



SKRIPSI

Pemanfaatan Batubara dan Sekam Padi yang Digunakan untuk Pembakaran Bahan Baku Semen Di Tonasa V

Disusun dan diajukan oleh:

**NURHIKMA
D021 20 1001**



PRGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PEMANFAATAN BATUBARA DAN SEKAM PADI YANG DIGUNAKAN UNTUK PEMBAKARAN BAHAN BAKU SEMEN DI TONASA V

Disusun dan diajukan oleh

NURHIKMA

D021 20 1001

Telah dipertahankan di hadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 13 Agustus 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. H. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT.

NIP. 19711221 199802 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Svahid, S.T., M.T.

NIP. 19770707 200511 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurhikma
 NIM : D021 20 1001
 Program Studi : Teknik Mesin
 Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Pemanfaatan Batubara dan Sekam Padi yang digunakan untuk
 Pembakaran Bahan Baku Semen di Tonasa V”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 13 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Nurhikma



ABSTRAK

NURHIKMA, *Pemanfaatan Batubara dan Sekam Padi yang digunakan untuk Pembakaran Bahan baku Semen di Tonasa V* (dibimbing oleh Andi Erwin Eka Putra)

Industri semen merupakan sektor industri dengan konsumsi energi terbesar di Indonesia. Sebagai industri dengan *high energy*, industri semen membutuhkan pengelolaan energi yang baik agar dapat meminimalisir biaya produksi dan mengurangi emisi karbon yang dihasilkan. PT Semen Tonasa menggunakan *Suspension Preheater* dengan *Calcliner* untuk meningkatkan efisiensi. Cara yang dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar konvensional seperti minyak, gas, dan batubara. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah biomassa.

Tujuan penelitian ialah menganalisis karakteristik kualitas batubara dan sekam padi yang digunakan pada Preheater Line Tonasa V, menganalisis pengaruh nilai kalor terhadap bahan bakar dan mengetahui kinerja *Preheater* pada saat penambahan sekam padi.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dimulai pada bulan Februari 2024 di Pt. Semen Tonasa. Biring Ere, Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan dengan tahapan mengidentifikasi dan perumusan masalah, melakukan studi pustaka, pengambilan data, melakukan analisa hasil dan pembahasan, serta penarikan kesimpulan dan saran.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa batubara memiliki kualitas yang lebih baik dengan nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan sekam padi. Penambahan sekam padi pada batubara sebagai bahan bakar campuran mengakibatkan sedikit penurunan efisiensi pembakaran dari 80.92% menjadi 57.64%, yang disebabkan oleh kandungan kelembaban tinggi dan nilai kalor rendah pada sekam padi. Sehingga, sekam padi dapat dijadikan sebagai bahan bakar tambahan untuk mengurangi nilai emisi.

Kata Kunci: Batubara, sekam padi, nilai kalor, *preheater* dan efisiensi pembakaran.



ABSTRACT

NURHIKMA, *Utilization of Coal and Rice Husk for Raw Material Combustion in Cement Production at Tonasa V* (Supervised by Andi Erwin Eka Putra)

The cement industry is one of the largest energy consumers in Indonesia. As a high-energy industry, the cement sector requires efficient energy management to minimize production costs and reduce carbon emissions. PT Semen Tonasa uses a Suspension Preheater with Calciner to enhance efficiency. One way to reduce the use of conventional fuels such as oil, gas, and coal is by incorporating alternative energy sources like biomass.

The objective of this research is to analyze the quality characteristics of coal and rice husks used in the Preheater Line of Tonasa V, to assess the impact of calorific value on the fuel, and to evaluate the performance of the Preheater when rice husks are added.

This experimental research was conducted starting in February 2024 at PT Semen Tonasa, Biring Ere, Pangkep Regency, South Sulawesi. The research process involved identifying and formulating problems, conducting a literature review, collecting data, analyzing results and discussions, and drawing conclusions and recommendations.

The research findings indicate that coal has better quality with a higher calorific value compared to rice husks. The addition of rice husks to coal as a mixed fuel results in a slight reduction in combustion efficiency from 80.92% to 57.64%, primarily due to the high moisture content and low calorific value of rice husks. Therefore, rice husks can be used as an additional fuel to reduce emission levels.

Keywords: Coal, rice husks, calorific value, preheater, combustion efficiency.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Batubara	6
2.2 Jenis-Jenis Batubara	8
2.3 Biomassa	9
2.4 Suspension Preheater	13
2.4.1 Jenis-jenis Preheater.....	14
2.4.2 Prinsip Kerja Preheater	16
2.5 Batubara Mill	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2 Metode Pengambilan Data	20
3.2.1 Studi Kepustakaan (Library Research)	20
3.2.2 Studi Lapangan (Field Research)	21
3.2.3 Analisis Data	21



3.3	Prosedur Penelitian	21
3.3.1	Analisis Proksimate.....	21
3.3.2	Analisis Ultimate.....	23
3.3.3	Pengujian Kadar Air Sekam Padi	26
3.4	Diagram Alir Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Hasil Analisis Data Karakterisasi Kualitas Batubara dan Sekam Padi.....	29
4.2	Hasil Perhitungan stoikiometri udara untuk pembakaran	30
4.3	Hasil Perhitungan Massa Udara Sebenarnya pada saat oprasional.....	34
4.4	Hasil Perhitungan Efisiensi Pembakaran	35
4.5	Perhitungan Neraca Massa.....	35
4.6	Grafik dan Pembahasan	37
4.7	Analisa Neraca Massa	50
BAB V PENUTUP.....		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN.....		56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Suspension Preheater tanpa kalsiner	14
Gambar 2. In-Line Calciner	15
Gambar 3. Separate-Line Calciner.....	15
Gambar 4. Perpindahan panas secara Co-current & counter current	17
Gambar 5. Lokasi Penelitian (Google Earth).....	20
Gambar 6. Suspension Preheater	20
Gambar 7. Perbandingan Analisa Total Moisture Batubara VS Sekam	36
Gambar 8. Perbandingan Analisa ASH Batubara VS Sekam.....	37
Gambar 9. Perbandingan Analisa Sulfur Batubara VS Sekam.....	39
Gambar 10. Perbandingan Analisa Total Moisture Batubara VS Sekam	40
Gambar 11. Perbandingan Analisa Total Moisture Batubara VS Sekam	42
Gambar 12. Perbandingan Analisa Total Moisture Batubara VS Sekam.....	43
Gambar 13. Perbandingan Analisa Total Moisture Batubara VS Sekam.....	45
Gambar 14. Perbandingan Massa Udara Teoritis dan Massa Udara Sebenarnya	46
Gambar 15. Perbandingan Efisiensi Sebelum dan Sesudah Penambahan Sekam.....	48



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Produksi, Ekspor, Konsumsi dan Harga Batubara Tahun 2014-2019	6
Tabel 2. Produksi gabah kering Sulawesi Selatan tahun 2021.....	11
Tabel 3. Komposisi kimia sekam padi (Deptan, 2022)	12
Tabel 4. Komposisi Unsur kimia sekam padi (Deptan, 2022)	12
Tabel 5. Hasil Analisis Proksimate & Ultimate Komposisi Batubara.....	28
Tabel 6. Hasil Analisis Proksimate & Ultimate Sekam Padi (Ayu. R, 2016).....	29
Tabel 7. Nilai udara teoritis pembakaran batubara.....	31
Tabel 8. Nilai udara teoritis pembakaran sekam padi	32
Tabel 9. Massa udara sebenarnya pada saat oprasional	33
Tabel 10. Efisiensi Pembakaran Sebelum & Sesudah ditambahkan Sekam	34
Tabel 11. Neraca Panas Total	35



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
C	Carbon	%
H	Hidrogen	%
N	Nitrogen	%
IM	Inherent Moisture	%
TS	Total Sulfur	%
GHV	Gross Heating Value	Kcal/kg
FR	Fuel Ratio	%
FC	Fixed Carbon	%
ASH	Kadar Abu	%
VM	Volatile Matter	%
TM	Total Moisture	%
N	Kecepatan	RPM
A	Luas Penampang	m ²
% η	Efisiensi	%
Q	Kalor	kcal/h



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “**Pemanfaatan Batubara dan Sekam Padi yang digunakan untuk Pembakaran Bahan Baku Semen di Tonasa V**”. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peran banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan, dan masukan kepada penulis sehingga pada kesempatan ini penulis dengan kerendahan hati dan rasa hormat menghaturkan rasa terima kasih kepada orang tua penulis, Bapak **Baharuddin** dan Ibunda **Sri Wahyuni**.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan serta bantuan selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. H. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT.** selaku pembimbing atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan hingga akhir penyusunan skripsi ini.
2. Bapak **Ir. Andi Mangkau, MT.** dan Bapak **Ir. Baharuddin Mire, MT.** selaku tim penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis menjalani perkuliahan.
4. Seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala bantuan yang telah diberikan dalam pengurusan administrasi dan pengurusan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan.
5. Bapak H. Asruddin, SE., Akt. Selaku President Director PT. Semen Tonasa
6. Bapak Maryono, SE selaku S.M of Machine Maintenance 2 PT. Semen Tonasa
7. Segenap supervisor of maintenance 2 PT. Semen Tonasa



8. Segenap staff dan para karyawan PT. Semen Tonasa, khususnya unit machine maintenance 2. Terima kasih atas bantuannya selama proses pengambilan data dan pembuatan laporan.
9. Saudara – saudara seperjuangan ZTATOR 2020 yang setia menemani, membantu, dan mendukung penulis dari awal kuliah dan seterusnya.
10. Teman – teman, kakak senior serta junior seperjuangan Laboratorium *Internal Combustion* yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.
11. Teman – teman lainnya dari MAGENTA *Batch 1*.
12. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberi dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun dari pembaca agar penyusunan selanjutnya lebih baik. Penulis juga berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca serta pengetahuan tentang dasar – dasar teori dan perhitungan pada proses pembakaran di *preheater*.

Gowa, 13 Agustus 2024

Penulis



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri di Indonesia saat ini sedang berkembang pesat dalam rangka melaksanakan pembangunan nasional. Sejalan dengan meningkatnya laju pembangunan, konsumsi energi di Indonesia juga terus meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan ini terjadi hampir pada semua sektor, baik sektor industri, transportasi, komersial, rumah tangga, pembangkit listrik dan sektor lainnya.

Industri semen merupakan sektor industri dengan konsumsi energi terbesar di Indonesia. Sebagai industri dengan *high energy*, industri semen membutuhkan pengelolaan energi yang baik agar dapat meminimalisir biaya produksi dan mengurangi emisi karbon yang dihasilkan. Isu mengenai hemat energi itu sendiri telah lama dibicarakan di dunia industri semen dengan harapan penggunaan energi dapat dilakukan sebaik mungkin. Pada awal pembuatan semen, *kiln* digunakan sebagai alat pemasakan utama. Namun, seiring berjalannya waktu ditemukan teknologi *Suspension Preheater* dengan *Calcliner*. Pada awal proses pemanasan bahan baku terjadi dengan mengalirkan gas hasil proses pembakaran di kiln melalui *suspension preheater*. Dengan penambahan kalsiner akan didapat presentase kalsinasi yang sangat tinggi, yaitu 90-95% sehingga beban panas di kiln bisa lebih ringan (Angelina et al., 2021).

Bahan bakar yang digunakan pada kalsiner PT. Semen Tonasa ialah batu bara dan sekam padi. Asia merupakan pasar Batubara terbesar di dunia, yang saat ini mengonsumsi 54% dari konsumsi batubara dunia. Banyak negara yang tidak memiliki sumber daya energi alami yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi, oleh karena itu negara-negara tersebut harus mengimpor energi untuk memenuhi kebutuhan negaranya. Bukan hanya kekurangan pasokan batubara setempat yang membuat negara-negara mengimpor batubara, tapi demi untuk memperoleh batubara dengan jenis tertentu.



Penghasil batubara terbesar seperti Tiongkok, Amerika Serikat dan India, juga mengimpor batubara karena alasan mutu dan logistik. Indonesia adalah salah satu produsen dan eksportir batubara yang besar di dunia. Indonesia merupakan negara yang memiliki cadangan batubara sebanyak 0,6% dari cadangan batubara dunia, atau sekitar 229 miliar ton dari total 860 miliar ton. Berdasarkan pulau besar di Indonesia, Kalimantan dan Sumatera merupakan daerah penghasil batubara terbesar (Aryani et al., 2013).

Dalam rangka mengendalikan perubahan iklim, Pemerintah telah melakukan ratifikasi *Paris Agreement* melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim) yang didalamnya memuat kewajiban Pemerintah dalam kontribusi pengurangan emisi gas rumah kaca yang ditetapkan secara nasional untuk membatasi kenaikan suhu rata-rata global di bawah 2°C (dua derajat celcius) hingga 1,5°C (satu koma lima derajat celcius) dari tingkat suhu pra industrialisasi.

Sebagai tindak lanjut konkret dari komitmen tersebut, Pemerintah Indonesia telah menetapkan penyelenggaraan nilai ekonomi karbon untuk pencapaian target kontribusi yang ditetapkan secara nasional dan pengendalian emisi gas rumah kaca dalam pembangunan nasional Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) yang dituangkan dalam Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021.

PT Semen Tonasa berkomitmen terus berinovasi dan mengembangkan teknologi untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan melalui pemanfaatan energi alternatif sebagai bahan bakar. Komitmen manajemen tersebut ditegaskan melalui KPI Thermal Substitution Rate (TSR) dengan kenaikan target yang cukup signifikan yaitu sebesar 0.5% di tahun 2020 menjadi 3.7% di tahun 2021 atau naik sebesar 131%. Selain sebagai antisipasi terjadinya kenaikan harga batubara, peningkatan pemakaian Alternatif Fuel ini juga mendukung program rencana aksi mitigasi perubahan iklim dari



Pemerintah (RAN GRK) dimana industri semen di minta berpartisipasi (Wibowo et al., 2022)

Cara yang dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar konvensional seperti minyak, gas, dan batubara adalah dengan mencari sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan dan diperbaharui. Energi alternatif yang dibutuhkan harus memenuhi kriteria agar dapat digunakan, sehingga pemanfaatannya dapat bersaing dengan energi konvensional. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah biomassa. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik potensi limbah sekam padi di Sulawesi Selatan mencapai 1.000 ton per hari.

Beberapa studi telah dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik sekam padi untuk digunakan sebagai pengganti batubara secara parsial seperti yang dilakukan oleh (Chen et al., 2009) yang melakukan studi pada karakteristik thermal campuran batubara dan sekam padi melalui analisa thermogravimetry (TG) pada drop tube furnace (DTG) untuk aplikasi di *blast furnace*. Dari hasil studi tersebut diketahui bahwa campuran batubara dan sekam padi dapat dibakar bersama – sama bergantung pada kebutuhan *volatile matter* (VM) pada bahan bakar dan pada rasio pencampuran dibawah 50%, tidak ada perubahan signifikan terhadap karakteristik *thermal* dari *unburned char*. Pada studi (Yunaidi et al., 2020) melakukan cofiring sekam padi dengan ampas tebu pada boiler, meskipun kandungan abu pada sekam padi adalah 20,67% tetapi dari hasil analisa abu, hal tersebut tidak akan menyebabkan kerusakan seperti *slagging*, *fouling*, korosi, *sintering* dan aglomerasi. Sedangkan dari segi emisi, pada studi (Kwong et al., 2007) yang melakukan pengujian cofiring sekam padi dengan batubara pada ruang bakar skala lab, hasil pembakaran akan menghasilkan jumlah emisi CO, CO₂, NO_x dan SO₂ yang lebih rendah jika dibandingkan hanya menggunakan batubara. Jika dihitung berdasarkan emisi per satuan energi (g/kWh), penurunan maksimum akan terjadi pada rasio pencampuran 30% sekam padi. Selain pengujian secara langsung, *assessment* karakteristik dari penggunaan biomassa pada pembangkit dapat dilakukan dengan menggunakan software simulasi seperti



thermoflex (Amirabedin et al., 2014) Pada studi tersebut simulasi dilakukan pada pembangkit listrik dan panas dengan menggunakan bahan bakar batubara dan biomassa.

Karakteristik batu bara dan sekam padi perlu diketahui terlebih dahulu agar sesuai dengan standar yang digunakan pada pabrik semen. Maka dari latar belakang inilah yang mendasari penulis melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan Batubara dan Sekam Padi yang digunakan untuk Pembakaran Bahan Baku Semen Di Tonasa V”

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik kualitas batubara dan sekam padi yang digunakan *Preheater Line* Tonasa V?
2. Bagaimana pengaruh nilai kalor terhadap pembakaran?
3. Bagaimana kinerja *Preheater* pada saat penambahan sekam padi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis karakteristik kualitas batubara dan sekam padi yang digunakan pada *Preheater Line* Tonasa V.
2. Menganalisis pengaruh nilai kalor terhadap pembakaran.
3. Untuk mengetahui kinerja *Preheater* pada saat penambahan sekam padi.

1.4 Batasan Masalah

1. Evaluasi karakteristik batubara dan sekam padi berlokasi di *Preheater Line* Tonasa V.
2. Data yang digunakan adalah data pada Februari 2024.
3. Batubara yang digunakan tidak ditentukan jenisnya.
4. Ukuran mess yang digunakan batu bara ialah mess 200.
5. Sekam padi yang digunakan tidak diberikan perlakuan apapun.
6. Sekam padi diperoleh dari daerah Sulawesi Selatan.



1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi Mahasiswa
 - A. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
 - B. Memperoleh pemahaman terkait karakteristik batubara dan sekam padi mempengaruhi proses pembakaran dalam industri semen.
2. Bagi Perusahaan
 - A. Menambah wawasan dalam efisiensi energi melalui karakteristik pembakaran bahan bakar alternatif.
 - B. Sebagai referensi tentang sekam padi dapat digunakan secara efektif dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung kebijakan keberlanjutan



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Batubara

Batubara merupakan sumber energi alternatif yang sangat berperan dalam meningkatkan laju pembangunan dan pertumbuhan ekonomi. Dengan meningkatnya harga batubara di pasar domestik maupun mancanegara pada beberapa tahun terakhir ini, maka berbagai upaya telah dilakukan oleh berbagai pihak untuk mengeksploitasi dan memanfaatkan batubara yang ada di berbagai daerah di Indonesia. Oleh karena itu produksi dan konsumsi batubara di Indonesia akan terus ditingkatkan terutama sebagai bahan bakar.

Tabel 1. Produksi, Ekspor, Konsumsi dan Harga Batubara Tahun 2014-2019

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Produksi (Dalam juta ton)	458	461	456	461	425 ¹	400 ¹
Ekspor (Dalam juta ton)	382	375	365	364	311 ¹	160 ¹
Domestik (Dalam juta ton)	76	86	91	97	114 ¹	240 ¹
Harga [HBA] (USD/TON)	72,6	60,1	61,8	n.a	n.a	n.a

Sumber: Indonesian Batubara Mining Association (APBI) & Ministry of Energy and Mineral Resources

Batubara juga merupakan bahan galian strategis dan menempati posisi yang sangat penting dalam pembangunan nasional, maka posisi batubara sebagai bahan bakar alternatif yang sangat diharapkan dapat mengantisipasi krisis energi dengan meningkatkan pemanfaatannya untuk keperluan domestik sebagai bahan bakar pada pembangkit tenaga listrik, industri maupun untuk kepentingan ekspor (Sukandarrumidi, 2017).

Untuk keperluan ini dibutuhkan batubara yang mempunyai kualitas yang baik kualitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah pengaruh kandungan air, abu, zat terbang, karbon padat yang dapat menurunkan kualitas pada batubara.



1. Analisis proksimat

Berdasarkan *American Society for Testing and Materials (ASTM) D7582-15 Standard test Methods for Proximate Analysis of Batubara and Coke by macro Thermogravimetric Analysis*, parameter analisis proksimat yang dilakukan meliputi:

- a. Analisis Kadar Air Lembab (*Moisture*), penentuan kadar ini bertujuan untuk mengetahui kadar udara yang terdapat dalam batubara.
- b. Analisis Kadar Abu (*Ash*), abu merupakan kandungan residu noncombustible yang umumnya terdiri dari senyawa-senyawa silika oksida (SiO_2), kalsium oksida (CaO), karbonat, dan mineral-mineral lainnya.
- c. Analisis Kadar Zat Terbang (*Volatile Matter*), merupakan kandungan batubara yang terbebaskan. pada temperatur tinggi tanpa keberadaan oksigen (misalnya C_xH_y , H_2 , dan SO_x).
- d. Analisis proksimat lain seperti analisis karbon padat didapatkan berdasarkan perhitungan.

2. Analisis Ultimate

Berdasarkan *American Society for Testing and Materials (ASTM) D5373-16 Metode Uji Standar Penentuan Karbon, Hidrogen dan Nitrogen dalam Analisis Sampel Batubara dan Karbon dalam Analisis Sampel Batubara*, analisis parameter akhir yang dilakukan meliputi:

- a. Nilai karbon, karbon yang terkandung dalam batubara bertambah sesuai dengan peningkatan derajat batubaranya. Karbon bertambah sesuai dengan naiknya derajat batubara kira-kira 60-100%.
- b. Nilai hidrogen, hidrogen yang terkandung dalam batubara berupa kombinasi alifatik dan aromatic dan berakhir habis akibat evolusi metana.
- c. Nilai oksigen, oksigen yang terkandung dalam batubara berupa ikatan atau kelompok hidroksil, metoksil dan karbonit, merupakan oksigen yang tidak reaktif.



- d. Nilai nitrogen, nitrogen yang terkandung dalam batubara berupa senyawa organik. Nitrogen terbentuk hampir seluruhnya dari protein bahan tanaman asalnya. Jumlahnya sekitar 0,5% sampai 3,0%. Batubara berbitumin biasanya mengandung lebih banyak nitrogen dibandingkan lignit dan antrasit.
- e. Nilai sulfur, sulfur dalam batubara umumnya hanya dalam jumlah kecil dan kemungkinan berasal dari protein tanaman pembentuk dan diperkaya oleh bakteri sulfur.

2.2 Jenis-Jenis Batubara

Berdasarkan kualitasnya, batubara memiliki kelas (*grade*) yang secara umum diklasifikasikan menjadi empat kelas utama menurut standar ASTM (Kirk-Othmer, 1979) atau lima kelas jika dimasukkan *peat* atau *gambut* sebagai jenis batubara yang paling muda. Dalam hal ini kelas batubara disertai dengan kriteria berdasarkan analisis *proximate* dan nilai kalornya, juga kriteria berdasarkan analisis *ultimate* dan kandungan sulfur total serta densitasnya. Masing-masing jenis batubara tersebut secara berurutan memiliki perbandingan C:O dan C:H yang lebih tinggi. Antrasit merupakan batubara yang paling bernilai tinggi, dan lignit, yang paling bernilai rendah.

1. Gambut

Golongan ini sebenarnya termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Hal ini disebabkan karena masih merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat awal dari bahan dasarnya (tumbuh-tumbuhan).

2. Lignit

Lignit sering disebut juga *brown-batubara*, golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah sehingga seringkali digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik.

3. Subbituminous/ Bitumen Menengah



Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi. Subbituminous umum digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga uap. Subbituminous juga merupakan sumber bahan baku yang penting dalam pembuatan hidrokarbon aromatis dalam industri kimia sintetis.

4. Bituminous

Bituminous merupakan mineral padat, berwarna hitam dan kadang coklat tua, rapuh (*brittle*) dengan membentuk bongkah-bongkah prismatic berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan sering digunakan untuk kepentingan transportasi dan industri serta untuk pembangkit listrik tenaga uap.

5. Antrasit

Golongan ini berwarna hitam, keras, kilap tinggi, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocoidal. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi.

2.3 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Biomassa yang umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya (Parinduri.2020).

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Prinsip Dasar Pada Biomassa, Tanaman akan menyerap energi dari matahari melalui



proses fotosintesis dengan memanfaatkan air dan unsur hara dari dalam tanah serta CO₂ dari atmosfer yang akan menghasilkan bahan organik untuk memperkuat jaringan dan membentuk daun, bunga atau buah. Pada saat biomassa diubah menjadi energi CO₂ akan dilepaskan ke atmosfer. Yang dalam hal ini siklus CO₂ akan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan yang dihasilkan dari pembakaran minyak bumi atau gas alam. Ini berarti CO₂ yang dihasilkan tersebut tidak memiliki efek terhadap kesetimbangan CO₂ di atmosfer. Kelebihan inilah yang dimanfaatkan untuk mendukung terciptanya energi yang berkelanjutan (Parinduri.2020).

Sekam padi merupakan hasil samping saat proses penggilingan padi (Amaliah et al., 2020). Sekam padi adalah lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua bentuk daun yaitu sekam kelopak dan sekam mahkota. Pada proses penggilingan padi, sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Dari penggilingan padi, akan menghasilkan sekitar 25% sekam, 8% dedak, 2% bekatul dan 65% beras. Sekam tersusun dari jaringan serat-serat selulosa yang mengandung banyak silika dalam bentuk serabut-serabut yang sangat keras. Pada keadaan normal, sekam berperan penting melindungi biji beras dari kerusakan yang disebabkan oleh serangan jamur secara tidak langsung, melindungi biji dan juga menjadi penghalang terhadap penyusupan jamur. Selain itu, sekam juga dapat mencegah bau yang tidak sedap (tengik) pada beras, karena dapat melindungi lapisan tipis yang kaya minyak terhadap kerusakan mekanis selama pemanenan, penggilingan dan pengangkutan (Sofhia et al., 2020).

Di Indonesia, sekam padi (kulit gabah) biasanya bertumpuk dan hanya menjadi bahan buangan di sekitar penggilingan padi. Pemanfaatannya masih sangat terbatas, hasil pembakaran sekam padi biasanya digunakan sebagai abu gosok untuk membersihkan peralatan rumah tangga dan digunakan untuk mengeringkan bata pada tempat-tempat pembuatan genteng dan batu bata. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik potensi limbah sekam padi di Sulawesi Selatan mencapai 1.000 ton per hari.



Tabel 2. Produksi gabah kering Sulawesi Selatan tahun 2021.

Kabupaten/Kota	Produksi Gabah Kering (ton) x	Limbah Sekam (ton) 23%x
Kepulauan Selayar	10,272.38	2,362.65
Bulukumba	204,673.36	47,074.87
Bantaeng	50,884.15	11,703.35
Jeneponto	156,998.34	36,109.62
Takalar	104,911.10	24,129.55
Gowa	241,348.43	55,510.14
Sinjai	103,040.49	23,699.31
Maros	210,240.20	48,355.25
Pangkajene Dan Kepulauan	127,381.31	29,297.70
Barru	122,583.67	28,194.24
Bone	817,823.30	188,099.36
Soppeng	273,553.91	62,917.40
Wajo	688,151.59	158,274.87
Sidenreng Rappang	464,228.32	106,772.51
Pinrang	563,228.38	129,542.53
Enrekang	39,950.94	9,188.72
Luwu	286,006.64	65,781.53
Tana Toraja	85,564.18	19,679.76
Luwu Utara	195,418.07	44,946.16
Luwu Timur	282,097.85	64,882.51
Toraja Utara	89,385.12	20,558.58
Kota Makassar	11,924.93	2,742.73
Kota Pare-Pare	4,229.72	972.84
Kota Palopo	18,975.05	4,364.26
Sulawesi Selatan	5,152,871.43	1,185,160.43

Sumber: BPS, Survei Kerangka Sampel Area (KSA) (2021)



Dari proses penggilingan padi, biasanya diperoleh sekam 20-30%, dedak antara 8-12% dan beras antara 50-63,5% data bobot awal gabah. Sekam dengan presentase yang tinggi tersebut dapat menimbulkan problem lingkungan.

Tabel 3. Komposisi kimia sekam padi (Deptan, 2022)

Komponen	Persentase Kandungan (%)
Kadar Air	9,02
Protein Kasar	3,03
Lemak	1,18
Serat Kasar	35,68
Abu	17,71
Karbohidrat Kasar	33,71

Sumber: Deptan (2022)

Tabel 4. Komposisi Unsur kimia sekam padi (Deptan, 2022)

Komponen	Persentase Kandungan (%)
Karbon	48,73
Hidrogen	5,91
Nitrogen	0,64
Oksigen	44,64
Sulfur	00,5

2.4 Suspension Preheater

Suspension Preheater merupakan suatu susunan empat buah *cyclon* dan satu buah *calsiner* yang tersusun menjadi satu string. *Suspension Preheater* yang digunakan terdiri dari dua bagian yaitu: in-line *calsiner* (ILC) dan separate *line calsiner* (SLC). Jadi preheater yang digunakan adalah suspension preheater dengan dua string. Sampai pertengahan tahun 1980, jenis ini merupakan sistem dengan konsumsi bahan bakar terendah. Preheater jenis ini dibuat dalam beberapa konfigurasi dengan kapasitas sampai 4500 ton/hari yang kebanyakan dikombinasikan dalam bentuk *single* atau *twin cyclone stage* (Bila, 2022).



Gas keluaran kiln masih dapat digunakan untuk mengeringkan raw material dengan kandungan air sampai 8% jika mill beroperasi bersamaan dengan kiln sehingga suhu gas sisa yang relatif tinggi tidak dianggap sebagai kehilangan panas. Sistem preheater dipasang di dalam menara yang terbuat dari baja atau beton dengan ketinggian sekitar 60-120 m (6 tingkat) di atas inlet kiln. Preheater dengan 4-6 tingkat merupakan jenis yang paling sesuai untuk menghadapi masalah sirkulasi dengan adanya konsentrasi yang berlebih sehingga dapat menyebabkan masalah penyumbatan (*clogging*) pada sistem preheater. Alat ini merupakan alat yang digunakan untuk pemanasan awal bahan baku sebelum masuk *rotary kiln* (Bila, 2022).

Proses separasi bahan baku dari aliran tersuspensi di dalam gas panas terjadi akibat adanya gaya sentrifugal yang dialami oleh bahan baku, sehingga partikel bahan baku akan cenderung terlempar ke dinding *cyclone*. Proses separasi ini sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, densitas partikel, kecepatan aliran, dan bentuk serta dimensi *cyclone*. Perpindahan panas di dalam *cyclone*, terbesar terjadi di dalam *Riser Duct* masing-masing *cyclone*. Hal ini terjadi terutama karena beda suhu antara gas dan umpan kiln masih cukup besar. Proses perpindahan panas antara gas panas dan material dingin berjalan secara *co-current* atau searah. Pada *Down Pipe* masing-masing *cyclone* dipasang *Tipping Valve*, sehingga ada sedikit material untuk melindungi agar tidak terjadi aliran gas lewat *Down Pipe*. Dinding bagian dalam *cyclone* dan *calciner* dilapisi oleh *Refractory Brick* dan *Castable* yang merupakan bahan atau material yang tahan terhadap panas dan aus. Pada unit *Suspension Preheater* perpindahan panas berlangsung efektif tergantung pada *retention time* dan *turbulensi* (Bila, 2022).

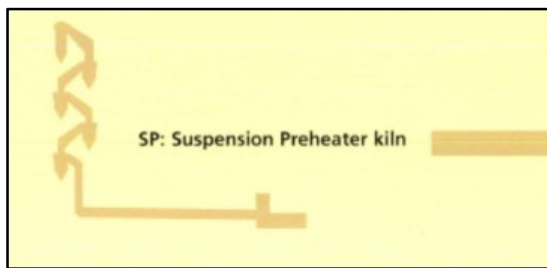
2.4.1 Jenis-jenis Preheater

1. Suspension Preheater Tanpa Calciner

Pada awal perkembangan dalam industri semen, proses yang terjadi di *suspension preheater* hanyalah pengeringan pemanasan awal umpan kiln sedangkan proses kalsinasi terjadi di kiln. Bahan baku mengalami proses pemanasan dengan mengalirkan gas hasil sisa proses pembakaran di kiln



melalui suspension preheater tanpa terjadi proses kalsinasi atau sedikit adanya proses kalsinasi. Namun tipe ini memiliki kekurangan yang dirasa kurang menguntungkan yaitu proses kalsinasi menghasilkan presentase yang lebih kecil dibandingkan dengan suspension preheater dengan *calciner*. Persentase kalsinasi dari *suspension preheater* tanpa *calciner* menurut penelitian tidak akan melebihi 40%. Oleh karena itu, saat ini banyak industri yang memproduksi semen menggunakan suspension preheater dengan *calciner*.



Gambar 1. Suspension Preheater tanpa kalsiner

(Sumber: Bila, 2022)

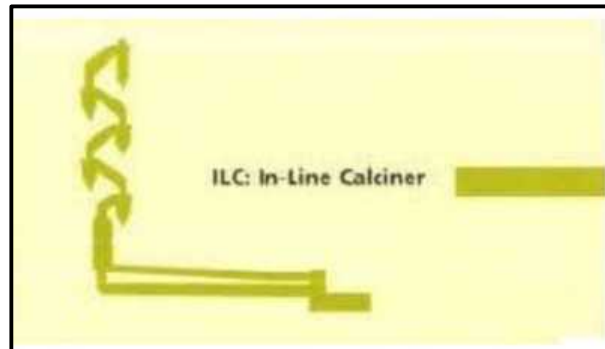
2. Suspension Preheater Dengan Calciner

Seiring berkembangnya teknologi, Saat ini *suspension preheater* sudah dilengkapi calciner sehingga setelah dari proses pemanasan dan pemisahan, material akan dilanjutkan dengan proses kalsinasi. Persentase kalsinasi yang dapat dihasilkan dari suspension preheater dengan calciner ini dapat mencapai 90-95% dan oleh sebab itu, bebam panas di kiln bisa lebih ringan (Iqbal M Fariz,2018).

Suspension preheater dengan calciner terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. *In-Line Calciner*

Tipe ini merupakan tipe suspension preheater dengan kalsiner di bawahnya. Pada tipe ini seluruh gas hasil pembakaran kiln harus melewati kalsiner terlebih dahulu sehingga tipe ini memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan emisi NOx yang lebih rendah dibanding tipe *Sparate-Line Calciner* (Andre vandyan,2015).

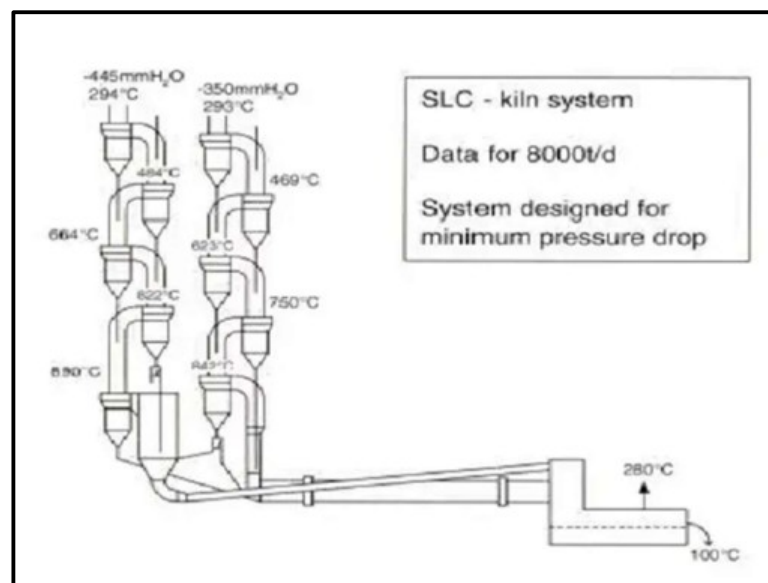


Gambar 2. In-Line Calciner

(Sumber: Andre Vandyan, 2015)

2. Separate-Line Calciner

Tipe ini merupakan susunan suspension preheater dengan kalsiner yang terpisah. Sejak ruang kalsinasi sebagian diimbangi dari kiln riser, *Separated -Line Calciner* dikenal sebagai “*air-only*”. Sistem ini biasanya menggunakan *suspension preheater* dengan *string* ganda. Udara pembakaran diperoleh dari saluran udara tersier yang terpisah. Karena gas hasil pembakaran kiln tidak melewati kalsiner, maka ukuran kalsiner dapat diperkecil untuk menyesuaikan waktu tinggal dan kecepatan gas yang diperlukan (Andre Vandyan, 2015).



Gambar 3. Separate-Line Calciner

(Sumber: Andre Vandyan, 2015)



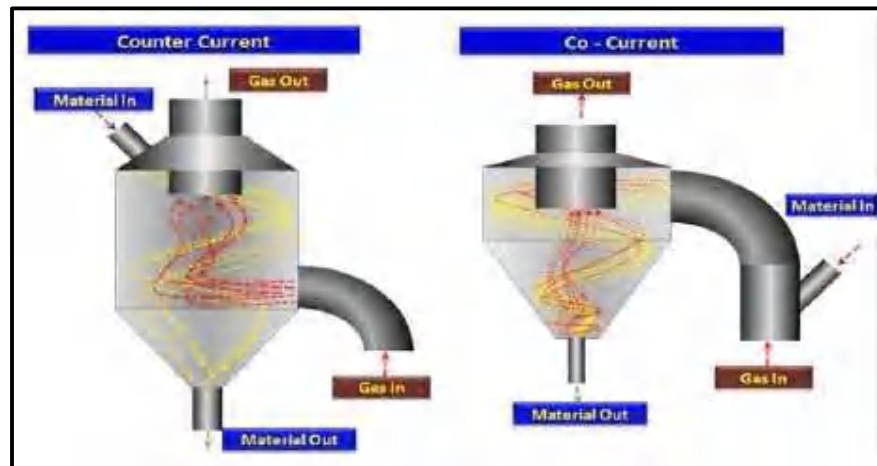
2.4.2 Prinsip Kerja Preheater

Proses separasi bahan baku dari aliran tersuspensi di dalam gas panas terjadi akibat adanya gaya sentrifugal yang dialami oleh bahan baku sehingga partikel bahan baku akan cenderung terlempar ke dinding *cyclone*. Proses separasi ini sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, densitas partikel, kecepatan aliran, dan bentuk serta dimensi *cyclone* (Andre Vandyan, 2015).

Perpindahan panas di dalam *cyclone*, terbesar terjadi di dalam *Riser Duct* masing-masing *cyclone*. Hal ini terjadi terutama karena beda suhu antara gas dan umpan kiln masih cukup besar. Proses perpindahan panas antara gas panas dan material dingin berjalan secara *co-current* atau searah. Pada *Down Pipe* masing-masing *cyclone* dipasang *Tipping Valve*, sehingga ada sedikit material untuk melindungi agar tidak terjadi aliran gas lewat *Down Pipe*. Dinding bagian dalam *cyclone* dan calciner dilapisi oleh *Refractory Brick* dan *Castable* yang merupakan bahan atau material yang tahan terhadap panas dan aus.

Pada unit *Suspension Preheater* perpindahan panas berlangsung efektif tergantung pada retention time dan turbulensi. Metode perpindahan panas dapat dibagi menjadi dua cara, yaitu:

1. Transfer panas aliran searah (*Co-current*) Kontak panas antara media pemanas dan bahan yang dipanaskan berlangsung searah.
2. Transfer panas aliran berlawanan arah (*Counter current*) Kontak panas antara media pemanas dan bahan yang dipanaskan arah alirannya berlawanan.



Gambar 4. Perpindahan panas secara *Co-current* & *counter current*

(Sumber: Andre Vandyan, 2015)

2.5 Batubara Mill

Batubara Mill adalah alat untuk menggerus batubara sehingga menjadi serbuk yang berukuran 200 mesh. Dan untuk membawa serbuk batubara dari *mill* menuju burner, digunakan hembusan udara primer. Udara primer dihasilkan dari *Primary Air Fan* dan sebelum masuk akan dipanaskan terlebih dahulu pada pemanas (*Air Heater*) untuk mengeringkan kandungan air serbuk batubara (Ulum et al., 2013). Pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap, *batubara mill* memegang peranan penting dalam tercapainya pembakaran yang efisien di dalam ruang bakar, yaitu proses penggerusan batubara, pengeringan *moisture* batubara, pengklasifikasian batubara dan transportasi batubara menuju *boiler* (Holtshauzen, 2008).

Jumlah aliran batubara yang masuk kedalam *mill* perlu diperhatikan agar tidak adanya tumpukan batubara pada *mill* yang dapat menyebabkan terjadinya swabakar pada *mill* (David, 2016). Proses *drying* pada batubara merupakan proses untuk menghilangkan *moisture* yang terdapat pada batubara dengan penguapan. Untuk menghilangkan kandungan *moisture* pada batubara, proses *drying* di dalam *batubara mill* adalah dengan memberi sumber panas dalam hal ini udara primer (Nugroho et al., 2006).

Udara primer yang digunakan untuk pengeringan dan pengiriman batubara dari *mill* ke *furnace* merupakan udara panas dari *primary air fan*.



Jumlah aliran udara pada *mill* perlu diperhatikan karena jika *air flow rate* terlalu tinggi, akan meningkatkan konsentrasi oksigen di permukaan batubara sehingga memperbesar pula kemungkinan terjadinya *spontaneous combustion* pada *mill* (Kurniastuti et al., 2015).

Proses *batubara drying* di dalam *mill* akan menyebabkan temperatur *batubara* turun serta *moisture* di dalamnya berkurang sehingga temperatur udara akan turun, akan berpengaruh terhadap perubahan temperatur udara primer serta *flow rate* udara akibat *mass transfer* dari batubara (Bhambare et al., 2010). *Drying Capacity* dipengaruhi oleh dua faktor yaitu *air flow* dan temperatur udara yang masuk ke dalam *batubara pulveriser mill*. Semakin tinggi temperatur maka kebutuhan udara untuk proses pengeringan batubara di dalam *batubara pulveriser mill* akan berkurang (Gills, 1984). Jumlah aliran batubara yang masuk kedalam *mill* perlu diperhatikan agar tidak adanya tumpukan batubara pada *mill* yang dapat menyebabkan terjadinya swabakar pada *mill* (David, 2016).

Jumlah aliran udara pada *mill* perlu diperhatikan karena jika *air flow rate* terlalu tinggi, maka akan meningkatkan konsentrasi oksigen di permukaan batubara sehingga memperbesar pula kemungkinan terjadinya *spontaneous combustion* pada *mill*. Pengaturan Temperatur udara masuk akan mempengaruhi temperatur udara yang keluar dari *mill*. Kesalahan dalam penentuan temperatur udara masuk akan menyebabkan batubara terbakar ketika masih berada pada *mill* jika terlalu tinggi (Kurniastuti et al., 2015).

Suplai batubara yang secara kontinyu dari *inlet pipe* akan menyebabkan pada satu waktu tertentu area *bowl* penuh dengan batubara *raw* maupun *fine*. Akumulasi dari debu batubara di dalam *pulveriser* akan meningkatkan kemungkinan terjadinya kebakaran *mill* (Sujanti, 1999). Semua jenis batubara memiliki perbedaan potensi untuk terbakar dengan sendirinya, besarnya suhu yang diperlukan untuk mencapai temperatur kritis dan titik inisiasi pembakaran pun berbeda, semakin rendah kualitas batubara maka semakin rendah temperatur kritisnya dan sebaliknya semakin tinggi kualitas batubara maka semakin tinggi titik temperatur kritis batubara (Muchjidin, 2006). Batubara



kering saat diangkut dengan udara ke ruang pembakaran harus menghindari terjadinya swabakar serta menghindari *moisture* yang masih berlebih. Pada batubara subbituminus temperatur udara masuk 330-380°C dan temperatur udara keluar 71°C (Basu et al., 2012). Batubara khususnya *pulverized* batubara mempunyai kecenderungan untuk terbakar sendiri (*self combustion*) dan jika tercampur dengan udara pada kondisi tertentu memungkinkan untuk terjadi ledakan, kecenderungan batubara untuk terbakar sendiri dibatasi dengan temperatur kritis batubara, jika lebih dari itu maka batubara memiliki kecenderungan ter-*selfcombustion* (Umar et al., 2012).

Self combustion pada batubara terjadi akibat dari kontak udara yang secara cepat ataupun lambat menunjukkan tanda-tanda oksidasi dengan penurunan nilai kalori, *volatile matter*, dan terjadinya *swelling capacities*. Reaksi eksotermis yang menghasilkan panas yang tidak hilang akan mencapai temperatur inisiasi yang pada akhirnya membentuk titik api pada *hot spot* batubara (Falcon, 1986).