara yang dihasilkan dari proses penambangan memiliki kualitas yang bervariasi mulai dari kualitas tinggi hingga kualitas rendah. Salah satu faktor yang memengaruhi kualitas batubara adalah adanya pengotor (*impurities*). Ada dua jenis pengotor yaitu *inherent impurities* dan *extraneous impurities*. *Inherent impurities* sulit dipisahkan melalui proses pencucian sedangkan *extraneous impurities* dapat dibersihkan dengan pengecilan ukuran butir dan pencucian batubara. Salah satu bentuk *extraneous impurities* adalah kontaminasi lumpur pada batubara hasil penambangan yang ikut termuat menuju *stockpile*. Kontaminasi lumpur juga menjadi salah satu masalah bagi PT Sebuku Tanjung Coal, di mana batubara dengan kontaminasi lumpur akan digolongkan sebagai produk batubara IC1 (*high ash*). Pemisahan lumpur dari batubara dapat dilakukan dengan metode *water spray*. Metode ini termasuk dalam konsentrasi gravitasi yang memanfaatkan perbedaan berat jenis. Konsentrasi gravitasi memiliki kelebihan, seperti lebih efisien, murah, dan lebih ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan kimia. Variabel yang digunakan yaitu volume air, waktu pendiaman, dan ukuran butir. Hasil penelitian pada volume dan waktu optimum yaitu 8 liter dan 60 menit menunjukkan kadar abu batubara awal 13,82% turun menjadi 11,44% atau persentase perubahan kadar abu adalah 2,38% adb, kadar air total awal adalah 9,06% naik menjadi 12,45% atau persentase perubahan kadar air total 3,39% ar dan nilai kalori awal 6.206 cal/gr turun menjadi 6.162 cal/gr atau terjadi degradasi nilai kalori sebesar 65 cal/gr dalam basis ar sehingga pencucian batubara PT Sebuku Tanjung Coal dengan metode *water spray* menjadi kurang efektif.

Kata Kunci: Batubara; Kualitas; Pengotor; Pencucian; *Water Spray*.

ABSTRACT

Coal produced from mining process have various qualities, ranging from high quality to low quality. One of the factors that effect the quality of coal is impurities. There are two types of impurities, namely inherent impurities and extraneous impurities. Inherent impurities are difficult to separate while extraneous impurities can be cleaned by reducing grain size and washing coal. One form of extraneous impurities is mud contamination in the coal from mining which is also loaded into the stockpile. Mud contamination is a problem for PT Sebukun Tanjung Coal, where coal with mud contamination will be classified as IC1 (high ash) coal product. Separation of impurities from coal can be done by the water spray method. This method is included in the concentration of gravity which takes advantage of differences in specific gravity. Gravity concentration has advantages such as being more efficient, inexpensive, ecologically acceptable and not using chemicals. Variables used, namely water volume, settling time and grain size. The results of the research on the optimum volume and time are 8 liters and 60 minutes showed the initial coal ash content of 13.82% decreased to 11.44% or the percentage change was 2.38% adb, the initial total moisture was 9.06% increased to 12.45% or presentation of changes 3.39% ar and the initial calorific value of 6,206 cal/gr decreased to 6,162 cal/gr or there was a degradation of 65 cal/gr on ar basis so the washing coal of PT Sebukun Tanjung Coal with water spray method became less effective.

Keywords: Coal; Quality; Impurities; Washing; Water Spray.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil alaamiin, puji syukur tiada hentinya kita haturkan kehadiran Allah SWT sang Maha pemberi petunjuk, anugerah dan nikmat kepada ummat-Nya. Tidak lupa pula shalawat serta salam kita kirimkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW, keluarga, dan para sahabat yang telah membawa umat muslim dari zaman yang gelap menuju zaman yang terang benderang.

Penyusunan skripsi dengan judul "Analisis Ketercucian Batubara PT Sebuku Tanjung Coal Kalimantan Selatan dengan Metode *Water Spray*" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, kini dapat terselesaikan dengan baik setelah melalui berbagai problematika yang tentunya tidak sedikit.

Ucapan terima kasih dengan penuh kerendahan hati penulis sampaikan kepada Bapak Zulfikar Darwin selaku KTT PT Sebuku Tanjung Coal yang telah merekomendasikan penulis, Bapak Syamsul Anwar, Bapak Setyarno Adi dan Bapak Gerianto Alkana selaku pembimbing penelitian penulis dan seluruh karyawan PT Sebuku Tanjung Coal yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Eng. Purwanto, ST., MT. selaku kepala Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Bapak/Ibu Dosen dan Staff Administrasi yang telah mendukung jalannya penyusunan skripsi ini, Bapak Dr. Sufriadin, ST., MT. dan Bapak Dr. phil. nat. Sri Widodo, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini, Bapak Asran Ilyas, ST., MT., PhD. dan Ibu Nirmana Fiqra Qaidahiyani ST., MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk perbaikan laporan tugas akhir ini.

Penulis mengucapkan terima kasih pula kepada kedua orang tua penulis, Bapak Syahrudin dan Ibu Juhanna yang senantiasa mendoakan serta memberikan dukungan kepada penulis, keluarga yang tak henti-hentinya memberikan dorongan dan semangat, serta teman-teman seperjuangan Teknik Pertambangan Angkatan 2018 yang setiap harinya memberikan warna dan semangat dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Kakak-kakak serta adik-adik sesama mahasiswa Teknik Pertambangan, serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis tuliskan satu per satu, penulis mengucapkan terimakasih untuk semua bantuan dan semangat yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati, penulis menerima saran dan kritik yang sifatnya konstruktif dari berbagai pihak demi kesempurnaan laporan ini.

Akhirnya hanya kepada Allah SWT penulis memohon ridha dan magfirah, semoga segala dukungan serta bantuan semua pihak mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT, semoga laporan ini dapat bermanfaat kepada para pembaca, Aamiin.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Makassar, Agustus 2022

Nisa Nur Izzati

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	6
BAB II PENCUCIAN BATUBARA DENGAN METODE <i>WATER SPRAY</i>	8
2.1 Batubara.....	8
2.2 <i>Mineral Matter</i>	13
2.3 <i>Moisture</i>	17
2.4 Nilai Kalori	18
2.5 Karakterisasi Kualitas Batubara	20
2.6 Pelaporan Analisis Proksimat	25
2.7 Pencucian Batubara	28
2.8 Konsentrasi Gravitasi	30

2.9 Uji Homogenitas.....	37
BAB III METODE PENELITIAN.....	39
3.1 Alat dan Bahan.....	39
3.2 Variabel Penelitian	40
3.3 Prosedur Penelitian	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Hasil Uji Homogenitas.....	55
4.2 Pengaruh Volume Air terhadap Kualitas Batubara	55
4.3 Pengaruh Volume Air terhadap Massa Batubara	61
4.4 Pengaruh Waktu Pendiaman terhadap Kualitas Batubara.....	63
4.5 Pengaruh Fraksi Ukuran Butir terhadap Kualitas Batubara	67
BAB V PENUTUP	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian.....	7
2.1 Sumberdaya dan cadangan batubara Indonesia (PSDMBP, 2019).....	8
2.2 Skema pembentukan batubara berdasarkan <i>rank batubara</i>	12
2.3 Peringkat pengaruh variabel terhadap nilai GCV berdasarkan rata-rata nilai SHAP	20
2.4 Komposisi batubara berdasarkan peringkat	24
2.5 Persentase dari analisis proksimat dalam basis yang berbeda	28
2.6 Skema zona dalam, tengah dan luar palung spiral yang digunakan untuk analisis.....	31
2.7 <i>Sluice box</i> aluminium.....	32
2.8 Efek semprotan air dari 4 jenis nosel, (A) Nosel kerucut penuh; (B) Nosel kerucut berongga; (C) Nosel kipas datar; (D) Nosel kipas busur	36
3.1 Proses pengambilan sampel di <i>stockpile</i> IC 1 dengan metode <i>stationary sampling</i>	43
3.2 Ketampakan sampel batubara yang menjadi objek penelitian.....	43
3.3 (a) Ayakan 50 mm pada umpan <i>hammer crusher</i> ; (b) Pengecilan ukuran batubara menjadi -4,75 mm dengan <i>hammer crusher</i> ; (c) Pengecilan ukuran menjadi -2,86 mm dengan <i>jaw crusher</i>	44
3.4 (a) Sampel pada umpan RSD; (b) Pembagian sampel dengan RSD 80 Kg; (c) Pembagian sampel dengan RSD 30 Kg.....	45
3.5 (a) Pengeringan menggunakan <i>big oven</i> pada suhu 40 °C untuk menghilangkan kadar air permukaan; (b) Tampilan luar <i>big oven</i>	45

3.6	(a) Penggerusan menggunakan <i>Raymond mill</i> ; (b) Ketampakan alat <i>Raymond mill</i>	46
3.7	Mengeringkan sampel pada suhu 40 °C untuk menghitung <i>free moisture</i>	47
3.8	Proses analisis <i>residual moisture</i> dengan <i>mammert oven</i>	48
3.9	Proses analisis air tertambat menggunakan oven MFS.....	49
3.10	Proses analisis kadar abu menggunakan <i>furnace carbolite</i>	50
3.11	Proses analisis nilai kalori menggunakan <i>Calorimeter</i> LECO AC500	51
3.12	Menyiapkan alat dan bahan (a), menyiapkan sampel (b), mengukur ketinggian tumpukan 10 cm (c), penyemprotan batubara (d), sampel setelah penyemprotan (e), menimbang sampel setelah disiram (f), mendiamkan sampel di bawah terik matahari (g), menimbang sampel setelah didiamkan (h), pendiaman untuk variasi fraksi ukuran (i)	52
3.13	Analisis <i>F-Test Two-Sample for Variances</i> menggunakan <i>Microsoft Excel</i>	54
3.14	Diagram alir penelitian.....	54
4.1	Grafik perubahan kadar abu batubara setelah pencucian	59
4.2	Grafik perubahan kadar air total batubara setelah pencucian	59
4.3	Grafik perubahan nilai kalori setelah pencucian.....	60
4.4	Grafik perubahan massa batubara setelah penyemprotan dan pendiaman....	62
4.5	Grafik perubahan massa setelah pendiaman selama 60 menit.....	63
4.6	Grafik perubahan kadar abu batubara setelah pendiaman	65
4.7	Grafik perubahan kadar air total batubara setelah pendiaman.....	65
4.8	Grafik nilai kualitas batubara pada lima variasi waktu	66
4.9	Grafik perubahan kadar abu berdasarkan fraksi	69
4.10	Grafik perubahan kadar air total berdasarkan fraksi	69
4.11	Nilai Kalori setelah pencucian pada variasi ukuran.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Identifikasi mineral pada batubara (Rao & Gouricharan, 2016).....	15
2.2 Klasifikasi batubara menurut ASTM (Speight, 2005)	22
4.1 Hasil analisis Uji F (Air total dan kadar abu)	55
4.2 Hasil analisis Uji F (Kadar abu dan air tertambat).....	56
4.3 Hasil analisis Uji F (Air total dan air tertambat)	56
4.4 Hasil analisis kualitas batubara sebelum dan setelah pencucian (waktu pendiaman 60 menit)	57
4.5 Perubahan kualitas batubara setelah pencucian (waktu pendiaman 60 menit).....	58
4.6 Perubahan massa batubara setelah pencucian (waktu pendiaman 60 menit)	61
4.7 Hasil analisis kualitas batubara sebelum dan setelah pencucian (volume air 8 liter)	64
4.8 Perubahan kualitas batubara pada lima variasi waktu.....	64
4.9 Analisis proksimat dan nilai kalori sampel awal	68
4.10 Perubahan kualitas batubara setelah pencucian pada variasi ukuran.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Peta situasi Wilayah IUP-OP Sebuku Tanjung Coal dan Sebuku Batubai Coal	77
B. Peta Wilayah IUP-OP Sebuku Tanjung	79
C. Peta Geologi Regional Lembar Kotabaru	81
D. Hasil analisis kualitas batubara pada variabel volume air	83
E. Perubahan massa batubara	85
F. Hasil analisis kualitas batubara pada variabel waktu pendiaman	87
G. Hasil analisis kualitas batubara pada variabel fraksi ukuran	89
H. <i>Report of Analysis</i>	91
I. Dokumentasi	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara adalah endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan. Batubara merupakan salah satu sumber alternatif di Indonesia yang cukup besar cadangannya. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Geologi Kementerian ESDM tahun 2019, potensi dan cadangan batubara Indonesia sebesar 186 miliar ton di mana 52 persen berada di Pulau Kalimantan, 47 persen berada di Pulau Sumatera dan 1 persen berada di Pulau lainnya. Batubara yang diperoleh dari proses penambangan memiliki kualitas yang bervariasi mulai dari kualitas baik sampai kualitas rendah. Selain dilihat dari besarnya cadangan batubara, dalam menentukan apakah batubara menguntungkan untuk ditambang juga harus diketahui kualitasnya terlebih dahulu. Semakin besar nilai kalori batubara, maka kualitas batubara akan semakin baik (Diessel, 1992).

Batubara yang diperoleh dari hasil penambangan mengandung bahan-bahan *impurities* (pengotor). Ada dua jenis pengotor yaitu *inherent impurities* merupakan pengotor bawaan yang terjadi bersama-sama pada proses pembentukan batubara dan *eksternal impurities* merupakan pengotor yang berasal dari luar, timbul pada saat proses penambangan seperti kontaminasi lapisan penutup yang ikut termuat bersama batubara. *Inherent impurities* sulit dihilangkan dengan pemisahan mekanis, tetapi dapat dikurangi dengan melakukan pembersihan sedangkan *eksternal impurities* dapat dibersihkan dengan pengecilan ukuran butir dan pencucian batubara (Tirasonjaya, 2006). Pencucian batubara merupakan proses pemisahan batubara dengan mineral pengotornya (Sudarsono, 2005).

PT Sebuku Tanjung Coal merupakan perusahaan tambang batubara Indonesia yang bertindak sebagai produsen dalam menyediakan pasokan batubara baik di dalam maupun di luar negeri dan berlokasi di Kecamatan Pulau Laut Tengah, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Perusahaan ini menggunakan metode tambang terbuka sehingga kontaminasi pengotor yang berasal dari proses penambangan sulit dihindari. Produk batubara yang ada di *stockpile* PT Sebuku Tanjung Coal dibedakan menjadi 2 berdasarkan kandungan abu yaitu IC 2 (*low ash*) yang hanya membutuhkan pengecilan ukuran butir untuk dapat dipasarkan dan IC 1 (*high ash*) yang mengandung *parting* dan kontaminasi pengotor lainnya, sehingga untuk meningkatkan kualitas sesuai permintaan konsumen perlu dilakukan proses pengolahan seperti pencucian batubara.

Salah satu faktor penyebab tingginya kandungan abu batubara PT Sebuku Tanjung Coal adalah adanya kontaminasi lumpur pada batubara yang tergenang ketika musim hujan dan ikut termuat menuju *stockpile*. Pemisahan lumpur dari batubara dapat dilakukan dengan metode *water spray* di mana batubara disemprot dengan air pada suatu bidang miring dan tekanan tertentu agar air dan lumpur dapat terpisahkan dengan batubara. Metode *water spray* ini memanfaatkan gaya dorong air dan gaya gravitasi. Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mengetahui bagaimana efektivitas pencucian batubara dengan metode *water spray* untuk meningkatkan kualitas batubara PT Sebuku Tanjung Coal.

1.2 Rumusan Masalah

Salah satu penyebab tingginya kadar abu batubara PT Sebuku Tanjung Coal adalah adanya kontaminasi lumpur pada batubara yang tergenang ketika musim hujan. Sebagai upaya mempersiapkan *processing plant* ketika produksi besar dengan kondisi musim hujan, PT Sebuku Tanjung Coal perlu melakukan suatu usaha untuk mengontrol

kualitas batubara seperti dengan pencucian untuk menghilangkan kontaminasi pengotor batubara. Berdasarkan hal tersebut, rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kualitas batubara PT Sebuku Tanjung Coal sebelum dilakukan pencucian batubara.
2. Bagaimana perubahan kualitas batubara PT Sebuku Tanjung Coal setelah dilakukan pencucian dengan metode *water spray*.
3. Bagaimana efektivitas pencucian batubara PT Sebuku Tanjung Coal dengan metode *water spray*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis kualitas batubara PT Sebuku Tanjung Coal sebelum pencucian
2. Menganalisis perubahan kualitas batubara PT Sebuku Tanjung Coal setelah dilakukan pencucian dengan metode *water spray*.
3. Menganalisis efektivitas pencucian batubara PT Sebuku Tanjung Coal dengan metode *water spray*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi perusahaan PT Sebuku Tanjung Coal apabila ingin melakukan pencucian batubara sehingga dapat menghindari terjadinya proyek gagal ketika pencucian yang dilakukan ternyata tidak efektif. Selain itu, data hasil penelitian ini dapat pula menjadi referensi terkait karakteristik batubara PT Sebuku Tanjung Coal apabila dilakukan pencucian dengan metode *water spray*.

1.5 Tahapan Penelitian

Lokasi penelitian berada di Departemen *Mining Engineering and Production* PT Sebuku Tanjung Coal, Divisi *Quality Control and Laboratory* pada bulan Oktober-Desember 2021. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan metode eksperimen. Eksperimen pencucian dan analisis kualitas batubara dilakukan di Laboratorium Sebuku Coal Group Kalimantan Selatan, sedangkan penyusunan laporan dilakukan di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Adapun tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan

Persiapan merupakan tahapan yang dilakukan setelah menentukan topik penelitian yang akan dilakukan. Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang akan diteliti, menentukan variabel-variabel yang akan diteliti dan kerangka penelitian.

2. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan mencari dan mengumpulkan referensi atau kajian pustaka terkait topik penelitian. Tahapan ini dilakukan untuk mencocokkan teori-teori yang ada dengan kerangka penelitian yang telah ditentukan agar seorang peneliti dapat lebih memahami penelitian yang akan dilakukan. Referensi yang digunakan berasal dari jurnal, buku, artikel ilmiah, dan lain-lain.

3. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan dengan meninjau langsung lokasi *stockpile* dan menentukan lokasi yang akan dijadikan tempat pengambilan sampel berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan yaitu kontaminasi lumpur pada

batubara masih nampak dan telah dilakukan proses penanganan agar tidak terjadi kontaminasi pengotor setelah pencucian. Lokasi pengambilan sampel yang dipilih adalah *stockpile* IC1 karena sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

4. Penelitian di Laboratorium

Penelitian di Laboratorium meliputi mempersiapkan alat dan bahan untuk melakukan pencucian, preparasi sampel batubara, pencucian batubara dengan metode *water spray*, dan analisis kualitas batubara. Tahapan preparasi sampel terdiri dari peremukan, pembagian, pengeringan, dan penggerusan. Sedangkan analisis sampel terdiri dari analisis kadar air total (*total moisture*), kadar air tertambat (*inherent moisture*), kadar abu (*ash content*), dan nilai kalori (*gross calorific value*).

5. Pengolahan dan Interpretasi Data

Data hasil penelitian berupa massa dan kualitas batubara. Data tersebut kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel* lalu membandingkan nilai sebelum dan setelah dilakukan pencucian. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan kurva hubungan antara variabel penelitian dan kualitas batubara.

6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahapan akhir dari penelitian adalah penyusunan laporan tugas akhir. Hasil penelitian dilaporkan secara sistematis mengikuti format yang telah ditentukan oleh Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang tertuang dalam buku putih skripsi.

7. Seminar dan Penyerahan Laporan

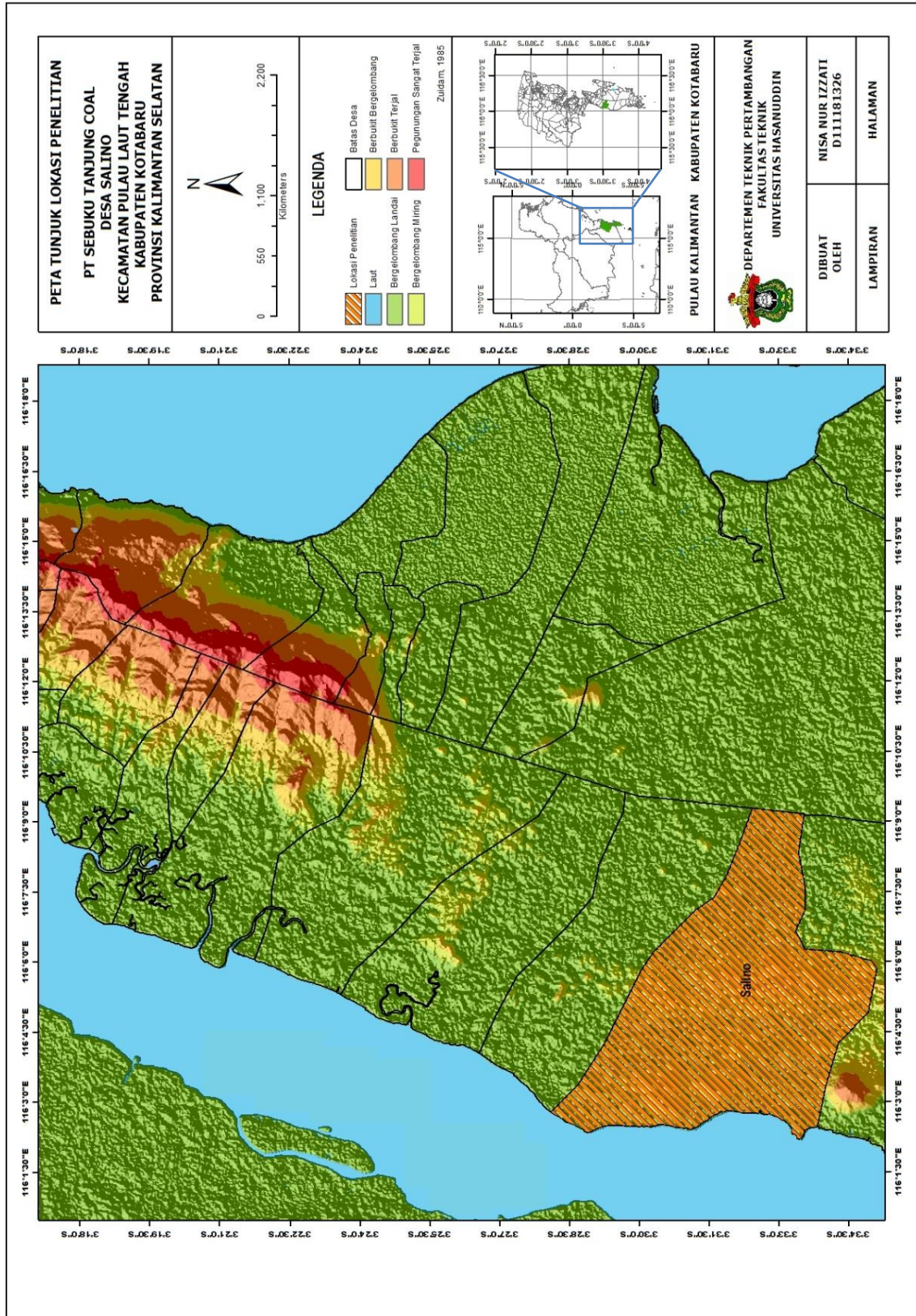
Laporan tugas akhir kemudian dipresentasikan dalam seminar hasil dan ujian siding. Kerangka dan hasil penelitian dipaparkan di hadapan dosen

pembimbing, dosen penguji dan mahasiswa. Saran dan masukan didapatkan dari audiensi untuk perbaikan laporan tugas akhir.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT Sebuku Tanjung Coal yang terletak di Kecamatan Pulau Laut Tengah dan Pulau Laut Utara, Kabupaten Kotabaru, Provinsi Kalimantan Selatan. Lokasi penelitian dapat ditempuh dengan pesawat dari Bandara Sultan Hasanuddin Makassar menuju Bandara Gusti Sjamsir Alam Kota Baru selama \pm 70 menit, kemudian dilanjutkan dengan transportasi darat menggunakan mobil selama \pm 30 menit menuju kantor PT Sebuku Tanjung Coal yang berada di Desa Selaru, Kecamatan Pulau Laut Tengah.

Berhubung kondisi pandemi yang mengakibatkan beberapa Bandara di Indonesia membatasi penerbangan seperti halnya penerbangan dari Bandara Sultan Hasanuddin Makassar menuju Bandara Gusti Sjamsir Alam Kotabaru, maka alternatif lain yang dapat digunakan adalah transportasi udara menggunakan pesawat dari Bandara Sultan Hasanuddin Makassar menuju Bandara Syamsudin Noor Banjarmasin selama \pm 2 jam, perjalanan dilanjutkan dengan transportasi darat dari Banjarmasin menggunakan mobil selama \pm 9 jam menuju kantor PT Sebuku Tanjung Coal, Kotabaru. Adapun jarak antara Universitas Hasanuddin dan PT Sebuku Tanjung Coal adalah \pm 439,3 km. Laboratorium tempat dilakukan analisis terletak di Desa Salino termasuk dalam wilayah IUP-OP PT Sebuku Batubai Coal yang merupakan perusahaan afiliasi dari PT Sebuku Tanjung Coal di bawah naungan PT Sebuku Coal Group seperti yang terlihat pada peta situasi wilayah IUP-OP PT Sebuku Tanjung Coal dan PT Sebuku Batubai Coal pada Lampiran A. Adapun peta tunjuk lokasi kerja praktik ditunjukkan pada Gambar 1.1.



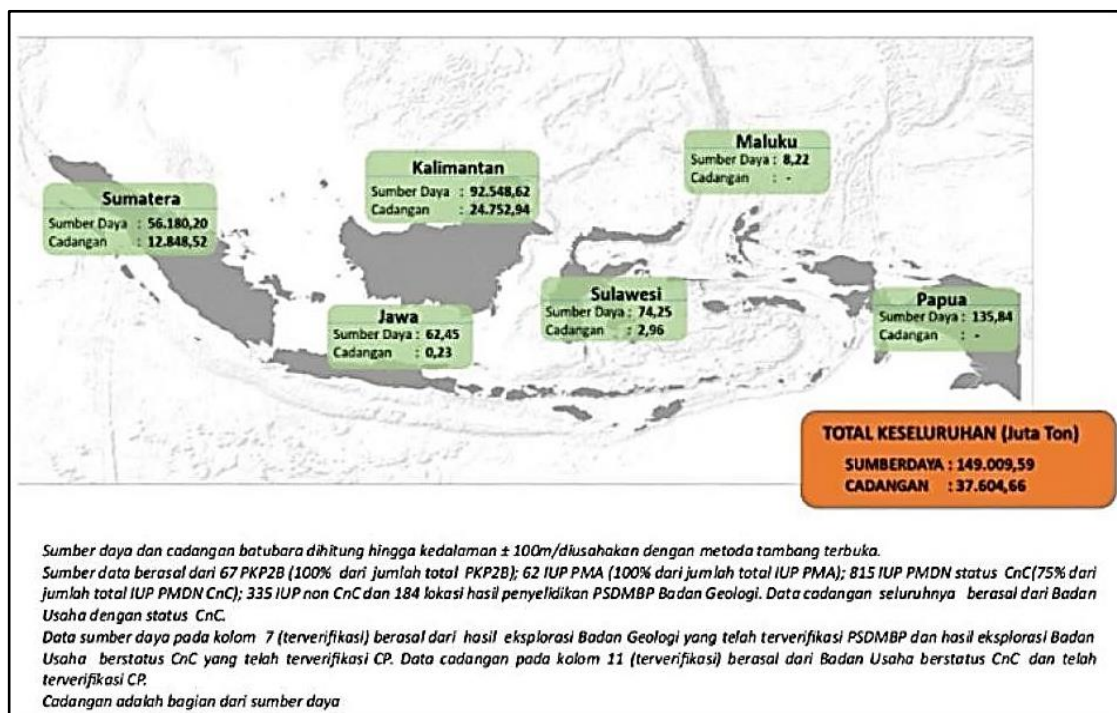
Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian

BAB II

PENCUCIAN BATUBARA DENGAN METODE *WATER SPRAY*

2.1 Batubara

Menurut UU No. 3 Tahun 2020 yang dimaksud dengan batubara adalah endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan. Adapun yang dimaksud dengan pertambangan batubara adalah pertambangan endapan karbon yang terdapat di dalam bumi, termasuk bitumen padat, gambut dan batuan aspal. Sebagai salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia, batubara berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Geologi Kementerian ESDM (2019), potensi dan cadangan batubara sebesar 186 miliar ton yang ada di Indonesia di mana 52 persen berada di Pulau Kalimantan, 47 persen berada di Pulau Sumatera dan 1 persen berada di Pulau lainnya. Penyebaran sumber daya dan cadangan batubara dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sumberdaya dan cadangan batubara Indonesia (PSDMBP, 2019)

2.1.1 Genesa Batubara

Batubara merupakan endapan yang terdiri dari material organik dan an-organik. Batubara mengandung lebih dari 50% bahan organik yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang telah terurai sehingga terjadi perubahan sifat fisik dan kimia. Adapun material an-organik pada batubara dibedakan menjadi tiga berdasarkan kelimpahannya yaitu mayor elemen, minor elemen dan *trace elemen*. Mayor mineral meliputi lempung dan kuarsa, sedangkan mineral minor meliputi karbonat, sulfida dan sulfat (Nursanto, *et al.*, 2011).

Widodo (2013) menjelaskan bahwa batubara merupakan hasil proses yang terjadi terhadap tumpukan tumbuhan (gambut), sehingga dalam hal ini variasi batubara yang dihasilkan akan sangat beragam. Faktor penentu kualitas, *rank* dan tipe dapat diketahui berdasarkan genesa batubara sehingga akan membantu dalam perencanaan, pemanfaatan maupun pengolahan dan pencucian batubara. Berdasarkan genesa, jenis tumbuhan pembentuknya, tempat terjadi, cara terjadi dan seberapa jauh proses pembatubaraan dapat digambarkan. Jenis tumbuhan dan bagian tumbuhan pembentuk batubara akan bertanggung jawab terhadap komposisi maseral yang sangat menentukan karakteristik batubara yang berkaitan dengan pembentukannya. Tempat pembentukan batubara baik di cekungan dengan lingkungan darat, air tawar ataupun laut akan membawa pengaruh terhadap tipe dan kualitas batubara. Batubara yang terbentuk dari tipe atau fasies bawa air akan mempunyai kandungan abu dan sulfur yang lebih tinggi dibandingkan yang terjadi dari gambut tipe *high moor*.

Keterdapatannya mineral sangat memengaruhi cara pengolahan atau pencuciannya. Keterdapatannya mineral dapat ditemukan beragam dengan genesa yang beragam pula. Selain itu, kondisi batuan samping dengan lingkungan pengendapan dan komposisi beragam dapat memengaruhi kualitas batubara. Hal ini umumnya memengaruhi batubara pada saat pembatubaraan berlangsung.

2.1.2 Formasi Batubara

Formasi batuan yang terdapat lapisan batubara di dalamnya disebut sebagai formasi pembawa batubara. Keberadaan dan penyebaran awal formasi pembawa batubara dapat diketahui melalui kegiatan penyelidikan dan pemetaan geologi. Formasi pembawa batubara umumnya terdapat pada cekungan sedimen. Berdasarkan peta geologi regional Indonesia yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi, jumlah Formasi Pembawa Batubara di seluruh Indonesia tercatat sebanyak ± 106 dan merupakan bagian dari Formasi batuan yang tersebar hampir di seluruh pulau-pulau besar di Indonesia. Penyebaran terluas dan jumlah formasi pembawa batubara terbanyak berada pada cekungan cekungan sedimen di Pulau Sumatera dan Pulau Kalimantan. Formasi pembawa batubara yang banyak dikenal diantaranya adalah Formasi Muaraenim di cekungan Sumatra Selatan, Formasi Tanjung dan Formasi Warukin di cekungan Barito atau Formasi Balikpapan, Formasi Kampung Baru dan Formasi Pulau Balang di cekungan Kutai. Karakteristik formasi pembawa batubara di setiap cekungan berbeda beda tergantung pada kondisi geologi pada saat pembentukan (Badan Geologi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016).

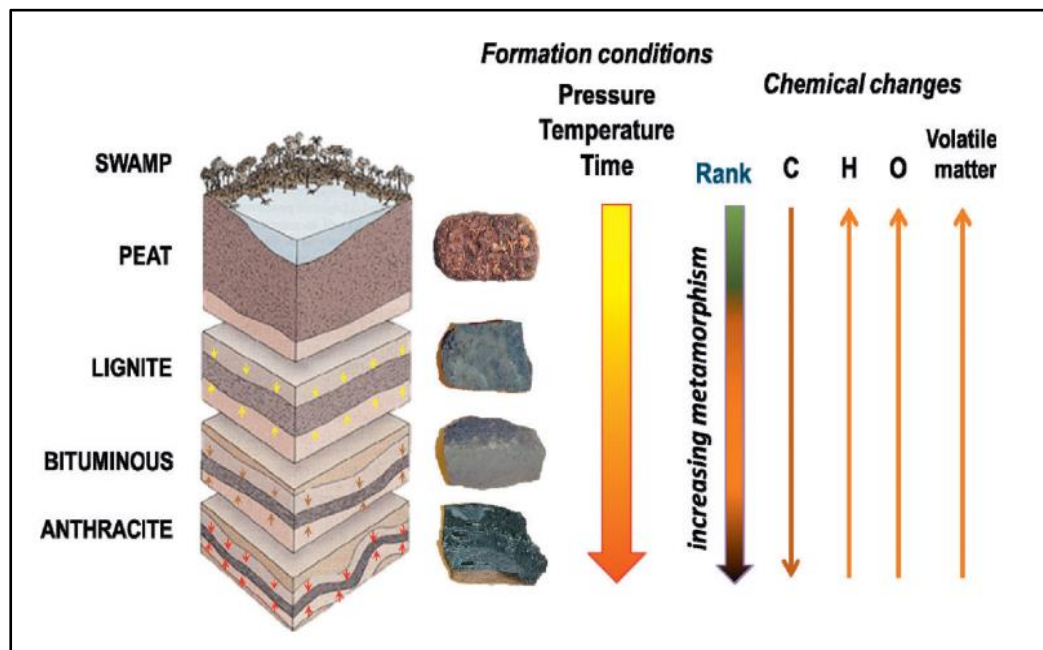
Keberadaan formasi pembawa batubara menjadi petunjuk awal kemungkinan adanya potensi batubara di suatu wilayah, tetapi belum menjamin bahwa batubara di wilayah tersebut layak untuk diusahakan. Dibutuhkan kegiatan eksplorasi yang dapat memberikan informasi detail penyebaran serta kualitas batubara di suatu daerah. Disamping itu, melalui kegiatan pemetaan geologi rinci dalam program eksplorasi, keberadaan dan batas penyebaran formasi pembawa batubara yang tidak tergambar dengan tepat dalam peta geologi regional dapat dikoreksi. Di Indonesia, penyebaran Formasi Pembawa Batubara juga dijadikan dasar untuk membuat batas-batas wilayah Perjanjian Karya Pengusahaan Pertambangan Batubara (PKP2B) dan wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP).

2.1.3 *Rank* Batubara

Batubara terdiri dari berbagai material kompleks yang berbeda pada setiap endapan. Adanya perbedaan yang dijumpai pada beberapa jenis batubara disebabkan oleh banyak faktor seperti vegetasi asal batubara, kedalaman tempat pembentukan batubara, suhu dan tekanan serta lamanya waktu pembentukan batubara. *Rank* batubara didasarkan pada kombinasi karbon tetap dan bahan yang mudah menguap (untuk batubara antrasit dan sebagian besar batubara bituminus) dan nilai kalor (untuk batubara bituminus, sub-bituminus dan lignit dengan peringkat yang lebih rendah. Skema pembentukan batubara berdasarkan *rank* batubara menurut Pajares dan Diez (2014) dapat dilihat pada Gambar 2.2. Secara umum *rank* batubara terbagi menjadi 4 yaitu (Osborne, 2013):

- a. Antrasit, merupakan batubara peringkat tertinggi berwarna hitam mengkilap, keras dan tidak gembur. Batubara jenis ini relatif langka dan memiliki bahan mudah menguap yang rendah sehingga sulit untuk dibakar di *rotary kiln*. Riyanto dkk (2009) dalam buku berjudul "Ensiklopedia Batubara" menyebutkan bahwa Antrasit kelas tinggi, yang dikelompokkan berdasarkan kandungan abu bebas memiliki kelembaban 3,2%, abu terbang 1,2%, karbon tetap 95,6%, dan nilai panas 14.400 Btu/lb. Di atas nisbah bahan bakar 60, karbon dalam batubara susah untuk terbakar dan dianggap mendekati grafit. Sesuai dengan penggunaannya, batubara *rank* ini di hubungkan dengan uap, gas, *coking*, tidak berasap, atau batubara *bunker*.
- b. Bituminus, terbentuk pada formasi batuan sedimen dan sering terletak dengan endapan batukapur maupun batuan sedimen lainnya. Batubara jenis ini berwarna hitam yang sedikit lapuk dan paling sering digunakan sebagai bahan bakar untuk *rotary kiln*. Berdasarkan kandungan volatil, batubara bituminus dibedakan menjadi tiga yaitu *low volatile* dengan kandungan volatil <22% pada

- basis kering dan bebas abu, *medium volatile* dengan kandungan volatil 22%-31% dan *high volatile* dengan kandungan volatil >31%. Riyanto dkk (2009) dalam buku berjudul "Ensiklopedia Batubara" menyebutkan bahwa batubara bituminus memiliki nilai panas bervariasi mulai dari 9.720-15.360 Btu/lb, karbon tetap 60-80% dan abu terbang 30-20%. Apabila batubara bituminus dipanaskan akan membentuk kokas. Batubara kokas menghasilkan bahan bakar yang esensial untuk peleburan bijih besi. Produk samping lainnya adalah senyawa organik pada industri yang menggunakan bahan pewarna dan lainnya.
- c. Sub-bituminus, memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berkisar antara lignit dan bituminus. Batubara jenis ini rapuh dan mudah lapuk dengan jumlah yang signifikan di dunia. Sub-bituminus digunakan sebagai bahan bakar *rotari kiln*.
 - d. Lignit, merupakan padatan hitam kecoklatan yang bersifat lunak (batubara coklat). Kandungan air lignit umumnya tinggi sehingga menghasilkan nilai kalor yang rendah. Beberapa endapan lignit memiliki kandungan abu yang tinggi sehingga jarang digunakan sebagai bahan bakar.



Gambar 2.2 Skema pembentukan batubara berdasarkan *rank batubara* (Pajares & Diez, 2014)

2.2 *Mineral Matter*

Rao dan Gouricharan (2016) dalam bukunya yang berjudul "*Coal Processing and Utilization*" menyebutkan bahwa batubara tidak hanya terdiri dari senyawa organik. Material anorganik juga terkandung dalam batubara sebagai pengotor (*impurities*) dalam bentuk *mineral matter*. *Mineral matter* merupakan pengotor yang ada pada batubara yang tidak mudah terbakar dan menghasilkan residu berupa abu setelah pembakaran. Kadar abu rata-rata dalam suatu lapisan batubara setidaknya 2 atau 3%, bahkan untuk batubara bituminus yang sangat murni. Adapun batubara hasil penambangan komersial mengandung kurang lebih 10% kadar abu. Penggunaan batubara dengan kadar abu yang terlalu tinggi disebut sebagai *bone coal*, *carbonaceous shale* atau *black slate*.

2.2.1 Jenis Formasi Mineral dalam Batubara

Mineral matter yang ada pada batubara secara umum dapat diklasifikasikan menjadi abu dan sulfur. *Mineral matter* pembentuk abu terbagi menjadi dua yaitu *inherent mineral matter* dan *extraneous* atau *adventitious mineral matter*. *Inherent mineral matter* merupakan unsur anorganik pada lapisan batubara yang berasal dari tanaman dengan kadar yang sangat kecil kurang dari 2% dari total abu dengan komposisi yang berbeda dan tidak dapat dipisahkan dengan metode benefisiasi biasa. Pengotor bawaan ini terjadi bersama-sama pada proses pembentukan batubara dapat berupa gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit (CaSO_4), pirit (FeS_2), dan silika (SiO_2). Pengotor ini tidak mungkin dihilangkan sama sekali, tetapi dapat dikurangi dengan melakukan pembersihan (Tirasonjaya, 2006). Disebutkan pula lainnya oleh Riyanto dkk (2009) dalam buku berjudul "Ensiklopedia Batubara" bahwa bahan mineral bawaan merupakan bahan mineral yang berasal dari tumbuhan pembentuk batubara dan merupakan bagian integral dari batubara dengan kadar 0,5-1,0% dari batubara dan

tidak dapat dipisahkan melalui proses pencucian. Sebuah proses baru yang dikembangkan di *Central Institute of Mining and Fuel Research* (CIMFR) Dhanbad, yang disebut sebagai teknik aglomerasi minyak seperti proses *leaching* untuk menghilangkan *inherent mineral matter* pada batubara dengan minyak bumi.

Extraneous mineral matter berasal dari zat-zat yang berasosiasi dengan bahan nabati yang membusuk selama perubahan menjadi batubara dan juga berasal dari kontaminasi material pada proses penambangan dan penanganan batubara yang masuk ke dalam endapan batubara. Jenis pembentuk *extraneous mineral matter* yang berbentuk halus dan berasosiasi erat dengan massa organik batubara sulit dihilangkan dengan metode mekanis, namun *extraneous mineral matter* yang berasal dari proses penambangan dan penanganan lebih cocok untuk pembersihan batubara dengan metode mekanis (Rao & Gouricharan, 2016) .

Apabila terjadi pembakaran batubara, terjadi perubahan kimia pada bahan mineral sehingga menghasilkan residu berupa abu. Beberapa perubahan kimia dapat berupa hilangnya air hidrat dari senyawa kompleks, hilangnya CO₂ dari karbonat, oksidasi pirit menjadi besi sulfida dan akhirnya besi oksida, penangkapan oksida belerang oleh oksida basa misalnya CaO dan MgO, serta penguapan dan dekomposisi alkali klorida (Riyanto, *et al.*, 2009).

Mineral yang ada dalam batubara sangat penting dalam aspek klasifikasi, pengujian kualitas batubara, penggunaan batubara, serta dalam masalah seperti korelasi lapisan dan pengembangan model deposit. *Mineral matter* dapat berpengaruh pada sifat batubara di temperatur rendah, temperatur sedang seperti pada *carbonization* dan temperatur tinggi pada proses pembakaran. Batubara yang memiliki *mineral matter* hingga 32% dari berat telah diidentifikasi, *mineral matter* umumnya mewakili proporsi komposisi batubara yang signifikan, jumlah *mineral matter* dalam batubara bervariasi dari satu lapisan ke lapisan lainnya.

Sebagian besar *mineral matter* batubara berasal dari lempung atau serpih yang terdiri dari alumino-silika dengan komposisi berbeda. Konstituen lain yang diidentifikasi adalah karbonat, sulfida, oksida, klorida dan sulfat. Mineral dan frekuensi kemunculannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Identifikasi mineral pada batubara (Rao & Gouricharan, 2016)

Grup	Mineral	Keterdapatan
Lempung	Illit	dominan - berlimpah
	Kaolinit	umum - sangat umum
	Montmorillonit	jarang - Umum
	Klorit	jarang
	Biotit	sangat jarang
Karbonat	Siderit	umum - sangat umum
	Ankerit	umum - sangat umum
	Kalsit	umum - sangat umum
	Dolomit	jarang - umum
Sulfida	Pirit	jarang - umum
	Markasit	jarang
	Spalerit	jarang
Oksida	Kuarsa	jarang - umum
	Hematit	jarang
	Magnetit	sangat jarang
	Rutil	sangat jarang
Klorida	Silvin	sangat jarang - umum
	Halit	sangat jarang - umum
Sulfat	Gypsum	jarang
	Barit	jarang

Keterangan : Persentase total kandungan *mineral matter* pada batubara

Dominan: > 60%

Berlimpah: 30-60%

Sangat umum: 10-30%

Umum: 5-10%

Jarang: 5-1%

2.2.2 Mineral pada Batubara

Terdapat beberapa mineral utama pada batubara. Mineral utama ini merupakan mineral yang paling banyak terkandung pada batubara. Mineral-mineral tersebut terdiri dari (Widodo, 2013):

1. Mineral Lempung

Lempung merupakan mineral yang paling banyak ditemukan pada batubara. Jumlahnya rata-rata sekitar 60-80% dari jumlah total mineral yang berasosiasi dalam batubara. Mineral lempung ini akan mengembang apabila kontak dengan air. Adanya proses pengembangan (*swelling clays*) menyebabkan meningkatnya jumlah butiran halus (*slimes*) sehingga menimbulkan masalah pada saat proses *dewatering*.

2. Mineral Karbonat

Karbonat dapat terbentuk selama proses pengendapan maupun pembatubaraan. Karbonat yang terbentuk pada awal pengendapan umumnya siderit dan dolomit. Kehadiran dolomit menunjukkan bahwa lapisan batubara telah dipengaruhi oleh endapan laut. Keterdapatannya mineral karbonat pada lapisan batubara dapat menimbulkan temperatur peleburan abu yang lebih kecil dibandingkan dengan adanya lempung dan kuarsa yang dominan pada lapisan batubara.

3. Mineral Silika

Kuarsa biasanya terbentuk pada tahap penggambutan. Kuarsa diidentifikasi untuk mencegah silikosis dan kemungkinan hancurnya kuarsa pada saat penambangan sehingga menimbulkan debu tambang. Kuarsa juga menyebabkan batubara lebih abrasif sehingga menyebabkan peralatan tambang mudah rusak.

4. Mineral Sulfida

Sulfur pada batubara ditemukan dalam bentuk sulfur organik dan anorganik. Batubara yang terendapkan dalam cekungan paralik lebih kaya akan pirit dibandingkan dengan batubara yang terendapkan pada cekungan limnik.

2.3 *Moisture*

Moisture pada batubara dapat dibedakan menjadi dua yaitu *free moisture* dan *inherent moisture*. *Free moisture* terjadi pada permukaan serta retakan dan kekar batubara. Kandungan air ini mudah hilang dengan penguapan dan diperkirakan selama cuaca basah dan dingin yang tidak biasa, jumlah *free moisture* pada batubara ketika mencapai konsumen biasanya dalam jumlah yang kecil, tetapi pada batubara ukuran kecil lebih mengandung air lebih banyak. *Free moisture* dalam jumlah besar jelas tidak diharapkan pada batubara namun *free moisture* ini selalu ada dalam batubara dalam jumlah terbatas saat digunakan (Rao & Gouricharan, 2016).

Inherent moisture terbagi menjadi tiga yaitu *higroskopis moisture* atau air yang tertahan dalam kapiler batubara, *decomposition moisture* atau air yang tergabung dalam beberapa senyawa organik batubara dan *mineral moisture* atau air yang terdapat pada struktur kristal lempung dan mineral lain yang ada pada batubara. *Inherent moisture* biasanya akan konstan pada batubara dengan peringkat tertentu. Sebagian besar, terutama air pada pori batubara dapat dihilangkan dengan pemanasan hingga 100 °C. Hal ini berbeda dengan *decomposition moisture* yang dapat dihilangkan pada suhu lebih dari 500 °C.

Inherent moisture juga disebut sebagai *air-dried moisture* karena dalam kondisi atmosfer normal, tidak dapat dihilangkan dengan penguapan. Persentase *air-dried moisture* dapat digunakan sebagai indikasi dari peringkat batubara. Kondisi atmosfer berpengaruh sampai pada saat pengeringan udara. *Moisture* pada batubara dapat mengurangi nilai kalor, meningkatkan jumlah batubara yang digunakan pada saat pemanasan dan waktu pemanasan akan semakin lama. Jika batubara bersentuhan dengan atmosfer dengan kelembaban meningkat pada suhu tetap, maka daya absorpsi akan lebih besar sehingga kandungan air semakin banyak. Banyaknya kandungan air

batubara pada atmosfer jenuh (kelembaban relatif 96-99%) disebut *moisture* mendekati kejenuhan atau *moisture* dasar dan lebih baik daripada *air dried moisture* untuk menentukan *rank* batubara bituminus volatil tinggi, sub-bituminus dan lignit serta dapat digunakan sebagai salah satu parameter dalam beberapa sistem klasifikasi batubara.

Kadar air yang terkandung dalam batubara dapat dihilangkan dengan pengeringan (*coal drying*). Berkurangnya *moisture content* ini mampu meningkatkan nilai kalor dari batubara. Penggunaan batubara yang telah dikeringkan juga dapat meningkatkan efisiensi proses operasi, menurunkan biaya perawatan utilitas peralatan, serta mengurangi resiko terjadinya bahaya kebakaran spontan.

2.4 Nilai Kalori

Nilai kalori batubara adalah jumlah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna dari satuan berat batubara. Kalori adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu gram air 1°C pada titik kepadatan terbesarnya 4°C. Nilai kalori juga sering dinyatakan sebagai kalor yang diperlukan untuk menaikkan satu gram air dari 15°C menjadi 16°C. *British Thermal Unit* adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu pound air 39,1°F menjadi 40,1°F. Satuan untuk nilai kalor adalah (Rao & Gouricharan, 2016):

Kalori/gram (Sistem C.G.S)

Kilokalori/Kilogram (Sistem M.K.S)

Btu/lb (Sistem F.P.S)

Atau $1 \text{ Kcal/gr} = 1,8 \text{ Btu/lb}$

Nilai kalor dibedakan menjadi dua jenis yaitu *Gross* atau *Higher Calorific Value* (GCV) dan *Net* atau *Lower Calorific Value* (NCV). Ketika nilai kalor batubara ditentukan, hydrogen yang ada dalam batubara diubah menjadi uap. Produk batubara

jika dikondensasikan ke suhu ruang, kondensasi panas laten uap termasuk dalam panas terukur. Nilai kalori yang dihitung dikenal sebagai *gross calorific value*. *Gross calorific value* adalah jumlah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna dalam satuan berat batubara di mana produk batubara didinginkan pada suhu ruang. Jumlah panas yang tersedia lebih sedikit dan jumlah panas ini dikenal sebagai *net calorific value*. *Net calorific value* dapat didefinisikan sebagai kuantitas panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna dari berat satuan batubara dan produk pembakaran dikeluarkan.

$$\text{NCV} = \text{GCV} - \text{Panas laten uap air yang terbentuk} \dots\dots\dots(2.1)$$

Sekarang, karena 1 bagian berat hidrogen menghasilkan 9 bagian berat air, sehingga persamaan 2.1 menjadi:

$$\text{NCV} = \text{GCV} - \text{Berat hidrogen} \times 9 \times \text{panas laten uap} \dots\dots\dots(2.2)$$

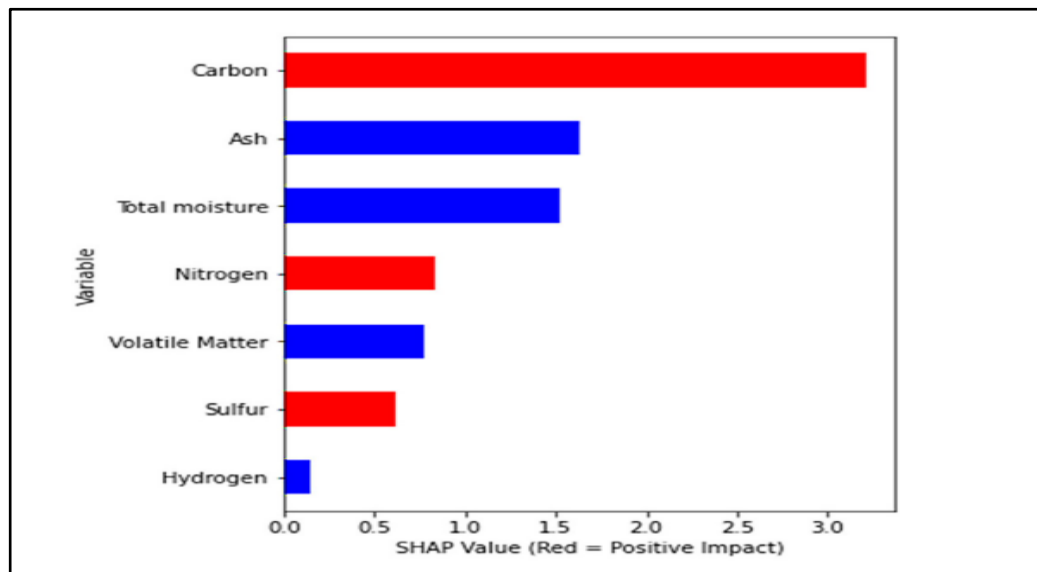
Karena panas laten uap adalah 587 Kkal/kg, persamaan 2.2 menjadi:

$$\text{NCV} = \text{GCV} - 52,83 \times \% \text{ Hidrogen} \dots\dots\dots(2.3)$$

Metode yang benar-benar memuaskan untuk penentuan nilai kalor batubara adalah dengan menggunakan oksigen tenaga tinggi *bomb calorimeter*. Ketika jumlah batubara yang ditimbang dibakar dalam kalorimeter, panas yang dihasilkan akan memanaskan kalorimeter dan air yang ada di dalamnya. Nilai kalor ditentukan dengan menyamakan panas yang diberikan batubara dengan panas kalorimeter dan air.

GCV batubara yang siap dikirim ke konsumen dapat dihitung berdasarkan nilai *ash content* dan *moisture content* (Kumari, *et al.*, 2019). GCV menunjukkan korelasi negatif dengan *ash content* dan *moisture content*. Kandungan *ash content* yang meningkat menghasilkan persentase karbon rendah sehingga nilai kalor berkurang, begitupun dengan peningkatan *moisture content* melemahkan struktur batubara dan menurunkan nilai kalor (Golshani, *et al.*, 2013). Fixed carbon, *ash content*, dan *moisture content* secara berturut-turut berada di peringkat pertama, kedua dan ketiga

sebagai variable yang berperan penting terhadap korelasi nilai GCV seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 (Chelgani, 2021).



Gambar 2.3 Peringkat pengaruh variabel terhadap nilai GCV berdasarkan rata-rata nilai SHAP (Chelgani, 2021)

2.5 Karakterisasi Kualitas Batubara

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang memengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan *mineral matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification (rank)*. Dilakukan analisis kimia seperti analisis proksimat dan analisis ultimat untuk menentukan kualitas batubara. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*), sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan dan juga unsur jarang (Hamdani & Oktarini, 2014).

2.5.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat dikembangkan sebagai alat sederhana untuk menentukan distribusi produk yang diperoleh dari sampel batubara dipanaskan dibawah kondisi

tertentu. Dengan pengertian lain, analisis proksimat memisahkan produk ke dalam empat kelompok yaitu *moisture*, *volatile matter*, *ash content* dan *fixed carbon* (Speight, 2005).

Moisture yang mengisi penuh pori-pori ini ditentukan sebagai *total moisture* dan dipandang sebagai *moisture* bawaan di dalam sampel yang dikumpulkan dalam keadaan segar, tidak menunjukkan adanya *visible* pada permukaan batubara, tidak dibiarkan menjadi kering setelah pengumpulan sampel, dan sampel diambil dari muka batubara segar yang belum kering. Apabila sampel tidak memenuhi kriteria ini, maka *moisture* bawaan dapat ditaksir dengan penentuan *equilibrium*. Sementara itu, *inherent moisture* terdapat di dalam kapiler zat batubara dan berada dalam tekanan dari kelembaban kapiler air permukaan. Banyak energi yang perlu dikeluarkan untuk mengeluarkan air di dalam permukaan partikel batubara (Cook, 1982).

Volatile matter (VM) ialah banyaknya zat yang hilang bila sampel batubara dipanaskan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan (setelah dikoreksi oleh kadar *moisture*). *Volatile* yang menguap terdiri atas sebagian besar gas-gas yang mudah terbakar seperti hidrogen, karbon monoksida, dan metan (Muchjidin, 2006).

Fixed Carbon menyatakan banyaknya karbon tertambat yang terdapat dalam material sisa setelah *volatile matter* dihilangkan. *Fixed Carbon* atau kadar karbon merupakan kandungan utama dari batubara. Kandungan inilah yang paling berperan dalam menentukan besarnya *heating value* suatu batubara. Semakin banyak *fixed carbon*, maka semakin besar *heating value*-nya. Nilai kadar karbon diperoleh melalui pengurangan angka 100 dengan jumlah kadar *moisture* (kelembapan), kadar abu dan jumlah zat terbang pada batubara. Nilai ini semakin bertambah seiring dengan tingkat pembatubaraan. Kadar karbon dan jumlah zat terbang digunakan sebagai perhitungan untuk menilai kualitas bahan bakar yaitu berupa nilai *fuel ratio* sebagai berikut (Komariah, 2012):

$$Fuel\ Ratio = \frac{Fixed\ Carbon}{Volatile\ Matter} \dots\dots\dots(2.4)$$

Kandungan abu merupakan jumlah residu yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Kandungan abu berasal dari hasil sisa pembakaran batubara. Keberadaan kandungan abu pada lapisan batubara dikarenakan senyawa organik dan anorganik yang merupakan hasil dari rombakan material disekitarnya yang bercampur pada saat transportasi, sedimentasi dan pembatubaraan (Sidiq, 2011). Klasifikasi batubara berdasarkan kadar *fixed carbon*, *volatile matter* dan *heating value* menurut ASTM dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi batubara menurut ASTM (Speight, 2005)

Kelas	Grup		<i>Fixed Carbon</i>	<i>Volatile Matter</i>	<i>Heating Value</i>
	Nama	Simbol	<i>Dry %</i>	<i>Dry %</i>	<i>Dry Basis</i> (kcal/kg)
Antrasit	Meta-antrasit	Ma	>98	>2	7.740
	Antrasit	An	92-98	2,0-8,0	8.000
	Semiantrasit	Sa	86-92	8,0-1,5	8.300
	Low volatil	Lvb	78-86	14-22	8.741
	Medium Volatil	Mvb	89-78	22-31	8.640
Bituminus	High Volatil-A	hvAb	<69	>31	8.160
	High Volatil-B	hvBb	57	57	6.570-8.160
	High Volatil-C	hvCb	54	54	6.765-8.367
	Sub-bituminus A	SubA	55	55	6.880-7.540
Sub-bituminus	Sub-bituminus B	SubB	56	56	6.540-7.320
	Sub-bituminus C	SubC	53	53	5.990-6.860
Lignit	Lignit A	Lig A	52	52	4.830-6.360
	Lignit B	Lig B	52	52	<5.250

Nilai kelembaban, zat terbang, kadar abu dan *fixed carbon* pada conto batubara dapat ditentukan dengan metode analisis sesuai prosedur yang ditetapkan ASTM 1979. Perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut (Avicenna, *et al.*, 2019):

a. Analisis *Moisture Content*

$$IM (\%) = \left[\frac{(\text{berat sampel awal} - \text{berat sampel setelah pemanasan})}{\text{berat conto awal}} \right] \times 100 \dots\dots\dots(2.5)$$

b. Analisis Kadar Abu (*Ash Content*)

$$\text{Abu} (\%) = \left[\frac{(\text{berat kapsul dan residu abu} - \text{berat kapsul kosong})}{\text{berat sampel yang dianalisis}} \right] \times 100 \dots\dots\dots(2.6)$$

c. Analisis Zat Terbang (*Volatile Matter*)

$$\text{Berat hilang} (\%) = \left[\frac{(\text{berat sampel awal} - \text{berat sampel setelah pemanasan})}{\text{berat conto awal}} \right] \times 100 \dots\dots\dots(2.7)$$

Setelah itu mengitung persentase zat terbang (ASTM 1979):

$$\text{Zat terbang} (\%) = \text{Berat hilang} (\%) - \text{Kelembaban} (\%)$$

d. *Fixed Carbon*

$$\text{Fixed carbon} (\%) = 100 - [\text{Moisture} + \text{Ash} + \text{Volatile Matter}] \dots\dots\dots(2.8)$$

2.5.2 Analisis Ultimat

Analisa Ultimat dilakukan untuk menentukan kadar karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S) dalam batubara. Kadar hidrogen dan oksigen digunakan untuk memperkirakan nilai kalor bersih (*net calorific value*) dari data nilai kalor kotor (*gross calorific value*) batubara. Karbon, hidrogen dan oksigen adalah unsur utama yang membentuk batubara, sedangkan belerang dan nitrogen hanya sebagai bahan lainnya. Belerang dalam batubara terdapat dalam 3 bentuk, yaitu, belerang pirit (FeS_2), belerang organik dan belerang sulfat sebagai Ca dan Fe Sulfat. Hasil analisis ultimat biasanya dipakai untuk menentukan kualitas dan jenis lapisan batubara sama penyelidikan cadangan batubara, sehingga batubara dapat dikelompokkan atas kelasnya atau untuk keperluan teknis lainnya (Kurniawan, *et al.*, 2020).

Sulfur merupakan salah satu elemen penting yang memengaruhi kualitas batubara walaupun kandungannya relatif rendah. Pembentukan sulfur pada batubara dapat melalui berbagai cara, di antaranya berasal dari pengaruh batuan pengapit yang terendapkan pada lingkungan laut (Williams & Keith, 1963), pengaruh air laut selama

proses pengendapan tumbuhan, proses mikrobial, dan perubahan pH (Casagrande, 1987). Berdasarkan penelitian tentang pembentukan dan keberadaan sulfur pada batubara, Casagrande (1987) memberikan kesimpulan yaitu batubara sulfur rendah (<1%) mengandung lebih banyak sulfur organik dibandingkan sulfur piritik.

Batubara dengan kandungan sulfur dan abu yang rendah terendapkan di lingkungan darat pada saat proses pengangkutan. Lapisan penutup dan lapisan di bawahnya merupakan sedimen klastik (kecuali batugamping) yang terendapkan pada lingkungan darat juga. Sedangkan batubara dengan kandungan abu dan sulfur yang tinggi, berasosiasi dengan sedimen yang terendapkan pada lingkungan payau atau laut (Cecil, *et al.*, 1979). Kelimpahan sulfur pada batubara sebagian besar dikontrol oleh derajat pengaruh air laut selama akumulasi dan diagenesis (Chou, 2012). Komposisi batubara hasil analisis ultimat berdasarkan peringkat batubara dapat dilihat pada Gambar 2.4.

	<i>Low Rank</i>		<i>High Rank</i>	
<i>Rank :</i>	<i>Lignite</i>	<i>Subbituminous</i>	<i>Bituminous</i>	<i>Anthracite</i>
<i>Age :</i>	increases			>
<i>%Carbon:</i>	65-70	72-76	76-90	90-95
<i>% Hydrogen :</i>	-5	decreases		-2
<i>% Nitrogen :</i>	<	-1-2		>
<i>% Oxygen :</i>	-30	decreases		-1
<i>% Sulfur :</i>	-0	increases	-4	decreases -0
<i>% Water :</i>	70-30	30-10	10-5	-5
<i>Heating value (BTU/lb) :</i>	-7000	-10,000	-12,000-15,000	-15,000

Gambar 2.4 Komposisi batubara berdasarkan peringkat (*Energy and The Environment*, 2003)

Mineral yang memberikan kontribusi terbesar terhadap kandungan sulfur dalam batubara adalah pirit (FeS_2) atau yang lebih dikenal sulfur piritik (Taylor, *et al.*, 1998). Berdasarkan genesanya, pirit batubara dapat dibedakan menjadi dua yaitu pirit

syngenetik atau pirit yang terbentuk selama proses penggabungan dan pirit epigenetik atau pirit yang terbentuk setelah atau sesudah terjadi pengendapan. Senyawa FeS_2 muncul pada batubara dalam bentuk pirit dan markasit. Markasit dibedakan dari pirit pada sistem kristalnya yang orthorombik sedangkan pirit isometrik (Demchuk, 1992).

2.5.3 Analisis Nilai Kalori

Alat yang digunakan untuk mengukur perubahan panas disebut *bomb calorimeter*. *Bomb calorimeter* terdiri dari tabung baja tebal dengan tutup kedap udara. Sejumlah sampel akan diuji ditempatkan dalam cawan platina dan sebuah "kumparan besi" yang diketahui beratnya (yang juga akan dibakar) ditempatkan pula pada cawan platina sedemikian sehingga menempel pada zat yang akan diuji. *Bomb calorimeter* kemudian ditutup lalu tutupnya dikencangkan. Setelah itu "bom" diisi dengan O_2 hingga tekanannya mencapai 25 atm. Kemudian "bom" dimasukkan ke dalam kalorimeter yang diisi air. Setelah semuanya tersusun, aliran listrik dialirkan ke kawat besi dan setelah terjadi pembakaran, kenaikan suhu diukur (Avicenna, *et al.*, 2019).

2.6 Pelaporan Analisis Proksimat

Sebagian besar analisis batubara dilakukan pada sampel *air-dried* dan persentase dari berbagai konstituen dihitung secara proporsional dengan massa material tersebut. Dalam operasi komersial, sejumlah uap air tambahan membentuk bagian dari batubara yang ditambang dan dikirim ke konsumen. Perbandingan dan klasifikasi batubara pada dasarnya dipengaruhi oleh sifat fraksi organik. Hal ini diperlukan untuk memungkinkan efek pada komposisi kimia dan sifat-sifat lain yang disebabkan oleh mineral pengotor untuk menggunakan klasifikasi seperti itu dan persentase perlu dinyatakan sebagai bagian dari batubara murni. Hasil analisis dapat dimodifikasi dengan koreksi yang sesuai untuk memungkinkan tampilan pada basis

yang berbeda. Basis yang paling umum digunakan untuk pelaporan hasil analisis adalah *as received*, *air-dried*, *dry*, *daf* dan *dmmf* (Rao & Gouricharan, 2016).

2.6.1 *As Received* atau *As Sample*

Hasil analisis produk batubara hasil penambangan yang diterima oleh konsumen dilaporkan dalam basis *as received*. Banyak perubahan fisik dan kimia yang terjadi selama pengangkutan batubara dari tambang ke konsumen dan juga selama proses seperti pengurangan ukuran, pencucian dan lain-lain. Analisis batubara akhir pada konsumen dilaporkan dalam basis *as received*.

$$\% \text{ Moisture} = \frac{\text{Berat moisture}}{\text{Berat sampel batubara as received}} \times 100 \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\% \text{ Volatile matter} = \frac{\text{Berat volatile matter}}{\text{Berat sampel batubara as received}} \times 100 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\% \text{ Ash} = \frac{\text{Berat ash}}{\text{Berat sampel batubara as received}} \times 100 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\% \text{ Fixed carbon} = 100 - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Volatile matter} + \% \text{ Ash}) \dots\dots(2.12)$$

2.6.2 *Air-dried*

Batubara yang diperoleh dari hasil penambangan kehilangan kelembabannya karena terpapar udara atmosfer, baik selama transportasi maupun pada saat penyimpanan. Data hasil analisis batubara pada tahap ini adalah basis *air dried basis*.

Data dalam basis *as received* dan *air dried* kemungkinan sama karena pada kedua basis tersebut batubara kehilangan kandungan air tergantung pada kelembapan dan suhu atmosfer. Namun, untuk mendapatkan hasil yang akurat dan sebanding, batubara dieskspos pada suhu standar 40°C dan kelembapan relatif 60% untuk mendapatkan data *air dried*. Bahkan setelah *air drying*, batubara masih mengandung sejumlah uap air.

$$\% \text{ Moisture} = \frac{\text{Berat moisture}}{\text{Berat sampel batubara air-dried}} \times 100 \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\% \text{ Volatile matter} = \frac{\text{Berat volatile matter}}{\text{Berat sampel batubara air-dried}} \times 100 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\% \text{ Ash} = \frac{\text{Berat ash}}{\text{Berat sampel batubara air dried}} \times 100 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\% \text{ Fixed carbon} = 100 - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Volatile matter} + \% \text{ Ash})\dots\dots\dots(2.16)$$

2.6.3 Dry or Moisture Free

Analisis batubara dilaporkan pada basis kering atau *free moisture* apabila pengaruh air sepenuhnya ingin dihilangkan dalam data analisis. Basis ini merupakan data yang menyatakan presentase batubara setelah semua uap air dihilangkan.

$$\% \text{ Ash} = \frac{A}{100-M} \times 100 \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\% \text{ Volatile matter} = \frac{V}{100-M} \times 100 \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\% \text{ Fixed carbon} = \frac{FC}{100-M} \times 100 \dots\dots\dots(2.19)$$

2.6.4 Dry, ash free (d.a.f)

Apabila efek kandungan air dan abu ingin dihilangkan, maka data dilaporkan berdasarkan *dry ash free basis*. Batubara mengandung *volatile matter* dan *fixed carbon* perhitungan ulang dengan kadar air dan abu yang dihilangkan. *Volatile matter* tidak berasal dari mineral yang ada di batubara pada basis *air dried*. Hasil analisis ini merupakan cara paling sederhana untuk membandingkan fraksi organik batubara tanpa mengurangi efek komponen anorganik. Data ini cocok untuk membandingkan batubara dengan kadar abu yang rendah (Kadar abu < 10%).

$$\% \text{ Volatile matter} = \frac{V}{100-M-A} \times 100 \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\% \text{ Fixed carbon} = \frac{FC}{100-M-A} \times 100 \dots\dots\dots(2.21)$$

2.6.5 Dry, mineral matter free (d.m.m.f)

Jumlah *mineral matter* perlu ditentukan agar kandungan *volatile matter* pada *mineral matter* dapat dihilangkan. Dalam kasus batubara dengan kadar abu tinggi, kandungan *mineral matter* sekitar 10% atau lebih dari abunya, sedangkan *mineral matter* hampir sama dengan abunya dalam kasus batubara dengan kadar abu rendah.

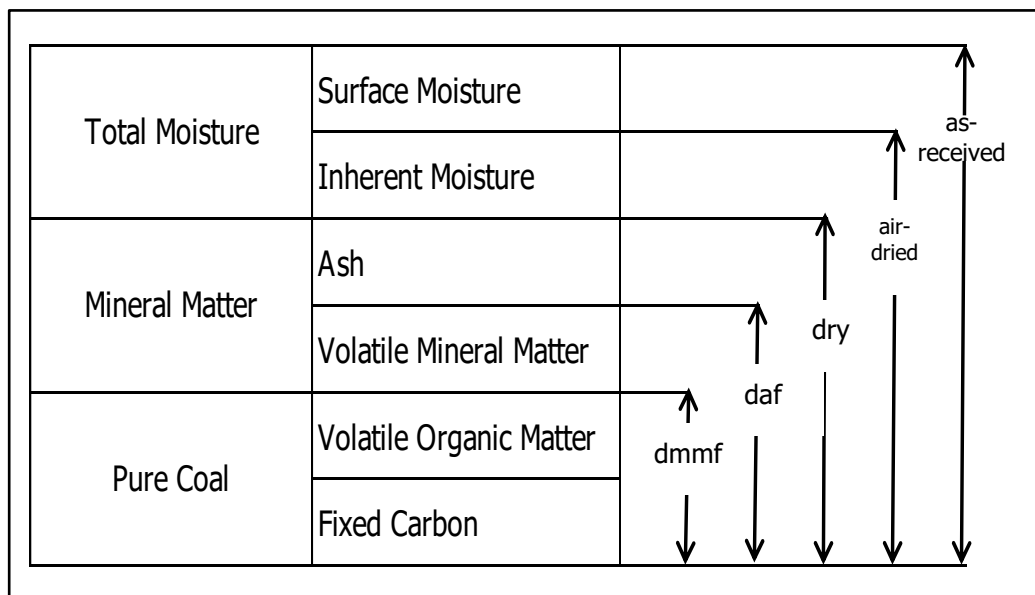
Oleh karena itu, data yang disajikan dalam *dry mineral matter free basis* paling cocok untuk membandingkan batubara dengan kadar abu yang tinggi (kadar abu > 10%).

$$\% \text{ Mineral matter} = MM = A + 0,1 A = 1.1 A \dots\dots\dots 2.22$$

$$\% \text{ Volatile matter} = \frac{V-0,1 A}{100-M-1,1A} \times 100 \dots\dots\dots 2.23$$

$$\% \text{ Fixed carbon} = \frac{FC}{100-M-1,1A} \times 100 \dots\dots\dots 2.24$$

Semua basis diinterpretasikan pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Persentase dari analisis proksimat dalam basis yang berbeda (Rao & Gouricharan, 2016)

2.7 Pencucian Batubara

Menurut Esterle (2014) pencucian batubara adalah usaha yang dilakukan untuk memperbaiki kualitas batubara agar batubara tersebut memenuhi syarat penggunaan tertentu, termasuk didalamnya pembersihan untuk mengurangi *impurities* berupa merial anorganik. Karakteristik batubara dan *impurities* yang utama ditinjau dari segi pencucian secara mekanis ialah komposisi ukuran yang disebut *size consist*, perbedaan berat jenis dari material yang dipisahkan, kimia permukaan batubara, *friability* relatif dari batubara dan pengotornya serta kekuatan dan kekerasan batubara.

Metode pencucian yang akan digunakan harus dipertimbangkan untuk mempersiapkan batubara sesuai keperluan pasar dan apakah pencucian masih diperlukan, karena pada prinsipnya batubara dapat dijual langsung setelah ditambang. Kenyataannya penjualan langsung setelah ditambang tidak berarti produser memperoleh keuntungan maksimum. Oleh karena itu, dalam memutuskan pencucian perlu dilakukan juga harus menentukan kesesuaian alat yang digunakan dalam mencuci batubara. Syarat yang diperlukan dalam pencucian batubara adalah ukuran butir, *specific gravity* dan kapasitas produksi yang digunakan. Alat-alat yang dapat digunakan dalam pencucian batubara adalah *dense medium separation*, *concentration table*, *jig* dan *flotation* (Esterle, 2004).

Anggayana (2002) menjelaskan bahwa pencucian batubara dilakukan karena batubara hasil penambangan bukanlah batubara yang bersih, tetapi masih banyak mengandung material pengotor. Pengotor batubara dapat berupa pengotor homogen yang terjadi di alam saat pembentukan batubara itu sendiri, yang disebut dengan *inherent impurities*, maupun pengotor yang dihasilkan dari operasi penambangan itu sendiri, yang disebut *extraneous impurities*. Tujuan dilakukannya pencucian batubara untuk memisahkan batubara dari material pengotornya agar kualitas batubara dapat meningkat di mana nilai panas bertambah dan kandungan air serta debu berkurang. Batubara yang terlalu banyak pengotor cenderung akan menurunkan kualitas batubara. Pada umumnya persyaratan pasar menghendaki kandungan abu tidak lebih dari 10% dan umumnya menghendaki nilai panas berkisar antara 6000-6900 kcal/kg.

Berdasarkan sifat-sifat batubara dan mineral pengotornya, dapat digunakan berbagai jenis peralatan konsentrasi pada pencucian batubara untuk memisahkan batubara dari mineral pengotor. Perbedaan tersebut dapat berupa sifat fisik atau mekanik dari butiran tersebut, seperti halnya berat jenis, ukuran, warna, gaya sentripetal, gaya sentrifugal ataupun desain peralatan itu sendiri (Anggayana, 2022).

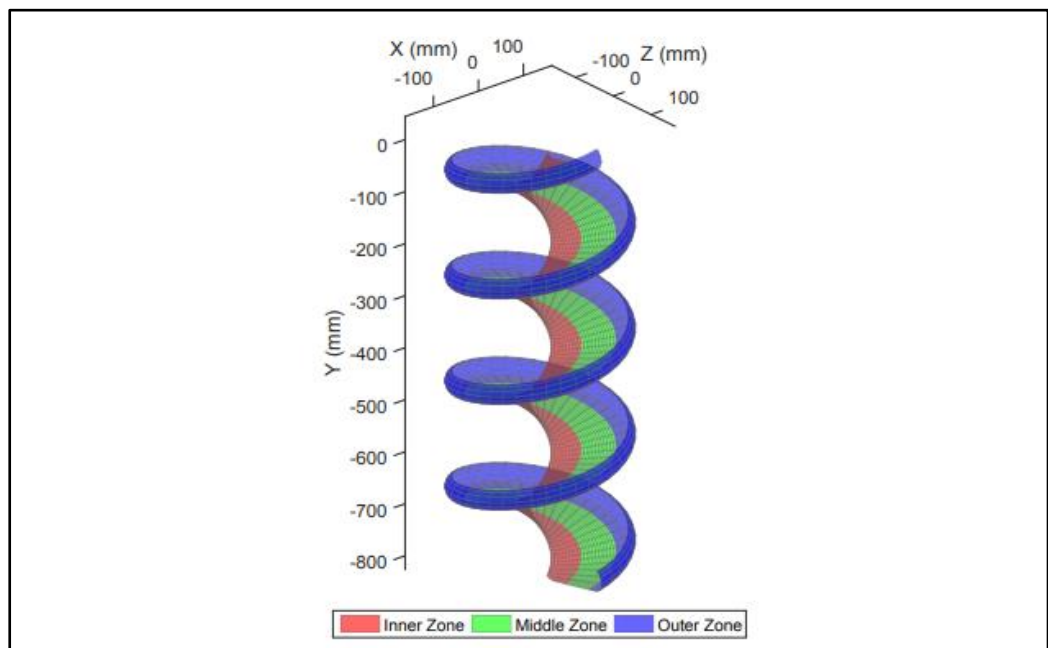
2.8 Konsentrasi Gravitasi

Pemisahan dengan metode gravitasi digunakan untuk mengolah berbagai jenis material, mulai dari sulfida logam berat seperti galena hingga batubara dengan ukuran partikel di bawah 50 μ m. Proporsi mineral yang tinggi pada batuan setidaknya dapat dipisahkan secara efektif dengan sistem gravitasi yang murah dan dapat diterima secara ekologi. Pemisahan gravitasi pada mineral dengan ukuran lebih kasar juga dapat lebih menguntungkan untuk pengolahan selanjutnya karena terjadi penurunan luas permukaan, pengeringan lebih efisien dan tidak adanya penggunaan bahan kimia yang dapat mengganggu proses lebih lanjut (Wills & Munn, 2006).

Proses pemisahan batubara dengan mineral pengotornya dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti dengan metode gravitasi yang memanfaatkan sifat fisik batubara. Konsentrasi gravitasi merupakan metode pemisahan mineral yang didasarkan kepada perbedaan berat jenis antara batubara dan material pengotor. Metode gravitasi akan lebih efektif apabila dilakukan pada material dengan diameter yang seragam, karena pada perbedaan diameter besar perilaku material ringan (massa jenis kecil) akan sama dengan material berat dengan diameter kecil. Sehingga sebelum dilakukan proses pengolahan (*separation*), tahap awal harus dilakukan proses screening terlebih dahulu menggunakan *trommel screen* ataupun *sieve shaker* (Rumbino & Krisnasiwi, 2019).

Penelitian tentang konsentrasi gravitasi oleh Zhao dkk (2013) berupa pra-konsentrasi vanadium pada batubara. Pemisahan dilakukan menggunakan *shaking table* dan diperoleh hasil bahwa pra-konsentrasi vanadium dari batubara dapat meningkatkan kadar V₂O₅ dan menurunkan kandungan mineral yang dengan asam tinggi. Selain itu, proses pra-konsentrasi dapat memecahkan masalah biaya tinggi yang diperlukan dalam teknologi ekstraksi vanadium yang menjadi masalah saat ini.

Metode konsentrasi gravitasi lainnya yang dapat diterapkan pada batubara adalah spiral batubara kapasitas tinggi. Spiral merupakan pemisahan berdasarkan berat jenis yang dapat memisahkan material yang berukuran 0,2 mm hingga 1 mm. Richards dan Palmer (1997) menyebutkan bahwa pemisahan spiral diperkenalkan ke industri batubara pada tahun 1980. Spiral batubara LD2 adalah salah satu model awal yang paling populer dan paling sukses. Pemisahan spiral berkapasitas tinggi sekarang diterima dengan baik di industri batubara di seluruh dunia, dan separator spiral mineral berkapasitas tinggi sekarang telah tersedia. Boucher (2017) membagi zona radial untuk palung spiral menjadi tiga berdasarkan koordinat silinder yang dinotasikan dengan "r" dengan "y" sebagai elevasi. Ketiga zona tersebut terdiri dari zona dalam (*inner zone*) ($r < 67,5$ mm), zona tengah (*middle zone*) (67,5 mm-125 mm) dan zona luar (*outer zone*) (> 125 mm) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Selama operasi spiral dengan aliran pulp padat (≥ 20 % padatan), zona dalam sebagian besar diisi oleh aliran partikel padat yang rapat, zona luar oleh aliran partikel ringan encer dan zona tengah adalah bagian transisi dari palung.



Gambar 2.6 Skema zona dalam, tengah dan luar palung spiral yang digunakan untuk analisis (Boucher , 2017)

Drzymala (2017) dalam Rumbino dan Krisnasiwi (2019) juga menyebutkan bahwa salah satu alat yang dapat dilakukan untuk pemisahan dengan metode gravitasi yang paling sederhana adalah alat *sluice box/pinched sluice* yang bisa untuk mengolah partikel yang berukuran 100 sd 1000 mikron. Viera (2014) menjelaskan bahwa *Sluice box* merupakan salah satu alat pengolahan yang masuk kedalam bagian pemisah (*separation*). Alat ini biasa digunakan pada tambang semprot untuk lapisan alluvial.

Ludiansyah dkk (2018) menyebutkan bahwa pada prinsipnya *sluice box* memanfaatkan arus turbulensi dan laminar. *Sluice box* memisahkan antara konsentrat dengan tailing berdasarkan prinsip perbedaan berat jenis dengan menggunakan aliran horizontal. Di mana dalam proses kerjanya, material yang berat jenisnya lebih tinggi akan tertahan pada *riffle* yang nantinya akan diambil sebagai konsentrat sedangkan material yang berat jenisnya rendah akan larut bersama aliran air sebagai taling. *Sluice box* dapat dibuat dari kayu, aluminium, plastik atau baja. *Sluice box* berbahan dasar aluminium dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Sluice box* aluminium (Ludiansyah, *et al.*, 2018)

Setiap alat pengolahan memiliki ciri khas dan karakteristiknya masing-masing. Terdapat beberapa parameter yang menjadi ciri dan karakter dari alat *sluice box* untuk mencapai *recovery* yang diinginkan. Parameter dari alat *sluice box* adalah sebagai berikut (Owen, 1990; Rumbino dan Krisnasiwi, 2019):

1. Ukuran dimensi dan jenis bahan box, dimensi menentukan kekuatan alat untuk menampung bahan galian yang akan dilakukan pengujian. Semakin besar dimensi dari alat semakin besar pula kekuatan alat untuk menampung bahan galian dalam ton/jam. Ada beberapa macam dimensi yang dapat digunakan tergantung dari kebutuhan seperti, 0,5 m sampai dengan 6 m.
2. *Model riffle* yang dipasang, *riffle* berperan untuk menahan bahan galian dan tempat terjadinya proses pemisahan pada alat *sluice box*. Ada dua macam jenis *riffle* yang biasa digunakan antara lain: *American riffle* dan *Hungarian riffle*.
3. Sudut kemiringan, kemiringan menentukan laju aliran air dengan membawa material. Semakin besar sudut miring alat maka laju air akan semakin cepat dan apabila tidak diimbangi dengan jenis, tinggi, dan bentuk *riffle* maka bahan galian tidak akan tertahan dan akan terbawa arus. Apabila sudut kemiringan kecil maka air akan menggenang dan material akan mengendap semua.
4. Debit air, merupakan parameter yg berperan dalam membawa material yang akan dipisahkan. Debit air yang besar akan mengakibatkan bahan galian mudah terbawa melewati *riffle*, sedangkan debit yang terlalu kecil akan mengakibatkan bahan galian bersama tailing ikut terendapkan.
5. Saringan dan jenis karpet, saringan nantinya akan memisahkan bahan galian yang kasar sampai halus. Saringan juga dapat berperan pada pertama pemisahan ukuran apabila pada *sluice box* dipasang *hopper*. Ada beberapa jenis dan ukuran saringan atau karpet seperti, *Rubber Mat* atau karpet kasar yang berfungsi untuk menangkap emas dengan ukuran butir besar dan *miner*

moss atau karpet halus yang berfungsi untuk menangkap emas atau bahan galian dengan ukuran halus.

Metode *water spray* memiliki konsep yang sama dengan pemisahan dengan metode gravitasi menggunakan alat *sluice box*. Sebuah media menyerupai *belt conveyor* yang berbentuk box dibuat sebagai alat untuk memisahkan batubara dengan lumpur. Media yang berbentuk box kemudian diletakkan dengan kemiringan tertentu agar air yang tercampur dengan lumpur dapat mengalir terpisahkan dari batubara. Batubara disemprot dengan air dengan kecepatan alir yang tinggi agar lumpur yang menempel pada batubara dapat terpisahkan. Kecepatan alir air bersumber dari nosel yang berfungsi meningkatkan aliran fluida yang diikuti dengan penurunan tekanan (Satrya, 2015; Dyaksa, 2016).

Pengembangan pemanfaatan metode *water spray* memerlukan pengetahuan tentang karakteristik nosel dan *spray* serta parameter lingkungan di lingkungan tempat *water spray* diaplikasikan. Beberapa karakteristik yang didukung oleh manufaktur nosel dan karakteristik penting lainnya seperti pengembangan *spray plume* dan perilaku drift, perlu ditentukan secara eksperimental. Kinerja nosel semprotan sangat bergantung pada aspek lingkungan, terutama yang berkaitan dengan ventilasi dan klimatisasi untuk tambang bawah tanah. Karakteristik nosel semprot yang signifikan terdiri dari laju aliran, sudut semprotan, dampak semprotan dan ukuran tetesan. Karakteristik ini bergantung pada tekanan dan dapat bervariasi sesuai dengan lokasi di semburan semprotan. Sementara suhu dan kelembaban dapat menjadi faktor yang memengaruhi terutama ketika kondisi iklim dievaluasi pada saat yang sama, faktor yang paling memengaruhi adalah kecepatan relatif. Aspek tambahan dapat dievaluasi melalui interaksi tetesan air dengan parameter lingkungan ini, seperti perilaku melayang tetesan dalam kaitannya dengan lokasinya dan kecepatan udara (Swanson & Langefeld, 2015).

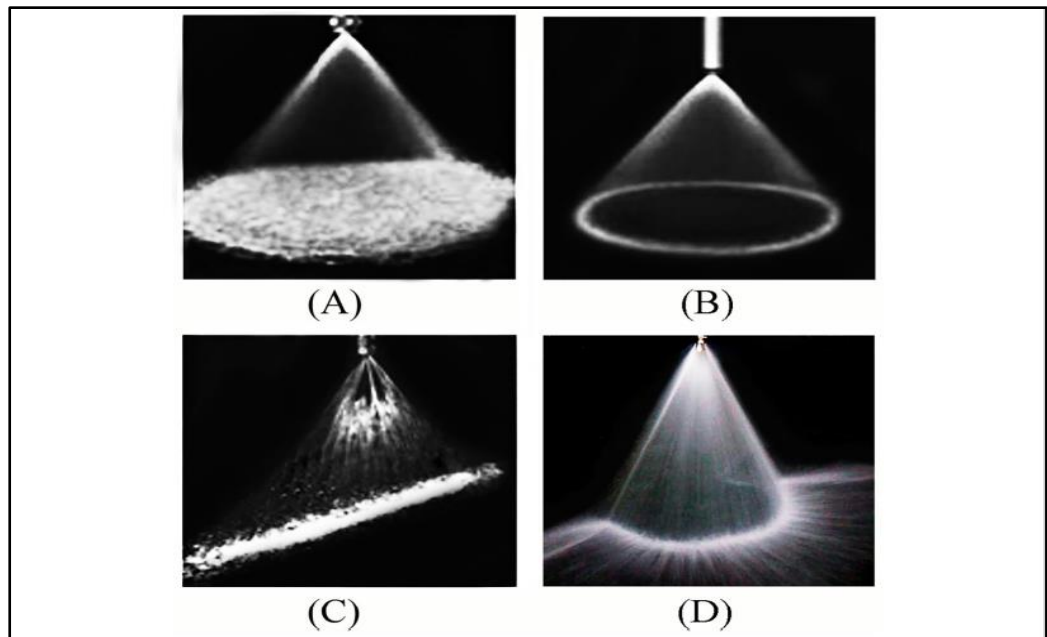
Keberhasilan sistem *sprayer* dalam menghasilkan butiran yang halus dipengaruhi oleh bentuk nosel dan kecepatan aliran dari fluida air. Secara umum terdapat beberapa jenis *nose*/yaitu sebagai berikut (Damastu, 2016):

1. Jet, merupakan nosel yang mengeluarkan gas atau cairan dalam arus koheren menjadi media sekitarnya. Nosel jenis jet ini dapat berupa jet gas, jet cairan dan jet hydro.
2. Magnetik, merupakan nosel dengan aliran plasma yang diarahkan oleh medan magnet, bukan dinding yang terbuat dari material padat.
3. *Spray*, merupakan nosel yang menghasilkan semprotan yang halus. Nosel *spray* ini digunakan untuk lukisan semprot, parfum, alat untuk cuci motor dan mobil, Karburator untuk mesin pembakaran internal, semprot pada deodoran, antiperspirant dan banyak kegunaan lain.
4. *Swirl*, merupakan nosel yang menyuntikkan cairan di tangensial dan spiral ke pusat dan kemudian keluar melalui lubang pusat. Karena *vortexing* ini menyebabkan semprot untuk keluar dalam bentuk kerucut.

Terdapat beberapa efek yang dihasilkan dari semprotan nosel, efek tersebut dapat berupa nosel kerucut penuh, nosel berongga, nosel kipas datar dan nosel kipas busur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Adapun menurut Damastu (2016) membagi karakteristik dari semprotan menjadi 3 yaitu *Hollow Cone Nosel*, *Flat Fan Nosel* dan *Float Nosel* dengan penjelasan berikut:

1. *Hollow Cone Nosel*, merupakan pola semprotan berbentuk bulat (kerucut). Terdiri dari 2 tipe, yaitu *solid/full cone nosel* dan *hollow cone nosel*. *Solid cone nozze* pola semprotan bulat penuh berisi, sedangkan *hollow cone nosel* menghasilkan semprotan berbentuk kerucut bulat kosong. Digunakan terutama untuk aplikasi insektisida dan fungisida.

2. *Flat Fan Nozel*, merupakan jenis nozel yang paling umum digunakan dalam pertanian. Nozel ini dapat menghasilkan pola semprotan berbentuk oval (V). Penyemprotan dengan saling tumpang tindih (*overlapping*) diperlukan untuk mendapatkan sebaran droplet yang merata. Digunakan terutama untuk aplikasi herbisida, tetapi bisa juga digunakan untuk fungisida dan insektisida.
3. *Flood Nozel*, merupakan nozel yang mempunyai pola semprotan yang berbentuk garis atau cerutu. Butiran semprot agak kasar hingga kasar. Tidak atau sangat sedikit menimbulkan drift dan hanya digunakan untuk aplikasi herbisida.



Gambar 2.8 Efek semprotan air dari 4 jenis nozel, (A) Nozel kerucut penuh; (B) Nozel kerucut berongga; (C) Nozel kipas datar; (D) Nozel kipas busur (Han & Liu, 2018).

Berdasarkan ukuran penampang, nozel terbagi menjadi tiga yaitu nozel konvergen, divergen dan konvergen-divergen. Nozel konvergen adalah nozel dengan penampang mula-mula yang besar yang kemudian mengecil pada bagian keluarannya sehingga kecepatan aliran menjadi tinggi dan tekanannya turun. Salah satu contoh penerapan nozel konvergen yaitu pada *engine turboprop* yang digunakan pada

pesawat kargo. Nosel divergen adalah nosel dengan penampang mula-mula yang kecil kemudian membesar pada bagian keluarannya sehingga kecepatannya turun dan tekanannya naik. Contoh penerapan nosel divergen adalah pada bagian belakang roket menuju angkasa luar. Adapun nosel konvergen-divergen adalah gabungan dari nosel konvergen dan nosel divergen. Contoh penerapan nosel konvergen-divergen adalah pada *turbo fan* adalah jenis *engine* yang termmodern saat ini yang menggabungkan teknologi Turbo Prop dan Turbo Jet.

Debit air atau jumlah zat cair yang mengalir melalui tampang lintang aliran tiap satu satuan waktu dapat diukur dengan volume zat cair tiap satuan waktu. Debit dinotasikan dengan huruf Q yang satuannya adalah meter kubik perdetik (m^3/s) (Triatmodjo, 2014). Menurut Owen (1990) dalam Rumbino dan Krisnawi (2019) volume penampang dapat dihitung dengan menggunakan sebuah wadah yang diketahui luasan atau volume isian sehingga nantinya tinggal menghitung kecepatan air dengan satuan waktu hingga botol terisi penuh.

2.9 Uji Homogenitas

Uji homogenitas digunakan untuk mengetahui apakah beberapa varian populasi adalah sama atau tidak. Uji ini dilakukan sebagai prasyarat dalam analisis independent sample t test dan Anova. Asumsi yang mendasari dalam analisis varian (Anova) adalah bahwa varian dari populasi adalah sama. Uji kesamaan dua varians digunakan untuk menguji apakah sebaran data tersebut homogen atau tidak, yaitu dengan membandingkan kedua variansnya. Jika dua kelompok data atau lebih mempunyai varians yang sama besarnya, maka uji homogenitas tidak perlu dilakukan lagi karena datanya sudah dianggap homogen. Uji homogenitas dapat dilakukan apabila kelompok data tersebut dalam distribusi normal. Uji homogenitas dilakukan untuk menunjukkan bahwa perbedaan yang terjadi pada uji statistik parametrik (misalnya Uji t, Anava,

Anacova) benar-benar terjadi akibat adanya perbedaan antar kelompok, bukan sebagai akibat perbedaan dalam kelompok (Usmadi, 2020).

Uji homogenitas variansi sangat diperlukan sebelum membandingkan dua kelompok atau lebih, agar perbedaan yang ada bukan disebabkan oleh adanya perbedaan data dasar (ketidakhomogenan kelompok yang dibandingkan). Ada beberapa rumus yang bisa digunakan untuk uji homogenitas variansi di antaranya: Uji Harley, Uji Cochran, Uji Levene, dan Uji Bartlett.

Uji Harley merupakan uji homogenitas variansi yang sangat sederhana karena cukup membandingkan variansi terbesar dengan variansi terkecil. Uji homogenitas variansi dengan rumus Harley bisa digunakan jika jumlah sampel antar kelompok sama. Misal ada dua populasi normal dengan dua varians. Sebuah hipotesis dibuat terkait uji dua varians yaitu:

$$H_0: \text{Varians 1} = \text{Varians 2}$$

$$H_1: \text{Varians 1} \neq \text{Varians 2}$$

Statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis adalah:

$$F_{\text{hitung}} = \frac{\text{Varians terbesar}}{\text{Varians terkecil}} \dots\dots\dots(2.25)$$

Di mana tolak H_0 jika $F_{\text{hitung}} \geq F_{\text{tabel}}$

F tabel adalah nilai tertentu yang digunakan sebagai pembanding dalam menentukan apakah pengujian F hitung hasilnya signifikan ataupun tidak. F hitung ini seringkali ditemukan pada beberapa uji yang berprinsip anova, uji regresi linier atau uji regresi data panel.