



MODEL SEBARAN AERIAL PARTIKULAT HASIL PEMBAKARAN BATUBARA DAN KARAKTERISTIKNYA

**DISERTASI
UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN
MEMPEROLEH GELAR DOKTOR**

OLEH :

HENDRI PRANANTA P.

NIM : 137150100111006

**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**



DISERTASI

MODEL SEBARAN AERIAL PARTIKULAT HASIL PEMBAKARAN BATUBARA DAN KARAKTERISTIKNYA

Oleh:

Hendri Prananta P.

NIM : 137150100111006

telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal **12 desember 2018**
dan dinyatakan memenuhi syarat

Tim Promotor

Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS
Promotor

Amin Setyo Leksono, M.Si., Ph.D.
Ko-Promotor 1

Dr. Bagyo Yanuwadi
Ko-Promotor 2

Malang, 12 Desember 2018

PASCASARJANA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Direktur,

Prof. Dr. Abdul Hakim., M.Si.
NIP. 196102021985031006



IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

JUDUL DISERTASI : MODEL AERIAL PARTIKULAT HASIL
PEMBAKARAN BATUBARA DAN
KARAKTERISTIKNYA

Nama Mahasiswa : Hendri Prananta P.
NIM : 137150100111006
Program Studi : Pogram Doktor Ilmu Lingkungan

Komisi Promotor
Promotor : Prof.Dr.Ir. Soemarno, MS.
Ko-Promotor : Amin Setyo Leksono, M.Si, Ph.D.
: Dr. Bagyo Yanuwadi

Tim Penguji : Dr. Fatchur Rohman, M.,Si.
: Dr. Rer. Nat. Ir. Arief Rachmansyah
: Agung Murti Nugroho.,ST.,MT.,Ph.D.

Tanggal Ujian : 12 Desember 2018

SK Penguji : Perubahan Nomor 543 Tahun 2015. Direktur
Pascasarjana Universitas Brawijaya Nomor 279
Tahun 2018



PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Penulis menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan Penulis, di dalam naskah Disertasi ini dengan judul “MODEL SEBARAN AERIAL PARTIKULAT HASIL PEMBAKARAN BATUBARA DAN KARAKTERISTIKNYA” tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, Penulis bersedia Disertasi (Doktor) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 12 Desember 2018

Mahasiswa

Materai

Rp 6.000,-

Hendri Prananta P.

NIM. 137150100111006



HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk Kedua Orang Tuaku Tercinta
Minpin Perangin Angin
Kasta Sinuhaji

Untuk Istriku Tercinta
Esti Rilayni Gt Sinuraya Amk

Untuk Ke Tiga Anakku Tercinta
Jesija Agrivina P
Beram Pratama P
Agitha Jberena P

Untuk Saudara-Saudaraku Tercinta
Reno P, Herawati P, A.Keb., Jptu. Japaris P.SH., Japiter P.SH.Spd.

Untuk Peneliti Selanjutnya

[illegible]



RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

1	Nama Lengkap	: Hendri Prananta Perangin-Angin ST., MT.
2	Tempat/ Tanggal Lahir	: Berastagi, 19 Juli 1974
3	Jenis Kelamin	: Pria
4	Agama	: Kristen
5	Instansi Asal	: Staf Pengajar Fakultas MIPA Universitas Papua
6	Alamat Instansi	: Jalan Gunung Salju, Amban, Manokwari Barat
7	No. Telp / Fax Instansi	:
8	Alamat Rumah	: Komplek Perumahan Amban Permai Jalan. KRI Marta Dinata, Amban Permai, No. 29 A, Manokwari, Papua Barat
9	No. Telp / HP rumah	: 081334219008
10	Email	: hppunipa@gmail.com

PENDIDIKAN

NO	TINGKAT	PENDIDIKAN	JURUSAN	TAHUN	TEMPAT
1	SD	SD Inpres RH Berastagi		1981	Berastagi
2	SMP	SMP Negeri 2 Berastagi		1987	Berastagi
3	STM	STM Negeri 1 Berastagi	Elektronika	1990	Berastagi
4	S-1	Institut Teknologi Medan	Elektro	1994	Medan
5	S-2	Institut Teknologi Bandung	Rekayasa Pertambangan	2003	Bandung

**PENGALAMAN PEKERJAAN**

NO	RINCIAN	TAHUN
1	Asisten Dosen Pengukuran Besaran Listrik, Institut Teknologi Medan	2000 – 2003
2	Instalatur Listrik	2000 – 2003
3	Staf Pengajar Fakultas MIPA UNIPA	2006 – sekarang
4	Sekretaris Jurusan Teknik	2008 – 2012
5	Ketua Program Studi S1 Teknik Pertambangan	2012 – 2013
6	Koordinator Kerjasama LPMK PT. Freeport Indonesia dengan UNIPA	2009 – 2013
7	Koordinator Jurnal ISTEK Teknik UNIPA	2008 – 2013
8	Ketua TIM FUTSAL UNIPA	2009 – 2013

PENGALAMAN SEMINAR/LOKAKARYA/PELATIHAN/ORGANISASI

NO	RINCIAN	TAHUN/TEMPAT
1	Seminar FMIPA Matematika dan Statistika	2008/ Manokwari
2	Seminar FMIPA Jurusan Biologi	2011/ Manokwari
3	Seminar Kebutuhan IPTEK di Koridor Ekonomi Papua dan Kepulauan Maluku	2012/ Ambon
4	International Interdisciplinary Studies Seminar I (ISS-I)	2011/ Malang
5	International Interdisciplinary Studies Seminar VI (ISS-VI)	2013/ Malang
6	International Conference on NAMES 2015	2015/ Malang
7	International Interdisciplinary Studies Seminar 2016	2016/ Malang
8	Diklat Mine Rescue Tambang Bawah Tanah	2009/ Padang
9	Diklat Evaluasi Dokumen AMDAL Untuk Kegiatan Pertambangan	2011/ Padang
10	Lokakarya Kurikulum Teknik Jurusan Pertambangan	2011/ Manokwari

KETERANGAN KELUARGA**1. Orang tua**

No	Nama	Tempat lahir	Tanggal lahir	Pekerjaan
1	Minpin Perangin-Angin	Aji Julu	5 Desember 1949	Petani
2	Kasta br Sinuhaji	Dokan	15 Mei 1951	Petani

**2. Isteri**

No	Nama	Tempat lahir	Tanggal lahir	Pekerjaan
1	Esta Rilayni br Sinuraya	Bandar Meriah	12 April 1975	Pegawai Negeri Sipil

3. Anak

NO	NAMA	JENIS KELAMIN	TEMPAT LAHIR	TANGGAL LAHIR	LULUSAN
1	Jesika Agrivina P.	Perempuan	Medan	28 Juli 2005	SD
2	Bram Pratama P.	Laki-laki	Manokwari	2 Oktober 2008	-
3	Agitha Ibrena P.	Perempuan		25 Maret 2017	-



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas bimbingan dan petunjuknya-Nya sehingga disertasi dengan judul: “Model Sebaran Aerial Partikulat Hasil Pembakaran Batubara dan Karakteristiknya ” ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar.

Penelitian dan penulisan disertasi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian dari persyaratan guna memperoleh gelar Doktor, pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya dan merupakan kesempatan berharga sekali untuk menerapkan beberapa teori yang di peroleh selama menempuh pendidikan dalam situasi dunia nyata. Tanpa kesempatan, bimbingan, masukan, serta dukungan semangat dari berbagai pihak, tentunya disertasi ini tidak akan terwujud sebagaimana bentuknya saat ini.

Sehubungan dengan selesainya penulisan disertasi ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, baik moril maupun materiil, yaitu:

- (1) Prof. Dr. Ir. Nuhfil Hanani AR, MS., selaku Rektor Universitas Brawijaya;
- (2) Prof. Dr. Abdul Hakim, M.Si., selaku Direktur Pascasarjana Multidisipliner Universitas Brawijaya;
- (3) Dr. Bagyo Yanuwadi selaku Ketua Program Doktor Ilmu Lingkungan Pasca Sarjana Universitas Brawijaya;
- (4) Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS., sebagai promotor yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam perbaikan penulisan disertasi ini;
- (5) Amin Setyo Leksono, M.Si.,Ph.D., selaku Ko-promotor, yang telah dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan banyak waktu dan perhatian dalam memberikan pengarahan dan masukan untuk perbaikan disertasi ini;
- (6) Dr. Bagyo Yanuwadi selaku Ko-promotor, yang telah dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan banyak waktu dan perhatian dalam memberikan pengarahan dan masukan untuk perbaikan disertasi ini;
- (7) Drs. Arianto Yudi Ponco Wardoyo, M.Sc., Selaku Pemberi Masukan.
- (8) Para Tim Penguji Disertasi yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam perbaikan penulisan disertasi ini;
- (9) Para dosen pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya;
- (10) Para Pegawai dan Staf Administrasi pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya;
- (11) Rasa terima kasih yang tulus dan dalam penulis sampaikan atas kebaikan kedua orangtua tercinta, Bapak Minpin Perangin-Angin dan Ibu Kasta Br Sinuhaji yang telah mendoakan selalu;
- (12) Rasa terimakasih yang tulus dan dalam penulis sampaikan kepada istri dan anak-anak tercinta yang telah setia menemani, mendoakan dan telah mendukung secara terus menerus;
- (13) GM, PT, PLN (Persero), Beserta Staff dan Karyawan Pembangkit Sumatera Bagian Utara



- (14) PT. Indonesia Power Tuban dan Pangkalan Susu
- (15) Terima kasih banyak juga penulis sampaikan atas kebaikan dan dukungan dari Saudara-saudaraku: Reno Perangin angin dan keluarga, Herawati Br Perangin angin dan keluarga, Japaris Perangin angin dan keluarga, Japiter Perangin angin dan keluarga, dan semua yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu dan memberikan semangat;
- (16) Terima kasih banyak juga penulis sampaikan kepada Bapak Isak Erari dan Dekan FTTP dan rekan rekan dosen ndilingkungan FTTP yang telah memberikan dukungan dan motivasi;
- (17) Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Pimpinan Universitas Papua dan Pemerintahan Provinsi Papua Barat;
- (18) Terima kasih banyak juga penulis sampaikan atas kebaikan dan dukungan dari Mbak Dela,, dan Edison Sembiring,ST.,MT, yang telah membantu sehingga dapat terus melanjutkan perkuliahan kejenjang Doktor.
- (19) Terimakasih juga penulis sampaikan atas kebaikan dan dukungan rekan-rekan mahasiswa Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya angkatan 2013: Hafizh Prasetya, Irwan Sulisio, Kristiawan, Jeini Nelwan, Periyoto, Rini Trisulowati (Alm), Hamzah Wulakada, Windi Zamrudhi, Mahir S Gani, Henry D Kapuangan, dan Titis Istiqomah. Semoga Tuhan YME membalas segala kebaikan yang telah diberikan.

Kepada pihak-pihak lainnya yang tidak mungkin disebutkan satu per-satu, juga penulis sampaikan penghargaan dan rasa terimakasih yang tidak terhingga; karena dengan bantuan Bapak dan Ibu semuanya maka disertasi ini dapat diselesaikan penulisannya dengan baik.

Semoga Tuhan YME senantiasa melimpahkan Kasih Karunia-Nya kepada kita semua dalam melaksanakan pengabdian bagi kemajuan dan kemakmuran negara dan bangsa Indonesia yang kita cintai. Aamin

Malang, 12 Desember 2018
Penulis,

Hendri Prananta P.
NIM.137150100111006



RINGKASAN

HENDRI PRANANTA P., NIM: 137150100111006, Program Doktor Ilmu Lingkungan, Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang, Malang, Oktober 2018, "Model Sebaran Aerial Partikulat Hasil Pembakaran Batubara dan Karakteristiknya", Komisi Pembimbing Promotor: Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS., Ko-Promotor: Amin Setyo Leksono, M.Si., Ph.D., dan Dr. Bagyo Yanuwadi

Batubara merupakan bahan bakar organik yang berasal dari batuan sedimen yang terbentuk dari sisa-sisa berbagai macam tanaman purba dan menjadi padat karena tertekan oleh lapisan yang di atasnya. Pembatubaraan (*coalification*) terjadi oleh faktor dari tekanan suhu yang tinggi dan berlangsung dalam interval waktu yang sangat lama. Perbedaan sifat batubara disebabkan oleh perbedaan sumber material pembentuk (jenis tumbuhan purbanya), keadaan serta kondisi serta derajat perubahan dalam macam, jumlah dan distribusi pengotor (*impuritiesnya*). Batubara yang berasal dari tambang seringkali belum memenuhi persyaratan yang sesuai dengan keinginan konsumen (pengguna) atau oleh industri yang membutuhkannya. Masalah terkait batubara yaitu kecenderungan bahwa batubara sangat sulit memenuhi syarat pemanfaatan energi bersih pada PLTU yang sesuai kriteria yang ramah lingkungan. Adanya batubara dalam pengolahan yang dilakukan PLTU selain memiliki sisi positif, juga dinilai mempunyai sisi negatifnya. Berbagai macam masalah yang dikedepankan dari penggunaan batubara dalam pemanfaatan yang dilakukan PLTU adalah limbah berupa abu terbang yang relatif besar bila dibandingkan dengan limbah energi posil lainnya. Untuk mencapai hasil produksi yang optimal, PLTU memiliki kendala berupa partikulat berupa abu terbang dan kurangnya penanganan atau alternatif alat yang digunakan untuk menghindari dampak pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pencucian merupakan bagian dari rangkaian proses pengadaan batubara bersih yang sesuai dengan keinginan konsumen.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik batubara dari tambang yang digunakan oleh PLTU berdasarkan ketentuan kualitas/standar agar tidak mencemari lingkungan, mengkaji hasil analisa proksimat batubara dan hasil pencucian yang dijadikan sebagai bahan dibelending, serta menganalisa pengaruh pembakaran batubara dan konsentrasi partikulat fly ash pembakaran batubara di PLTU dan dampak yang ditimbulkan pada lingkungan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode survey eksploratif (*exploratory research*) dan menggunakan analisis kualitatif deskriptif dengan menggunakan pendekatan metode Standard Operational Procedure SEM (*Scanning Electron Microscope*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan XRF (*X-Ray Fluorescence*), serta menghasilkan peta sebaran sekitar PLTU. Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, diharapkan hasil penelitian ini bermanfaat bagi stakeholder baik dalam dunia kelistrikan, industri, akademisi maupun para praktisi tambang batubara sehingga dapat memberikan informasi sifat dan karakteristik dan sebaran fly ash dari pembakaran batubara yang digunakan sehingga bisa didesain alat pembakaran sesuai dengan karakteristik batubara tersebut dan mempermudah preparasi batubara pada pemanfaatannya sehingga meminimalisir dampak pencemaran terhadap lingkungan.



Berdasarkan perhitungan dan observasi yang telah dilakukan dalam penelitian ini menggunakan analisa proksimat, SEM (*Scanning Electron Microscope*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan XRF (*X-Ray Fluorescence*) bahwa batubara yang digunakan sebagai bahan bakar pada PLTU tersebut telah sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada pemanfaatan batubara di PLTU ini. Pada dasarnya ada sekitar 16 atau lebih parameter penentu kualitas batubara namun dalam pemanfaatannya, tidak semua parameter harus dipenuhi, tetapi sesuai dengan pemanfaatannya dan telah memenuhi persyaratan kualitas batubara untuk industri PLTU. Pada hasil analisis menggunakan XRD terlihat bahwa terdapat kandungan Alumina, Cadium Titanium Iron Oxide, Hedenbergite, Quartz dan Magnetite. Pada hasil analisa XRF diperoleh komposisi fly ash yang berasal dari Silo dan dari disposal area. Berdasrkan hasil penelitian tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa kegiatan preparasi (pencucian batubara) dapat menurunkan kadar abu secara signifikan, dimana kadar abu batubara umpan berdasarkan uji endap apung pada ukuran $-70 + 50$ mm adalah 7,91% dan pada ukuran $-50 + 32$ mm adalah 5,73% serta pada ukuran $-32 + 2,3$ adalah 6,73% serta hasil perhitungan konsentrasi partikulat fly ash batubara di sekitar PLTU yang keluar bersama gas buang tidak melampaui ambang batas yang dipersyaratkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014.

Kata Kunci: Batubara, Fly Ash, SEM (*Scanning Electron Microscope*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan XRF (*X-Ray Fluorescence*)



SUMMARY

HENDRI PRANANTA P., NIM: 137150100111006, Doctoral Program of Environmental Science, Postgraduate, Brawijaya University of Malang, October 2017, "Aerial Particulate Distribution Model of Coal Combustion Results and Their Characteristics". Promotor: Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS., Co-Promotor: Amin Setyo Leksono, M.Si., Ph.D., and Dr. Bagyo Yanuwiadi.

Coal is an organic fuel derived from sedimentary rocks formed from the remains of various ancient plants and becomes densely compressed by the layers above. Coupling (coalification) occurs by a factor of high temperature pressure and takes place in very long intervals. Differences in coal properties are caused by differences in the source of the forming material (the type of ancient plants), the circumstances and the degree of change in the kind, quantity and distribution of impurities. Coal derived from the mine often does not meet the requirements that are in accordance with the wishes of consumers (users) or by industries that need it. Coal related problem is the tendency that coal is very difficult to fulfill the requirement of clean energy utilization in PLTU that matches environmentally friendly criteria. The existence of coal in the processing conducted by the power plant in addition to having a positive side, also considered to have a negative side. Various kinds of problems put forward from the use of coal in the processing of the steam power plant is a relatively large fly ash when compared with large companies abroad. To achieve optimal production yield, PLTU has obstacle in the form of gas tendency in the form of fly ash and lack of handling or alternative tool that pay attention to environmental sustainability. Therefore, washing is part of a series of coal procurement process in accordance with consumer wishes.

The purpose of this study is to analyze the coal characteristics of the mines used by the power plant based on the provisions of the quality / standard in order not to pollute the environment, to examine the results of the proximate analysis of the washing coal which is bought to know the effect of coal combustion and to know the particulate concentration of fly ash coal in PLTU and the impact it has on the environment. The research method used is exploratory survey method and using qualitative descriptive analysis using approach method of Standard Operational Procedure SEM (Scanning Electron Microscope), XRD (X-Ray Diffraction), and XRF (X-Ray Fluorescence). Based on the purpose of this research, it is hoped that the result of this research will be useful for stakeholders both in electricity world, industry, academia and many coal mining practitioners so as to provide information on the characteristics and characteristics of the coal used so that it can be designed the combustion tool in accordance with the characteristics of the coal and facilitate the preparation coal on its utilization.

Based on calculations and observations that have been done in this study using proximate analysis, it is produced that the coal used as fuel in the X-power plant has been in accordance with the provisions applicable to the utilization of coal in the PLTU. Basically there are about 16 or more parameters determining the quality of coal but in utilization, not all parameters must be met, but in accordance with its utilization and have met the requirements of coal quality for PLTU industry. In the analysis results using XRD seen that there are content of Alumina, Calcium Titanium Iron Oxide, Hedenbergite, Quartz and Magnetite. In XRF analysis result



obtained fly ash composition from Silo and from disposal area. Based on the results of this study, it can be concluded that the preparation activity (leaching of coal) can significantly decrease ash content, where ash content of coal bait based on floating-settling test at $-70 + 50$ mm is 7.91% and in size $-50 + 32$ mm is 5.73% and the size of $-32 + 2.3$ is 6.73% and the calculation of particulate fly ash coal concentration around PLTU exiting with the exhaust gas does not exceed the threshold required by the Ministry of Environment of the Republic of Indonesia Year 2014.

Keywords: Coal, Fly Ash, SEM (Scanning Electron Microscope), XRD (X-Ray Diffraction), and XRF (X-Ray Fluorescence)



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan YME, karena atas anugrah dan penyertaanNYA penelitian yang berjudul “Model Sebaran Aerial Partikulat Hasil Pembakaran Batubara dan Karakteristiknya” selesai dengan baik. Disertasi disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Doktor Ilmu Lingkungan pada Pasca Sarjana Universitas Brawijaya.

Disertasi ini pada bagian satu membahas tentang latar belakang penelitian yang dan di bagian dua berisikan teori-teori terkait yang dipakai sebagai dasar penelitian, khususnya dalam hal penyediaan energi bersih ramah lingkungan. Kajian yang dilakukan seperti pemanfaatan batubara bersih yang ramah lingkungan, analisis karakteristik abu terbang hasil pembakaran batubara. Pendekatan yang digunakan adalah pemanfaatan batubara hasil pencampuran (belending) batubara tercuci dengan batubara dari tambang (ROM). Pengambilan keputusan yang kompleks dapat memberikan solusi persoalan yang melibatkan banyak tujuan.

Bagian yang paling menarik dalam penelitian ini adalah karakterisasi hasil pembakaran batubara menggunakan beberapa metode dalam meneliti yaitu SEM (Scanning Electron Microscope), XRD (X-Ray Diffraction) dan XRF (X-Ray Fluorescence) dan peta sebaran fly ash sekitar wilayah penelitian. Berdasarkan hasil metode-metode tersebut diperoleh hasil dalam bentuk gambar dan grafik yang memungkinkan peneliti mengetahui dampak dari abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara beserta dampak terhadap lingkungan, manusia dan tumbuhan. Sangat disadari bahwa dengan kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih dirasakan banyak kekurang. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini dapat disempurnakan dan bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Malang, 12 Oktober 2018

Penulis,

Hendri Prananta P.

NIM. 137150100111006



DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI.....	iv
MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	x
RINGKASAN.....	xii
SUMMARY.....	xiv
KATA PENGANTAR.....	xvi
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxii
DAFTAR ISTILAH.....	xxiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxviii
Bab	
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah Penelitian.....	6
1.3. Rumusan Masalah Penelitian.....	9
1.4. Batasan Masalah Penelitian.....	9
1.5. Tujuan Penelitian.....	10
1.6. Manfaat Penelitian.....	10
1.6.1 Manfaat Teoritis.....	10
1.6.2 Manfaat Praktis.....	11
II TINJAUAN PUSTAKA.....	12
2.1 Teknologi Pembakaran Batubara.....	12
2.2 Reaksi Pembakaran Batubara.....	15
2.3 Sistem Pembakaran Batubara Unggun.....	17



Hal.

2.3.1. Sistem Pembakaran Batubara Unggun Tetap (Fixed Bed)	17
2.3.2. Sistem Pembakaran Batubara Unggun Fluidisasi (Fluidized Bed)	19
2.3.3. Sistem Pembakaran Batubara Pulverisasi	21
2.4 Polutan dan Pembakaran Batubara	25
2.4.1 Polutan Fasa Gas	26
2.4.2 Polutan Fase Partikulat	31
2.4.3 Sistem Polusi Partikulat	39
2.4.4 Hubungan Emisi dengan Parameter Pembakaran	40
2.4.5 Emisi Polutan	44
2.4.6 Sampling Data	45
2.5 Udara	47
2.5.1 Pencemaran Lingkungan	49
2.5.2 Sumber Polusi Udara	49
2.5.3 Pencemaran Udara	55
2.5.4 Pengendalian Polusi Udara	56
2.6 Elektro Statik Precipitation (ESP)	67
2.6.1 Prinsip Kerja Elektrostatik Precipitator (ESP)	69
2.6.2 Proses Pembentukan Medan Listrik	71
2.7 Hasil-hasil Penelitian Sebelumnya	72
III KERANGKA KONSEPTUAL PENELITIAN	98
3.1 Kerangka Pemikiran	98
3.2 Kerangka Analisis Penelitian	99
3.3 Kebaharuan (Novelty) Penelitian	100
IV METODE PENELITIAN	101
4.1 Pendekatan Penelitian	101
4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	101
4.3 Metode Pengambilan Data	102
4.4 Variabel dan Sumber Data	103

xix



DAFTAR TABEL

No.	Judul Tabel	Hal.
2.1.	Konsentrasi SO ₂ di udara serta pengaruhnya terhadap manusia	28
2.2.	Mekanisme Pertahanan Organ Pernafasan Terhadap Partikulat	39
2.3.	Komposisi udara dalam atmosfer	47
2.4.	Kondisi Udara Berdasarkan ISPU	48
2.5.	Indeks standar pencemaran udara untuk setiap parameter pencemaran	54
2.6.	Sifat Khas Abu Terbang Dan Abu Dasar	97
4.1.	Timeline Kegiatan	102
4.2.	Matriks Rencana Penelitian	110
5.1.	Data Analisa Proksimat Batubara (adb)	112
5.2.	Analisa Proksimat Berdasarkan Hasil Laboratorium	113
5.3.	Berat Percontoh Uji Komprehensif Fungsi Fraksi Ukuran	118
5.4.	Contoh Data Analisis Ayak Untuk Uji Endap-Apung	119
5.5.	Berat Percontoh Analisis Ayak	120
5.6.	Hasil Uji Endap-Apung Batubara Umpan	121
5.7.	Basis Hasil Analisis (% berat)	124
5.8.	Parameter Kualitas Batubara	124
5.9.	Konsentrasi Partikulat PM 1, PM 2,5, dan PM 8, sekitar wilayah PLTU	129
5.10.	Konsentrasi Partikulat Pada Silo di PLTU	130
5.11.	Unsur Total Dalam Partikulat	135



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul Gambar	Hal.
2.1.	Gambaran Umum Pembakaran Batubara	15
2.2.	Pembakaran Sistem Unggun Tetap	17
2.3.	Skematik Pengumpan	18
2.4.	Sistem Pengumpan Crossfeed (Chain Grate)	19
2.5.	Pembakaran Sistem Fluidisasi	21
2.6.	Susunan Burner pada Pembakaran Batubara Pulverisasi	22
2.7.	Tanur Siklon	24
2.8.	Hasil proses pembakaran batubara (Web-site)	25
2.9.	Proses Terjadinya Hujan Asam	52
2.10.	Spray Chamber	59
2.11.	Tower	60
2.12.	Kurva Breakthrough	61
2.13.	Sistem Adsorpsi dan Desorpsi	62
2.14.	Dimensi Siklon Standar	64
2.15.	Efisiensi Siklon Standar	65
2.16.	Filter Baghouse	67
2.17.	Ash Collection	70
2.18.	Presipitator Jenis Rangka Kaku	70
2.19.	Elektroda Pengumpul	71
3.1.	Kerangka Konseptual	99
3.2.	Kerangka Analisis Penelitian	100
5.1.	Foto A123 (1) Bin Silo, PM 1 dan Foto A123 (2) Bin Silo, PM 2,5 Perbesaran 10000 Kali	131
5.2.	Foto A123 (3) Bin Silo, PM 8 Perbesaran 5000 Kali dan Foto A123 (4) Bin Langsung Perbesaran 1000 Kali	131
5.3.	Foto A123 (5) Crusher FA Perbesaran 20000 Kali	131
5.4.	Foto B128, Lapangan (PM 1), Perbesaran 1000 Kali dan Foto B128, Lapangan (PM 2,5) Perbesaran 1000 Kali	132
5.5.	Foto B128 Lapangan (PM 8) Perbesaran 1000 Kali	133
5.6.	Foto C128 Loading Damtruck (PM 1) dan Foto C129 Loading Damtruck (PM2,5) Perbesaran 1000 Kali	133



5.7.	Foto C128 Loading Damtruck (PM 8) Perbesaran 1000 Kali	134
6.1.	Profil kecepatan deposisi partikulat dengan ukuran partikel yang berbeda dan mekanisme deposisi yang dominan	139



DAFTAR ISTILAH

Alternatif	:	Istilah yang merujuk kepada semua energi yang dapat digunakan yang bertujuan untuk menggantikan bahan bakar konvensional tanpa akibat yang tidak diharapkan dari hal tersebut.
Analisa	:	Suatu usaha dalam mengamati secara detail pada suatu hal atau benda dengan cara menguraikan komponen-komponen pembentuknya atau menyusun komponen tersebut untuk dikaji lebih lanjut.
Batubara	:	Salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen.
Blending	:	Cara yang efisien, menyeluruh dan langsung untuk menggabungkan bahan material, dalam proporsi yang telah ditentukan, dan kemudian campur tersebut disiapkan untuk proses produksi plastik atau produk.
Boiler	:	Alat yang berfungsi untuk memanaskan air dengan menggunakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar, panas hasil pembakaran selanjutnya panas hasil pembakaran dialirkan ke air sehingga menghasilkan steam (uap air yang memiliki temperatur tinggi).
Burner	:	Sebuah alat perwujudan pementuk dan penahanan flame
Chance Cone	:	Metode yang bertujuan untuk mengurangi kadar abu batubara dari tambang yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.
Clay	:	Adonan yang memiliki sifat yang sama dengan tanah liat.
Dekomposisi	:	Salah satu perubahan secara kimia yang membuat objek, biasanya makhluk hidup yang mati dapat mengalami kerusakan susunan/struktur yang dilakukan oleh dekomposer (termasuk semut, belatung, bakteri dan jamur).
Droplet	:	Partikel air kecil (seperti hujan rintik-rintik)
Dumping	:	Kegiatan membuang, menempatkan, dan/atau memasukkan limbah dan/atau bahan dalam jumlah, konsentrasi, waktu, dan lokasi tertentu dengan persyaratan tertentu ke media lingkungan hidup tertentu.
Economizer	:	Sebuah alat yang dapat dipakai untuk memanfaatkan panas gas buang untuk pemanasan awal air umpan boiler. Setiap penurunan 2200C suhu gas buang melalui economizer atau pemanas awal terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler
Emisi	:	Sebuah zat, energi ataupun komponen lain yang didapat dari sebuah kegiatan yang masuk ke dalam udara yang memiliki maupun tidak memiliki potensi sebagai unsur pencemar. Berdasarkan peristiwa, bisa terjadi karena terganggunya sebuah sistem yang melebihi suatu batas energi sehingga akan terjadi suatu emisi.



- Energi** : Bagian yang berasal dari suatu benda tetapi tidak terikat pada benda tersebut, sehingga energi tersebut bersifat secara fleksibel yang dapat berpindah maupun dapat berubah.
- Extraneous** : Bahan asal luar/bahan asing. Biasanya abu batubara (extraneous ash) yang terjadi dari bahan anorganik yang masuk kedalam batubara ketika proses pembentukan batubara berlangsung. Bahan ini berupa butiran-butiran atau bahan asing yang mengisi rekahan/retakan pada lapisan batubara terdiri dari bahan-bahan lempung dan pasir waktu pembentukan batubara.
- Fase** : Tahap, tingkatan, masa. Semua perubahan yang terjadi berturut-turut daripada sebuah proses. wujud atau rupa sebuah benda.
- Fluida** : Sub-himpunan dari fase benda, termasuk cairan, gas, plasma, dan padat plastik. Fluida memiliki sifat tidak menolak terhadap perubahan bentuk dan kemampuan untuk mengalir (atau umumnya kemampuannya untuk mengambil bentuk dari wadah mereka).
- Fluidasi** : Metode pengontakan butiran-butiran padat dengan fluida baik cair maupun gas. Dengan metoda ini diharapkan butiran-butiran padat memiliki sifat seperti fluida dengan viskositas tinggi.
- Generator** : Sebuah alat yang mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik (arus tegangan).
- Grate** : Tingkatan tertentu dalam suatu proses
- Kadar Abu** : Campuran dari komponen anorganik atau mineral yang terdapat pada suatu bahan pangan. Bahan pangan terdiri dari 96% bahan anorganik dan air, sedangkan sisanya merupakan unsur-unsur mineral.
- Karakterisasi** : Perekam cara perangkat mereproduksi atau merespon ke warna. Biasanya hasil disimpan dalam profil ICC perangkat. Profil itu sendiri tak mengubah warna secara apapun.
- Katalitik** : Suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri (lihat pula katalisis). Suatu katalis berperan dalam reaksi tetapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk.
- Kokas** : Residu padat yang tertinggal bila batubara dipanaskan tanpa udara sampai sebagian zat yang mudah menguapnya hilang. Batubara kokas adalah batubara yang bila dipanaskan tanpa udara sampai suhu tinggi akan menjadi lunak, terdevolatilasi, mengembang, dan memadat kembali membentuk material yang porous. Material ini merupakan padatan kaya karbon yang disebut kokas.
- Mekanik** : Ilmu pengetahuan yang mempelajari gerakan suatu benda serta efek gaya dalam gerakan itu.
- Oksidasi** : Pelepasan elektron oleh sebuah molekul, atom, atau ion.
- Partikulat** : Bentuk polusi udara. Partikel udara lebih kecil dari 10 sampai partikulat mikrometer dihitung. Partikulat terdiri dari



partikel komposisi ukuran, asal dan kimia yang berbeda. Asal partikulat dapat merupakan buatan manusia atau alam.

Pencucian : Usaha yang dilakukan untuk memperbaiki kualitas batubara, agar batubara tersebut memenuhi syarat penggunaan.

Periodik : Selang waktu tertentu

Pigmen : Zat yang mengubah warna cahaya tampak sebagai akibat proses absorpsi selektif terhadap panjang gelombang pada kisaran tertentu. Pigmen tidak menghasilkan warna tertentu sehingga berbeda dari zat-zat pendar (*luminescence*).

Polutan : Bahan pencemaran adalah bahan/benda yang menyebabkan pencemaran, baik secara langsung maupun tidak langsung, seperti sampah. Secara sifat, polutan dapat dibedakan menjadi 4, yaitu: polutan fisik; yaitu polutan yang fisiknya mencemarkan lingkungan.

Pre Treatment : Suatu proses awal untuk menjadi lebih baik.

Preparasi : Proses yang pada umumnya bertujuan untuk memisahkan mikrofosil yang terdapat dalam batuan dari material-material lempung (matrik) yang menyelimutinya.

Primer : Kebutuhan yang sangat harus terpenuhi, artinya apabila kebutuhan tersebut tidak terpenuhi, maka manusia akan mengalami kesulitan dalam hidupnya.

Proximate : Pengujian kimiawi untuk mengetahui kandungan nutrisi suatu bahan baku

Pulverisasi : Sistem pembakaran batubara yang dilakukan dengan cara peniupan serbuk batubara

Reduktor : Unsur atau senyawa yang kehilangan (mendonasikan) elektron kepada spesies kimia lainnya dalam suatu reaksi kimia redoks.

Residu : Sisa pengendapan dari zat tertentu yang mengalami pemisahan kepekatkan, di mana zat tersebut tertinggal dan tidak larut sebagaimana bagian lainnya yang bisa hilang atau larut secara keseluruhan.

Sedimen : Material atau pecahan dari batuan, mineral dan material organik yang melayang-layang di dalam air, udara, maupun yang dikumpulkan di dasar sungai atau laut oleh pembawa atau perantara alami lainnya.

Sekunder : Kebutuhan yang pemenuhannya setelah kebutuhan primer terpenuhi.

Shaking : Gerakan getar yang lebih kuat, sejenis guncangan

Slagging : Fenomena menempelnya partikel abu batubara baik yang berbentuk padat maupun leburan, pada permukaan dinding penghantar panas yang terletak di zona gas pembakaran suhu tinggi (*high temperature combustion gas zone*), sebagai akibat dari proses pembakaran batubara.

Stoker : Alat yang digunakan untuk mengatur besar kecilnya api.

Storage : Penyimpan, tempat penyimpanan, media yang digunakan untuk menyimpan data yang diolah oleh komputer. Fungsi storage adalah menyimpan data atau file dalam jangka panjang dan pendek.



- Tanur (klinker) :** Suatu alat sejenis oven berukuran besar, berupa ruangan dengan penyekat termal yang dapat dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, untuk menyelesaikan tugas atau proses tertentu seperti pengeringan, pengerasan, atau perubahan kimiawi.
- Termodinamika :** Fisika energi, panas, kerja, entropi dan kespontanan proses. Termodinamika berhubungan dekat dengan mekanika statistik di mana hubungan termodinamika berasal.
- Tungku Tekanan :** alat atau instalasi yang dirancang sebagai tempat pembakaran sehingga bahan bakar dapat digunakan untuk memanaskan sesuatu. Tungku dapat sederhana, tersusun dari batu yang diatur sehingga bahan bakar terlindungi dan panas dapat diarahkan.
- Turbin :** Sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, "asembli rotor-blade". Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Contoh turbin awal adalah kincir angin dan roda air.
- Unggun :** Api di luar ruang yang didapat dari sengaja menyalakan kayu bakar, potongan kayu, atau kumpulan dahan, ranting, jerami, atau daun-daun kering.
- Zat Terbang :** Bagian sampel batubara yang kering udara (air dried) yang dikeluarkan dalam bentuk gas selama tes pemanasan standar. Zat terbang merupakan unsur positif untuk batubara termal tapi dapat menjadi sesuatu yang negatif untuk batubara kokas.



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul Lampiran	Hal.
1.	Diagram Alir Ash Handling System	148
2.	Prinsip kerja Electrostatic Precipitator	149
3.	Proximate Analysis Bulan Juli 2015	150
4.	Proximate Analisis Bulan Juni 2015	151
5.	Proximate Analysis Bulan Januari 2016	152
6.	Analisa Proksimat Pengujian 13 Januari 2017	153
7.	Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy	154
8.	Ukuran Kristal yang dihitung Menggunakan Persamaan Scherrer	162
9.	Hasil Laboratorium Mineral dan Material Maju Univ. Negeri Malang	163
10.	Dokumentasi Penelitian di Lapangan	184
11.	Laporan Hasil Uji XRF	194
12.	Laporan Hasil Uji SEM (1)	195
13.	Laporan Hasil Uji SEM (2)	196
14.	Laporan Hasil Uji SEM (3)	197
15.	Laporan Hasil Uji SEM (4)	198
16.	Laporan Hasil Uji SEM (5)	199
17.	Laporan Hasil Uji SEM (6)	200
18.	Perhitungan Konsentrasi Secara Manual	201
19.	Titik kordinat pengambilan sampel PM 1	208
20.	Peta sebaran partikulat PM 1	209
21.	Peta sebaran partikulat PM 2,5	210
22.	Peta sebaran partikulat PM 8	211
23.	Artikel Ilmiah (1)	212
24.	Artikel Ilmiah (2)	213

xxix



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara merupakan bahan bakar organik yang berasal dari batuan sedimen yang terbentuk dari sisa-sisa berbagai macam tanaman purba dan menjadi padat karena tertekan oleh lapisan yang di atasnya. Pembatubaraan (*coalification*) terjadi oleh faktor dari tekanan suhu yang tinggi dan berlangsung dalam interval waktu yang cukup lama. Perbedaan sifat batubara disebabkan oleh perbedaan sumber material pembentuk (jenis tumbuhan purbanya), keadaan serta kondisi derajat perubahan dalam macam, jumlah dan distribusi pengotor (*impuritiesnya*). Batubara adalah batuan sedimen organoklastik yang berasal dari tumbuhan yang pada kondisi tertentu tidak mengalami proses pembusukan dan penghancuran sempurna. Pada umumnya proses pembentukan batubara terjadi pada jaman karbon yaitu sekitar 270 – 350 juta tahun yang lalu. Diilustrasikan sebagai hutan rawa pada jaman karbon saat pembentukan batubara, pada jaman tersebut terbentuk batubara dibelahan bumi utara seperti Eropa, Asia dan Amerika. Di Indonesia batubara yang ditemukan dan ditambang umumnya berumur jauh lebih muda, yaitu terbentuk pada jaman Tersier. Batubara tua yang ditambang di Indonesia berumur Eosen (40 hingga 60 juta tahun yang lalu) namun sumber daya batubara di Indonesia umumnya berumur antara Miosen dan Pliosen 2 hingga 15 juta tahun yang lalu (Anggayana, Komang, 2005).

Pengertian mengenai proses pembentukan batubara dan proses pengendapan batuan yang terjadi setelahnya merupakan faktor penting yang dapat membantu pemahaman mengenai teknik preparasi dan pencucian batubara yang kadang-kadang sulit dilakukan (Sudarsono, Arif, 2003). Sehingga



lebih maksimalkan dalam pemanfaatannya dan dapat meminimalisir pencemaran lingkungan. Terdapat dua tahap yang dikenal dalam pembentukan batubara secara umum, pembentukan gambut (penggambutan). Tumbuhan yang tumbang atau mati dipermukaan tanah pada umumnya akan mengalami peroses pembusukan dan penghancuran sempurna sehingga setelah beberapa waktu kemudian tidak terlihat lagi bentuk asalnya. Pembusukan dan penghancuran tersebut pada dasarnya merupakan proses oksidasi yang disebabkan oleh adanya oksigen dan aktivitas bakteri atau jasad renik lainnya (fungi). Jika tumbuhan tumbang disatu rawa yang dicirikan dengan kandungan oksigen yang sangat rendah sehingga tidak memungkinkan bakteri aerob (bakteri yang memerlukan oksigen) hidup, maka sisa tumbuhan tersebut tidak mengalami peruses pembusukan dan penghancuran yang sempurna sehingga tidak akan terjadi proses oksidasi yang sempurna. Pada kondisi tersebut hanya bakteri-bakteri anaerob saja yang berfungsi melakukan proses dekomposisi yang kemudian membentuk gambut (*peat*). Daerah yang ideal untuk pembentukan gambut misalnya delta sungai, danau dangkal (Agus *at al.*, 2008).

Meskipun oksigen tidak tersedia dalam jumlah yang cukup, komponen utama pembentuk kayu akan juga teroksidasi menjadi H_2O , CH_4 , CO dan CO_2 . Gambut yang umumnya berwarna kecoklatan sampai hitam merupakan padatan yang bersipat porous dan masih memperlihatkan struktur tumbuhan asalnya. Gambut umumnya masih mengandung lengas (*mouiture*) yang tinggi, bias lebih dari 50%. Pembentukan batubara, proses pembentukan gambut akan berhenti misalnya karena penurunan cepat dasar cekungan. Jika lapisan gambut yang telah terbentuk kemudian ditutupi oleh lapisan sedimen, maka tidak adalagi bakteri anaerob, atau oksigen yang dapat mengoksidasi, maka lapisan gambut



akan mengalami tekanan dari lapisan sedimen. Tekan yang bertambah besar akan mengakibatkan penambahan suhu. Disamping itu, suhu akan meningkat akibat bertambahnya kedalaman. Selain karna adanya lapisan sedimen, kenaikan suhu dan tekanan dapat juga disebabkan oleh aktivitas magma, peruses pembentukan gunung, serta aktifitas-aktifitas tektonik lainnya. Peningkatan tekanan dan suhu pada lapisan gambut akan mengkonversi gambut menjadi batubara dimana terjadi peruses pengurangan kandungan lengas, pelepasan gas-gas (CO_2 , H_2O , CO , CH_4), peningkatan kepadatan dan kekerasan serta peningkatan nilai kalor. Faktor tekanan (P) dan suhu (T) serta faktor waktu (t) merupakan faktor – factor yang menentukan kualitas batubara. Tahap pembentukan batubara ini sering disebut juga sebagai proses termodinamika (Sukandarrumidi, 2009).

Batubara sebagai salah satu sumber energi yang banyak digunakan di Indonesia saat ini adalah sebagai pembangkit listrik. Batubara merupakan energi yang relatif murah sehingga dapat dijadikan sebagai komoditi yang tepat dalam rangka penyediaan energi murah sehingga meningkatkan kemampuan daya beli masyarakat pada bidang energi, tanpa perlu mendapat subsidi oleh pemerintah. Dicanangkannya program pembangunan pembangkit listrik berkapasitas 35.000 MW, pemanfaatan energi batubara dirasa merupakan salah satu pilihan yang paling tepat sebagai sumber bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (PERMEN ESDM Tahun, 2012). Dari segi pemanfaatannya, batubara digunakan dalam berbagai macam industri sampai rumah tangga, sebagian batubara yang berasal dari tambang (*run of mine*) dapat langsung dimanfaatkan dan ada juga harus melalui peroses pengolahan (preparasi) terlebih dahulu (Anggayana, 2005)



Batubara merupakan bahan bakar penting baik digunakan sebagai sumber energi (disebut *steam coal*) untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), maupun untuk industri ekstraksi logam (penggunaan kokas metalurgi sebagai reduktor dalam industri baja), atau dipakai sbagai bahan baku untuk pembuatan bahan bakar lain (*conversion coal*), misalnya diubah menjadi gas (*gasification*), atau bahan bakar cair (*liquefaction*), atau CWM (*coal water mixture*). Pada umumnya pemakaian batubara terbesar adalah sebagai sumber energi pada PLTU.

Teknologi pembakaran batubara komersial untuk industri biasanya adalah jenis pulverisasi dan fluidisasi (Sudarsono, 2003). Kadar abu suatu batubara secara sederhana didefinisikan sebagai residu organik yang diketahui setelah batubara dibakar (*complete incineration*) dan pengukuran kadar abu ini merupakan analisa proksimat setandar. Kadar abu ini seringkali dikaburkan dengan istilah mineral matter. Kedua istilah ini mempunyai perbedaan yang sangat kecil, umunya kurang dari 10%. Tidak ada metode sederhana yang secara langsung bisa menentukan kadar mineral matter. Melalui analisa abu dan pengetahuan tentang kompleksitas mineral-mineral dalam batubara, dimungkinkan untuk memperkirakan kadar mineral metter dari kadar abu. Mineral metter terdapat dalam batubara, ada dua macam :

- *Inherent mineral matter.*
- *Extraneus (adventitious) mineral metter.*

Inherent mineral metter terbentuk bersamaan dengan pembentukan batubara itu sendiri selama peroses pembatubaraan dan merupakan bagian terintegral dari substansi batubara. Jumlahnya sekitar 0,5% - 1,0% dari batubara dan karna pembentukannya tersebut, *inherent mineral metter* sulit dipisahkan dalam peroses pencucian batubara. *Extraneous mineral metter* berasal dari



matrial asing yang tercampur ke dalam batubara melalui cracks atau cleavage selama pembentukan batubara. Biasanya *extraneous mineral metter* ini berupa *slate, shale, sandstone, clay* atau *limestone* dan jumlahnya bisa dalam ukuran mikroskopik sampai lapisan tebal dan bands. Batubara dari tambang juga dapat mengandung *extraneous mineral metter* yang berasal dari kotoran – kotoran ketika menambang batubara dibagian atas (*roof*) atau bagian bawah (*floor*). Tergantung pada pembentukannya, *extraneous mineral metter* yang berukuran halus seperti pasir dan *clay* dapat dihilangkan. Pemisahaan dengan media berat dapat memisahkan batubara dari *extraneous mineral metter* kasar dengan prinsip perbedaan berat jenis (Sukandarrumidi, 2009).

Batubara yang berasal dari tambang seringkali belum memenuhi persyaratan yang sesuai dengan keinginan konsumen (pengguna) atau oleh industri yang membutuhkannya. Dalam pemanfaatannya, batubara yang digunakan oleh PLTU pada umumnya menghasilkan polutan di udara, berupa fly ash hasil dari pembakaran batubara. Pada umumnya polutan yang ada di udara merupakan produk dari pembakaran, dimana sekitar 90% polutan ini berasal dari lima jenis senyawa (gas) yaitu gas karbon monoksida, hidro karbon, partikulat, nitrogen oksida dan sulfur oksida. Emisi yang berasal dari pembakaran batubara disebabkan oleh abu, nitrogen dan sulfur (Sudarsono, Arif, 2003). Pengolahan batubara pada PLTU memiliki tujuan awal untuk dapat meningkatkan produksi listrik dan mampu menciptakan keekonomisan biaya yang dikeluarkan. Namun dalam kenyataannya diperoleh fakta bahwa dampak positif berbanding lurus dengan dampak negatif yang menyertainya. Secara langsung dapat terlihat bahwa kegiatan ini dapat meningkatkan produksi listrik dengan menggunakan energi batubara, namun kerusakan yang ditimbulkan oleh kegiatan ini



sebenarnya cukup besar. Beberapa usaha yang dilakukan dalam pengolahan batubara pada PLTU mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat, tetapi belum mendapatkan hasil yang optimal. Hal ini dikarenakan berkaitan dengan sistem kehidupan di masa yang akan datang. Permasalahan pokok yang dikedepankan adalah terjadinya kerusakan lingkungan akibat pembakaran yang belum optimal sehingga mencemari lingkungan udara. Hal ini menandakan perlunya suatu terobosan baru yang dapat memberikan solusi sehingga pengolahan batubara dapat lebih optimal dan berkelanjutan. Oleh karena itu, menarik untuk dilakukan penelitian yang mengkaji secara kritis tentang terobosan baru dalam pengolahan batubara pada PLTU secara optimal dan berkelanjutan. Dengan hasil ini, maka dapat digunakan sebagai alternatif dalam pemanfaatan batubara pada PLTU yang optimal dan berkelanjutan (MENLH, 2007).

1.2 Identifikasi Masalah Penelitian

PLTU yang pertama kali beroperasi di Indonesia yaitu pada tahun 1962 dengan kapasitas 25 MW (Mega Watt), suhu 500 °C, tekanan 65 Kg/cm², boiler masih menggunakan pipa biasa dan pendingin generator dilakukan dengan udara. Kemajuan pada PLTU yang pertama adalah boiler sudah dilengkapi pipa dinding dan pendingin generator dilakukan dengan hidrogen, namun kapasitasnya masih 25 MW. Bila dayanya ditingkatkan dari 100 MW - 200 MW, maka boilernya harus dilengkapi super hiter, ekonomizer dan tungku tekanan. Kemudian turbinnya bisa melakukan pemanasan ulang dan arus ganda dan pendingin generatornya masih menggunakan hidrogen. Hanya saja untuk kapasitas 200 MW uap yang dihasilkan mempunyai tekanan 131,5 Kg/cm² dan suhu 540°C dan bahan bakarnya masih menggunakan minyak bumi (Sukandarrumidi, 2009).



Ketika kapasitas PLTU sudah mencapai 400 MW maka bahan bakarnya sudah tidak menggunakan minyak bumi lagi melainkan batubara. Batubara yang dipakai secara garis besar dibagi menjadi dua bagian yaitu batubara berkualitas tinggi dan batubara berkualitas rendah. Bila batubara yang dipakai kualitasnya baik maka akan sedikit sekali menghasilkan unsur berbahaya, sehingga tidak begitu mencemari lingkungan. Sedang bila batubara yang dipakai mutunya rendah maka akan banyak menghasilkan unsur berbahaya seperti Sulfur, Nitrogen dan Sodium. Apalagi bila pembakarannya tidak sempurna maka akan dihasilkan pula unsur beracun seperti CO, akibatnya daya guna menjadi rendah.

PLTU batubara di Indonesia yang pertama kali dibangun adalah di Suralaya pada tahun 1984 dengan kapasitas terpasang 4 x 400 MW. Kemudian PLTU Bukit Asam dengan kapasitas 2 x 65 MW pada tahun 1987. Pada tahun 1993an beroperasi pula PLTU Paton 1 dan 2 masing-masing dengan kapasitas 400 MW. Kemudian PLTU Suralaya akan dikembangkan dari unit 5 - 7 dengan kapasitas 600 MW/unit. PLTU batubara pada tahun 1994 kapasitasnya sudah mencapai 2.130 MW (16% dari total daya terpasang). Pada tahun 2003 kapasitasnya diperkirakan sekitar 12.100 MW (37%), tahun 2008/09 mencapai 24.570 MW (48%) dan pada tahun 2020 perencanaan awal sekitar 46.000 MW. Sementara itu pemakaian batubara pada tahun 1995 tercatat bahwa untuk menghasilkan energi listrik sebesar 17,3 TWH (Tera Watt Hour) dibutuhkan batubara sebanyak 7,5 juta ton. Dan pada tahun 2005 pemakaian batubara diperkirakan mencapai 45,2 juta ton dengan energi listrik yang dihasilkan mencapai 104 TWH (Sukandarrumidi, 2009).

Banyaknya pemakaian batubara tentunya akan menentukan besarnya biaya pembangunan PLTU. Harga batubara itu sendiri ditentukan oleh nilai



panasnya (Kcal/Kg), artinya bila nilai panas tetap maka harga akan turun 1 persen pertahun. Sedang nilai panas ditentukan oleh kandungan zat SO_x yaitu suatu zat yang beracun, jadi pada pembangkit harus dilengkapi alat penghisap SO_x. Hal inilah yang menyebabkan biaya PLTU Batubara lebih tinggi sampai 20 persen dari pada PLTU minyak bumi. Bila batubara yang digunakan rendah kandungan SO_x-nya maka pembangkit tidak perlu dilengkapi oleh alat penghisap SO_x dengan demikian harga PLTU batubara bisa lebih murah. Keunggulan pembangkit ini adalah bahan bakarnya lebih murah harganya dari minyak dan cadangannya tersedia dalam jumlah besar serta tersebar di seluruh Indonesia (Nurmalita, 2012).

Pemanfaatan batubara pada PLTU selain memiliki dampak positif, juga dinilai mempunyai dampak negatif. Berbagai masalah yang ditimbulkan dari penggunaan batubara dalam pemanfaatan di PLTU salah satunya adalah limbah berupa abu terbang yang relatif besar bila dibandingkan dengan pemanfaatan energi fosil lainnya. Untuk mencapai hasil produksi energi yang optimal dan terjangkau, PLTU berusaha menekan biaya produksi seekonomis mungkin, salah satunya memanfaatkan batubara. Pembakaran batubara memiliki kendala limbah partikulat berupa abu terbang, walaupun sudah dikendalikan sebagian masih ikut keluar dari cerobong asap terbawa bersama gas buang. Rekayasa teknologi relatif penting untuk menangani masalah ini, agar dampak terhadap lingkungan tidak terjadi. Berdasarkan fakta tersebut sangat penting dilakukan pengolahan batubara berupa pencucian sehingga memenuhi syarat pemanfaatan energi bersih, pada PLTU yang sesuai kriteria keputusan menteri LH no.kep 13 yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, pencucian merupakan bagian dari rangkaian proses pengadaan batubara yang sesuai dengan



keinginan konsumen dan kepmen LHK. Untuk mengolah dan menyiapkan batubara dari tambang agar sesuai dengan ketentuan kualitas yang sesuai dengan standar yang ditentukan sehingga tidak mencemari lingkungan dan sesuai keinginan konsumen. Salah satu cara yang dilakukan adalah mengurangi kadar abu batubara yaitu dengan proses pencucian dengan menggunakan *Chance Cone*, adapun yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini adalah melakukan langsung proses pencucian, dimana jumlah yang cukup besar sehingga penulis hanya menerima data dari perusahaan, sedangkan penulis hanya bisa lakukan dengan melakukan pencucian dengan menggunakan *chance cone* sekala leb saja (Prananta, 2006).

1.3 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan uraian yang dikemukakan sebelumnya, maka rumusan masalah penelitian dapat disusun sebagai berikut:

- 1) Bagaimana kriteria batubara dari tambang yang digunakan oleh PLTU berdasarkan ketentuan kualitas/standar agar tidak mencemari lingkungan
- 2) Seberapa besar potensi penurunan kadar abu pada proses pencucian dengan menggunakan *Chance Cone* untuk bahan belending pada pemanfaatan di PLTU?
- 3) Bagaimana penanganan emisi dengan mengkarakterisasi jumlah, bentuk partikulat, unsur total dalam partikulat dan memetakan sebaran *fly ash* (partikulat) sekitar wilayah PLTU yang dihasilkan dari pembakaran batubara.

1.4 Batasan Masalah Penelitian

Agar penelitian lebih fokus dan tidak meluas dari pembahasan yang dimaksud, ada beberapa batasan masalah yang dilakukan:

- 1) Meneliti hasil analisa proksimat sesuai ketentuan pemanfaatan untuk PLTU agar tidak mencemari lingkungan.
- 2) Menganalisa penurunan kadar abu pencucian batubara menggunakan *chance cone*, yang dimanfaatkan sebagai bahan belending.
- 3) Menganalisa sebaran *fly ash* (partikulat) hasil pembakaran batubara sekitar area PLTU dan mengkarakterisasi jumlah, bentuk serta unsur total dalam partikulat.

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

- 1) Menganalisis batubara dari tambang yang digunakan pada PLTU agar memenuhi standar pemanfaatan.
- 2) Menganalisis penurunan kadar abu batubara hasil pencucian yang digunakan sebagai bahan belending.
- 3) Menganalisis, memetakan, mengkarakterisasi jumlah dan sebaran *fly ash* (abu terbang) disekitar wilayah PLTU.

1.6 Manfaat Penelitian

1.6.1 Manfaat Teoritis

Berdasarkan pencapaian tujuan di atas, maka diharapkan hasil penelitian ini bermanfaat bagi stakeholder baik dalam dunia kelistrikan, industri, akademisi maupun para praktisi tambang batubara sehingga dapat memberikan informasi sifat dan karakteristik dari batubara yang digunakan sehingga bisa didesain alat pembakaran sesuai dengan karakteristik batubara tersebut dan mempermudah preparasi batubara pada pemanfaatannya.



1.6.2 Manfaat Praktis

- 1) Dokumen referensi ilmiah bagi para peneliti lainnya dalam memberikan informasi karakteristik abu meliputi suhu titik leleh abu dan *indeks seleging* yang dihasilkan oleh pembakaran batubara berdasarkan persentase kandungan abu sehingga diketahui gambaran distribusi abu dasar tanur (*klinker*) dan abu terbang.
- 2) Dokumen referensi ilmiah yang menjadi bahan pertimbangan dalam memberikan gambaran dampak lingkungan akibat pemakaian batubara pada PLTU berdasarkan ukuran abu dari pembakaran batubara.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Pembakaran Batubara

Proses pembakaran batubara akan berlangsung dengan baik jika tersedia udara dalam jumlah yang cukup. Proses pembakaran dimulai dari terjadinya oksidasi pada fasa uap dan penyalaan volatile matter (zat terbang) yang terlepas dari batubara yang selanjutnya menyebabkan menyalaanya residu bahan padat (*residual char*). Tahap penyalaan volatile meter kestabilan flame (nyala) dan temperature sehingga residu padat bisa menyala, sementara pada penyalaan residu padat terjadi mekanisme reaksi-reaksi yang kompleks yang selanjutnya menghasilkan panas pembakaran. Batubara dapat dibakar dengan tiga cara :

- 1) Di unggun tetap (*fixed bed*)
- 2) Di unggun terfluidakan (*fluidized bed* atau *pulverized*)
- 3) Pulverisasi (*pulverized* atau *entrained bed*)

Ketiga sistem pembakaran batubara tersebut dibedakan atas dasar kinematika partikel padatnya. Batubara merupakan bahan bakar padat penting dalam berbagai macam industri, baik digunakan sebagai sumber energi (disebut *steam coal*) untuk pembangkit tenaga listrik uap (PLTU), maupun untuk industri ekstraksi logam (penggunaan kokas metalurgi sebagai reduktor dalam industri baja), atau dipakai sebagai bahan baku untuk pembuatan bahan bakar dalam bentuk lain (*conversion coal*), misalnya diubah menjadi gas (*gasification*), atau bahan bakar cair (*liquefaction*), atau CWM (*coal water mixture*) (Sudarsono A, 2003). Pada umumnya pemakaian batubara terbesar adalah sebagai sumber energi pada PLTU. Teknologi pembakaran batubara komersial untuk industri biasanya adalah jenis pulverisasi dan fluidisasi.



Pembangkit listrik besar ekuivalen dengan pembangkit listrik berkapasitas lebih dari 600 MW, dengan kebutuhan batubara antara 2300 ton/jam sampai 3100 ton/jam (Sukandarrumidi, 2009). Pada saat ini kebanyakan pembangkit listrik tenaga uap berkapasitas super besar dan besar menggunakan boiler pembakaran batubara pulverisasi (*pulverized coal-fired boiler*). Isu utama teknologi pulverisasi (*pulverized*) adalah berkaitan dengan teknologi pengurangan dampak lingkungan antara lain desulfurisasi, denitrifikasi, pengurangan debu, dan pengolahan limbah air. Pemilihan teknologi pembakaran yang menjadi perhatian adalah burner yang dapat memperkecil produk NOx. Pada pembangkit listrik kelas menengah dan kelas kecil, selain teknologi pembakaran batubara pulverisasi, teknologi pembakaran fluidisasi (*fluidized bed*) umum digunakan. Boler jenis fluidisasi dapat digunakan dengan rentang jenis batubara lebih besar dibandingkan dengan boiler pembakaran batubara pulverisasi sekala besar. Berbagai jenis pembakaran seperti bubling, sirkulasi dan pressurized telah dan sedang dikembangkan pada metoda pembakaran fluidisasi. Operasi boiler fluidisasi tipe bubling (sekitar 350 MW) telah digunakan pada beberapa pembangkit listrik.

Pada saat ini banyak pabrik selain PLTU yang memakai batubara sebagai sumber bahan bakar alternatif. Pada pabrik semen misalnya, batubara tidak saja digunakan sebagai bahan bakar tetapi juga sebagai bahan baku dalam peroses pembuatan semen. Oleh karena itu pasokan batubara dengan kualitas yang tepat dan pemanfaatan batubara secara tepat pula sangat dibutuhkan dalam pemanfaatanya sebagai energy alternatif yang ramah akan lingkungan. Untuk membangun pembangkit listrik tenaga uap dengan bahan bakar batubara, hal yang terpenting yang harus diperhatikan adalah sifat dan gambaran batubara



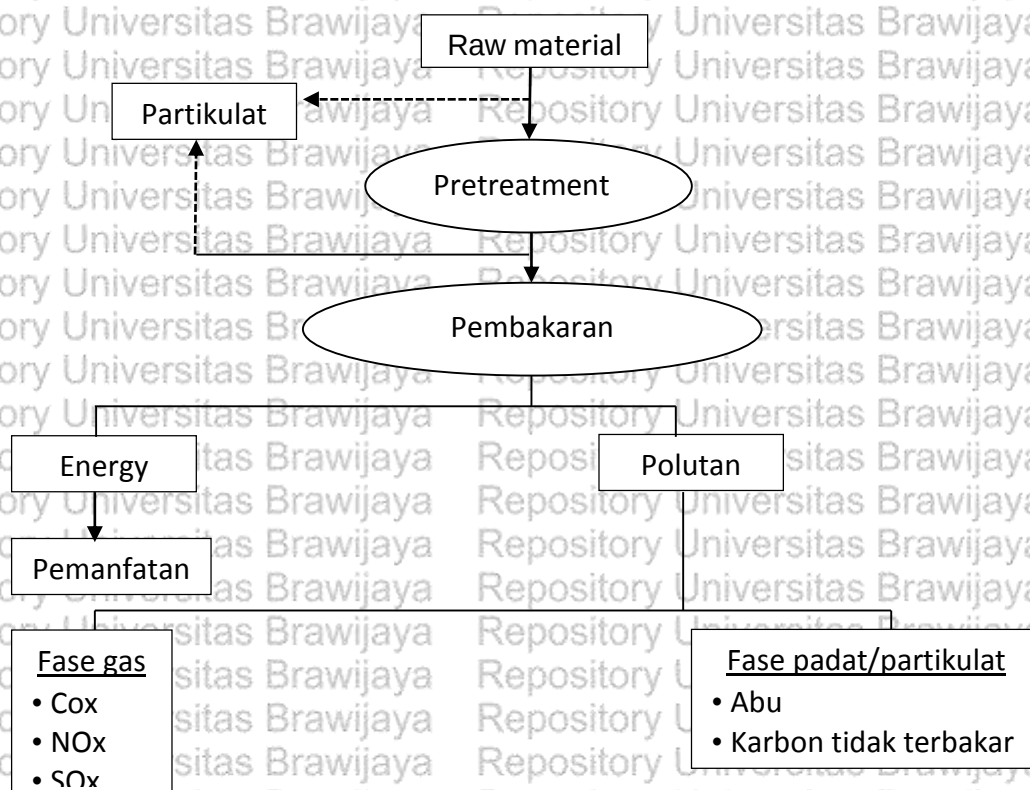
(yang ditunjukkan oleh parameter dan kualitasnya) yang digunakan. Pemilihan teknologi pembakaran yang tepat didasarkan pada sifat batubara yang digunakan merupakan sesuatu yang penting untuk diketahui agar diperoleh proses pembakaran yang efisien dan teknologi yang ramah lingkungan (Sule D dkk 2005).

Faktor-faktor yang harus diperhatikan saat pemilihan teknologi pembakaran batubara untuk pembangkit listrik. Boiler untuk batubara peringkat rendah seperti batubara lignit dan sub-bituminus, tidak membutuhkan teknologi yang khusus dan dapat ditangani dengan mengkombinasikan teknologi yang telah ada. Meskipun demikian, ukuran boiler mau tidak mau harus lebih besar sebagai akibat dari adanya masalah sleging dan nilai kalori yang lebih rendah. Pada batubara peringkat rendah dibutuhkan pula system pra pengolahan batubara (storage, pengumpan batubara dan pulverisasi). Kenaikan kadar air selama musim hujan dapat menimbulkan permasalahan dalam pengumpan batubara dan system pulverizer sehingga penting sekali adanya pengaturan penyimpanan batubara yang baik. Pada dasarnya hampir semua jenis batubara (*rank* batubara) bisa dipakai untuk pembangkitan listrik tenaga uap dengan konsekuensi penyesuaian desain yang tepat sesuai dengan keadaan batubara yang digunakan. Yang terpenting adalah konsistensi dari kualitas batubara yang digunakan sesuai dengan desain awal dari fasilitas pembangkit listrik tenaga uap. Kualitas batubara yang digunakan tidak boleh berubah-ubah dari waktu-kewaktu diluar kualitas batubara yang ditetapkan karena perubahan kualitas akan mengganggu proses dan menurunkan efisiensi dari pembangkit listrik tenaga uap tersebut (Sule D, 2008).



2.2 Reaksi Pembakaran Batubara

Sebelum masuk kedalam teori utama tentang pencemaran udara yang disebabkan oleh pembakaran batubara terlebih dahulu harus di ketahui proses pembakaran batubara secara umum. Secara umum proses pembakaran batubara dan hasil-hasilnya dapat dilihat dibawah ini (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Gambaran Umum Pembakaran Batubara

Proses pembakaran batubara akan berlangsung dengan baik jika tersedia udara dalam jumlah yang cukup. Proses pembakaran batubara merupakan ilmu yang kompleks karna adanya variasi kondisi fisika maupun kimia batubara, tetapi biasanya reaksi pembakaran batubara digambarkan dengan reaksi oksidasi karbon menghasilkan karbon mono-oksida atau karbon dioksida.



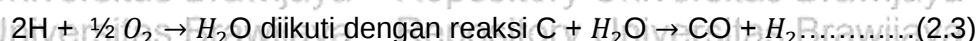


Gas CO yang terbentuk dapat bereaksi dengan oksigen membentuk gas CO₂ sesuai reaksi :



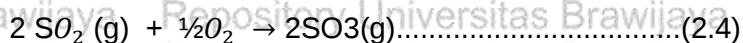
gas CO₂ yang terbentuk dapat pula bereaksi dengan karbon membentuk gas CO, CO₂ + C → 2CO (disebut reaksi Boudouard)

Dan reaksi pembentuk uap air :

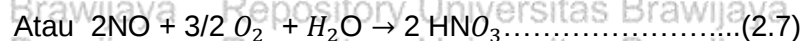
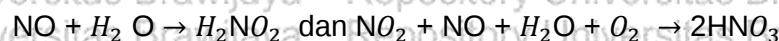
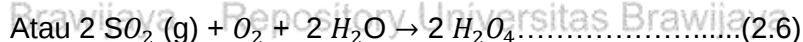
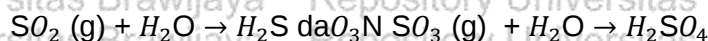


Setelah ada nyala api, pembakaran batubara dimulai dari uap api, diikuti penyalan zat terbang. Selain unsur hidrogen dan karbon, unsur-unsur lain yang terdapat dibatubara juga mengalami oksidasi , misalnya unsure sulfur (S) dan nitrogen:

S + O₂ → SO₂ (g) diikuti dengan reaksi lain



Adanya uap air diudara terbuka akan bereaksi dengan gas-gas hasil pembakaran membentuk asam sulfat atau asam nitrat yang merupakan sumber terjadinya hujan asam. Reaksi-reaksi yang mungkin terlibat dalam pembentukan asam ini adalah :

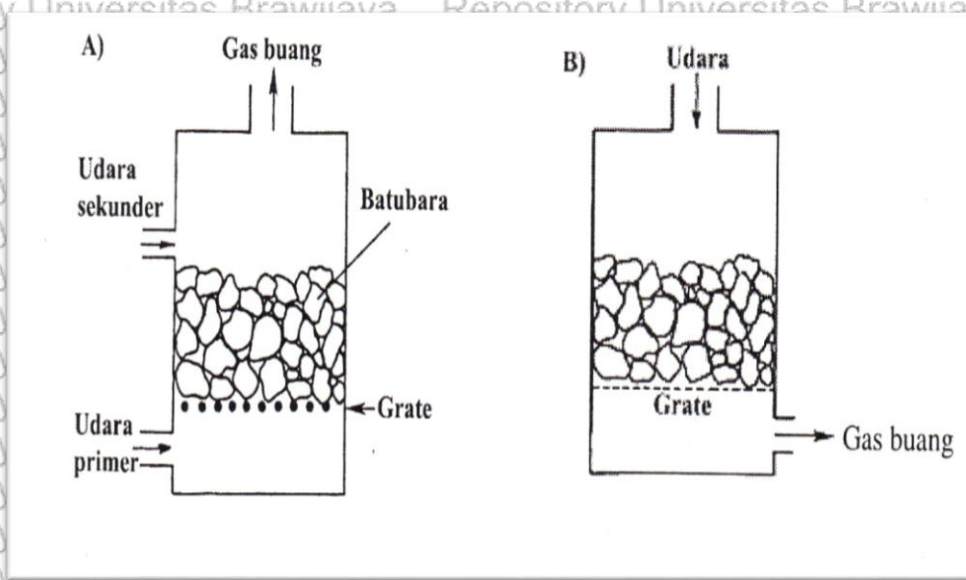




2.3 Sistem Pembakaran Batubara Unggun

Sistem pembakaran batubara terbagi menjadi beberapa kategori cara pembakaran. Sistem pembakaran batubara dikelompokkan atas 3 cara yaitu:

- 1) Unggun tetap (*fixed bed*), dengan cara pengumpanan *Overfeed* (*Spreader*), *Underfeed*, dan *Crossfeed* (*Vibrating*).
- 2) Unggun fluydisasi (*fluidized bed*).
- 3) Pulverisasi (*pulverized* atau *entrained bed*).



(A) Updraft Combustion, (B) Downdraft Combustion

Gambar 2.2 Pembakaran Sistem Unggun Tetap

2.3.1 Sistem Pembakaran Batubara Unggun Tetap (*Fixed Bed*)

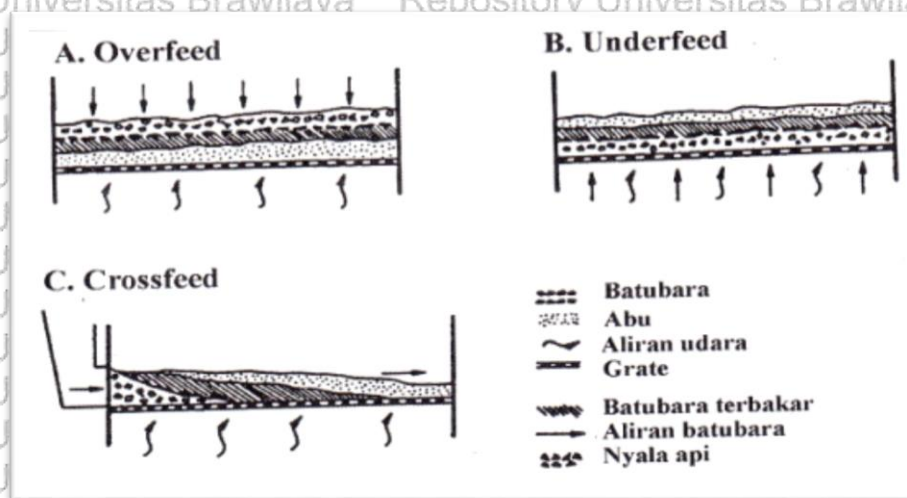
Pada Gambar 2.2 (A) ditunjukkan skematik pembakaran unggun tetap dengan cara hembusan udara updraft combustion. Butiran batubara diletakkan di atas grate, udara masuk dibagi dua menjadi udara primer dan udara sekunder.

Udara primer dihembuskan dari dasar bed dan udara sekunder dari bagian atas bed, dengan cara ini maka gas buang akan terhembus keatas. Sistem hembusan udara seperti ini disebut sebagai updraft combustion. Pada gambar 2.2 (B)



ditunjukkan system pembakaran unggun tetap dengan system hembusan downdraft combustion.

Pada pola pengumpan *overfeed* (Gambar 2.2 B), aliran batubara dan udara saling berlawanan (*countercurrent*). Batubara diumpan dari atas unggun bergerak kebawah sambil terbakar, sementara udara mengalir keatas melewati lapisan abu dan batubara baru. Umpun batubara akan terpanaskan karna kontak dengan batubara yang sudah terbakar yang ada di bawahnya dan juga oleh gas hasil pembakaran yang mengalir berlawanan arah. Matrial sisa pembakaran turun ke permukaan grate dan secara periodik dikeluarkan dengan cara dumping, shaking atau vibrating. Beberapa stoker mempunyai grate yang berjalan secara kontinyu.



Gambar 2.3 Skematik Pengumpan

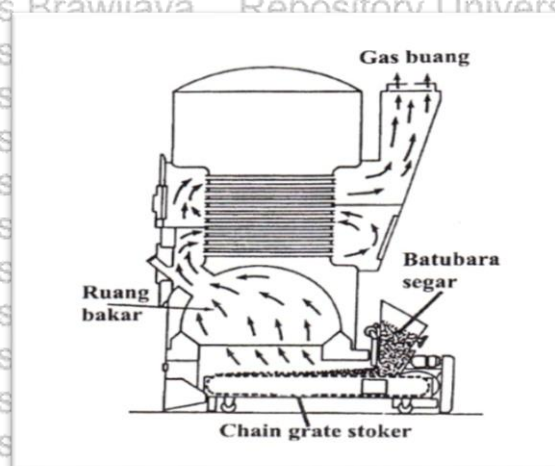
Pada pola pengumpan *underfeed* (Gambar 2.3 B), aliran batubara dan udara terjadi secara parallel dan biasanya mengalir keatas. Zat terbang, uap air, dan udara pembakaran mengalir melalui lapisan bahan bakar yang terbakar. Tipe ini menghasilkan lebih sedikit asap pada pengumpan dan pengoprasiannya beban rendah. Pola pengumpan *crossfeed* (Gambar 2.3 C) merupakan pola



pengumpulan bahan bakar dan pengaliran udara yang banyak diterapkan. Dalam pola ini batubara sebagai bahan bakar bergerak secara horizontal, sementara udara bergerak dari bawah keatas. Pola pembakaran system ini terdiri dari stoker yang dilengkapi dengan hopper untuk tempat pengumpulan, *chain grate*, *travelling grate* dan *vibrating, reciprocating* atau *oscillating grate*.

2.3.2 Sistem Pembakaran Batubara Unggun Fluidisasi (*Fluidized Bed*)

Pada Gambar 2.4 ditunjukkan skematik unggun fluidisasi. Pada sistem unggun fluidisasi partikel bebas bergerak karena adanya tekanan udara yang cukup kuat untuk mengangkat partikel batubara, akibatnya gerak partikel sulit diperkirakan, pembuatan modelnya menjadi lebih sulit daripada system unggun tetap. Di dalam system pulverisasi, partikel bergerak cepat bersama-sama dengan gas, karenanya gerakan partikel dan gas yang mengelilingi cenderung bergerak bersama-sama.



Gambar 2.4 Sistem Pengumpan Crossfeed (*Chain Grate*)

Dalam pembakaran fluidisasi, ukuran partikel batubara harus cukup kecil sehingga bisa diapungkan oleh aliran udara pembakaran yang bergerak dari bawah keatas. Partikel selanjutnya bergerak ke atas dan ke bawah secara



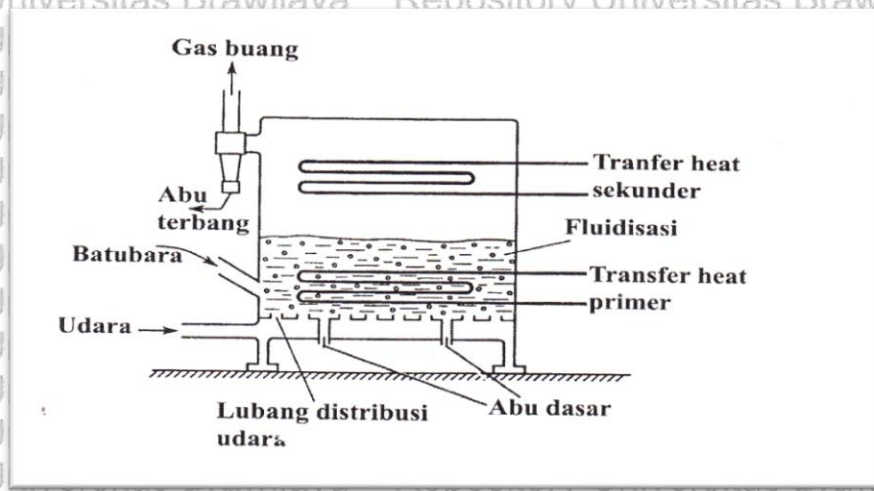
mengelompok. Gerakan vertikal yang bolak-balik ini menghasilkan pencampuran yang baik dan distribusi partikel yang merata sehingga partikel teraduk dengan baik.

Aspek *engineering* dalam desain *fluidized-bed*, seperti system pembakaran yang lain, ditekankan pada masalah perpindahan panas, pengeluaran abu, dan pengumpan bahan bakar batubara. *Fluidized-bed* mempunyai banyak alternative untuk memecahkan masalah-masalah diatas, sebagai contoh, system bisa dijalankan dengan bed agak panas atau agak dingin. Dalam *fluidized-bed* hal ini bisa dilakukan dengan metode yang berbeda dalam mengendalikan perpindahan panas dan ini menghasilkan metode berbeda dalam pengeluaran abu.

Temperatur bed dikendalikan dengan mengatur kedalaman bed, dengan menambah atau tidak penukar panas (*heat exchanger*), dan dengan penggunaan ballast (bahan inert) dalam bed.

Pressurized fluidized bed combustion, pada pembakaran jenis ini tekanan pembakaran dinaikan dan ukuran ruang pembakaran bisa lebih diperkecil sehingga menurunkan biaya investasi. Pada tekanan pembakaran di atas 4-6 atm, turbin gas dapat dijalankan oleh gas pembakaran untuk menekan udara pembakaran dan menghasilkan daya listrik. Hasilnya dapat meningkatkan efisensi dalam menghasilkan listrik. Beberapa keuntungan *fluidized-bed* antara lain :

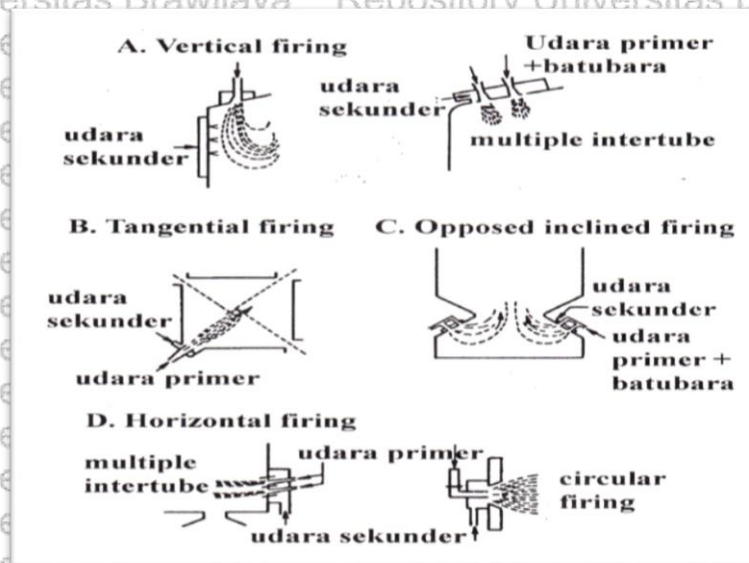
- 1) Biaya capital dan biaya oprasi lebih rendah
- 2) Perpindahan panas ketabung boiler cukup tinggi (sampai 100 Btu/jam $\text{ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$)
- 3) Jumlah NOx yang terbentuk lebih sedikit karena temperature nyala yang rendah.



Gambar 2.5 Pembakaran Sistem Fluidisasi

2.3.3 Sistem Pembakaran Batubara Pulverisasi

Pada system pembakaran pulverisasi, partikel batubara harus cukup halus agar bisa dimasukkan oleh tekanan udara pembakaran. Ukuran batubara untuk pembakaran pulverisasi adalah -200# (mesh) -74 μm . Apabila batubara lignit yang dipakai maka jumlah partikel berukuran -200# (mesh) adalah sekitar 65 – 70% sedang untuk sub bituminous yang mudah terbakar, jumlahnya sampai 80 – 85 %. Untuk menjaga supaya nyala api stabil dan mencegah berbalik arah ke burner, batubara harus diinjeksikan kedalam tanur pada kecepatan yang tinggi, sekitar 15 m/detik. Pada gambar 5 ditunjukkan sekematik susunan burner, system pemasukan udara primer dan sekunder untuk system pembakaran pulverisasi.



Gambar 2.6 Susunan Burner pada Pembakaran Batubara Pulverisasi

Secara praktis, batubara diumpankan bersama sebagian udara pembakaran. Udara yang dimasukkan dibagi dua yaitu udara primer dan udara sekunder. Udara primer dimasukkan secara bersama-sama batubara sementara udara sekunder dimasukkan secara terpisah, umumnya udara primer bersama batubara dimasukkan lewat pipa ditengah, sementara udara sekunder dimasukan dari bawah. Dibandingkan dengan pembakaran jenis lain, metoda pembakaran pulverisasi hampir taktergantug pada karakteristik batubara. Tentu saja ada beberapa instalasi yang pemakainnya terbatas pada beberapa batubara tertentu, tetapi secara umum hampir semua batubara bisa digunakan dalam system pulverisasi dengan desain sistem yang tepat.

Berdasarkan abu yang dikeluarkan apakah dalam keadaan kering atau dalam keadaan leleh (molten), tanur pembakaran pulverisasi dibagi dua jenis, yaitu tanur dry bottom untuk tanur yang pengeluaran abunya dilakukan dalam keadaan kering, dan tanur slag tap atau wet bottom untuk tanur yang pengeluaran abunya dilakukan dalam keadaan leleh. Tanur dry bottom, oprasi



tanur ini lebih sederhana dan lebih fleksibel terhadap perubahan jumlah dan sifat batubara dibandingkan dengan tanur wet bottom. Kerugian utama tanur *dry bottom* ini ukurannya lebih besar (sehingga lebih mahal) dan sekitar 80-90 % abu harus dikeluarkan dari boiler dalam bentuk debu halus.

Tanur *wet bottom*, tanur jenis ini dikembangkan untuk mengatasi masalah yang timbul pada saat menangani abu halus kering, yaitu dengan cara membuat abu berbentuk granular dan tinggal dalam tanur lebih lama dibandingkan tanur *dry bottom*. Dalam tanur jenis ini aliran lelehan abu yang mengalir keluar dari tanur disemprot dengan air dingin sehingga berbentuk granular yang ukurannya sesuai dengan yang dikehendaki. Dibandingkan dengan tanur *dry bottom*, tanur *wet bottom* mempunyai kerugian seperti kurang fleksibel terhadap pemilihan batubara, lebih banyak terjadi fouling dan korosi eksternal, pembentukan NOx yang lebih tinggi. *Slurry firing*, pembakaran dalam bentuk slurry bertujuan agar transportasi bahan bakar lebih mudah dilakukan, batubara mudah disimpan dan digunakan, dibandingkan dalam bentuk padat. Bahan bakar dalam bentuk slurry ini diantaranya adalah *coal water mixtures* (CWM) dan *coal-oil mixtures* (COM).

a. **Coal-Water Mixtures (CWM)**

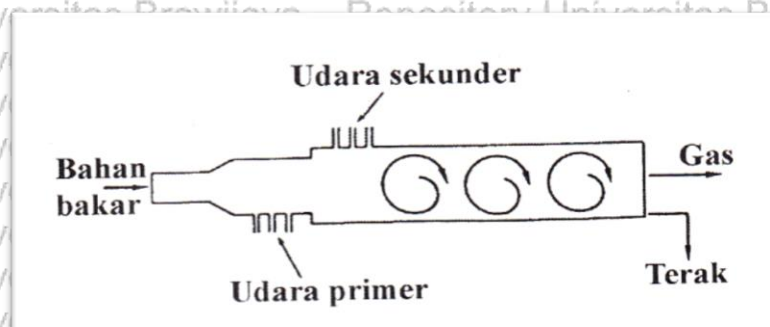
CWM merupakan campuran antara batubara berukuran halus dan air dengan perbandingan tertentu serta dengan penambahan aditif tertentu untuk menjaga kesetabilan fluida agar batubara tidak cepat mengendap. Tujuan utama CWM adalah agar dapat diangkut dengan pipa sehingga lebih murah biaya transpotasinya dibandingkan biaya transportasi batubara dalam keadaan padat. Yang perlu diperhatikan dalam CWM ini adalah dalam penyimpanan yang membutuhkan tempat khusus, kesetabilan fluida dalam waktu tertentu, masalah dewatering baik secara termal maupun mekanik, dan masalah keberhasilan pembakaran.



b. Coal-Oil Mixtures (COM)

COM merupakan campuran antara batubara halus dan minyak dengan perbandingan tertentu. COM tidak terlalu menimbulkan masalah menyangkut keberhasilan dalam pembakaran, dibandingkan CWM. Tanur siklon. Pengembangan metoda pembakaran pulverisasi di antaranya adalah dengan menginjeksikan udara dan batubara secara tangensial dan dengan kecepatan tinggi ke dalam tanur siklon horizontal silindris, sehingga batubara terbakar dan bergerak mengikuti bentuk sepiral.

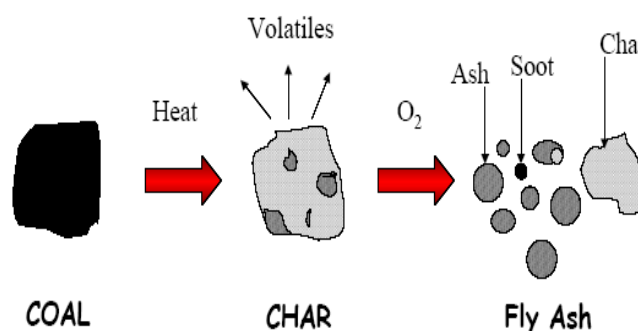
Di bawah kondisi aerodinamik yang tepat, tanur ini bisa menghasilkan bahang sampai 500.000 Btu/jam ft^3 ruang pembakaran (bandingkan dengan system dry bottom yang hanya menghasilkan bahang paling tinggi 150.000 dan system wet bottom yang menghasilkan bahang 400.000 Btu). Karena temperatur nyala api yang tinggi (300 °F) maka sekitar 90% abu keluar sebagai abu leleh (molten slag) yang cenderung menempel pada dinding tanur. Karena sifatnya lengket akan menyisakan partikel batubara yang belum terbakar. Tanur ini juga bisa digunakan untuk bahan bakar slurry dan pada umumnya pengoprasiannya dapat dilakukan dengan baik namun pemakainnya saat ini kurang disukai karena cenderung menghasilkan gas NO_x yang banyak. Metode pembakaran pulverisasi yang lebih banyak dipakai adalah pembakaran fluidisasi.



Gambar 2.7 Tanur Siklon

2.4 Polutan dan Pembakaran Batubara

Polutan batubara berasal dari dua sumber yaitu, pertama polutan yang timbul pada saat batubara belum mengalami pembakaran (*fugitive pollution*) seperti partikulat halus pada saat batubara diangkut dari tambang menuju tempat penumpukan (*stock piles*), sedangkan jenis polutan kedua berasal dari proses pembakaran batubara (*source point pollution*) (Gambar 7).



Gambar 2.8 Hasil proses pembakaran batubara (Web-site)

Berdasar jumlahnya, polusi batubara dapat digolongkan atas dua jenis polutan seperti polutan primer yaitu polutan yang jumlahnya relatif besar dibanding polutan lain diantaranya senyawa CO_x , NO_x , SO_x , oksidan dan partikulat melayang di udara (*total particulate suspended*). Jenis lainnya berupa polutan sekunder yaitu polutan yang jumlahnya relatif kecil seperti PAH (*polynuclear aromatic hydrocarbon*), hidrokarbon, amines, garam inorganik, phenol, trace elements dan lain sebagainya. Berdasarkan bentuk fisiknya, polutan batubara terbagi atas dua jenis yaitu polutan fase gas dan fase padat.

Polutan fase gas yaitu polutan yang berasal dari oksidasi senyawa penyusun massa batubara seperti material material anorganik yang terikut pada saat pembentukan batubara itu sendiri seperti clay, senyawa logam dan lain-lain yang keluar dari tubuh batubara berupa aliran fluida. Polutan fase padat ialah



polutan yang keluar dari pembakaran batubara atau transportasi batubara dalam bentuk solid dan terangkut bersama aliran fluida. Jika kedua polutan diatas keluar dari tubuh batubara yang mengalami pembakaran disebut sebagai emisi.

Konsentrasi dan jumlah emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara tergantung oleh karakter batubara yang digunakan (Sudarsono, A.S. 2003).

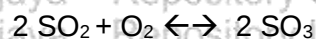
2.4.1 Polutan Fasa Gas

a. Sulfur – Oksida

Setiap batubara mengandung senyawa sulfur dalam bentuk sulfida, piritik dan organik sulfur. Piritik sulfur dan sulfida biasanya berasal dari material yang terbawa ke lapisan tubuh batubara pada saat pembentukan batubara, sedangkan organik sulfur berasal dari tumbuhan pembentuk batubara itu sendiri.

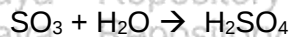
Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan Sulfur trioksida (SO_3), dan keduanya disebut sulfur oksida (SO_x). Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar diudara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif. Pembakaran bahan-bahan yang mengandung Sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur oksida, tetapi jumlah relatif masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Di udara SO_3 selalu terbentuk dalam jumlah relatif lebih besar dibandingkan SO_2 . Jumlah SO_3 yang terbentuk bervariasi dari 1% sampai 10% dari total SO_x .

Mekanisme pembentukan SO_2 dan SO_3 dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut:





SO₃ di udara dalam bentuk gas hanya mungkin ada jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika uap air terdapat dalam jumlah cukup, SO₃ dan uap air akan segera bergabung membentuk droplet asam sulfat (H₂SO₄) dengan reaksi sebagai berikut:



Setelah berada diatmosfir sebagian SO₂ akan diubah menjadi SO₃ (kemudian menjadi H₂SO₄) oleh proses-proses fotolitik dan katalitik jumlah SO₂ yang teroksidasi menjadi SO₃ dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk jumlah air yang tersedia, intensitas, waktu dan distribusi spektrum sinar matahari, jumlah bahan katalik, bahan sorptif dan alkalin yang tersedia. Pada malam hari atau kondisi lembab atau selama hujan SO₂ di udara diabsorpsi oleh droplet air alkalin dan bereaksi pada kecepatan tertentu untuk membentuk sulfat di dalam droplet.

Pencemaran SO_x menimbulkan dampak terhadap manusia dan hewan, kerusakan pada tanaman terjadi bila kandungan SO_x mencapai 0,5 ppm. Pengaruh utama polutan SO_x terhadap manusia adalah iritasi sistem pernafasan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa iritasi tenggorokan terjadi pada kadar SO₂ sebesar 5 ppm atau lebih bahkan pada beberapa individu yang sensitif iritasi terjadi pada kadar 1-2 ppm. SO₂ dianggap pencemar yang berbahaya bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit khronis pada sistem pernafasan kardiovaskular (Sule, D. 2006). Individu dengan gejala penyakit tersebut sangat sensitif terhadap kontak dengan SO₂, meskipun dengan kadar yang relatif rendah. Kadar SO₂ yang berpengaruh terhadap gangguan kesehatan dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini:

**Tabel 2. 1** Konsentrasi SO₂ di udara serta pengaruhnya terhadap manusia

Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
3 – 5	Jumlah terkecil yang dapat dideteksi dari baunya
8 – 12	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi tenggorokan
20-30	Jumlah terkecil yang akan mengakibatkan iritasi mata
30-40	Jumlah terkecil yang akan mengakibatkan batuk
40-50	Maksimum yang diperbolehkan untuk konsentrasi dalam waktu lama
50-100	Maksimum yang diperbolehkan untuk kontrak singkat (30 menit)
400-500	Berbahaya meskipun kontak dalam waktu secara singkat

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014

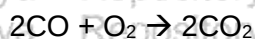
b. Karbon – Oksida

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO₂) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin.

Mekanisme pembentukan CO_x dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut:



Gas CO yang terbentuk dapat bereaksi dengan Oksigen sehingga membentuk gas CO₂ sesuai reaksi:





Karakteristik biologik yang paling penting dari CO adalah kemampuannya untuk berikatan dengan haemoglobin, pigmen sel darah merah yang mengangkut oksigen keseluruh tubuh. Sifat ini membentuk karboksihemoglobin (HbCO) yang 200 kali lebih stabil dibandingkan oksihemoglobin (HbO_2). Penguraian HbCO yang relatif lambat menyebabkan terhambatnya kerja molekul sel pigmen tersebut dalam fungsinya membawa oksigen keseluruh tubuh. Kondisi seperti ini bisa berakibat serius, bahkan fatal, karena dapat menyebabkan keracunan.

Selain itu, metabolisme otot dan fungsi enzim intra-seluler juga dapat terganggu dengan adanya ikatan CO yang stabil tersebut. Dampak keracunan CO sangat berbahaya bagi orang yang telah menderita gangguan pada otot jantung atau sirkulasi darah perifer yang parah (Wardoyo, Arinto Y.P, 2016).

Dampak dari CO bervariasi tergantung dari status kesehatan seseorang pada saat terpajan. Pada beberapa orang yang berbadan gemuk dapat mentolerir pajan CO yang tertambat di dalam darah (HbCO) mencapai 40%.

Tetapi seseorang yang menderita sakit jantung atau paru-paru akan menjadi lebih parah apabila kadar HbCO dalam darahnya sebesar 5–10%. Pengaruh CO kadar tinggi terhadap sistem syaraf pusat dan sistem kardiovaskular telah banyak diketahui. Namun respon dari masyarakat berbadan sehat terhadap pajanan CO kadar rendah dan dalam jangka waktu panjang, masih sedikit diketahui.

Misalnya kinerja para petugas jaga, yang harus mempunyai kemampuan untuk mendeteksi adanya perubahan kecil dalam lingkungannya yang terjadi pada saat yang tidak dapat diperkirakan sebelumnya dan membutuhkan kewaspadaan tinggi dan terus menerus, dapat terganggu/terhambat pada kadar HbCO yang berada dibawah 10% dan bahkan sampai 5% (Wardoyo, Arinto Y.P).



c. Nitrogen – Oksida

Nitrogen oksida (NO_x) adalah kelompok gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂).

Walaupun ada bentuk oksida nitrogen lainnya, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak diketahui sebagai bahan pencemar udara. Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Nitrogen monoksida (NO) terdapat diudara dalam jumlah lebih besar daripada Nitrogen dioksida (NO₂). Pembentukan NO dan NO₂ merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen diudara sehingga membentuk NO, yang bereaksi lebih lanjut dengan lebih banyak oksigen membentuk NO₂. Udara terdiri dari 80% Volume nitrogen dan 20% Volume oksigen. Pada suhu kamar, hanya sedikit kecenderungan nitrogen dan oksigen untuk bereaksi satu sama lainnya. Pada suhu yang lebih tinggi (diatas 1210°C) keduanya dapat bereaksi membentuk NO dalam jumlah banyak sehingga mengakibatkan pencemaran udara. Dalam proses pembakaran, suhu yang digunakan biasanya mencapai 1.210°C – 1.765 °C, oleh karena itu reaksi tersebut merupakan sumber NO yang penting. Jadi reaksi pembentukan NO merupakan hasil samping dari proses pembakaran (Sudarsono, A 2003).

Oksida nitrogen seperti NO dan NO₂ berbahaya bagi manusia. Penelitian menunjukkan bahwa NO₂ empat kali lebih beracun daripada NO. Selama ini belum pernah dilaporkan terjadinya keracunan NO yang mengakibatkan kematian. Diudara ambien yang normal, NO dapat mengalami oksidasi menjadi NO₂ yang bersifat racun. Penelitian terhadap hewan percobaan yang dipajankan NO dengan dosis yang sangat tinggi, memperlihatkan gejala kelumpuhan sistem



syarat dan kekejangan. Penelitian lain menunjukkan bahwa tikus yang dipajan NO sampai 2500 ppm akan hilang kesadarannya setelah 6-7 menit, tetapi jika kemudian diberi udara segar akan sembuh kembali setelah 4–6 menit. Tetapi jika pemajanan NO pada kadar tersebut berlangsung selama 12 menit, pengaruhnya tidak dapat dihilangkan kembali, dan semua tikus yang diuji akan mati.

NO₂ bersifat racun terutama terhadap paru-paru. Kadar NO₂ yang lebih tinggi dari 100 ppm dapat mematikan sebagian besar binatang percobaan dan 90% dari kematian tersebut disebabkan oleh gejala pembengkakan paru (edema pulmonari). Kadar sebes NO₂ sebesar 800 ppm akan mengakibatkan 100% kematian pada binatang-binatang yang diuji dalam waktu 29 menit atau kurang. Pemajanan NO₂ dengan kadar 5 ppm selama 10 menit terhadap manusia mengakibatkan kesulitan dalam bernafas (Wardoyo, Arinto Y.P 2016)

2.4.2 Polutan Fase Partikulat

Salah satu parameter pencemar udara adalah debu (*suspended particulate matter*). Saat ini pembahasan tentang partikulat sebagai pencemar udara menjadi perhatian di berbagai negara, mengingat terdapat bukti kuat mengenai korelasi antara polusi udara dan dampaknya pada kesehatan manusia terutama yang disebabkan oleh partikulat. Secara keseluruhan partikulat debu di atmosfer disebut sebagai *Suspended Particulate Material (SPM)* atau *Total Suspended Particulate (TSP)*. Suspended partikulat adalah partikel halus di udara yang terbentuk pada pembakaran bahan bakar fosil. Terutama partikulat halus yang disebut PM₁₀ sangat berbahaya bagi kesehatan (Soemarwoto, 2004).

Suspended partikulat adalah debu yang tetap berada di udara dan tidak mudah mengendap serta melayang di udara. Debu partikulat ini juga terutama dihasilkan dari emisi yang terikut bersama – sama gas buang dari cerobong asap



industry seperti PLTU maupun kendaraan. Sekitar 50% - 60% dari partikel melayang merupakan debu berdiameter 10 μm atau dikenal dengan PM10. Debu PM10 ini bersifat sangat mudah terhirup dan masuk ke dalam paru-paru, sehingga PM10 dikategorikan sebagai *Respirable Particulate Matter* (RPM). Akibatnya akan mengganggu sistem pernafasan bagian atas maupun bagian bawah (alveoli). Pada alveoli terjadi penumpukan partikel kecil sehingga dapat merusak jaringan atau sistem jaringan paru-paru, sedangkan debu yang lebih kecil dari 10 μm , akan menyebabkan iritasi mata, mengganggu serta menghalangi pandangan mata (Chahaya, 2003).

Particulate Matter adalah partikel kecil yang terdiri dari padatan atau cairan yang tersuspensi di udara. Sumber *Particulate Matter* bisa dari hasil kegiatan manusia atau sumber alami. Partikulat dapat bersumber dari vulkanik, hutan, pembakaran padang rumput, dan sebagainya. Sumber kegiatan manusia contohnya dari pembakaran bahan bakar fosil dari kendaraan, pembangkit tenaga listrik, dan dari proses-proses industri. *Particulate Matter* 10 (PM10) merupakan partikulat yang memiliki diameter kurang dari 10 μm . *Particulate Matter* 10 (PM10) terdiri dari aluminosilikat dan oksida lain dari unsur kerak dengan sumber utama termasuk debu yang berasal dari jalan, industri, pertanian, konstruksi, pembongkaran gedung, dan debu terbang dari pembakaran bahan bakar fosil. *Particulate Matter* 10 (PM10) menyebar pada jarak bervariasi mulai kurang dari 1 km sampai 10 km. Partikel PM10 yang berdiameter 10 mikron memiliki tingkat kelolosan yang tinggi dari saringan pernafasan manusia dan bertahan di udara dalam waktu cukup lama. Tingkat bahaya semakin meningkat pada pagi dan malam hari karena asap bercampur dengan uap air. PM10 tidak terdeteksi oleh bulu hidung sehingga masuk ke paru-paru. Jika partikel tersebut



terdeposit ke paru-paru akan menimbulkan peradangan saluran pernapasan, gangguan penglihatan dan iritasi kulit (Wardoyo, Arinto Y.P 2016).

Materi partikulat (*particulate matter*) didefinisikan sebagai material dalam bentuk solid maupun liquid di udara dengan ukuran diameter partikel sekitar 0,005 μm hingga 100 μm meskipun yang dalam bentuk suspensi secara umum kurang dari 40 μm (1 μm = 1 mikron meter=10⁻⁴cm). Partikulat yang berukuran 2 – 40 mikron tidak bertahan terus di udara dan akan segera mengendap.

Partikulat yang tersuspensi secara permanen di udara juga mempunyai kecepatan pengendapan, tetapi partikulat-partikulat tersebut tetap di udara karena gerakan udara. Partikulat di udara tidak hanya dihasilkan dari emisi langsung berupa partikulat, tetapi juga dari emisi gas-gas tertentu yang mengalami kondensasi dan membentuk partikulat, sehingga ada partikulat primer dan sekunder. Partikulat primer adalah partikel yang langsung diemisikan berbentuk partikulat, sedangkan partikel sekunder adalah partikel yang terbentuk di atmosfer (Nurhayati, 2000).

Beberapa istilah yang digunakan untuk menjelaskan partikulat, yakni:

a) *Dust* (debu): Debu berukuran antara 1-10000 μm . Merupakan partikel padat, berukuran kecil, berasal dari pecahan massa yang lebih besar, terjadi melalui proses penghancuran, pengasahan, peledakan pada proses atau penanganan material seperti semen, batubara. Debu tidak terdispersi karena mampu mengendap sendiri oleh adanya gaya gravitasi.

b) *Smoke* (asap)

Asap merupakan partikulat yang memiliki rank diameter antara 0,5 hingga 1 mikrometer. Asap berupa partikel padat, halus, merupakan hasil pembakaran tidak sempurna materi organik seperti batubara, kayu,



tembakau, dan lain-lain terutama yang tersusun dari karbon dan materi lain yang dapat terbakar.

c) *Fume* (Uap): Diameter partikel uap antara 0,03 hingga 0,3 μm . Merupakan partikel padatan dan halus sering berupa oksida logam, berbentuk melalui kondensasi uap materi padatan dari proses sublimasi, ataupun pelelehan logam. Uap ini mampu membentuk flok yang pada saat tertentu dapat mengendap.

d) *Mist* (kabut): *Mist* memiliki diameter kurang dari 10 μm . Merupakan partikel cair berasal dari proses kondensasi uap air, umumnya tersuspensi dalam atmosfer atau berada dekat dengan permukaan tanah.

e) *Fog* (kabut): *Fog* adalah *mist* bila konsentrasi *mist* cukup tinggi sehingga menghalangi pandangan.

f) *Fly ash* (abu terbang): *Fly ash* memiliki diameter antara 1 sampai 103 μm . Abu terbang merupakan partikel yang tidak terbakar pada proses pembakaran, terbentuk pada proses pembakaran batubara. *Fly ash* umumnya terdiri dari material dan logam anorganik.

g) *Spray* (uap). Uap memiliki range diameter antara 10 sampai 103 μm (Wardhana, 2004).

Ukuran partikulat merupakan karakteristik dari partikulat. Ukuran partikulat dinyatakan dalam diameter dengan satuan:

$$\mu \text{ (mikron)} = \mu\text{m (mikrometer)}$$

$$1 \mu = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$$

Partikel yang ada di atmosfer dibagi dalam 3 kelompok berdasarkan diameter partikel yaitu:



1. Partikel Halus

Partikel halus berdiameter antara 0,005 sampai 0,1 mikrometer. Partikel halus yang memasuki atmosfer terutama berasal dari proses kondensasi uap panas dari sumber-sumber pembakaran setelah beberapa waktu (umumnya beberapa jam). Ukuran partikel menjadi besar terutama melalui proses penggumpalan (aglomerasi). Aglomerasi terjadi dalam fase gas disebabkan oleh gerak Brown yang membuat partikel saling bersentuhan dan membentuk partikel lebih besar. Proses ini berlangsung dalam lapisan awan atau kabut.

2. Partikel Sedang

Partikel sedang berukuran antara 0,1 hingga 1 mikron. Partikel dalam range diameter ini sebagian terbentuk dengan adanya penggumpalan partikel halus dan sebagian lagi oleh adanya konversi kimiawi gas-gas dan uap menjadi partikel di atmosfer. Partikel dalam diameter ini cukup besar untuk dihilangkan oleh titik-titik air di awan (rain out) ataupun air hujan (washout).

3. Partikel Besar

Partikel besar berdiameter 1 hingga 100 mikron. Partikel besar terbentuk secara mekanik dari sumber industri. Partikel dalam kategori ini dapat dikumpulkan melalui pengendapan secara gravitasi dengan atau tanpa adanya hujan.

Klasifikasi Partikel berdasarkan EPA antara lain:

- Total Suspended Particulate (TSP) merupakan partikulat yang memiliki diameter antara 0,1 mikrometer hingga 30 mikrometer.



- PM 10 merupakan partikulat yang berdiameter 10 mikrometer yang dapat terkumpul menggunakan peralatan sampling dengan efisiensi 50%. PM 10 diklasifikasikan polutan karena ukurannya “terhirup (respirable)”.
- PM 2,5 merupakan partikulat berdiameter 2,5 mikrometer yang terkumpul dengan peralatan sampling dengan efisien 50%. Partikel PM_{2,5} bertahan di atmosfer selama beberapa jam hingga beberapa hari pada cuaca normal. Partikel PM_{2,5} dapat menyebabkan gangguan kesehatan terhadap sistem pernafasan manusia.

Keberadaan partikulat di udara bersifat menghamburkan cahaya yang mengakibatkan kabut pada siang hari dan mereduksi jarak pandang. Hamburan cahaya disebabkan oleh partikel yang berdiameter antara 0,4 sampai 0,8 mikrometer yang merupakan partikulat sekunder. Partikel tersebut dapat menghamburkan sinar karena memiliki diameter mendekati panjang gelombang sinar tampak, yaitu antara 0,38 sampai 0,76 mikrometer (blh.bantulkab.go.id, 2016). Setiap pembakaran batubara menghasilkan emisi berupa material padat dengan ukuran sangat halus, sedemikian halusnya sehingga material padat tersebut dapat melayang di udara yang biasa disebut partikulat melayang (*Suspended Particulate Matter/SPM*), partikulat tersebut secara fisik dapat dilihat berupa asap, jelaga, dan abu. Sumber partikulat melayang tersebut adalah proses pembakaran senyawa penyusun batubara, seperti clay, senyawa logam dan lain sebagainya yang ada pada massa batubara. Partikulat melayang (*Suspended Particulate Matter/SPM*) merupakan campuran yang sangat rumit dari berbagai senyawa organik dan anorganik yang terbesar di udara dengan ukuran sangat halus, mulai dari < 0,001 mikron sampai dengan maksimal 500 mikron. Partikulat debu tersebut akan berada di udara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang - layang di udara dan masuk kedalam tubuh



manusia melalui saluran pernafasan. Selain dapat berpengaruh negatif terhadap kesehatan, partikel debu juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan juga mengadakan berbagai reaksi kimia di udara. Partikel debu SPM pada umumnya mengandung berbagai senyawa kimia yang berbeda, dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda pula, tergantung dari mana sumber emisinya (Sule, D. 2006).

Komposisi partikulat debu di udara merupakan partikel yang rumit, dan pentingnya ukuran partikulat dalam menentukan pajanan, banyak istilah yang digunakan untuk menyatakan partikulat debu di udara. Beberapa istilah digunakan dengan mengacu pada metode pengambilan sampel udara seperti: *Suspended Particulate Matter* (SPM), *Total Suspended Particulate* (TSP), *black smoke*. Istilah lainnya lagi lebih mengacu pada tempat di saluran pernafasan dimana partikulat debu dapat mengedap, seperti *inhalable particulate* yang terutama mengedap disaluran pernafasan bagian bawah, yaitu dibawah pangkal tenggorokan (larynx). Istilah lainnya yang juga digunakan adalah PM-10 (partikulat debu dengan ukuran diameter aerodinamik <10 mikron), yang mengacu pada unsur fisiologi maupun metode pengambilan sampel.

Pengaruh partikulat debu bentuk padat maupun cair yang berada di udara sangat tergantung kepada ukurannya. Ukuran partikulat debu bentuk padat maupun cair yang berada diudara sangat tergantung kepada ukurannya. Ukuran partikulat debu yang membahayakan kesehatan umumnya berkisar antara 0,1 mikron sampai dengan 10 mikron. Pada umumnya ukuran partikulat debu sekitar 5 mikron merupakan partikulat udara yang dapat langsung masuk kedalam paru-paru dan mengendap di alveoli. Keadaan ini bukan berarti bahwa ukuran partikulat yang lebih besar dari 5 mikron tidak berbahaya, karena partikulat yang lebih besar dapat mengganggu saluran pernafasan bagian atas dan



menyebabkan iritasi. Keadaan ini akan lebih bertambah parah apabila terjadi reaksi sinergistik dengan gas SO_2 yang terdapat di udara juga. Selain itu partikulat debu yang melayang dan berterbangan dibawa angin akan menyebabkan iritasi pada mata dan dapat menghalangi daya tembus pandang mata (*Visibility*). Adanya ceceran logam beracun yang terdapat dalam partikulat debu di udara merupakan bahaya yang terbesar bagi kesehatan. Pada umumnya udara yang tercemar hanya mengandung logam berbahaya sekitar 0,01% sampai 3% dari seluruh partikulat debu di udara. Akan tetapi logam tersebut dapat bersifat akumulatif dan kemungkinan dapat terjadi reaksi sinergistik pada jaringan tubuh. Selain itu diketahui pula bahwa logam yang terkandung di udara yang dihirup mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan dosis sama yang berasal dari makanan atau air minum. Oleh karena itu, kadar logam di udara yang terikat pada partikulat patut mendapat perhatian. Secara umum sifat partikulat pembakaran batubara sebagai berikut:

1. Sifat fisik:

- Warna : Abu-abu sampai hitam
- Ukuran : 20 mesh sampai dengan 200 mesh
- Bj : 2,06
- Bentuk : Berbentuk lembaran dan sebagian kecil dalam bentuk kristali

2. Sifat kimia

- Tidak larut dalam air
- Tidak bereaksi dengan air
- Penyusun utama terdiri atas senyawa SiO_2 , Al_2 , CaO dan Fe_2O_3



2.4.3 Sistem Polusi Partikulat

Keberadaan partikulat di udara secara potensial menyebabkan kerugian diantaranya terhadap paru-paru, mereduksi jarak penglihatan (visibilitas), mereduksi radiasi matahari, meningkatkan kemungkinan presipitasi, dan lain sebagainya. Besar efek yang ditimbulkan oleh partikulat merupakan fungsi dari range ukuran partikulat di udara, konsentrasi partikel serta komposisi fisik-kimia partikel di udara. Partikulat dapat memberikan efek berbahaya terhadap kesehatan manusia melalui mekanisme sebagai berikut:

- Partikel bersifat toksik karena sifat fisik atau kimianya
- Partikel menimbulkan gangguan pada saluran pernafasan
- Partikel membawa substansi toksik melalui absorpsi

Pada konsentrasi tinggi, partikulat tersuspensi berbahaya terhadap kesehatan manusia terutama terhadap pernafasan. Tingkat bahaya dipengaruhi oleh ukuran partikulat yang dihirup dan seberapa jauh memasuki saluran pernafasan.

Mekanisme pertahanan saluran terhadap partikulat secara garis besar adalah:

- 40% partikel dengan diameter 1 sampai 2 mikron tertahan dalam bronkheoli dan alveoli
- Partikel dengan diameter 0,25 sampai 1 mikron retensi dalam saluran pernafasan turun karena dapat dibuang atau dihembuskan saat bernafas
- Diameter partikel kurang dari 0,25 mikron retensinya menurun karena adanya gerak Brown

Tabel 2. 2 Mekanisme Pertahanan Organ Pernafasan Terhadap Partikulat

Ukuran Partikel	Mekanisme
> 10 μm	Debu kasar, fly ash
2 – 10 μm	Fume, Dust, Smoke
< 2 μm	Aerosol, Fumes
	Ditahan oleh bulu di dalam hidung Gerakan cilia mendorong mucus ke atas, partikel dibuang lewat mulut Limfosit dan Fagosit dalam paru-paru menyerang partikel submikron

Sumber: Nurhayati, 2000



Efek partikulat terhadap vegetasi pada lapisan debu partikulat pada permukaan daun dapat menutupi stomata daun. Gas dan uap air keluar-masuk struktur daun melalui stomata. Akibatnya transport gas, uap air ke dalam struktur daun terganggu. Debu yang melapisi permukaan daun juga menyebabkan kemampuan fotosintesa daun menurun. Sehingga akan mempengaruhi tingkat pertumbuhan vegetasi. Tanda-tanda kerusakan daun akibat pencemaran udara terutama adalah:

- Necrosis atau hilangnya warna pada daun. Necrosis menandakan adanya jaringan yang mati pada struktur daun.
- Chlorosis atau hilangnya klorofil. Klorosis merupakan gejala umum pada tumbuhan, umumnya disebabkan kekurangan beberapa nutrisi. Klorosis ditandai oleh warna hijau pucat atau warna kuning pada struktur daun.
- Bercak pada permukaan atas daun.

2.4.4 Hubungan Emisi dengan Parameter Pembakaran

Sebelum melihat lebih jauh tentang model suatu emisi yang dikeluarkan dari pembakaran batubara sebaiknya terlebih dulu di pelajari kinetika emisi fasa gas dan hubungan-hubungan dasarnya. Mekanisme adalah serangkaian reaksi-reaksi sederhana yang dapat menerangkan kinetika reaksi secara keseluruhan. Untuk mengetahui mekanisme suatu reaksi perlu dipelajari perubahan laju yang disebabkan oleh perbedaan konsentrasi pereaksi, hasil reaksi dan katalis. Keterangan yang penting dapat pula diperoleh dari studi tentang pengaruh suhu, tekanan, pelarut, sifat fisik dan kimia material yang terbakar sehingga menghasilkan fasa gas tersebut (Indra, 2011). Bila dinyatakan kedalam notasi, suatu reaksi kimia secara stoikiometri dinyatakan kedalam bentuk sebagai berikut:



$$v_1 A_1 + v_2 A_2 = v_3 A_3 + v_4 A_4 \dots \dots \dots (2.9)$$

disini:

v = Kecepatan alir gas

A = Luas penampang yang dilalui gas

Bila persamaan diatas diubah kedalam bentuk yang sederhana dengan memberikan tanda positif untuk koefisien stoikiometri dari hasil reaksi dan tanda negatif untuk koefisien stoikiometri pereaksi, maka persamaan diatas menjadi:

$$\sum v_i A_i = 0 \dots \dots \dots (2.10)$$

Cakupan reaksi ξ (x) didefinisikan sebagai $n_i = n_{i0} + v_i \xi$ dengan n_{i0} sebagai jumlah mol awal dari pereaksi atau hasil reaksi dari n_i sebagai jumlah mol sesudah waktu tertentu. Jadi $dn_i = v_i d\xi$, v_i tidak memiliki satuan dan ξ memiliki satuan dalam mol. Laju reaksi dapat didefinisikan sebagai laju perubahan cakupan reaksi sebagai berikut:

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{1}{v_i} \frac{dn_i}{dt} \dots \dots \dots (2.11)$$

Bila pada reaksi terdapat zat antara, laju reaksi untuk berbagai pereaksi mungkin tidak sama. Tetapi bila zat antara berada dalam konsentrasi yang sangat rendah, laju yang dihitung dari jumlah mol n_i dari berbagai pereaksi akan mempunyai nilai yang sama. Laju reaksi yang didefinisikan dengan cara ini dapat digunakan meskipun terjadi perubahan volum selama reaksi berlangsung atau terdapat dua fase/lebih.

Apabila volum tetap sama selama reaksi berlangsung, laju reaksi umumnya dinyatakan sebagai laju perubahan konsentrasi dari suatu pereaksi atau hasil reaksi dan dapat dinyatakan kedalam persamaan dibawah ini (Albert and Farington, 1980) :



$$\frac{1}{v_i} \frac{d(A_i)}{dt} = \frac{1}{V} \frac{d\xi}{dt} \dots \dots \dots (2.12)$$

(A_i) adalah konsentrasi dari A_i dan V adalah volum dimana reaksi terjadi.

Dalam praktiknya laju reaksi sering dinyatakan sebagai laju perubahan konsentrasi, atau tekanan dari salah satu pereaksi atau hasil reaksi. Untuk lebih jelasnya kita akan membahasnya lebih lanjut, dimana Suatu kecepatan reaksi memenuhi suatu persamaan umum yaitu sebagai berikut:



Persamaan tersebut masing-masing merupakan jumlah reaktan A atau B yang tertransformasi dalam unit waktu:

$$\text{Kec.Reaksi} = \frac{\text{Jumlah substansi yang tertransformasi}}{\text{Waktu tranformasi}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Ekspresi ini merupakan kecepatan reaksi rata-rata selama waktu pengamatan ketika kecepatan tidak tetap. Jika C_1 adalah konsentrasi substansi pada waktu t_1 dan C_2 adalah konsentrasi substansi pada waktu t_n , maka

$$\text{Laju reaksi} = \frac{C_n - C_1}{t_n - t_1} \dots \dots \dots (2.15)$$

C_1 = konsentrasi awal

C_n = konsentrasi setelah waktu ke n

t_1 = Waktu awal

t_n = Waktu ke n

Dalam kasus terbatas ketika $C_n - C_1$ dan $t_n - t_1$ menjadi sangat kecil sehingga,

$$\text{Laju} = \frac{dC}{dt} \dots \dots \dots (2.16)$$



Jika konsentrasi suatu reaktan atau produk diplot terhadap waktu, maka laju yang dinyatakan dalam satuan waktu t adalah merupakan kemiringan kurva pada satu titik. Ekspresi tersebut menunjukkan bahwa ragam konsentrasi, berat, volume dan sebagainya, tentang komponen reaktan berhubungan dengan waktu yang selalu empiris, tetapi dalam beberapa kasus yang dapat diprediksi secara teoritis apabila mekanisme reaksi diketahui. Apabila persamaan kinetika reaksi telah diketahui, maka persamaan tersebut dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi reaktan setelah kehilangan periode waktu tertentu, dengan ketentuan bahwa konsentrasi mula-mula pada setiap waktu adalah telah diketahui. Laju reaksi mencakup salah satu dari kategori berikut:

1. **Laju konstan.** Kecepatan konstan hanya terjadi dalam kasus khusus dari reaksi heterogen antara padatan dan fluida, dengan ketentuan bahwa
 - Konsentrasi reaktan konstan;
 - Luas permukaan padatan adalah tidak berubah selama proses.
2. **Laju berkurang dengan waktu.** Ini boleh jadi berkaitan dengan
 - Berkurangnya konsentrasi suatu reaktan;
 - Berkurangnya luas permukaan suatu reaktan;
 - Bentuk produk reaksi terhalangi lapisan tipis di atas permukaan reaktan padat.
3. **Laju meningkat dengan waktu.** Ini dikenal dengan reaksi autokatalis; produk reaksi bereaksi lebih lanjut dengan substansi dalam persamaan.

Laju reaksi beragam dari sangat lambat sampai sangat cepat. Oleh karena itu, jelas bahwa pengetahuan tentang faktor-faktor yang berpengaruh untuk menunjang suatu reaksi hingga berakhir dalam waktu minimum



adalah penting. Berikut ini merupakan hal-hal yang perlu dipertimbangkan yaitu:

1. Efek konsentrasi reaktan; sebagai contoh rancangan proses pelepasan (leaching proses), adalah dapat ditentukan untuk mengetahui konsentrasi minimum agen pelepasan. Jika suatu reaktan seperti sebuah gas, kemudian berpengaruh pada tekanan akan diketahui dalam rangka penggunaan tekanan yang efisien.
2. Efek temperatur; beberapa reaksi heterogen tidak dapat diapresiasi dipengaruhi oleh suhu, sedangkan lainnya berpengaruh besar.
3. Efek pergerakan atau laju aliran gas, ketika pada beberapa reaksi heterogen merupakan variabel yang sangat penting, sedangkan yang lainnya tidak.
4. Efek ukuran partikel; jika suatu reaksi dapat berlangsung cepat, tidaklah penting untuk mencapai ukuran butir yang halus, yang mana ongkos operasi menjadi mahal. Biasanya untuk ukuran halus untuk reaksi yang sangat lambat.

2.4.5 Emisi Polutan

Ada 4 (empat) metoda umum digunakan dalam hal menghitung emisi (*Emission estimation technique / EET*) yaitu:

1. Faktor emisi (*Emission Factors*)
2. Keseimbangan massa (*Mass Balance*)
3. Analisis bahanbakar (*Fuel Analysis*)
4. Sampling data atau Pengukuran langsung (*data Sampling or Direct Measurement*)

Dalam pengukuran sebenarnya dipilih salah satu metoda yang sesuai dengan kondisi yang ada, metoda keseimbangan massa biasanya digunakan



untuk mengukur emisi yang keluar dari pompa dan ventilasi, metoda faktor emisi dan analisa bahan bakar biasanya digunakan untuk mengukur emisi dari tangki dan *stockpile*, sedangkan metoda pengukuran langsung digunakan untuk mengukur emisi dari cerobong asap dan jalur pipa. Dari keterangan di atas, metode yang paling sesuai untuk menghitung emisi pada penelitian ini adalah metode pengukuran langsung.

2.4.6 Sampling Data

Pada tulisan ini cara menghitung emisi yang datanya diambil langsung dari pipa cerobong asap khususnya menghitung partikulat yang tertangkap oleh elektro statik precipitator (ESP) seperti pada persamaan dibawah ini.

$$C_{PM} = C_f / V_{m, STP} \dots \dots \dots (2.17)$$

Disini;

C_{PM} = Berat partikel dalam gas (g/m^3)

C_f = Berat partikel tertangkap ESP (gram)

$V_{m, STP}$ = Volume gas yang keluar dari pipa cerobong pada STP (Suhu dan Tekanan Estándar) (m^3)

Jika persamaan diatas dihitung dalam satuan waktu, dalam hal ini satu jam maka persamaan 2.17 dapat ditulis menjadi,

$$E_{PM} = C_{PM} \times Q_d \times 3,6 \times [273/(273 + T)] \dots \dots \dots (2.18)$$

Disini;

E_{PM} = Emisi partikulat tiap jamnya (kg/jam)

C_{PM} = Berat partikel dalam gas (g/m^3)



Q_d = Laju gas di cerobong asap ($m^3/detik$, kering)

3,6 = 3600 detik per jam dikalikan dengan 0,001 kilogram per gram

T = Suhu gas sampel ($^{\circ}C$)

Data yang diperoleh dari cerobong asap bisa saja dilaporkan dalam satuan gram partikulat per kubik meter gas yang keluar (basah). Dipersamaan setelah ini dapat dilihat laporan dalam satuan kg/jam.

$$E_{PM} = Q_w \times C_{PM} \times 3,6 \times (1 - \text{moist}_r/100) \times [273/(273 + T)] \dots (2.19)$$

Disini;

E_{PM} = Emisi partikulat tiap jamnya (kg/jam)

C_{PM} = Berat partikel dalam gas (g/m^3)

Q_w = Meter kubik perdetik gas yang keluar (m^3/s , basah)

Moist_r = Kandungan air (%)

3,6 = 3600 detik per jam dikalikan dengan 0,001 kilogram per gram

T = Suhu gas sampel ($^{\circ}C$)

273 = 273 K ($^{\circ}C$)

Untuk menghitung kandungan air digunakan persamaan:

$$\text{Moist}_r = 100\% \times \frac{g_{\text{moist}}}{(1000 \times V_{m,STP}) + \rho_{SRTP} \times g_{\text{moist}}} \dots (2.20)$$

Disini;

Moist_r = Kandungan air (%)

g_{moist} = Air yang terkumpul, (gram)

$V_{\text{m,STP}}$ = Volume gas yang keluar dari cerobong pada STP (m^3)

ρ_{STP} = Densiti gas sampel yang keluar dari jalur pipa cerobong (kg/m^3)
pada STP

2.5 Udara

Udara merupakan factor penting dalam kehidupan dimana di dalamnya terkandung oksigen yang diperlukan manusia maupun hewan untuk bernafas, tanpa oksigen tidak akan ada kehidupan di bumi, udara merupakan campuran berbagai macam zat yang tidak tetap perbandingannya, yang kondisinya tergantung banyak faktor antara lain temperatur, tekanan dan lingkungan sekitarnya (Wardana, 2001). Secara komposisi udara dalam atmosfer dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 3 Komposisi udara dalam atmosfer

No	Unsur	% volume	Kandungan (ppm)
1	Nitrogen/ N	78.09	780.9
2	Oksigen/ O_2	20.94	209.4
3	Karbon dioksida/ CO_2	0.0318	318
4	Karbon monoksida/ CO	0.00001	0.1
5	Hidrogen/ H_2O	0.00005	0.5
6	Nitrogen Oksida/ NO	0.000025	0.000025
7	Nitrogen Dioksida/ NO_2	0.00000001	0.00000001
8	Belerang dioksida/ SO_2	0.0000000002	0.00000002
9	Krypton/ Kr	0.00001	0.00001
10	Metana/ Me	0.000015	0.000015
11	Neon/ Ne	0.0018	0.0018
12	Ozone/ O_3	0.000002	0.000002
13	Helium/ He	0.00052	0.00052
14	Argon/ Ar	0.93	0.93
	Amonia	0.000001	0.000001

Sumber: Data Diolah, 2017

Peraturan pemerintah No. 41 Tahun 1999 menyatakan bahwa udara ambien adalah udara bebas dipermukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada didalam wilayah yuridiksi Negara Kesatuan Republik Indonesia sangat



dibutuhkan dalam mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur atau kadar zat dan komponen lain yang ada, yang seharusnya ada atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien dalam kurun waktu tertentu pada suatu daerah. Informasi kualitas udara tersebut ditentukan berdasarkan nilai ISPU (*Indeks Standar Pencemaran Udara*).

ISPU merupakan angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan pada terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup ISPU dihitung berdasarkan data hasil pemantauan kualitas udara yang dilakukan di semua setasiun pemantau yang ada. Parameter kualitas uadara yang diukur terdiri dari Karbonmonoksida (CO), Nitrogen dioksida (NO_2), Ozon (O_3), Sulfur dioksida (SO_2), dan partikel debu, data tersebut kemudian diolah sehingga didapatkan 1 (satu) nilai ISPU untuk tiap parameter.

Tabel 2. 4 Kondisi Udara Berdasarkan ISPU

No	RENTANG NILAI	KATAGORI	PENJELASAN
1	0 - 50	Baik	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan ataupun nilai estetika
2	51 - 100	Sedang	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif, dan nilai estitika
3	101 - 199	Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitive atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estitika
4	200 - 299	Sangat Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
5	300 ke atas	Berbahaya	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi

Sumber: Data Meneg LH Rentang dan Kategori ISPU 1999



2.5.1 Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan merupakan masuknya makhluk hidup, zat, energy atau komponen lain kedalam lingkungan dan berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau peruses alam, sehingga kualitas lingkungan turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang berfungsi atau tidak berfungsi samasekali sesuai dengan peruntukannya (Abdul Gofur, 2016). Salah satu jenis pencemaran lingkungan adalah pencemaran udara

Secara umum penyebab pencemaran udara ada dua macam, yaitu yang terjadi secara alamiah, seperti debu yang diterbangkan oleh angin, debu akibat letusan gunung berapi, pembusukan sampah lain-lain. Faktor akibat perbuatan manusia yang pada umumnya dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu yang berasal dari sumber bergerak (kendaraan bermotor, kapal terbang, dll) dan sumber tidak bergerak yaitu kegiatan industry (Wardhana, 2001).

2.5.2 Sumber Polusi Udara

Komposisi gas di atmosfer dapat mengalami perubahan karena polusi udara akibat dari aktivitas alam maupun dari berbagai aktivitas manusia. Sumber pencemaran udara dapat berasal dari kebakaran hutan, debu, industri dan alat transportasi seperti kendaraan bermotor dan kendaraan yang berupa alat berat yang menggunakan bahan bakar. Bahan pencemaran udara (polutan) secara umum dapat digolongkan menjadi dua golongan dasar, yaitu partikel dan gas.

Pencemaran udara oleh berbagai jenis polutan dapat menurunkan kualitas udara. Penurunan kualitas udara untuk respirasi semua organisme (terutama manusia) akan menurunkan tingkat kesehatan masyarakat. Asap dari kebakaran hutan dapat menyebabkan gangguan iritasi saluran pernafasan, bahkan terjadinya infeksi saluran pernafasan akut (ISPA). Setiap terjadi kebakaran hutan



selalu diikuti peningkatan kasus penyakit infeksi saluran pernafasan. Jumlah polutan yang dikeluarkan ke udara dalam satuan waktu dinamakan emisi. Emisi dapat disebabkan oleh biogenic emissions (proses alam) misalnya, CH₄ hasil aktivitas penguraian bahan organik oleh mikroba dan anthropogenic emissions (kegiatan manusia) misalnya asap kendaraan bermotor, asap pabrik dan sisa pembakaran. Beberapa jenis polutan pencemar udara antara lain:

a) Gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂)

Gas karbonmonoksida (CO) timbul akibat proses pembakaran yang tidak sempurna. Karbonmonoksida dapat bersumber dari proses pembakaran tidak sempurna. Proses pembakaran tidak sempurna dapat terjadi pada mesin kendaraan seperti mobil, motor, mesin, industri, kereta api dan lain-lain.

Proses pembakaran ini akan menghasilkan gas CO₂, sebagai contoh jika kita menghidupkan mesin mobil di dalam garasi, maka garasi harus dalam keadaan terbuka apabila garasi berada dalam keadaan tertutup rapat, maka gas CO yang keluar dari knalpot akan memenuhi ruangan tersebut. Jika terhirup oleh seseorang dalam jumlah yang banyak dapat menyebabkan keracunan yang ditandai dengan badan lemas dan apabila berlanjut lama dapat menyebabkan kematian.

Gas CO merupakan gas yang tidak berbau, tidak berasa, dan tidak stabil. Gas ini sangat reaktif terhadap hemoglobin darah dan afinitas hemoglobin (Hb) terhadap CO lebih tinggi dibandingkan afinitas Hb terhadap O₂. Apabila gas CO ini terhirup melalui saluran pernafasan dan berdifusi ke dalam darah, maka CO akan lebih cepat berikatan dengan Hb dibandingkan dengan oksigen. Akibatnya, CO akan terbawa ke jaringan dan oksigen dalam tubuh menjadi berkurang sehingga tubuh akan mengalami pusing dan sakit kepala.



Selain itu, penumpukan CO dalam jaringan dapat menimbulkan keracunan.

Gas karbondioksida (CO_2) berasal dari hasil pembakaran hutan, industri, pesawat terbang, pesawat luar angkasa, kapal dan mesin-mesin seperti motor, mobil serta kereta api. Hasil pembakaran tersebut akan menghasilkan kadar karbondioksida, sehingga akan mengakibatkan tercemarnya udara.

Apabila kadar CO_2 di udara terus meningkat dan melebihi batas toleransi 0,0035% serta tidak segera diubah oleh tumbuhan menjadi oksigen, maka dapat menyebabkan terbentuknya gas rumah kaca yang efeknya akan meningkatkan pemanasan global suhu bumi (*global warming*).

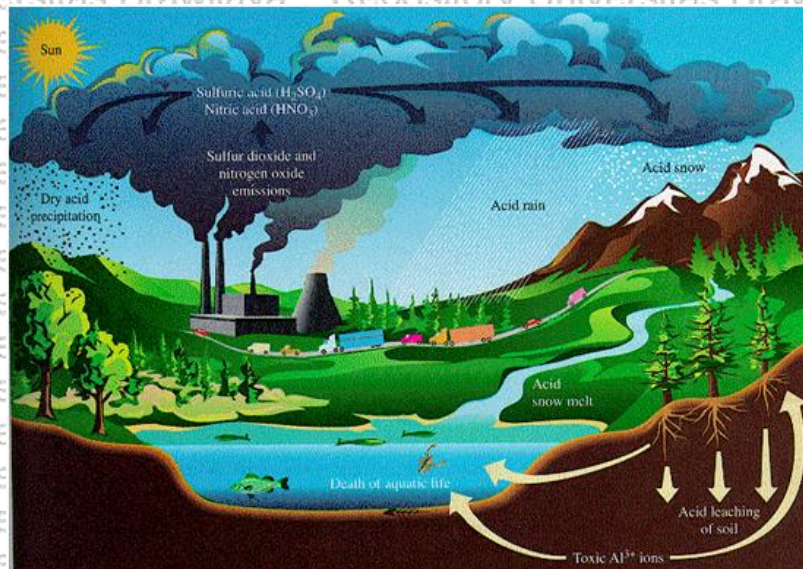
Hal tersebut terjadi karena sebagian matahari yang masuk ke bumi dipantulkan ke luar angkasa. Karena tertahan oleh adanya rumah kaca, maka sinar tersebut tetap berada dipermukaan bumi dan akan meningkatkan suhu bumi. Pemasaran global ini dapat mengakibatkan bahaya kekeringan yang hebat yang mengganggu kehidupan manusia dan mencairnya lapisan es di daerah kutub. Gas karbondioksida ini berasal dari asap pabrik, pembakaran sampah, kebakaran hutan dan asap kendaraan bermotor. Selain itu efek gas rumah kaca juga dipicu oleh hasil pembakaran fosil seperti minyak dan batubara yang berupa hasil buangan bentuk karbondioksida dan sulfur belerang.

b) Gas SO dan SO_2

Gas belerang yang terdapat di udara bebas dapat berupa SO , SO_2 dan SO_3 . Gas belerang tersebut dihasilkan oleh pembakaran minyak bumi dan batu bara. Jika gas belerang (SO , SO_2 atau SO_3) bereaksi dengan gas nitrogen oksida (NO_2 , NO_3) dan uap air membentuk senyawa asam (asam sulfat, asam nitrat) (Gambar 1). Jika senyawa asam bersatu dengan uap air



akan membentuk awan, lalu mengalami kondensasi dan presipitasi di udara dan akan turun sebagai hujan asam.



Gambar 2.9 Proses Terjadinya Hujan Asam

Senyawa asam dalam air hujan (hujan asam) dapat menyebabkan populasi tumbuhan dan hewan akan mati sehingga dapat mengakibatkan menurunnya produksi bahan pangan, barang-barang yang terbuat dari besi atau logam mudah berkarat, gedung-gedung atau jembatan bahkan bangunan candi akan cepat rusak, memudarkan warna cat, menurunkan derajat keasaman tanah, bahkan menyebabkan kematian mikroorganisme tanah.

c) Gas Kloro Fluoro Karbon (CFC)

Bila kita perhatikan, banyak produk-produk yang kita gunakan dalam kegiatan sehari-hari yang menggunakan gas CFC, misalnya parfum yang berwujud aerosol, air conditioner (AC), bahkan beberapa lemari es model lama menggunakan gas CFC pula. Gas CFC memiliki beberapa kelebihan, antara lain tidak berbau, tidak berasa, tidak mudah bereaksi, dan tidak berbahaya secara langsung. Dengan beberapa kelebihan tersebut, maka



manusia menggunakan gas CFC untuk keperluan sebagai bahan pengembang seperti semprot rambut (*hair spray*), parfum semprot, pengembang busa, pendingin/lemari es, dan AC (*freon*).

Memang gas CFC tidak berbahaya secara langsung, tetapi ketika kita menyemprotkan *hair spray* atau parfum, maka gas CFC yang keluar akan langsung terbang membubung tinggi ke angkasa dan mencapai stratosfer. Pada stratosfer terdapat lapisan ozon (O₃) dan kita kenal sebagai pelindung bumi dari sinar ultraviolet matahari. Jika gas CFC beraksi dengan lapisan ozon (O₃), maka akan terbentuk lubang yang kita kenal sebagai lubang ozon. Karena lapisan ozon berlubang, maka sinar ultraviolet matahari langsung menembus dan masuk ke bumi. Sifat sinar ultraviolet memiliki radiasi tertinggi di antara spektrum sinar-sinar yang lain, sehingga bisa mengakibatkan tumbuhan menjadi kerdil, terjadinya mutasi genetik, menyebabkan terjadinya kanker kulit, terbakarnya retina mata, serta matinya ganggang dan mikroorganisme. Saat ini diperkirakan besarnya lubang ozon sudah hampir tiga kali luas Benua Eropa. Apa akibatnya jika lubang ozon terus menerus bertambah melebar? Coba pikirkan! Untuk mencegah terjadinya pelebaran lubang ozon yang semakin luas dan parah, maka penggunaan gas CFC semakin dibatasi. Pada negara-negara maju penggunaan CFC sudah dihentikan (dilarang) sama sekali, sehingga sekarang kita mudah mendapatkan produk barang non-CFC seperti lemari es, dan AC.

d) Hidrokarbon (HC) dan Nitrogen Oksida (NO)

HC dan NO yang dipengaruhi oleh sinar matahari akan membentuk *smog* yang berupa gas yang sangat pedih jika mengenai mata dan juga sebagai penyebab penyakit kanker.



e) Gas-Gas lain

Selain gas-gas tersebut, pencemaran udara bisa juga disebabkan oleh bau dari sampah membusuk, selokan yang tersumbat, bangkai binatang, debu dan sebagainya. Oleh sebab itu, hendaknya kita menjaga kebersihan lingkungan kita agar tidak menimbulkan pencemaran udara. Agar lebih jelas mengenai pengaruh polutan udara terhadap kesehatan organisme dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2. 5 Indeks standar pencemaran udara untuk setiap parameter pencemaran

Kategori	Rentang (PPM)	CO	NO ₂	Ozon (O ₃)	SO ₂	Partikel
Baik	0-50	Tidak ada efek	Sedikit berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan SO ₂ (selama 4 jam)	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O ₃ (selama 4 jam)	Tidak ada efek
Sedang	51-100	Perubahan kimia darah, tetapi tidak terdeteksi	Berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak sehat	101-199 200-299	Peningkatan pada kardiovaskular pada perokok yang sakit jantung	Bau dan kehilangan warna Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma	Penurunan kemampuan pada atlet yang berlatih keras	Bau, meningkatnya kerusakan tanaman	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu di mana-mana
Sangat tidak sehat		Meningkatnya kardiovaskular pada orang bukan perokok yang berpenyakit jantung dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata	Meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronkhitis	Olahraga ringan mengakibatkan pengaruh pernapasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronkhitis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronkhitis
Bahaya	> 300	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar				

Sumber: Firmansyah, 2009.



2.5.3 Pencemaran Udara

Pencemaran atau polusi udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat/benda, energi atau komponen lain kedalam udara ambient atau udara bebas dipermukaan bumi pada lapisan troposfir akibat kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambient turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Anonymous, 1999). Sedangkan Wardana (2001) menyatakan bahwa pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan atau komposisi udara dalam keadaan normal.

Kristanto (2002) menyatakan bahwa pencemaran udara berarti hadirnya suatu atau beberapa kontaminan didalam udara atmosfer seperti debu, busa, gas, kabut, bau-bau, asap, atau uap dalam kuantitas yang banyak dengan berbagai sifat dan durasi waktu berlangsungnya di udara tersebut, sehingga dapat menimbulkan berbagai gangguan-gangguan terhadap kehidupan manusia, tumbuhan maupun hewan dan benda, atau tanpa alasan yang jelas sudah dapat mempengaruhi kelestarian kehidupan organisme maupun benda. Perubahan bahan kimia dalam atmosfer bumi karena pencemaran (polusi) udara akan dapat mengubah iklim lokal, regional maupun global, sehingga menaikkan jumlah radiasi sinar ultra violet dari matahari ke bumi dan akan menyebabkan penurunan kesehatan serta berdampak timbulnya penyakit seperti kanker kulit, kerusakan jaringan pada manusia (Somirat, 1994).

Lebih 70% pencemaran udara di Indonesia disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor mengeluarkan unsur berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan, seperti timah hitam (PB), Suspended Particulate Matter



(SPM), Oksida Nitrogen (NOx), Hidrokarbon (HC), Carbon Monoksida (CO), dan Oksida Fotokimia (Ox) (Soedomo, 2001). Sedangkan Juhara Erwin (2006) menyebutkan bahwa polusi udara dari kendaraan bermotor, pembangkit tenaga listrik industri dan rumah tangga menyumbang 70% dengan komposisi kuantitas karbonmonoksida (CO) 99%, hidrokarbon (HC) sebanyak 89%, dan oksida nitrogen (NOx) sebanyak 73% serta partikulat lainnya yang meliputi timah hitam, sulfur oksida dan partikel debu. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya emisi gas buang dan kualitas bahan bakar, pemeliharaan mesin (tungku) pembakaran. Semakin sempurna proses pembakarannya maka semakin sedikit partikulat yang terbawa bersama gas, maka semakin besar persentase gas CO_2 dan semakin kecil persentase gas CO dan HC, dan sebaliknya semakin buruk proses pembakaran semakin banyak partikulat yang terikut bersama gas dan semakin rendah persentase CO_2 dan semakin tinggi persentase gas CO dan HC (Mathur, 1983).

2.5.4 Pengendalian Pencemaran Udara

Pada umumnya polutan yang ada di udara merupakan produk dari pembakaran. Sekitar 90% polutan ini berasal dari lima jenis senyawa (gas) yaitu gas karbondioksida, hidrokarbon, partikulat, nitrogen oksida dan sulfur oksida. Emisi yang berasal dari pembakaran batubara disebabkan oleh abu, nitrogen dan sulfur. Abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara dapat mencemari atmosfer. Meskipun ada penangkapan abu yang sangat efektif, masih ada sebagian kecil abu yang terlepas ke udara. Abu yang terlepas ini umumnya berupa partikel yang sangat halus yang dapat mencemari lingkungan dan berakibat tidak baik bagi kesehatan lingkungan sekitar daerah yang tercemar.



Batubara juga mengandung sulfur, yang dapat teroksidasi menjadi sulfur oksida (SO_x) selama pembakaran. Sulfur dalam batubara dapat sebagai ikatan organik dan anorganik. Sulfur an-organik lebih mudah dihilangkan (dengan proses pencucian). Untuk mengurangi emisi SO_2 dapat dilakukan injeksi limestone untuk menangkap SO_2 dari gas pembakaran. Oksida nitrogen NO dan NO_2 (NO_x) merupakan sumber pencemaran ketiga yang terdapat dalam pembakaran batubara pada PLTU. NO_x terbentuk dari senyawa nitrogen dalam batubara dan dari nitrogen dalam udara pembakaran.

Emisi dapat dikendalikan dengan salah satu atau lebih dari ke tiga cara berikut ini :

1. Pengurangan senyawa penyebab pencemaran (*de-ashing* dan *gasifikasi*).
2. Modifikasi variable yang mengendalikan peroses pembakaran.
3. Pengurangan senyawa yang tidak diinginkan dari effluent.

Proses absorpsi polutan gas, untuk boiler berukuran besar, biasanya lebih disukai untuk mengolah gas yang keluar dari cerobong. Pengelolaan dilakukan dengan prinsip absorpsi yaitu transfer massa pollutant gas dari fase gas ke fase liquid (air). Perpindahan massa disini merupakan peruses difusi dimana pollutant gas bergerak dari kosentrasi tinggi ke kosentrasi rendah.

Secara keseluruhan perosesnya berlangsung dalam 3 tahap :

1. Defusi gas kepermukaan liquid.
2. Perpindahan massa (dissolusi) pada antarmuka gas-liquid.
3. Defusi gas terlarut dari antarmuka ke liquid.

Alat yang biasa dipakai untuk menangkap polutan gas adalah “ spray chamber” disebut juga “scrubber” dimana tetes liquid dipakai mengabsorb gas,



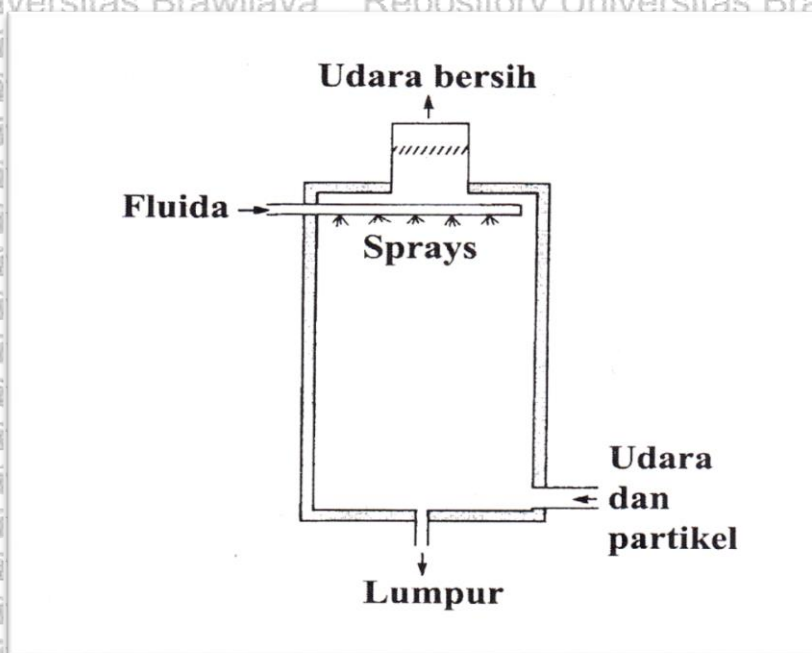
dan tower di mana film tipis likuid dipakai sebagai media asorpsi. Kedua alat ini menuntut bahwa kelarutan gas di dalam likuid (solute) harus lebih relative tinggi.

Pemakaian air sebagai solute membatasi hanya gas anorganik NH_3 , Cl_3 , dan SO_2 saja yang dapat ditangkap. Scrubber merupakan alat absorber yang relative tidak efisien tetapi mempunyai keuntungan dapat menangkap partikulat (debu).

Tower lebih efisien daripada scrubber tetapi seringkali menghadapi masalah dengan penyumbatan oleh partikulat. Berat gas yang dapat diabsorpsi sebanding dengan tekanan parsial polutan gas. Untuk larutan encer, hubungan antara tekanan parsial gas dengan kelarutan gas di dalam suatu larutan encer, hubungan antara tekanan parsial gas dengan kelarutan gas di dalam suatu larutan mengikuti hukum Henry :

$$P = H \cdot C$$

Disini P adalah tekanan parsial kesetimbangan gas, (kPa), H adalah konstanta HENRY, (kPa. m^3/g), dan C adalah konsentrasi pollutant di dalam fasa liquid (g/m^3). Persamaan ini menunjukkan bahwa makin tinggi tekanan parsial suatu polutan makin tinggi pula konsentrasi pollutant di dalam liquid, padahal diinginkan tekanan parsial pollutant mengecil (rendah). Agar hal ini dapat terjadi maka dilakukan aliran counter current. Dengan cara ini gas konsentrasi tinggi bertemu dengan liquid konsentrasi polutan tinggi, dan gas konsentrasi rendah likuid konsentrasi polutan rendah. Pengelolaan dengan prinsip absorpsi hanya dapat diterapkan untuk gas-gas yang mempunyai kelarutan yang tinggi di dalam air.



Gambar 2.9 Spray Chamber

Tinggi tower atau tinggi kolom dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$Z_t = (Hog) (Nog)$$

Di sini adalah Nog adalah bilangan satuan transfer gas, dan untuk larutan encer yang mengikuti hukum Henry Nog dapat dihitung dari :

$$Nog = \frac{\ln \frac{Y_1 - mX_2}{Y_2 - mX_2} (1-A) + A}{1 - A}$$

Disini Y_1, Y_2 = fraksi mol polutan di fasa gas masuk dan keluar tower

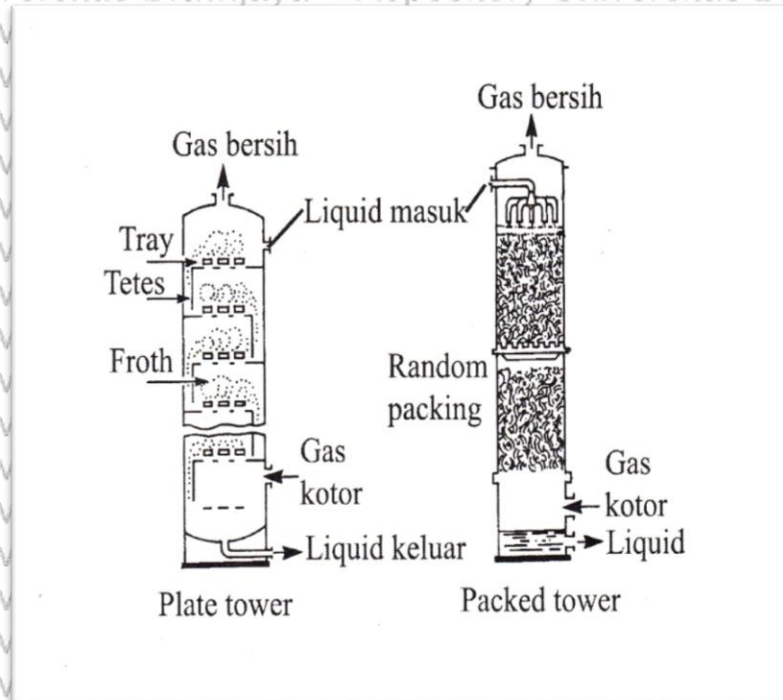
M = kemiringan garis hokum Henry

X_2 = fraksi mol pollutant di fasa likuid masuk tower

A = $m Q_g / Q_l$

Q_l = kecepatan alir likuid ($kg \cdot mole / jam \cdot m^2$)

Q_g = kecepatan alir gas ($kg \cdot mole / jam \cdot m^2$)



Gambar 2.10 Tower

Dan $H_{og} = H_g + A H_L$. Di sini H_g , H_L adalah fungsi kompleks dari kecepatan alir gas dan likuid, luas permukaan packing, viskositas likuid dan udara, dan difusivitas (*diffusivity*) polutan.

Proses adsorpsi polutan gas, selain dengan cara-cara absorpsi, pengelolaan polutan gas dapat pula dilakukan dengan metoda adsorpsi. Peroses ini juga terjadi perpindahan massa tetapi hanya bersifat permukaan saja tanpa peroses difusi. Gas teradsorpsi disebut adsorbat akan memasuki pori adsorbent. Ikatan antara adsorbat dengan adsorbent dapat bersifat fisika ataupun kimia, bahkan ikatan elektrostatis dapat pula terjadi. Adsorbent yang banyak dipakai misalnya karbon aktif, silica gel, dan activated alumina, zeolit. Ciri khas adsorbent adalah mempunyai luas permukaan yang tinggi persatuan beratnya, artinya mempunyai pori yang tinggi. Zeolit sering pula disebut molecular sieve.



Adsorbent bersifat dapat menyerap air, karena itu adanya uap air didalam gas buang harus dihilangkan terlebih dahulu.

Isotherm adsorpsi adalah suatu keadaan yang menyatakan hubungan antar polutan yang teradsorpsi dengan tekanan keseimbangan pada suhu tetap.

Persamaan yang umum dikenal adalah persamaan Langmuir :

$$W = \frac{a C^* g}{1 + b C^* g}$$

Di sini W = jumlah gas persatuan massa adsorbent, kg/kg

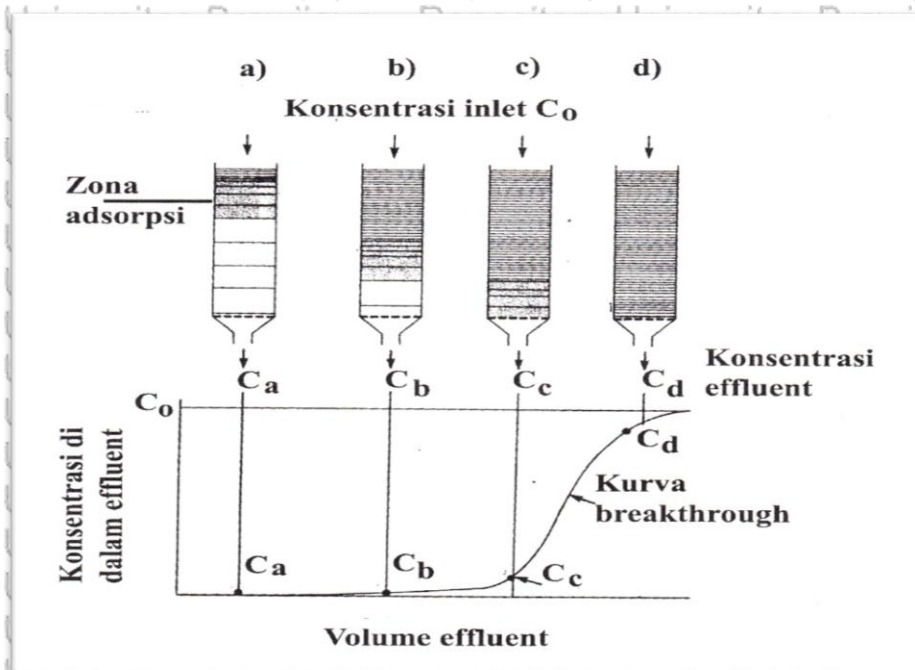
A, b = konstanta hasil percobaan

$C^* g$ = konsentrasi kesetimbangan gas pollutant

Persamaan diatas dapat ditulis menjadi:

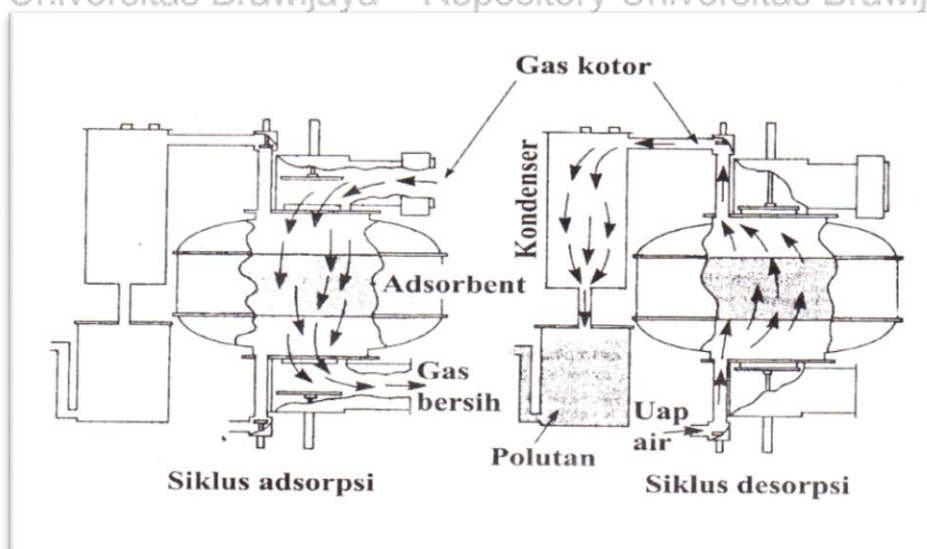
$$\frac{C^* g}{W} = \frac{1}{a} + \frac{b}{a} C^* g$$

Dengan mengeluarkan nilai $\frac{C^* g}{W}$ terhadap $C^* g$ akan diperoleh garis lurus dengan kemiringan b/a dan konstanta 1/a.



Gambar 2.11 Kurva Breakthrough

Pada kolom absorpsi *pollutant* yang tertangkap di liquid secara kontinu dikeluarkan bersama-sama liquid. Pada kolom adsorpsi (Gambar 15), *pollutant* yang tertangkap akan tetap tinggal dalam bed adsorpsi. Pada Gambar 15 ditunjukkan konsentrasi awal *pollutant* adalah C_0 dan konsentrasi *pollutant* ini naik dengan makin banyaknya volume effluent yang tertangkap. Konsentrasi *pollutant* naik mulai dari C_a , C_b , C_c dan akhirnya C_d . Titik awal terjadinya breakthrough adalah pada konsentrasi C_c . Zona adsorpsi bergerak ke bawah sesuai dengan konsentrasi *pollutant*. Pada kolom adsorpsi, ada keterbatasan kapasitas adsorbent. Pada suatu saat adsorbent akan menjadi jenuh, kemudian *pollutant* tidak tertangkap lagi oleh adsorbent. Peristiwa ini disebut breakthrough. Titik awal breakthrough disebut breakpoint. Apabila kapasitas adsorbent telah dilampaui maka konsentrasi polutan di influent akan sama dengan di effluent. Agar prosesi adsorpsi dapat berlangsung secara kontinu maka diperlukan dua adsorbent. Bila salah satu sedang mengadsorb, maka yang lain dipakai untuk desorb (regenerasi). Pada gambar 4.4 dibawah ditunjukkan system adsorpsi.



Gambar 2.12 Sistem Adsorpsi dan Desorpsi



Waktu yang diperlukan untuk mencapai breakthrough :

$$t_B = \frac{Zt - \delta}{v_f}$$

Di sini Zt = tinggi bed, m

δ = tebal zona adsorpsi, m

v_f = kecepatan zona adsorpsi, meter/detik

Dimana
$$v_f = \frac{(Qg)(1+b C^* g)}{a \rho_s \rho_g A_c}$$

Di sini ρ_s = densitas bed (packing), kg/m^3

ρ_g = densitas gas ; a = konstanta Langmuir

A_c = luas irisan melintang bed, m^2

Qg = kecepatan gas, kg/detik

Tinggi bed Zt dihitung sama seperti halnya dengan kolom absorpsi, kecuali untuk nilai Nog dihitung dari integrasi :

B = lebar gas masuk = $\frac{1}{4} D_2$

H = tinggi gas masuk = $\frac{1}{2} D_2$

D_1 = diameter keluar atas = $\frac{1}{2} D_2$

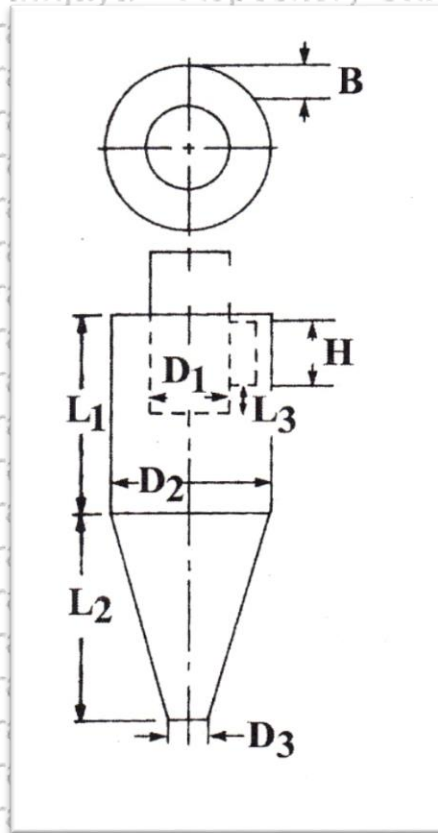
D_2 = diameter tabung

D_3 = diameter keluar bawah = $\frac{1}{4} D_2$

L_1 = panjang tabung = $2D_2$

L_2 = panjang cone = D_2

L_3 = panjang exit duct = $\frac{1}{8} D_2$



Gambar 2.13 Dimensi Siklon Standar

Pengelolaan partikel gas, salah satu alat yang dapat dipakai untuk menangkap partikel di dalam gas hasil pembakaran adalah siklon. Siklon pada gambar 4.5 dapat dipakai untuk menangkap partikel berukuran lebih besar dari $10 \mu\text{m}$. Efisiensi pengumpulan partikel dapat dihitung dari persamaan empiric :

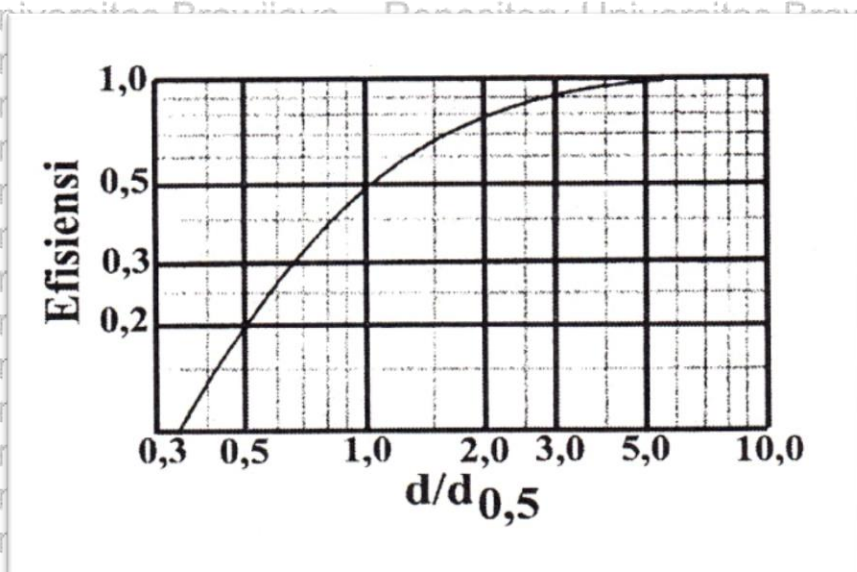
$$d_{0,5} = \sqrt{\frac{9 \mu B^2 H}{\rho_p Q g \theta}}$$

Disini $d_{0,5}$ adalah cut diameter, ukuran partikel di mana efisiensi pengumpulan adalah 50 %, ρ_p adalah densitas partikel (kg/m^3), μ adalah viskositas dinamik gas (Pa.det), Qg adalah laju gas (m^3/det), θ jumlah efektif putaran melintas siklon standar yaitu :

$$\theta = \frac{\pi}{H} (2L1 + L2)$$



Pada Gambar dibawah ditunjukan hubungan antar $d/d_{0,5}$ dengan efisiensi suatu siklon. Efisiensi siklon akan makin besar dengan membesarnya nilai $d/d_{0,5}$ atau mengecilnya $d_{0,5}$. Keadaan ini dapat dicapai dengan memperkecil dimensi siklon yaitu nilai lebar gas masuk B, dan atau tinggi gas masuk H, artinya diameter siklon juga harus diperkecil. Efisiensi siklon akan makin baik dengan mengecilnya ukuran siklon. Dengan mengecilnya diameter siklon, efisiensi pengumpulan akan makin baik (naik), tetapi diperlukan tekanan yang lebih besar, sehingga power (tenaga) yang diperlukan juga makin besar. Agar oprasi pengumpulan tetap bekerja pada power yang konstan, maka biasanya dibuat menjadi bebrapa siklon kecil bekerja secara parallel (multiclones).



Gambar 2.14 Efisiensi Siklon Standar

Flue gas desulfurization (FGD), sistem FGD ini dikelompokkan menjadi 2 kelompok :

1) Non-regeneratif

Pada kelompok ini reagent yang dipakai untuk menangkap SO_2 tidak dapat dipakai kembali biasanya langsung dibuang.

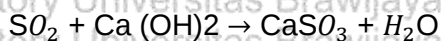
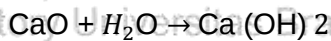
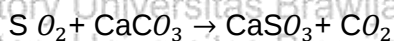


2) Regeneratif

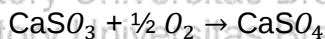
Pada kelompok ini reagent yang dipakai untuk menangkap SO_2 dapat dipakai kembali.

Sistem non regenerative lebih dominan dipakai dari pada system regenerative. Untuk system yang non – regenerative, reagent yang dipakai

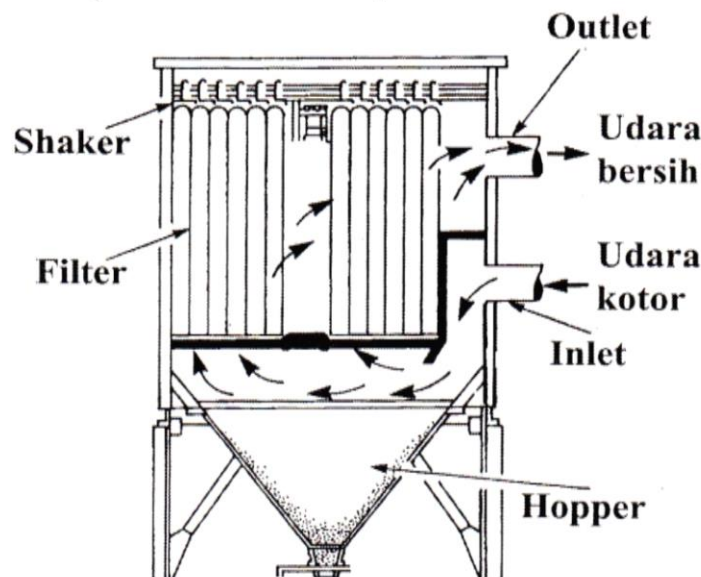
adalah CaO (lime), $CaCO_3$ (limestone), $NaOH$ (caustic soda), Na_2CO_3 (soda ash), NH_3 (ammonia). Reaksi penangkapan SO_2 yang terjadi :



Apabila jumlah oksigen cukup besar, dapat terjadi reaksi



Filter baghouse, untuk menangkap partikel berukuran lebih kecil dari $5\mu m$ umumnya dapat dipakai filter bag hose (*bag house filter*). Filter jenis ini banyak dipakai pada industry karbon hitam (*black carbon*), oprasi permukaan pada pembuatan semen, oprasi peremukaan batu. Filter dibuat dari cotton atau serat wool atau serat gelas (*fiber glass*), tergantung suhu gas. Serat gelas dapat dipakai sampai $260^\circ C$, sedang serat wool dan cotton hanya sampai $100^\circ C$.



Gambar 2.15 Filter Baghouse

2.6 Elektro Statik Precipitation (ESP)

Proses pembakaran batubara merupakan salah satu sumber utama dari emisi hasil pembakaran yang tidak diinginkan oleh lingkungan. Pada pembakaran batubara antara lain PLTU, pengendalian emisi bahan polusi selama pembakaran merupakan salah satu prioritas. Bahan polusi tersebut salah satu diantaranya berbentuk abu terbang. Abu terbang ini apabila sampe ke atmosfer mengakibatkan udara menjadi kotor dan tidak layak lagi sebagai salah satu unsur untuk memenuhi keperluan hidup manusia. Abu terbang merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batubara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. Abu terbang terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batubara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buang.



Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan menjadikan partikel-partikel abu terbang ini umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel abu terbang yang terkumpul pada elektrostatik presipitator biasanya berukuran silt - 200 # (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

Oleh sebab itu abu terbang yang merupakan salah satu hasil pembakaran batubara, tidak boleh dibuang ke atmosfer dan harus ditangkap untuk kemudian dikumpulkan, salah satu alat yang dipergunakan untuk menangkap abu terbang hasil pembakaran batubara berbentuk satu rangkaian alat yang dikenal dengan nama *Elektrostatik Precipitator* (ESP). Elektrostatik merupakan salah satu cabang fisika yang berhadapan dengan gaya yang dikeluarkan oleh medan listrik statis (tidak berubah) kepada sebuah objek yang bermuatan. Aplikasi elektrostatik dalam dunia industri digunakan untuk mengatasi masalah limbah debu. Industri yang banyak mengaplikasikannya yaitu seperti PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), pabrik gula, dan pabrik semen.

Salah satu penerapannya yaitu penggunaan *electrostatic precipitator* (ESP). *ElectroStatic Precipitator* (ESP) adalah salah satu alternatif penangkap debu dengan efisiensi tinggi (diatas 90%) dan rentang partikel yang didapat cukup besar. Dengan menggunakan *electrostatic precipitator* (ESP) ini, jumlah limbah debu yang keluar dari cerobong diharapkan hanya sekitar 0,16% (dimana efektifitas penangkapan debu mencapai 99,84%). Salah satu komponen terpenting dalam proses PLTU adalah boiler yang berfungsi sebagai tempat untuk memanaskan air, sehingga menghasilkan uap yang nantinya akan digunakan untuk proses selanjutnya. Pada PLTU, uap ini digunakan untuk memutar turbin uap sebagai penggerak **generator**. Untuk melakukan kerja, boiler

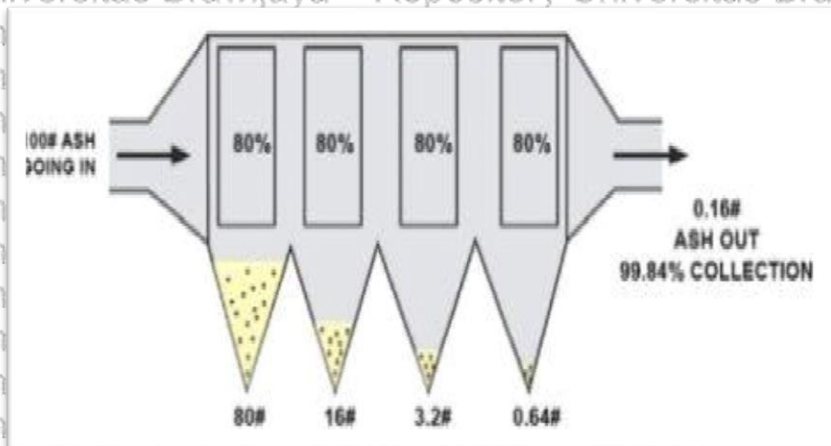


membutuhkan adanya panas yang digunakan untuk memanaskan air. Panas ini disuplai oleh bagian yang disebut dengan ruang bakar atau *furnace*, dimana pada ruang bakar ini dilengkapi dengan alat pembakaran atau *burner*. Hasil pembakaran di ruang bakar tersebut akan mengandung banyak debu, mengingat bahan bakar yang digunakan adalah batubara, kemudian debu tersebut akan terbawa bersama gas buang menuju cerobong. Sebelum gas buang tersebut keluar melalui cerobong, maka gas buang tersebut akan melewati kisi-kisi suatu *electrostatic precipitator* (ESP).

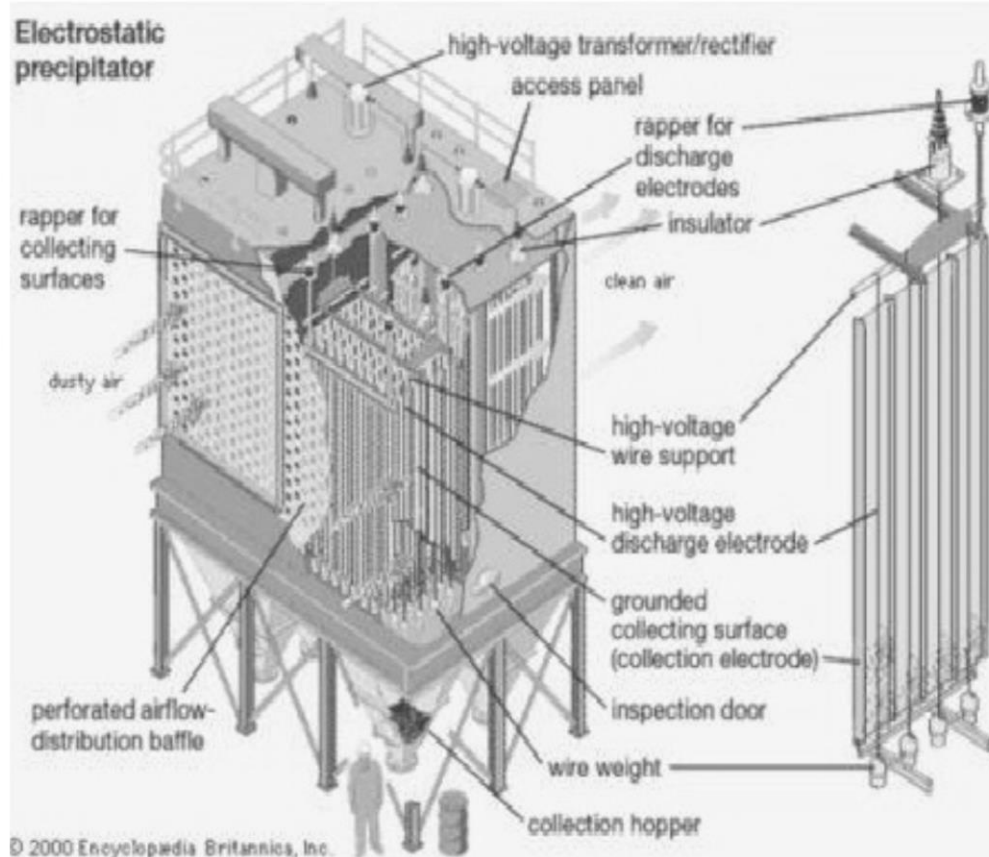
2.6.1 Prinsip Kerja Elektrostatik Precipitator (ESP)

Prinsip kerja dari *electrostatic precipitator* (ESP) yaitu sebagai berikut :

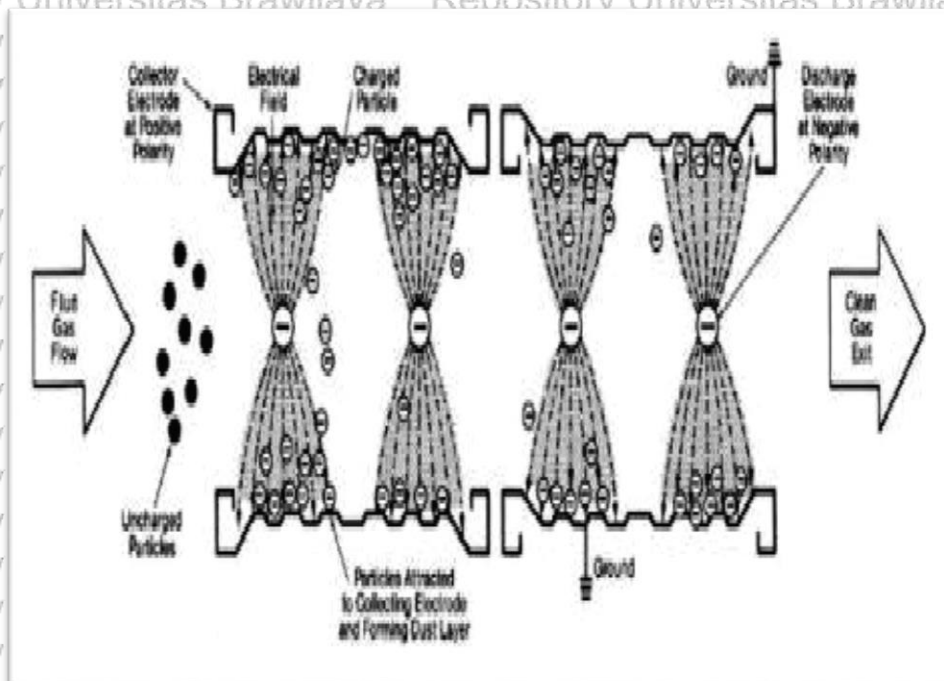
- a) Melewatkan gas buang (*flue gas*) melalui suatu medan listrik yang terbentuk antara *discharge electrode* dengan *collector plate*, *flue gas* yang mengandung butiran debu pada awalnya bermuatan netral dan pada saat melewati medan listrik, partikel debu tersebut akan terionisasi sehingga partikel debu tersebut menjadi bermuatan negatif (-).
- b) Partikel debu yang bermuatan negatif (-) selanjutnya menempel pada pelat-pelat pengumpul (*collector plate*), lihat *gambar 4*. Debu yang dikumpulkan di *collector plate* dipindahkan kembali secara periodik dari *collector plate* melalui suatu getaran (*rapping*). Debu ini kemudian jatuh ke bak penampung (*ash hopper*), lihat *gambar 1* dan *2*, dan dipindahkan (*transport*) ke *fly ash silo* dengan cara dihembuskan (*vacuum*).



Gambar 2.17 Ash Collection



Gambar 2.16 Presipitator Jenis Rangka Kaku (Sukandarrumidi, 2005)



Gambar 2.17 Elektroda Pengumpul (Sudarsono, 2003)

2.6.2 Proses Pembentukan Medan Listrik

Proses Pembentukan Medan Listrik yaitu sebagai berikut:

- Terdapat dua jenis *electrode*, yaitu *discharge electrode* yang bermuatan negatif (-) dan *collector plate electrode* bermuatan positif (+).
- Discharge electrode* diletakkan diantara *collector plate* pada jarak tertentu (jarak antara *discharge electrode* dengan *collector plate*).
- Discharge electrode* diberi listrik arus searah (DC) dengan muatan minus (lihat gambar 3), pada level tegangan antara 55 – 75 kV DC (sumber listrik awalnya adalah 380 volt AC, kemudian dinaikkan oleh transformer menjadi sekitar 55 – 75 kV dan dirubah menjadi listrik DC oleh *rectifier*, diambil hanya potensial negatifnya saja).
- Collector plate* ditanahkan (di-*grounding*) agar bermuatan positif.



Dengan demikian, pada saat *discharge electrode* diberi arus DC, maka medan listrik terbentuk pada ruang yang berisi tirai-tirai electrode tersebut dan partikel-partikel debu akan tertarik pada pelat-pelat tersebut. Gas bersih kemudian bergerak ke cerobong asap dan keluar.

2.7 Hasil-hasil Penelitian Sebelumnya

Beberapa hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan terhadap batubara tercuci dan yang memiliki dampak terhadap lingkungan yaitu sebagai berikut:

- 1) Waterman Sulistyana B. dan Dean Saputra (2012) mengemukakan bahwa penelitian yang telah dilakukan yang berjudul "Analisis Pengaruh Lingkungan Pengendapan Batubara Terhadap Kandungan Sulfur Batubara" menunjukkan bahwa Perubahan sub-lingkungan pengendapan batubara diikuti oleh perubahan kandungan total sulfur, karena pengaruh air laut dengan kandungan sulfat; Pengaruh vegetasi dan *watertable* pada zone *bog-ombrotropic* menyebabkan perubahan kandungan total sulfur pada lapisan batubara; serta Pembentukan air asam tambang berkaitan dengan kandungan sulfur batubara dan batuan yang berpotensi membentuk asam, sehingga diperlukan penelitian lanjutan tentang pengelolaan air asam tambang pada *stockpile* batubara, dan tempat pembuangan material *overburden* dan *interburden*.
- 2) Slamet Suprpto (2009) pada penelitiannya yang berjudul "Blending Batubara untuk Pembangkit Listrik: Studi Kasus PLTU Suralaya Unit 1-4". Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh hasil berupa Batubara peringkat tinggi umumnya mempunyai sifat ketergerusan rendah atau sulit digerus dan parameter ini perlu diperhatikan karena cenderung tidak bersifat aditif sehingga hasil *blending* dengan batubara peringkat rendah tidak dapat



diprediksi menggunakan rumus linier; Data komposisi abu dan titik leleh abu batubara peringkat tinggi perlu dilengkapi agar dapat digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan pembentukan endapan terak dan endapan *fouling* dalam pembakaran batubara hasil *blending*.

- 3) Penelitian yang dilakukan Erica *et al*; (2013) menunjukkan bahwa polutan yang dihasilkan oleh pembakaran batubara dapat memiliki efek mendalam pada kesehatan masyarakat lokal, terutama rentan individu termasuk anak-anak, orang tua, wanita hamil, dan mereka yang menderita asma dan penyakit paru-paru di perkotaan. Pada skala global, emisi batubara dapat melakukan perjalanan jarak jauh mempengaruhi penduduk yang tinggal jauh dari pembangkit listrik. Selain itu, batubara pembakaran berkontribusi terhadap perubahan iklim, Dampak kesehatan yang sudah signifikan dan berkembang. Penggunaan hasil batubara memiliki konsekuensi kesehatan sepanjang rentang penggunaannya dari pertambangan ke pembuangan limbah pembakaran.
- 4) Stefano Munir dan Ikin Sodikin (2009) pada penelitiannya yang berjudul “Hubungan antara Parameter Karakteristik Limbah Batubara Kalimantan Timur dan Karakteristik Pembakarannya” mengungkapkan bahwa karakteristik pembakaran limbah batubara tipe SL dengan pembakar siklon, kinerja pembakarannya dapat diurut menurut kemudahan keterbakarannya dari yang paling rendah, yaitu SL – MHU, sedang SL – TH, tinggi SL – BBE. Secara umum, ketiga limbah batubara tipe SL yang diteliti masih dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk bahan bakar langsung dengan menggunakan pembakar siklon.
- 5) Widyawati Boediningsih (2011) melakukan penelitian dengan judul “Dampak Kepadatan Lalu Lintas terhadap Polusi Udara Kota Surabaya”. Penelitian ini



bertujuan untuk mengetahui dampak kepadatan lalu lintas pada jam-jam sibuk di Kota Surabaya akibat kemacetan lalu lintas adalah salah satu sumber utama timbulnya polusi udara di Kota Surabaya. Selain itu, asap yang dihasilkan pabrik, seperti polusi udara dan polusi suara (kebisingan) yang ditimbulkan pembuangan asap (emisi) kendaraan bermotor sangat berpengaruh pada lingkungan hidup, efek yang langsung berpengaruh pada manusia dan langsung dapat dirasakan berupa udara sekitar menjadi panas, sesak napas, mata merah, dan lain-lain. Hal tersebut disebabkan bertambah dan berkembangnya penggunaan alat transportasi di Kota Surabaya tidak diimbangi pengaturan jalan maupun pelebaran jalan yang memadai. Jumlah kendaraan yang berada di jalanan tidak terbendung jumlahnya. Jalan yang tersedia tidak cukup untuk menampung jumlah kendaraan lantas menyebabkan kepadatan lalu lintas. Pada jam-jam sibuk sudah pasti terjadi kemacetan yang sangat panjang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian hukum normatif yang mencakup penelitian terhadap asas-asas hukum.

- 6) Sri Soewasti Soesanto (1996) menegaskan adanya dampak pada lingkungan. Penelitian yang berjudul "Dampak Pemakaian Batubara Terhadap Kesehatan dan Lingkungan" memberikan kesimpulan bahwa pemakaian batubara sebagai bahan bakar alternatif dapat dipertanggungjawabkan dari segi kesehatan apabila segala kemungkinan timbulnya pencemaran lingkungan yang membawa dampak negatif terhadap kesehatan, dapat dicegah atau ditekan serendah mungkin.
- 7) Putra Anugrah Gusti, Solihin dan Sriyanti (2016) dengan judul penelitian "Kajian Penurunan Kadar Abu dari Limbah Pencucian Batubara PT Kaltim Prima Coal dengan Metoda Pelarutan di Pusat Penelitian dan



Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara” memberikan hasil bahwa perbandingan batubara dengan larutan 1:3 sudah cukup untuk memisahkan abu dalam batubara. Tetapi untuk keseluruhan dari kualitas dan perolehan yang didapatkan, hyper coal dengan perbandingan 1:9 adalah yang paling baik.

- 8) Penelitian yang dilakukan oleh Kuzmick dkk (2007) menjelaskan bahwa residu pembakaran batubara (CCRS), sebagian besar berasal dari generasi listrik berbahan bakar batubara, kaya akan berbagai elemen yang memiliki potensi untuk menyebabkan efek sublethal termasuk stres oksidatif, perubahan dalam status antioksidan dan untai tunggal DNA istirahat (SSB). CCRS sering dibuang ke sistem perairan alami dan buatan manusia. Sebagai dampak dari CCRS telah menerima relatif sedikit perhatian dalam sistem muara, udang rumput muara, *Palaemonetes Pugio*, dipilih untuk penelitian ini. Rumput udang terkena di laboratorium untuk sedimen CCR-diperkaya dan makanan selama siklus hidup. Kelangsungan hidup untuk metamorfosis adalah berkurang secara signifikan dalam larva CCR-terkena (17 ± 4 vs $70 \pm 13\%$ di kontrol), tetapi tidak di remaja atau orang dewasa. Itu assay COMET, alat tes umum tetapi sensitif untuk genotoxicity, digunakan untuk mengukur DNA SSB di orang dewasa. Jumlah antioksidan potensial diperiksa untuk menilai kapasitas pemulungan antioksidan keseluruhan CCR terpajan dan non-terkena rumput udang dewasa. Udang rumput terkena CCR signifikan akumulasi selenium dan cadmium dibandingkan dengan udang tidak terpapar, walaupun hubungan terbalik terlihat untuk akumulasi merkuri. Kronis paparan CCR disebabkan DNA SSB di sel hepatopankreas, sebagaimana dibuktikan dengan peningkatan signifikan DNA persen ekor, saat



ekor, dan panjang ekor dibandingkan dengan referensi udang. Namun, tidak ada perbedaan yang signifikan diamati secara total potensi antioksidan. Temuan kami menunjukkan bahwa genotoxicity mungkin menjadi penting modus toksisitas CCR, dan bahwa DNA SSB dapat berfungsi sebagai biomarker yang berguna paparan dan efek ini sangat umum, aliran limbah yang kompleks.

- 9) Soeriaatmadja pada penelitiannya pada tahun 1997 mengenai Dampak Kebakaran Hutan Serta Daya Tanggap Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Sumberdaya Alam Terhadapnya dengan prosiding simposium “Dampak Kebakaran Hutan Terhadap Sumberdaya Alam dan Lingkungan” menjelaskan bahwa sumber pencemaran udara terbagi menjadi dua yaitu sumber alami dan sumber antropogenik. Dimana sumber alami adalah seperti contoh terjadinya letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dekomposisi biotik, debu dan spora tumbuhan. Sedangkan sumber antropogenik merupakan sumber cemaran dari aktivitas manusia (antropogenik) seperti setiap kendaraan bermotor, fasilitas, pabrik, instalasi atau aktivitas yang mengemisikan cemaran udara primer ke atmosfer. Sumber antropogenik terbagi menjadi sumber bergerak dan tidak bergerak.

- 10) Cahyadi, Dwika Budianto, Adi Surjosatyo, Yulianto S. Nugroho (2014) pada penelitiannya yang berjudul “Karakterisasi Pembakaran Batubara Halus dalam Lingkungan Udara dan Oxy-Fuel” memberikan kesimpulan bahwa Pengujian pembakaran batubara dengan tiga jenis batubara Indonesia telah dilakukan menggunakan DTF dengan ukuran 74-149 um didalam lingkungan udara (21%O₂/79%N₂) dan kondisi oxy-fuel (21%O₂ dan 79%CO₂) pada temperatur 1000 °C. Karakteristik pembakaran batubara dalam kondisi udara



dan oxy-fuel telah didapat. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah Ketiga jenis batubara Indonesia terbakar dengan dua tahap yaitu penyalan homogenus diikuti dengan pembakaran volatile dan pembakaran char secara heterogenus dalam lingkungan udara, sedangkan dalam kondisi oxy-fuel pembakaran terjadi dalam satu tahap; Temperatur maksimal pembakaran batubara lebih rendah pada lingkungan oxy-fuel, dan ini terjadi pada ketiga jenis batubara; Pelambatan pada waktu penyalan batubara pada ketiga jenis batubara terjadi dalam lingkungan oxy-fuel. Perbedaan kapasitas panas lebih besar 1.18 pada lingkungan oxy-fuel memberikan kontribusi dalam pelambatan ini; serta Pelambatan pada waktu habis terbakar pada ketiga jenis batubara juga terjadi dalam lingkungan oxy-fuel. Perbedaan difusi lebih rendah 0.7 pada lingkungan oxy-fuel menghambat suplai oksigen ke permukaan partikel batubara.

- 11) Penelitian tentang simulasi dispersi polutan ini dilakukan oleh Sri Suryani, dkk (2010) yaitu membuat model sebaran polutan SO₂ pada cerobong asap PT. Semen Tonasa. Penelitian tersebut menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif dengan mendesain suatu bentuk pemodelan sebaran polutan SO₂ dengan persamaan kepulan asap Gauss *point source*. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi terbesar gas SO₂ pada pabrik unit II/III adalah 0,090 ppm, konsentrasi terbesar gas SO₂ pada pabrik unit IV adalah 0,12 ppm pada jarak 350 meter – 500 meter dari sumber. Namun penelitian memiliki beberapa kekurangan yaitu tidak menggunakan faktor suhu lingkungan dalam menentukan nilai konsentrasi SO₂. Selain itu grafik penyebaran konsentrasi SO₂ ditampilkan hanya dalam 2 dimensi.



- 12) Penelitian yang dilakukan oleh Senny Widyaningsih, Ely Setiawan, Tien Setyaningtyas (2011) yang berjudul "Karakteristik Abu Terbang PLTU Cilacap untuk Menurunkan Kesadahan Air di Desa Darmakradenan Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas" diperoleh hasil bahwa Karakteristik abu terbang asal PLTU Cilacap meliputi porositas sebesar 13,6056%, kadar air sebesar 0,055%, daya serap terhadap iodium sebesar 216,8975 mg/g, dan daya serap terhadap biru metilen sebesar 0,3891mg/g. Penurunan kesadahan air menggunakan abu terbang asal PLTU Cilacap sebesar 63,6363 % dengan waktu setimbang 120 menit.
- 13) Lesley Sloss (2013) pada penelitiannya yang berjudul "Coal Mine Site Reclamation" memberikan hasil bahwa lokasi tambang batubara dapat memiliki efek yang signifikan pada lingkungan setempat. Selain fisik gangguan bentuk tanah dan ekosistem, pertambangan juga bisa meninggalkan warisan sekunder efek merugikan karena pencucian asam dan elemen dari bahan dibuang. Laporan ini terlihat pada remediasi baik dalam tambang dan situs tambang terbuka, meliputi metode reklamasi, kembali-mengisi masalah, drainase dan pemulihan. Contoh variasi nasional yang berlaku undang-undang dan dalam definisi rehabilitasi dibandingkan. Pada akhirnya, rehabilitasi lokasi tambang harus kembali situs untuk kondisi di mana bentuk lahan, tanah, hidrologi, dan flora dan fauna yang mandiri dan kompatibel dengan sekitarnya penggunaan lahan. Kasus Studi yang diberikan untuk menunjukkan apa yang dapat dicapai dan bagaimana beberapa lanskap sebenarnya dapat ditingkatkan sebagai hasil dari kegiatan pertambangan.



- 14) Nukman (2009) dengan penelitiannya yang berjudul "Pencucian Batubara Asal Tanjung Enim di Dermaga Kertapati Dengan Menggunakan Air Bergelembung Udara Suatu Usaha Peningkatan Mutu Batubara" memberikan hasil bahwa pengecilan ukuran akan butir mempengaruhi kualitas batubara. Semakin kecil ukuran butir batubara, maka kandungan IM dan VM-nya akan bertambah. Penambahan kandungan VM pada batubara akan mengurangi kandungan FC-nya. Kemampuan untuk terlepasnya kandungan mineral pada batubara dalam operasi pengecilan ukuran butir tergantung karakteristik dari batubaranya. Batubara yang memiliki struktur material yang telah terkompaksi dengan kuat akan sulit dikurangi kandungan mineralnya pada saat pengecilan ukuran butir. Jenis batubara semi-antrasit memiliki struktur material kuat, sedangkan jenis batubara sub-bituminus memiliki struktur yang kurang kompak. Secara keseluruhan tiap-tiap sampel batubara mengalami peningkatan murni setelah operasi pencucian dengan menggunakan air bergelembung udara.
- 15) Penelitian yang dilakukan oleh Patrick Booth, Heidi Brown, Jan Nemcik, Ren Ting pada tahun 2017 dengan judul "*Spatial Context In The Calculation Of Gas Emissions For Underground Coal Mines*" menjelaskan bahwa prediksi emisi gas yang dihasilkan dari penambangan batubara bawah tanah telah menjadi subyek penelitian ekstensif selama beberapa dekade, namun teknik perhitungan tetap berbasis empiris dan oleh karena itu terbatas pada asal perhitungan baik dalam aplikasi maupun resolusi. Kuantifikasi dan pengelolaan risiko yang terkait dengan pelepasan gas mendadak selama pertambangan (ledakan) dan akumulasi gas berbahaya atau mudah terbakar di dalam lingkungan pertambangan bergantung pada prediksi tersebut, dan



variasi yang tidak dapat dijelaskan dengan benar memerlukan praktik pengelolaan konservatif sebagai respons terhadap risiko. Lebih dari 2500 sampel inti gas dari dua ranjau selatan Sydney yang memproduksi batubara metalurgi dari lapisan Bulli telah dianalisis dalam berbagai konteks geospasial termasuk hubungan dengan fitur hidrologi dan struktur geologi. Hasilnya menunjukkan variabilitas dan keterbatasan yang terkait dengan pendekatan tradisional saat ini terhadap prediksi emisi gas dan rancangan praktik pengelolaan gas dapat ditangani dengan menggunakan prediksi yang berasal dari kumpulan data spasial yang lebih baik, dan teknik analisis yang menggabungkan prinsip-prinsip dasar fisik dan energi.

- 16) Silvana Fais, Paola Ligas, Francesco Cuccuru, Enrico Maggio, Alberto Plaisant, Alberto Pettinau, Giuseppe Casula, Maria Giovanna Bianchi Tahun 2015 dengan penelitiannya yang berjudul "*Detailed Petrophysical And Geophysical Characterization Of Core Samples From The Potential Caprock-Reservoir System In The Sulcis Coal Basin (Southwestern Sardinia - Italy)*" menjelaskan bahwa karakterisasi petrofisika dan geofisika menunjukkan bahwa reservoir karbonat potensial ("Miliolitico" Fm. Auct.) yang terletak di dasar rangkaian stratigrafi Eosen di distrik pertambangan di Cekungan Batubara Sulcis, Sardinia barat daya, heterogen namun menyajikan zona reservoir yang sesuai untuk penyimpanan CO₂. Analisis data GPS menunjukkan bahwa daerah penelitian stabil, karena ditandai dengan deformasi kerak permukaan yang lebih kecil dari 1 mm/th.
- 17) Sammy M. Nyale, Omotola O. Babajide, Grant D. Birch, Nuran Böke, Leslie F. Petrik tahun 2013 pada penelitiannya yang berjudul "*Synthesis and Characterization of Coal Fly Ash-Based Foamed Geopolymer*". Abu terbang,



residu yang timbul dari pembakaran batubara bubuk merupakan salah satu limbah utama yang dihasilkan di pembangkit listrik tenaga batu bara. Beberapa opsi pemanfaatan fly ash saat ini sedang dilakukan di banyak negara dalam upaya meminimalkan limbah dan melindungi lingkungan. Makalah ini mempelajari potensi penggunaan fly ash dari utilitas listrik Afrika Selatan dalam produksi material geopolimer berbusa yang mungkin sesuai untuk berbagai aplikasi termasuk industri bangunan. Geopolimer berbusa disintesis melalui aktivasi alkali abu terbang dan prosedur perawatan hidrotermal berikutnya. Hal ini dilakukan dengan cara mencampur fly ash (FA) dengan sodium hydroxide (NaOH) dan air ultra murni untuk membentuk pasta, sebelum memasukkan larutan sodium hipoklorit (NaOCl, foaming agent) ke dalam pasta yang ada. Campuran yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam oven untuk menghasilkan geopolimer berbusa. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan rasio massa FA: NaOH: NaOCl: H₂O 3,03: 1,00: 1,14: 1,00. Komposisi kimia, mineralogi, morfologi dan struktur molekul bahan awal (fly ash) dan produk yang disintesis (foamed geopolymer) dianalisis dengan menggunakan XRF, XRD, SEM dan FTIR masing-masing. Porositas dan kerapatan bulk dari geopolimer berbusa juga ditentukan dengan menggunakan porosimetri merkuri.

- 18) Juan Riaza, Muhammad Ajmi, Jon Gibbins, Hannah Chalmers Tahun 2017 dengan penelitian yang berjudul "Ignition and Combustion of Single Particles of Coal And Biomass Under O₂/CO₂ Atmospheres". Energi biomassa dengan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon dioksida (CO₂) seperti oxy-fuel adalah satu-satunya cara untuk mencapai pemindahan bersih CO₂ dari atmosfer dalam pembangkit tenaga listrik. Aparatus partikel tunggal



telah dikembangkan untuk pemanasan cepat dan pembakaran partikel bahan bakar individual di atmosfer udara atau O_2 / CO_2 . Aparatus wire mesh ini digunakan sebagai elemen pemanas untuk memanaskan partikel dengan radiasi sedangkan akses optik memungkinkan karakterisasi pembakaran partikel dengan perekaman kamera kecepatan tinggi. Empat biomassa berbeda dan batubara bituminous digunakan di udara dan atmosfer O_2 21, 30 dan 40% dengan keseimbangan CO_2 . Analisis citra video kecepatan tinggi menunjukkan perbedaan perilaku pengapian dan devolatilisasi. Pengaruh ukuran partikel dan massa pada waktu burnout lebih tinggi pada batubara, sedangkan ukuran partikel biomassa dapat memiliki rentang ukuran yang lebih besar untuk waktu burnout yang sama. Atmosfer 30% O_2 cukup untuk memiliki waktu kurang tahan dibandingkan atmosfer udara untuk semua sampel. Selama pembakaran partikel biomassa, hasilnya menunjukkan bahwa tegangan permukaan pada partikel arang biomassa berperan penting karena pencairan partikel char secara parsial. Efek ini memodifikasi bentuk partikel char selama pembakarannya, dengan partikel menjadi partikel yang lebih bulat bahkan bagi yang pada awalnya memiliki bentuk berserat.

- 19) Pada penelitian yang dilakukan oleh Natalie Christine Nakaten, Thomas Kempka tahun 2017 dengan judul "*Radial-Symmetric Well Design To Optimize Coal Yield And Maintain Required Safety Pillar Width In Offshore Underground Coal Gasification*". Gasifikasi batubara bawah tanah (UCG) memungkinkan pemanfaatan lapisan batubara, yang saat ini tidak dapat diekstraksi secara ekonomis karena kondisi batas geologi yang rumit. Kelayakan teknis dan ekonomi dari operasi UCG di darat telah banyak diteliti



dalam beberapa dekade terakhir, sementara studi tentang operasi UCG lepas pantai jarang dilakukan. Kami mengusulkan desain sumur radial-simetris dan memvalidasinya melalui simulasi geomekanik. Perhitungan dan hasil simulasi kami menunjukkan bahwa hasil batubara sebesar 46% dapat dicapai dengan lebar pilar aman 100 m. Untuk ketebalan lapisan batubara yang diekstraksi 11 m, tingkat dasar laut turun menjadi 0,16 m.

- 20) Pada penelitian yang dilakukan oleh Nari Soundarrajan, Nandakumar Krishnamurthy, Sarma V. Pisupati tahun 2012 dengan judul "*Physical and Chemical Characterization of Coal Particles Used as Entrained Flow Gasifier Feedstock: Heterogeneity in Mineral Matter Distribution*" menjelaskan bahwa beberapa tantangan masih ada dalam keberhasilan dan keandalan pengoperasian gasifiers *flow slagging entrained* (EFG) dengan menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Pembentukan flyash dan carryover dengan aliran gas menyebabkan pengotoran dan penyisipan pendingin syngas, yang menyebabkan reduksi tingkat panas dan sistem penanganan padatan yang luar biasa. Untuk memprediksi pembentukan flyash dan kehilangan karbon dalam EFG, pemahaman menyeluruh tentang efek sifat bahan baku pada tingkat konversi bahan bakar selama gasifikasi diperlukan. Keadaan terkini dalam pemodelan gasifikasi memperlakukan batubara sebagai bahan homogen meskipun diketahui bahwa batubara itu heterogen. Kelas partikel yang berbeda, saat dimasukkan ke dalam EFG, berperilaku berbeda dalam hal konversi karbon dan transformasi mineral. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan alat pemodelan yang dapat menggabungkan karakteristik fisik dan kimia dari bahan baku dan pengaruh kondisi operasi pada transformasi partikel, untuk memprediksi nasib partikel



char/ash yang dihasilkan di gasifier. Selama penggilingan batu bara, mineral dan mineral terpisah karena pembebasan mineral. Ketika mengalami fraksinasi gravitasi, mineral yang dibebaskan cenderung menumpuk pada partikel kepadatan yang lebih berat. Berbagai karakterisasi fisik dan kimia dilakukan pada kelas partikel yang dipisahkan ukuran dari empat fraksi gravitasi dengan tujuan untuk menghasilkan heterogenitas batubara dan dampaknya terhadap konversi. Karakterisasi menunjukkan bahwa hampir semua materi gasifikasi terdapat pada dua fraksi gravitasi ringan dan bulks mineral ada pada dua fraksi gravitasi yang lebih berat. Masalah mineral ditandai dan diukur dengan menggunakan pengukuran hasil abu, fluoresensi sinar-X, difraksi sinar-X, Mikroskopi Elektron Mikroskopi Kontrol Komputer (CCSEM) dan mineral besi diukur dengan menggunakan spektroskopi Mossbauer. Hasil karakterisasi menunjukkan heterogenitas batubara di beberapa komponen kimia dan mendorong kebutuhan untuk memperhitungkan heterogenitas pada model.

- 21) Janis Krumins, Zhiping Yang, Qiang Zhang, Min Yan, Maris Klavins tahun 2017 pada penelitiannya yang berjudul "A Study Of Weathered Coal Spectroscopic Properties" yang dipaparkan pada International Scientific Conference "Environmental and Climate Technologies", CONECT 2017, 10–12 May 2017, Riga, Latvia, menjelaskan bahwa Industri batubara saat ini menyebabkan pencemaran lingkungan yang signifikan dan polusi udara yang paling banyak terjadi di dunia, membuat pengembangan aplikasi ramah lingkungan baru menjadi salah satu prioritas utama. Batubara mengandung hingga 50% zat humat (HS), yang sebagian besar adalah asam humat (HA). HA dikenal dengan khasiatnya yang menguntungkan dan



dengan demikian senyawa yang diekstraksi dari batubara dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi baru. Untuk mengatasi masalah ini, kami menilai komposisi struktural HS batubara dengan mengukur sifat spektroskopi mereka. Hasilnya, spektrum yang diperoleh dapat digunakan untuk mengidentifikasi informasi tentang molekul dan dengan demikian memungkinkan untuk menggambarkan komposisi HS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sifat HS batubara cuaca dalam hal menemukan kegunaan baru untuk sumber daya alam yang terabaikan ini. Hasilnya menunjukkan bahwa batuan yang lapuk mengandung kandungan oksigen yang relatif tinggi dan mengindikasikan transformasi kelompok fungsional yang mengandung O. Batubara yang mengalami cuaca memiliki jumlah molekul bioaktif yang tinggi serta aromatik terkondensasi. Senyawa pembentuk batu bara utama adalah akridin, antrasena, perilena, tetraken dan naftalena dan tidak bergantung pada tempat lokasi penelitian berada.

- 22) Brent A. Slaker dan Khaled M. Mohamed tahun 2017 pada penelitiannya yang berjudul "*A Practical Application Of Photogrammetry To Performing Rib Characterization Measurements In An Underground Coal Mine Using A DSLR Camera*". Memahami perilaku rusuk tambang batubara penting untuk mempertimbangkan kondisi pemuatan pilar serta menjamin keselamatan penambang yang secara teratur terpapar tulang rusuk. Karena variabilitas geometri bukaan bawah tanah dan perilaku tanah, pengukuran titik sering gagal menangkap gerakan kerja ranjau saya. Fotogrametri adalah alat pengukuran tambahan yang berpotensi cepat, murah, dan tepat dibandingkan dengan ekstensometer, pita pengukur, atau meter jangkauan laser, namun penerapannya di batubara bawah tanah terbatas. Penggunaan



fotogrametri secara praktis telah diuji di Tambang Batubara Penelitian Keselamatan, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Kamera digital single-lens reflex (DSLR) yang tersedia secara komersial digunakan untuk melakukan survei fotogrametrik untuk eksperimen. Beberapa percobaan dilakukan dengan menggunakan kondisi pencahayaan yang berbeda, jarak ke subjek, pengaturan kamera, dan tumpang tindih foto, dengan hasil yang diringkas sebagai berikut: metode pencahayaan ternyata tidak signifikan jika adegan itu diterangi dengan tepat. Ditemukan bahwa jarak ke subjek memiliki dampak minimal terhadap akurasi hasil, dan pengaturan kamera memiliki dampak signifikan pada kualitas fotogrametri gambar. Resolusi foto yang meningkat lebih baik bila mengukur orientasi bidang; Jika tidak, kepadatan awan titik tinggi kemungkinan akan berlebihan. Perubahan fokal (F-stop) mempengaruhi kedalaman bidang dan kualitas gambar dalam situasi di mana banyak sudut diperlukan untuk melakukan survei orientasi cleat. Foto tumpang tindih sangat penting untuk rekonstruksi tiga dimensi yang tepat, dan setidaknya 60% tumpang tindih antara pasangan foto sangat ideal untuk menghindari pemrosesan pasca yang tidak perlu. Saran dan panduan yang diusulkan dirancang untuk meningkatkan kualitas masukan dan keluaran fotogrametri serta meminimalkan waktu pemrosesan, dan berfungsi sebagai titik awal untuk studi fotogrametri batu bara bawah tanah.

- 23) Qi Lingling, Tang Xu, Wang Zhaofeng, Peng Xinshan Tahun 2017 pada penelitiannya yang berjudul "*Pore Characterization Of Different Types Of Coal From Coal And Gas Outburst Disaster Sites Using Low Temperature Nitrogen Adsorption Approach*". Untuk mengkarakterisasi fitur pori sampel



batubara ledakan dan menyelidiki apakah ledakan batubara memiliki beberapa fitur unik atau tidak, salah satu penulis, yang bekerja sebagai anggota Komite Tambang Batubara Tambang di China, mengambil sampel sembilan contoh batubara ledakan (bubuk batubara dan blok) dari ledakan lokasi bencana di tambang batu bara bawah tanah di China, dan kemudian menganalisis fitur pori dan permukaan sampel ini dengan menggunakan uji adsorpsi nitrogen suhu rendah. Data uji menunjukkan bahwa ledakan serbuk dan blok sampel batubara memiliki sifat yang serupa baik pada distribusi ukuran pori maupun luas permukaan. Dengan meningkatnya peringkat batubara, proporsi kenaikan mikropori meningkat, yang menghasilkan luas permukaan yang lebih tinggi. Sampel Jiulishan kaya akan micropores, dan sampel uji lainnya terutama mengandung mesopores, makropores dan lebih sedikit micropores. Baik loop histeresis yang tidak tertutup dan gaya desorpsi tertutup fenomena diamati pada semua sampel yang diuji. Yang pertama dapat dikaitkan dengan ketidakstabilan kondensasi meniskus pada pori-pori, fitur pori saling terkait batubara dan potensi adanya pori-pori botol tinta, dan yang terakhir dapat dikaitkan dengan struktur batubara dan afinitas batu bara yang tidak kaku.

- 24) Pada penelitian yang dilakukan oleh Oleksandr Ivakhnenko, Adina Aimukhan, Aida Kenshimova, Fandus Mullagaliyev, Erlan Akbarov, Lylia Mullagaliyeva, Svetlana Kabirova, Azamat Almukhametov tahun 2017 dengan judul *"Advances In Coalbed Methane Reservoirs Integrated Characterization And Hydraulic Fracturing For Improved Gas Recovery in Karaganda Coal Basin, Kazakhstan"* menjelaskan bahwa lapangan batuan coalbed methane (CBM) di Karaganda Coal Basin ditandai oleh



kompleksitas geologi dan struktur. Mayoritas zona produksi memiliki kandungan metana yang tinggi dan permeabilitas batubara yang sangat rendah yang menyebabkan masalah stimulasi reservoir. Untuk mendapatkan program rekam hidrolik yang sukses, kami menerapkan karakterisasi reservoir terpadu untuk memantau parameter kunci. Selain data logging, analisis sampel inti diterapkan untuk mengamati hubungan antara variasi litologi yang ditemukan dengan menggunakan nilai kerentanan magnetik dan pengukuran permeabilitas untuk mengidentifikasi kandidat reservoir CBM terbaik untuk rekaman hidrolik.

- 25) Madhulika Dutt, Jyotilima Saiki, Silvio R. Taffarel, Frans B. Waanders, Diego de Medeiros, Cesar M.N.L. Cutruneo, Luis F.O. Silva, Binoy K. Saikia Tahun 2017 pada penelitiannya yang berjudul "*Environmental Assessment And Nano-Mineralogical Characterization Of Coal, Overburden And Sediment From Indian Coal Mining Acid Drainage*" menjelaskan bahwa kemunduran kondisi lingkungan merupakan faktor utama bagi kesehatan dan kualitas hidup yang buruk yang menghambat pembangunan berkelanjutan di wilayah manapun. Penambangan batubara merupakan salah satu industri utama yang berkontribusi terhadap perekonomian suatu negara namun juga berdampak pada lingkungan. Parameter kimia batubara, lapisan tanah, tanah dan sedimen bersama dengan drainase tambang batubara (CMD) diselidiki untuk memahami dampak lingkungan secara keseluruhan dari pertambangan batubara sulfur yang tinggi di lapangan batubara timur laut (India). Ditemukan bahwa kandungan sulfur total batubara terasa tinggi dibandingkan dengan lapisan penutup (OB) dan tanah. Permasalahan volatil batubara cukup tinggi terhadap kandungan abu yang tinggi dari tanah dan



lapisan penutup tanah. Sampel air memiliki Konduktivitas Listrik Tinggi (EC) dan Total Dissolve Solid (TDS) yang tinggi. Nilai pH yang lebih rendah, menunjukkan pembubaran mineral yang ada di batubara serta mineral lainnya di tambang menolak / overburden. Komposisi kimia dan nano-mineralogika sampel batubara, tanah dan overburden dipelajari dengan menggunakan Mikroskopi Elektron Resolusi Tinggi Transmisi (HR-TEM), Spektroskopi Dispersi Energi (EDS), Selected Area Diffraction (SAED), Elektron Pemindaian Emisi Lapangan Mikroskopi (FE-SEM) / EDS, difraksi sinar-X (XRD), Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR), analisis Raman dan Ion-Kromatografi, dan spektroskopi Mössbauer. Dari analisis geokimia yang berbeda telah ditemukan bahwa sampel air tambang dari koloid Ledo memiliki nilai pH terendah 3,30, sampel kolot Tirap memiliki nilai konduktivitas listrik tertinggi yaitu 5,40 ms cm⁻¹. Baik batubara Ledo maupun Tirap memiliki kandungan sulfur total dalam kisaran 3-3,50%. Air tambang batubara dari Tirol colliery (TW-15B) memiliki nilai Mg²⁺ tinggi (450 ppm), dan Br (227,17 ppm). Analisis XRD menunjukkan adanya mineral termasuk kuarsa dan hematit di bara api. Analisis mineral batubara overburden (OB) menunjukkan adanya pirit dan marcasite yang juga dikonfirmasi dalam analisis spektral XRD dan Mossbauer. Data yang disajikan dari mineral dan partikel ultra / nano hadir menunjukkan kemampuan mereka untuk mengendalikan mobilitas elemen berbahaya, menunjukkan kemungkinan penggunaan teknologi pengelolaan lingkungan, termasuk pemulihan daerah tambang batubara India yang halus.

- 26) REN Jianxing, LI Fangqin, ZHU Qunzhi, WU Jiang, YANG Yongwen, Liu Qingrong, LIU Hongfang tahun 2012 dengan judul "Research of Multi-Fuel



Burning Stability In A 300MW Coal-Fired Utility Boiler” yang dipaparkan pada International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems. Dengan ekonomi China yang berkembang pesat, kebutuhan listrik semakin banyak. Kini, 300 MW unit batu bara adalah unit utama. Dengan diversifikasi batubara, ada perbedaan besar antara batu bara dan batu bara aktual, hal ini berdampak pada keselamatan dalam menjalankannya. Dalam makalah ini, sebuah unit batubara 300 MW dipelajari. A, B dan C tiga jenis batubara campuran dipilih. Di bawah muatan pengenal, karakteristik batubara dipelajari. Percobaan adaptasi campuran batubara A, B dan C dengan boiler dilakukan. Dan hasilnya menunjukkan bahwa terak boiler berhubungan dengan distribusi suhu kotak api, derajat dinding sikat nyala api dan derajat kerenyahan gas buang. Terak dari campuran batubara C itu serius, sedangkan campuran batubara A tidak mudah tertinggal di dinding superheater dan air. Karena itu, campuran batubara A karena bahan bakar bisa memenuhi kebutuhan boiler yang aman.

- 27) Cristina Argiz, Amparo Moragues, Esperanza Menendez tahun 2017 dengan judul *“Use Of Ground Coal Bottom Ash As Cement Constituent In Concretes Exposed To Chloride Environments”*. Limbah bawah batubara yang diperoleh dari pembangkit listrik thermoelectric dapat didaur ulang seperti unsur penyusun semen baru lainnya bila cukup ground. Proposal semacam itu akan menghasilkan pengurangan konsumsi energi dan emisi CO₂ dari produksi semen, sekaligus meminimalkan dampak lingkungan dari pembuangan abu dasar batubara di lokasi pembuangan akhir. Konstituen semen yang baru harus menjamin paling tidak daya tahan yang sama dengan semen yang digunakan saat ini. Untuk menilai kelayakan



penggunaan abu dasar batubara sebagai penyusun utama semen Portland, sebuah studi komparatif dengan fly ash batubara yang dipasok oleh pembangkit listrik yang sama dilakukan. Abu terbang batubara dan abu dasar batubara digunakan untuk menggantikan 10% dan 25% berat semen Portland. Migrasi difusi klorida dan klorida alami, serta resistivitas listrik, ditentukan dalam beton. Konsentrasi yang dibuat dengan 25% abu bawah batubara menghasilkan koefisien migrasi dan difusi yang lebih rendah ($D_{nssm} = 0,98 \times 10^{-12}$ dan $D_e = 0,42 \times 10^{-12}$) dibandingkan beton dengan 10% ($D_{nssm} = 4,12 \times 10^{-12}$ dan $D_e = 1,33 \times 10^{-12}$). Koefisien ini lebih rendah dari pada abu terbang batubara untuk kadar abu yang sama sebesar 25% ($D_{nssm} = 3,82 \times 10^{-12}$ dan $D_e = 1,26 \times 10^{-12}$) atau 10% ($D_{nssm} = 7,06 \times 10^{-12}$ dan $D_e = 3,80 \times 10^{-12}$). Selain itu, beton yang terbuat dari semen dengan 25% abu bawah tanah menunjukkan nilai resistivitas yang lebih tinggi daripada konkret fly ash batubara dengan umur di atas 28 hari. Hasil ini bisa dijelaskan dengan mempertimbangkan kehalusan lebih tinggi abu dasar batubara.

- 28) Guangyu Li, Chang'an Wang, Pengqian Wang, Yongbo Du, Xuan Liu, Wufeng Chen, Defu Che tahun 2017 dengan judul "*Ash Deposition and Alkali Metal Migration during Zhundong High-alkali Coal Gasification*" yang dipaparkan pada The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE 2016. Endapan abu sangat serius selama pembakaran/gasifikasi batubara Zhundong karena kandungan logam alkalinya yang tinggi, yang menyebabkan masalah besar dan membatasi penggunaannya. Makalah ini berfokus pada karakteristik pengendapan abu dan pendisiplinan migrasi logam alkali selama gasifikasi batubara Zhundong varing dengan kondisi



yang berbeda, seperti suhu deposisi abu, suhu gasifikasi, O₂ / batubara, uap / batubara, dan waktu deposisi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kondisi gasifikasi berperan penting dalam pengendapan abu. Akar penyebab pengotoran parah adalah kandungan Na yang tinggi dalam batubara Zhundong, yang sebagian besar larut dalam air. Selain itu, kandungan Na, Fe, S, Cl dalam abu jelas berubah dengan suhu gas buang meningkat, mengindikasikan unsur-unsur ini memiliki pengaruh yang besar terhadap pengendapan abu, dan migrasi Na, Fe dan Cl menghasilkan variasi yang serupa selama pengendapan. Selain itu, deposit Na terutama di atas 873 K, dan Fe memperoleh pengayaan abu pada berbagai suhu. Dengan meningkatnya suhu gasifikasi, kandungan Na dalam abu meningkat, yang dapat memperburuk pengendapan abu. Baik O₂ / batubara dan uap / batubara memiliki pengaruh tertentu terhadap migrasi elemen, dan peningkatan O₂ / batubara dan uap / batubara dapat mengurangi fenomena pengotoran abu. Abu yang terdeposit pada permukaan pemanas akan bereaksi dengan Na dalam gas buang pada suhu tinggi, yang menyebabkan peningkatan kandungan Na dalam abu dengan waktu deposisi meningkat.

- 29) Friederike Fachinger, Frank Drewnick, Reto Giere, Stephan Bormann Tahun 2017 dengan judul "*How The User Can Influence Particulate Emissions From Residential Wood And Pellet Stoves: Emission Factors For Different Fuels And Burning Conditions*". Untuk tungku kayu rumah tangga yang umum dan kompor pelet kami menyelidiki ketergantungan faktor emisi untuk berbagai polutan gas dan partikel pada fase terbakar, kondisi terbakar, dan bahan bakar. Kondisi pembakaran ideal dan tidak ideal (kayu kering, under dan overload, kayu bulat kecil, kayu bulat dengan kulit kayu, kelebihan udara)

- 30) Chuan-Zhi Gui, Long-Yan Ran, Jin-Ping Li, Zhi-Zhong Guan tahun 2010 dengan penelitiannya yang berjudul "*Changes Of Learning And Memory Ability And Brain Nicotinic Receptors Of Rat Offspring With Coal Burning Fluorosis*". Tujuan dari penyelidikan ini adalah untuk mengungkap



mekanisme menurunnya kemampuan belajar dan daya ingat akibat fluorosis pembakaran batubara. Sepuluh ekor tikus SD berusia 30 hari, yang lahir dari ibu dengan fluorosis pembakaran batubara kronis, dan sepuluh keturunan dengan usia yang sama dari ibu normal saat kontrol dipilih. Pembelajaran spasial dan memori tikus dievaluasi dengan uji Morris Water Maze. Aktivitas cholinesterase dideteksi dengan metode fotometrik. Ekspresi reseptor asetilkolin nikotin (nAChRs) pada tingkat protein dan mRNA dideteksi oleh blotting dan PCR Real-time masing-masing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tikus yang terpapar fluoride lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, kemampuan belajar dan daya ingat menurun; Aktivitas kolinesterase di otak dihambat; tingkat protein $\alpha 3$, $\alpha 4$ dan $\alpha 7$ nAChR subunit menurun yang menunjukkan korelasi signifikan tertentu dengan kemampuan belajar dan memori yang menurun; dan tingkat mRNA $\alpha 3$ dan $\alpha 4$ nAChRs menurun, sedangkan $\alpha 7$ mRNA meningkat. Data menunjukkan bahwa pembakaran batubara fluorosis dapat menyebabkan menurunnya kemampuan belajar dan memori keturunan tikus, di mana mekanisme tersebut dapat dihubungkan ke nAChR dan cholinesterase yang telah berubah.

- 31) Robert Zarzyki, Zbigniew Bis, Rafal Kobylecki tahun 2016 pada penelitiannya yang berjudul "*The Concept of Coal Burning in a Cyclone Furnace*" yang dipaparkan pada IX International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, ICCHMT 2016. Artikel tersebut menyajikan konsep tungku siklon baru untuk pembakaran bahan bakar padat di bawah kondisi pembakaran bahan bakar oxy-fuel, yang digunakan di masa lalu di ruang bakar siklon. Faktor utama dan penentu operasi dan kinerja ruang bakar



tersebut disajikan. Kemungkinan varian integrasi ruang bakar ini dengan boiler bahan bakar yang dilumasi juga dibahas.

- 32) A.Yu. Stolboushkin, A.I. Ivanova, O.A. Fomina tahun 2016 dengan Judul "*Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning*" yang dipaparkan pada International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016. Hasil penelitian komposisi material, kimia dan mineral dari limbah batubara dari pabrik pengolahan Abashevskaya dan argillites berkarbon dari tambang batubara Korkino disediakan. Teknologi daur ulang limbah batubara ditawarkan yang bisa digunakan dalam produksi bahan bakar batu bara untuk pembakaran batu bata dan persiapan bahan bakunya untuk pembuatan keramik. Atas dasar uji pilot plant menunjukkan bahwa klasifikasi limbah pneumatik memungkinkan residu batubara untuk diekstraksi dari argillites dan bahan baku keramik yang stabil yang akan diperoleh untuk pembuatan batu bata. Pengolahan limbah batubara yang kompleks tersebut tidak hanya memberikan perluasan basis bahan baku yang signifikan untuk produksi bahan bangunan dan penambahan energi tambahan, namun juga akan membantu memecahkan masalah lingkungan dan memperbaiki situasi lingkungan di kawasan industri. Karena diperkenalkannya metode produksi dan komposisi rasional dari bahan cetakan yang telah dipatenkan, terdapat peningkatan sifat operasional bahan dinding keramik yang dihasilkan dari limbah batubara setelah pemrosesan sekunder. Studi tentang bagian tipis menggunakan mikroskop polarisasi dan SEM dilakukan untuk memeriksa struktur gabus keramik yang diperoleh. Ditetapkan bahwa sifat fisik dan mekanik yang tinggi dari batu bata dicapai dengan membentuk struktur matriks dari cangkang keramik, generasi intensif dari



fase kaca pada batas interphase material komposit dan pengurangan suhu proses sintering fase padat.

- 33) Penelitian yang dilakukan Ana Alonso-Serrano, Matt Visser tahun 2016 dengan judul "*On Burning A Lump Of Coal*". Membakar sesuatu, (misalnya gumpalan pepatah batubara, atau ensiklopedi dalam hal ini), dalam tungku tubuh hitam menghasilkan spektrum emisi Planck kira-kira dengan transfer entropi / informasi rata-rata sekitar $3,9 \pm 2,5$ bits per foton yang dipancarkan. Hasil kuantitatif dan kualitatif ini hanya bergantung pada ketidakstabilan fisika kuantum pembakaran, dikombinasikan dengan mekanika statistik radiasi blackbody. Fakta bahwa sama sekali standar dan unitarity melestarikan proses pembakaran sesuatu (pada kenyataannya, membakar apapun) namun hasan terkait anggaran entropi / informasi, dan ukuran kuantitatif dari anggaran entropi / informasi, adalah fitur statistik fisika kuantum standar yang sangat kurang diapresiasi.

- 34) Penelitian yang dilakukan oleh Pólka Marzena, Ptak Szymon tahun 2017 dengan judul "*Impact Of Biomass Implementation On Coal Burning installations*" yang dipaparkan pada TRANSCOM 2017: International scientific conference on sustainable, modern and safe transport. Meningkatnya pangsa sumber energi terbarukan dalam beberapa tahun terakhir ini terpaksa dilakukan oleh legislasi nasional berbagai negara yang bersedia mengurangi emisi karbon dioksida yang berasal dari bahan bakar fosil. Namun, meningkatnya jumlah ledakan debu telah dicatat, yang mana penembakan batubara dan biomassa telah disalahkan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memahami perbedaan indeks ledakan dari biomassa dan debu batubara. Penelitian yang dipresentasikan bertujuan terutama



untuk menentukan energi pengapian minimal dan resistivitas sampel debu biomassa yang dipilih dan menganalisis kemungkinan dampaknya terhadap penerapan biomassa ke pembangkit listrik tenaga batubara.

- 35) Nam, dkk. (2014) Abu terbang atau fly ash adalah hasil samping dari pembakaran batubara. Berdasarkan ukuran partikelnya, abu batubara dapat dibedakan menjadi abu dasar (*bottom ash*) dan abu terbang (*fly ash*). Abu dasar didefinisikan sebagai abu sisa pembakaran yang jatuh ke bagian dasar tungku pembakaran dengan distribusi volume 10 -15% dari total abu yang dihasilkan, sedangkan abu terbang didefinisikan sebagai abu sisa pembakaran batubara yang keluar dari tungku pembakaran batubara bersama aliran gas buang dengan distribusi volume 85 – 90% dari total abu yang dihasilkan, dibandingkan dengan abu dasar, abu terbang mempunyai abu yang lebih terang (keabu-abuan) dan memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dari abu dasar yaitu berukuran 1 – 100 μm (Sukandarrumidi, 2006). Selain menghasilkan abu pembakaran batubara juga menghasilkan gas-gas diantaranya oksida sulfur (SO_x), oksida nitrogen (NO_x), gas hidrokarbon, karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2). Perbedaan sifat abu terbang dan abu dasar ditunjukkan dalam tabel 1 dibawah ini.

Tabel 2. 6 Sifat Khas Abu Terbang Dan Abu Dasar

Sifat - sifat	Abu Terbang	Abu dasar
Berat Jenis	2,1 – 2,9	2,3 – 3,0
Densitas, lbs ft ⁻³	65 – 110	65 -110
Kadar air optimal, %	10 – 35	12 -26
Konduktivitas Hidrolik, cm S ⁻¹	104 – 106	101 – 103
Porositas	0,40 – 0.50	0,25 – 0,40
Sudut Gesekan Internal, derajat	25 - 40	35 – 45

Sumber: Nam, dkk. (2014)

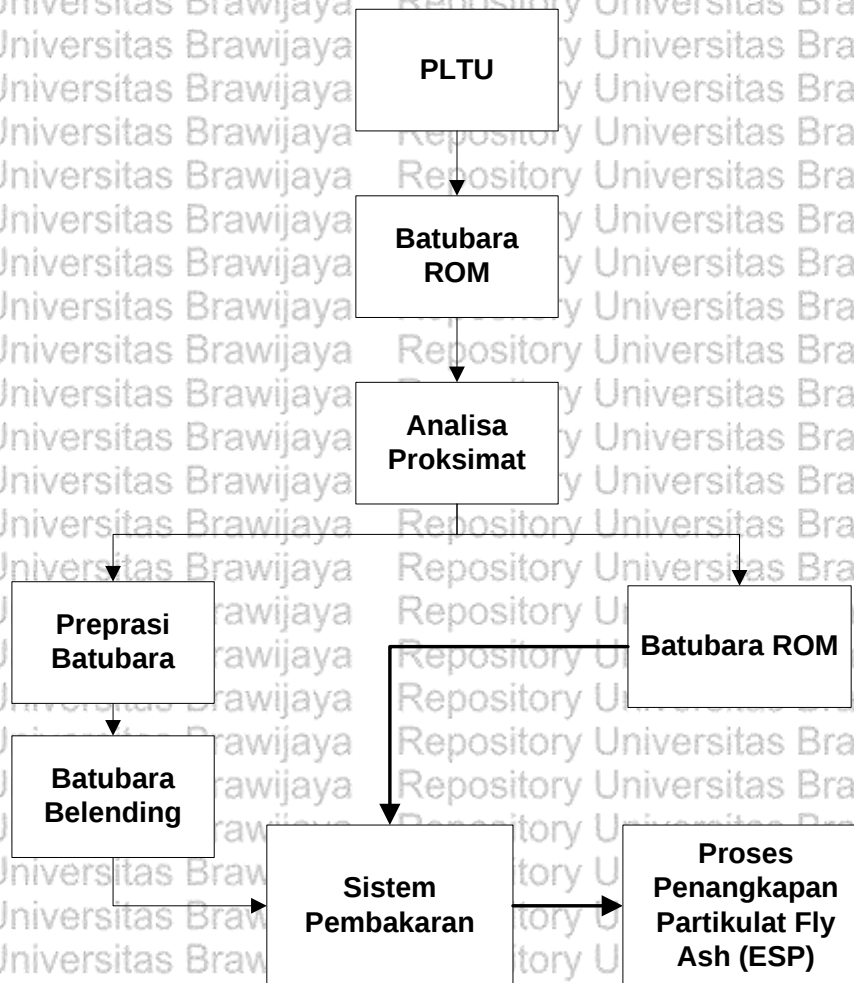


BAB III

KERANGKA KONSEPTUAL PENELITIAN

3.1 Kerangka Pemikiran

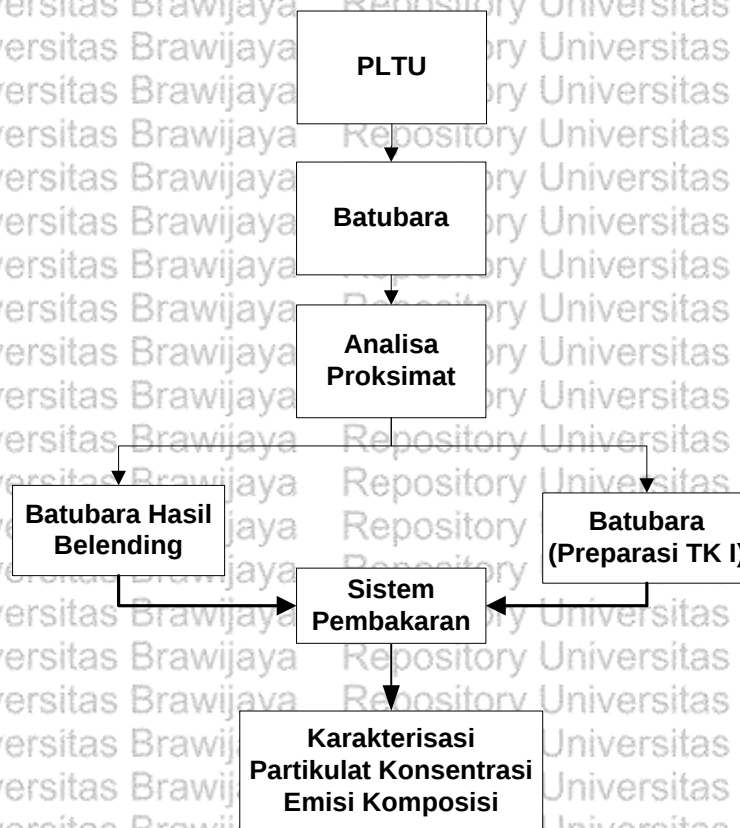
Kerangka konsep diperlukan sebagai landasan berpikir dalam mengembangkan penelitian dari tinjauan teori sehingga hasil penelitian lebih mudah dipahami. Penelitian ini adalah penelitian yang dimulai dengan melakukan analisis terhadap fenomena yang telah terjadi sebelumnya. Dari analisis tersebut akan dikembangkan berdasarkan teori dan konseptual dengan menggunakan metode yang disesuaikan dengan tujuan. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei dengan kualitatif deskriptif. Metode ini digunakan untuk melihat kondisi fisik yang terjadi pada kegiatan pengolahan batu bara pada PLTU. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat dilakukan uji perbandingan dengan menggunakan perlakuan berupa proses pencucian batu bara sebagai bahan belending. Berdasarkan kedua hasil tersebut nantinya dilakukan analisis perbandingan dan dilakukan pengamatan terhadap potensi alternatif yang telah dilakukan berupa proses pencucian dengan menggunakan *Chance Cone* untuk digunakan sebagai bahan belending batubara pada PLTU.



Gambar 3.1 Kerangka Konseptual

3.2 Kerangka Analisis Penelitian

Penelitian ini memiliki tiga tujuan yang menjelaskan hasil terhadap pengolahan batu bara pada PLTU. Pada setiap tujuan dari penelitian ini, digunakan analisis untuk mempermudah dalam pengambilan kesimpulan dan menjawab permasalahan yang diungkapkan sebelumnya. Analisis yang digunakan adalah analisis kualitatif deskriptif.



Gambar 3.2 Kerangka Analisis Penelitian

3.3 Kebaharuan (*Novelty*) Penelitian

Penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) yaitu penggunaan batubara tercuci (batubara bersih) untuk mengoptimalkan fungsi *Electrostatic Precipitation* (ESP) dan memetakan sebaran abu terbang (*fly ash*) sehingga abu terbang yang masih keluar bersama gas buang melalui cerobong asap dapat direduksi dengan media tanaman tertentu. Untuk mengolah dan menyiapkan batubara dari tambang agar sesuai dengan ketentuan kualitas yang sesuai dengan standar yang ditentukan sehingga tidak mencemari lingkungan dan sesuai keinginan konsumen. Salah satu cara yang dilakukan adalah mengurangi kadar abu batubara yaitu dengan proses pencucian menggunakan *Chance Cone*.



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan analisis survei eksploratif (*exploratory research*). Nazir (2005) menjelaskan bahwa metode survei eksploratif sering digunakan untuk mengungkapkan fakta dan mengidentifikasi permasalahan serta mendapatkan pembenaran terhadap pelaksanaan yang sedang berjalan. Sejalan dengan pernyataan tersebut, maka penelitian ini memiliki tujuan untuk menjelaskan fakta pengolahan batu bara pada PLTU. Melihat fakta bahwa pengolahan batu bara pada PLTU mengakibatkan kerusakan lingkungan di udara, menimbulkan kecenderungan untuk melakukan inovasi dengan melakukan alternatif berupa proses pencucian batu bara dengan menggunakan *Chance Cone*. Untuk itu perlu diteliti lebih jauh mengenai kesesuaian batu bara yang digunakan PLTU dan bagaimana potensi adanya alternatif berupa proses pencucian batu bara dengan menggunakan *Chance Cone*.

4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada PT PJB-UBJOM PLTU Pangkalan Susu (2 x 350 MW). Lokasi penelitian terletak di Kabupaten Langkat Sumatera Utara. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan penelitian ini, mulai dari persiapan sampai penyusunan laporan 1 tahun, sedangkan tempat penelitian mengenai karakterisasi dan pengendalian partikulat hasil pembakaran batubara dilakukan di beberapa tempat antara lain:

- Material fly ash batubara diambil dari limbah fly ash batubara PLTU Pangkalan Susu Kabupaten Langkat Sumatera Utara.



- Karakterisasi Partikulat berupa fly ash dilakukan di lab Tekmira (Teknologi Mineral dan Batubara) Bandung.

Kegiatan ini akan dilaksanakan selama $\pm$ 12 bulan yaitu dimulai yang terhitung sejak konsultasi penelitian, pelaksanaan penelitian, pengambilan data dan analisis data sampai ujian akhir. Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4.1. Timeline Kegiatan

No.	Tahapan dan Rincian Kegiatan	Tahun 2017-2018											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Ujian kualifikasi	■											
2.	Ujian kualifikasi		■										
3.	Sidang komisi proposal			■									
4.	Seminar proposal				■								
5.	Penyempurnaan dan perbaikan proposal penelitian					■							
6.	Penyediaan instrument						■						
7.	Pelaksanaan penelitian							■					
8.	Tabulasi data								■				
9.	Analisis data									■			
10.	Seminar hasil penelitian										■		
11.	Perbaikan dan konsultasi hasil penelitian											■	

4.3 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data merupakan usaha sadar untuk mengumpulkan data yang dilaksanakan secara sistematis dan dengan prosedur yang standar (Arikuntu, 1996). Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan observasi, wawancara dan dokumentasi sebagaimana lazim dalam studi kualitatif. Selain itu data sekunder juga diperlukan dalam penelitian ini yang diperoleh berdasarkan hasil observasi di lapangan yaitu pada PLTU di Kabupaten Langkat. Data dalam penelitian ini berupa kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif lebih berupa kata-kata, maka wawancara menjadi



perangkat yang sangat penting. Wawancara yaitu usaha mengumpulkan informasi dengan menggunakan sejumlah pertanyaan secara lisan untuk dijawab secara lisan pula (Nawawi, 1993).

Metode wawancara digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan informasi guna melengkapi data yang diperoleh dari metode observasi dan dokumentasi. Dalam wawancara ini, peneliti akan menghindari ketatnya struktur pertanyaan agar bisa mengeksplorasi alur pikiran narasumber secara lebih luas.

Pokok-pokok pertanyaan akan dirancang berbentuk pertanyaan terbuka, mudah dimengerti, bersifat netral, dan tidak diwarnai nilai-nilai tertentu atau bersifat mengarahkan. Selanjutnya pengumpulan data secara lebih spesifik akan dilakukan melalui observasi dengan melibatkan peneliti sebagai *observer* (*participant observation*) dan wawancara mendalam (*indepth interview*). Aktivitas pengumpulan data akan dilakukan secara terus menerus hingga mencapai titik jenuh (*saturation*).

4.4 Variabel dan Sumber Data

Dalam penelitian kualitatif, istilah sampel tidak lazim digunakan. Setiap subyek adalah informan yang akan dilihat sebagai kasus dalam suatu kejadian (*event*) tertentu, sehingga pendekatan kualitatif menyebutnya sebagai narasumber atau informan. Sesuai karakter pendekatan kualitatif yang lebih investigatif, maka pemilihan narasumber lebih ditekankan pada kualitas narasumber dan bukan pada banyaknya atau kuantitasnya. Dengan demikian, dalam penelitian kualitatif ini, pengambilan narasumber akan dilakukan secara sengaja (*purposive sampling*), yaitu disesuaikan dengan tujuan penelitian.

Narasumber yang diambil lebih bersifat selektif, yaitu peneliti mendasarkan pada landasan kaitan teori yang digunakan, karakteristik empiris yang dihadapi, dan



lain sebagainya. Oleh karena itu, jumlah narasumber dalam penelitian ini tidak menjadi prioritas, tetapi ditekankan kepada adanya narasumber-narasumber yang mendukung bagi keperluan analisis dan penelitian (Mulyana, 2003).

Perolehan sumber data dalam penelitian ini juga akan dilakukan melalui wawancara secara langsung dengan pihak-pihak yang tersebut diatas. Data lain yang terkait dengan penelitian ini juga diharapkan akan dapat dari buku referensi yang digunakan oleh pegawai PLTU Kabupaten Tuban selama beberapa tahun terakhir. Dari data tersebut akan diteliti dan dielaborasi dengan data-data yang diperoleh dari studi pustaka, kemudian dianalisis dan disusun dalam bentuk laporan.

4.5 Metode Analisis Data

Sebagaimana umumnya dalam penelitian kualitatif, proses analisis data berlangsung selama proses pengumpulan data dan setelah masa pengumpulan data. Proses analisis mengalir dari tahap awal hingga tahap penarikan kesimpulan hasil penelitian. Model analisis dalam penelitian kualitatif ini disebut sebagai model interaktif, seperti yang dinyatakan oleh Miles dan Huberman (Moleong, 2008). Dalam analisis data model interaktif ini, komponen-komponen analisis data yaitu; reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan; secara interaktif saling berhubungan selama dan sesudah pengumpulan data. Analisis Kualitatif Deskriptif data dalam penelitian akan dilakukan melalui tiga tahapan, yang meliputi hal-hal berikut:

1. Reduksi data, yaitu proses pemilihan, pemusatan perhatian pada penyederhanaan, dan transformasi data kasar yang diperoleh di lapangan. Data yang diperoleh dari lapangan mungkin jumlahnya cukup banyak dan kompleks. Untuk itulah diperlukan reduksi data. Dalam hal ini hanya data-



data yang relevan dengan tujuan penelitian saja yang diambil, sedangkan yang tidak relevan dibuang. Reduksi data dilakukan bersamaan dengan proses pengumpulan data sampai dengan selesai.

2. Penyajian data, setelah data direduksi, maka langkah selanjutnya adalah penyajian data. Penyajian data yaitu deskripsi kumpulan informasi tersusun yang memungkinkan untuk melakukan penarikan kesimpulan dan pengambilan tindakan. Penyajian data kualitatif yang lazim digunakan adalah dalam bentuk teks naratif.

3. Penarikan kesimpulan dan verifikasi. Mencari makna dari setiap gejala yang diperoleh di lapangan, mencatat keteraturan dan pola penjelasan dan konfigurasi yang mungkin ada. Selama penelitian masih berlangsung, setiap kesimpulan yang ditetapkan akan terus-menerus di verifikasi hingga benar-benar diperoleh konklusi yang valid. Verifikasi dilakukan atas informasi lisan maupun dokumentasi. Untuk menjaga kebenaran dan kehandalan dalam penelitian ini, peneliti akan memperhatikan indeksikalitas dan refleksikalitas, yang merupakan konsep penting dalam penelitian sosial secara kualitatif. Indeksikalitas berhubungan dengan upaya mengaitkan makna kata, perilaku, dan hal lainnya sesuai dengan konteksnya. Sementara refleksikalitas berkaitan dengan upaya penataan hubungan antar suatu peristiwa atau fenomena dengan peristiwa atau fenomena lainnya (Muhajir, 2000).

Analisis Kualitatif Deskriptif data dalam penelitian akan dilakukan dengan menggunakan analisa proksimat dengan pendekekatan Linier Programming yang melibatkan variabel persentase berat abu terbang pada batubara tercuci untuk densitas relatif media 1,3. Beberapa metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain menggunakan Standard Operational Procedur SEM (Scanning



Electron Microscope), XRD (X-Ray Diffraction), dan XRF (X-Ray Fluorescence).

Secara lengkap penjelasan mengenai metode-metode tersebut antara lain sebagai berikut:

➤ **Standard Operational Procedur SEM (Scanning Electron Microscope)**

Merk Alat: FEI type Inspect S50

1. Preparasi Sampel

Sampel yang akan dianalisa diletakkan pada holder yang berukuran sekitar 10 mm. Untuk sampel yang tidak konduktif (seperti sampel organik, polimer, dan lainnya) maka perlu di coating (dilapisi) menggunakan Au-Pd, hal ini bertujuan agar sampel lebih bersifat konduktif.

2. Preparasi Alat SEM

Alat SEM yang perlu dipersiapkan antara lain:

- Power ON SEM dan komputer
- Masukkan sampel ke dalam Chamber SEM
- Pump (High Vacuum atau Low Vacuum)
- Beam On

3. Analisa Sampel

Sampel dimasukkan ke dalam Chamber SEM kemudian pump (High Vacuum atau Low Vacuum) dan setelah benar-benar vakum maka mesin SEM siap digunakan (Beam On).

➤ **Standard Operational Procedur XRD (X-Ray Diffraction)**

Merk Alat: PANalytical X'Pert Pro

1. Preparasi Sampel

Sampel yang akan dianalisa diletakkan pada sebuah holder khusus sampai menutup rata seluruh permukaan.



2. Preparasi Alat XRD

Beberapa hal yang perlu dilakukan antara lain:

- Menyalakan alat : Ciller ON → Power ON → Generator ON (putar kunci searah jarum jam)

- Connecting alat : Nyalakan komputer → Buka Software X'Pert Data Collector (DC) → Buka menu bar atas, pilih "instrument" → connect → OK

- Mengatur tegangan dan arus yang akan digunakan yaitu dengan cara antara lain : jika alat dan komputer sudah Connect akan muncul menu di samping kiri → pada menu bar "Instrument Setting" pilih X-Ray Gen MPPC → double klik "Status : ON" (akan muncul menu untuk mengatur tegangan dan arus) → naikan tegangan perlahan sampai

40 kV → naikan arus secara perlahan sampai 35 mA → Apply → OK

3. Running Sampel

Measure → Program → pilih program yang diinginkan → identifikasi sampel → simpan di tempat yang diinginkan → OK

4. Edit Program

File → Open Program → atur sudut, step size yang diinginkan → close → save

5. New Program

File → New Program → beri nama program → atur sudut dan step size yang diinginkan → close → save

6. Mematikan Alat

Pada menu bar "Instrument Setting" Pilih X-Ray Gen MPPC → double klik "status : ON (akan muncul menu untuk mengatur tegangan dan arus) →



turunkan perlahan arus sampai 10 mA → turunkan perlahan tegangan sampai 20 kV → uncheck generator ON → Apply → OK. Selanjutnya buka menu bar atas, pilih “Instrument” → Disconnect, Tutup software → File → Exit. Matikan generator (putar kunci berlawanan jarum jam) → Power OFF/Standby → tunggu beberapa menit untuk colling down → matikan ciller

➤ **Standard Operational Procedur XRF (X-Ray Fluorescence)**

Merk PANalytical type Minipal 4

1. Preparasi Alat XRF

Hidupkan XRF → putar kunci HT On (X-Ray On) → Hidupkan komputer → buka program Minipal → tunggu sekitar 10 hingga 15 menit atau sampai alat benar-benar siap untuk digunakan.

2. Preparasi Sampel

Terdapat 2 hal yang perlu dilakukan yaitu pertama untuk sampel powder dan padatan, yang kedua untuk sampel cair. Untuk sampel powder dan padatan yaitu dengan menyiapkan holder yang sudah dipasang dengan plastik khusus untuk XRF yang kemudian memasukkan sampel yang akan diuji ke dalam holder. Sedangkan untuk sampel cair yaitu dengan cara menyiapkan holder yang sudah dipasang dengan plastik khusus untuk XRF. Periksa kembali apakah plastik benar-benar tidak bocor. Jika perlu dipasang dengan plastik double. Kemudian memasukkan sampel ke dalam holder. Untuk sampel yang mengandung air, panasi dahulu sampai kadar airnya hilang, setelah itu tunggu sampai dingin dan masukkan ke dalam holder.



3. Measurement

Masukkan sampel ke dalam alat XRF. Pada program Minipal yang dilakukan yaitu buka menu Measure → Measure Standardless → isi nama sampel yang akan diukur pada Sampel Ident → Measure (sesuai dengan urutan sampel). Tunggu beberapa menit sampai proses pengukuran selesai. Untuk melihat hasil yaitu dengan cara buka menu Result → Open Result → Standarless → print hasil yang diinginkan.

4.6 Matriks Rencana Penelitian

Rangkuman dari penelitian yang akan dilaksanakan, dapat dilihat dari Tabel rencana penelitian sebagai berikut.

Tabel 4.2. Matriks Rencana Penelitian

Masalah Penelitian	Tujuan Penelitian	Variabel	Data	Sumber Data	Metode Pengumpulan Data	Metode Analisis Data	Hasil Analisis
Sejauh mana pemanfaatan Batubara ramah lingkungan	Mengkarakterisasi partikulat hasil pembakaran batubara di PLTU	Batubara Langsung dari Tambang (ROM)	Primer dan sekunder	Pengamatan Langsung - Data analisa Proksimat	Survei lapangan	Analisa deskriptif	Ditemukannya perlakuan terhadap batubara yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak pemanfaatan batubara
Seberapa jauh dilakukan preparasi batubara pada pemanfaatan di PLTU	Menganalisa tingkat kesesuaian antara batubara yang digunakan dengan desain tungku pembakaran	Batubara preparasi tingkat pertama	Analisa Proksimat	Tambang (penyuplai)	Survei Lapangan	Analisa deskriptif	Penyesuaian karakteristik batubara dengan kebutuhan PLTU
Persentase kadar abu yang hilang setelah dilakukan pencucian untuk di belending sehingga mengurangi faktor resiko kesehatan pada saat pemanfaatan	Menghasilkan batubara berkadar abu rendah sehingga mengurangi jumlah polutan yang dihasilkan	-Pencucian -Belending	Analisa Proksimat	-Survei lapangan -Tambang -Litratut -Pendapat Ahli	Survei Lapangan	Analisa deskriptif	Berkurangnya Total jumlah abu pada batubara yang digunakan secara langsung menaikkan nilai kalori dari batubara itu sendiri



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Kualitas Batubara Dari Tambang Sesuai Bakumutu Pemanfaatan PLTU Agar Tidak Mencemari Lingkungan.

5.1.1 Analisa Proksimat

Pada penelitian ini sebelum batubara digunakan terlebih dahulu dilakukan analisa proksimat yang umum dilakukan pada pemanfaatan batubara baik oleh perusahaan pertambangan atau pembeli sebagai pengguna. Analisa proksimat ini cukup sederhana tetapi memerlukan peralatan khusus dan standar. Analisa proksimat terdiri dari empat nilai analisis yang jika dijumlahkan akan bernilai 100%, yaitu:

- 1) Kadar lengas (*moisture*)
- 2) Kadar abu (*ash*)
- 3) Zat terbang (*volatile matter*)
- 4) Karbon tertambat (*fixed carbon*)

Analisa proksimat harus dilakukan dengan mengacu pada standar internasional, acuan yang banyak dipakai adalah:

- ISO 589 Hard coal – penentuan kadar lengas total
- ISO 1171 Solid mineral fuels – penentuan kadar abu
- ISO 562 Hard coal and coke – penentuan zat terbang

Nilai keempat yang dihitung dalam analisis proksimat adalah karbon tertambat, yang diperoleh dari 100% dikurangi jumlah nilai kadar lengas, kadar abu dan zat terbang (Sudarsono, 2003). Adapun hasil analisa proksiati yang diperoleh dari sampel yang diambil di stok pail PLTU diperlihatkan pada tabel di



bawah sebagai berikut:

Tabel 5.1. Data Analisa Proksimat Batubara (adb),

Tanggal	Kadar Lemas (%)	Kadar Abu (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Tertambat (%)	Jumlah (%)
13 Januari 2017	14,41	3,26	43,11	39,22	100
10 Mei 2017	13,21	2,60	44,43	39,76	100

Sumber: Data SUCOFINDO Diolah, 2017

Dari tabel diatas terlihat bahwa batubara yang digunakan sebagai bahan bakar pada PLTU tersebut telah sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada pemanfaatan batubara di PLTU. Pada dasarnya ada sekitar 16 atau lebih parameter penentu kualitas batubara namun dalam pemanfaatannya, tidak semua parameter harus dipenuhi, tetapi sesuai dengan pemanfaatannya saja.

Persyaratan kualitas batubara untuk industri PLTU:

1. Kadar Lemas 23,6 %
2. Kadar Abu 7,8 %
3. Zat Terbang 30,3 %
4. Calorific Value 5,242 Kcal /Kg
5. Total Sulfur 0,4 %
6. Alkali Dalam Abu Max. 2°10
7. Hardgrove Index 50-62



Tabel 5.2. Analisa Proksimat Berdasarkan Hasil Laboratorium

Parameters	Units	Results				Methods
		As Received Basis	Air Dried Basis	Dry Basis	Dry Ash Basis	
Proximate Analysis :						
- Total Moisture	%	33.47	-	-	-	ASTM D 3302M -17
- Inherent Moisture	%	-	13.21	-	-	ASTM D 3173-17
- Ash Content	%	1.99	2.60	3.00	-	ASTM D 3174-12
- Volatile Matter	%	34.06	44.43	51.19	52.77	ASTM D 3175-17
- Fixed Carbon	%	30.48	39.76	45.81	47.23	ASTM D 3172-13
Total Sulfur	%	0.19	0.25	0.29	0.30	ASTM D 4239-14 (A)
Gross Calorific Value	Kcal/Kg	4325	5643	6502	6703	ASTM D 5865-13
Ultimate Analysis :						
- Total Moisture	%	33.47	-	-	-	ASTM D 3302M-17
- Inherent Moisture	%	-	13.21	-	-	ASTM D 3173-17
- Ash Content	%	1.99	2.60	3.00	-	ASTM D 3174-12
- Sulfur	%	0.19	0.25	0.29	0.30	ASTM D 4239-14 (A)
- Hydrogen	%	4.38	5.72	6.59	6.79	ASTM D 5373-14
- Carbon	%	46.04	60.07	69.21	71.35	ASTM D 5373-14
- Nitrogen	%	0.71	0.92	1.06	1.09	ASTM D 5373-14
- Oxygen	%	13.21	17.23	19.85	20.47	ASTM D 3176-15
HGI	Index	-	62	-	-	ASTM D 409M-16
Size Distribution						
Passing mesh 70 mm (-70)	%		97.81			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 50 mm (-)	%		92.48			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 32 mm (-)	%		75.59			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 2,38 mm (-)	%		16.24			ASTM D 3174-2004
Ash Analysis						
- SiO ₂	%		40.32			ASTM D 3682-13
- Al ₂ O ₃	%		15.75			ASTM D 3682-13
- Fe ₂ O ₃	%		19.00			ASTM D 3682-13
- CaO	%		11.68			ASTM D 3682-13
- MgO	%		5.51			ASTM D 3682-13
- K ₂ O	%		0.67			ASTM D 3682-13
- Na ₂ O	%		0.71			ASTM D 3682-13
- MnO ₂	%		0.10			ASTM D 3682-13
- TiO ₂	%		0.43			ASTM D 3682-13
- P ₂ O ₅	%		0.49			ASTM D 2795-95
- SO ₃	%		4.43			ASTM D 5016-08e1
Slagging Factor	Index		0.19			Low
Fouling Factor	Index		0.47			Med
Sodium In Ash			0.53			
Ash Fusion Temperature		Reducing		Oxidizing		
- Initial Deformation	°C	1150		1220		ASTM D 1857-10
- Spherical	°C	1160		1230		ASTM D 1857-10
- Hemispherical	°C	1170		1250		ASTM D 1857-10
- Flow	°C	1180		1270		ASTM D 1857-10

Sumber: SUCOFINDO, Data Diolah, 2017



5.2 Penurunan Kadar Abu Batubara Hasil Pencucian

Tujuan utama dari pencucian batubara adalah meningkatkan kualitas batubara agar siap pakai dan ramah lingkungan, diantaranya menyiapkan kondisi batubara sesuai dengan keinginan pengguna, misal menyesuaikan ukuran butir, membuat agar batubara lebih homogen, mengurangi kadar sulfur, mengurangi kadar abu. Keberhasilan operasi pencucian batubara sangat tergantung pada ukuran butir pengotor yang harus dipisahkan dari batubara, karna itu sebelum menentukan jenis oprasi yang akan dipakai, harus dilakukan pengamatan ukuran butiran pengotor yang terdapat di dalam batubara untuk mengetahui derajat librasinya (Nugraha A.W,2006). Derajat libراسي sangat tergantung pada ukuran mineral yang akan dibebaskan, apabila ukuran mineralnya terlalu kecil dan tersebar merata, maka operasi kominusi harus dilakukan sampai ukuran relative kecil, akibatnya biaya akan meningkat. Agar butiran mineral matter dapat dibebaskan dari batubara maka diperlukan usaha untuk memperkecil ukuran batubara. Proses untuk memperkecil material umumnya disebut kominusi. Pencucian batubara dilakukan dengan memanfaatkan perbedaan densitas relatif untuk memisahkan batubara bersih dari pengotor (extraneous mineral meter kasar) yang berkadar abu tinggi, dan kadang-kadang juga untuk memisahkan *middle*. Adanya hubungan yang kuat antara densitas relatif dengan kadar abu membuat pengendalian densitas relatif di dalam operasi pencucian akan dapat mempertahankan batubara bersih dengan kadar abu tertentu, sehingga nilai kalor, sulfur dan sifat-sifat penting lainnya juga dapat ditentukan (Sule D, 2008).

Sebelum dilakukan pencucian terhadap suatu batubara kotor, harus diketahui distribusi densitas relatif, artinya harus diketahui berapa bagian dari batubara kotor tersebut yang merupakan batubara dengan densitas relatif



rendah, menengah, atau tinggi, dan kadar abu dari setiap fraksi densitasnya. Jika data ini tersedia maka sistem pencucian batubara dapat ditentukan dengan mudah, berat batubara bersih, middling, maupun pengotornya, serta kadar abu masing-masing produk ini dapat diperkirakan. Metode untuk mendapatkan data distribusi densitas relatif dan kadar abu batubara mentah, disebut karakteristik ketercucian (*washability*), dan pengujiannya dikenal sebagai analisis uji endap-apung (Sudarsono A, 2003).

Densitas relatif adalah istilah yang seringkali ditemukan dalam pencucian batubara. Pemahaman istilah densitas dan densitas relatif sangat penting berkaitan dengan operasi, pencucian batubara, karena prinsip pemisahan batubara dari pengotornya (*shale*) dilakukan berdasarkan pengertian itu. Berkaitan dengan operasi pencucian batubara, perhitungan berat material haruslah juga dikaitkan dengan volumenya, dan satuan yang dipakai. Berat adalah jumlah zat yang terkandung dalam suatu material dan dinyatakan dalam kilogram (kg), satuan-satuan yang lebih kecil dari kilogram (kg) adalah gram (gr) dan miligram (mg). Satuan yang lebih besar yang paling sering dipakai di lingkungan industri dan perdagangan batubara pada umumnya adalah ton (t) yang sama dengan 1000 kg. Volume adalah ukuran kuantitas. Karna satuan SI (Sauan Internasional) untuk panjang adalah meter; maka volume diukur dalam meter kubik (m^3), decimeter kubik (dm^3), atau liter (L) (Sudarsono, 2003).

Berat suatu benda dibagi volumenya disebut densitas, karenanya satuan densitas adalah berat/volume yaitu kg/L atau g/ml atau ton/m^3 . Densitas akan bervariasi tergantung suhunya. Tetapi, dalam pengolahan batubara perbedaan tersebut tidak berarti. Densitas batubara bersih adalah sekitar $1,4 g/cm^3$. Hal ini berarti bahwa 1 centimeter kubik batubara memiliki berat 1,4 gram. Densitas



batubara lebih besar daripada densitas air. Densitas relatif adalah perbandingan densitas suatu benda dengan densitas air, misal densitas relatif batubara adalah 1,4 (tanpa satuan), karna densitas air adalah 1 g/cm^3 .

Salah satu keuntungan sistem SI adalah karena 1000 gram sama dengan 1 kilogram, 1000 sentimeter kubik sama dengan 1 desimeter kubik atau 1 liter, 1000 liter sama dengan 1 meter kubik, dan 1000 kilogram sama dengan 1 ton, maka $1 \text{ ton/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L} = 1 \text{ kg/dm}^3$. Densitas batubara bersih bervariasi tergantung pada keadaan batubaranya. Shale, yang warnanya sangat abu-abu dan mengandung sedikit atau sama sekali tidak mengandung karbon, mempunyai densitas sekitar $2,4 \text{ g/cm}^3$. Densitas middling biasanya antara $1,6 \text{ g/cm}^3$ sampai $1,8 \text{ g/cm}^3$. Telah dipahami bahwa semua benda yang memiliki densitas lebih rendah dari air (atau, kurang dari 1) akan terapung, sedangkan yang memiliki densitas lebih besar dari 1 akan tenggelam di dalam air, tetapi bila densitasnya sama dengan air maka benda tersebut akan terapung. Prinsip dasar ini dipakai pada operasi pencucian batubara dimana batubara diusahakan terapung didalam suatu fluida sedang pengotornya diusahakan tenggelam. Artinya densitas fluida yang dipakai haruslah terletak diantara densitas batubara dan densitas pengotornya (Sule D, 2005).

Batubara bersih adalah batubara yang kadar abunya relatif rendah. Kata relatif dipakai karena batubara bersih mungkin memiliki kadar abu 4%, 8% atau 10% tergantung pada batubaranya. Tetapi kadar abu sebarang shale mungkin 80% sampai 85%. Telah diketahui bahwa batubara bersih memiliki densitas relatif yang lebih rendah daripada shale. Jadi, antara densitas relatif dan kadar abu memiliki hubungan yang jelas. Batubara yang baru ditambang tidak hanya terdiri dari batubara bersih dan shale. Batubara juga mengandung partikel yang



memiliki densitas relatif antara 1,4 sampai 2,4 dan bahkan ada yang lebih kecil dari 1,4 dan lebih besar dari 2,4. Contohnya, pirit memiliki densitas relatif sekitar

5. Jika sejumlah partikel diambil dari batubara kemudian ditentukan densitas relatifnya dan dianalisis kadar abunya, umumnya partikel yang densitas relatifnya kecil akan memiliki kadar abu yang rendah, sedangkan partikel yang densitas relatifnya tinggi memiliki kadar abu yang tinggi pula (Zhang, dkk.2007). Partikel middling memiliki densitas relatif yang berada di tengah-tengah, dan kadar abunya lebih besar dari kadar abu batubara bersih tetapi lebih kecil dari kadar abu shale. Bila densitas relatif meningkat, kadar abunya juga akan meningkat. Prinsip ini merupakan dasar operasi pencucian batubara yang menghasilkan batubara kadar abu rendah, dari batubara kotor yang diolah di dalam chance cone, heavy medium bath, cyclone, jig dan launder.

Apabila sulfur yang terdapat di dalam batubara berupa pirit, maka partikel dengan kadar abu tinggi umumnya akan memiliki kadar sulfur yang tinggi pula (karena densitas relatif pirit jauh lebih tinggi daripada densitas relatif shale). Sebaliknya, partikel dengan kadar sulfur rendah biasanya memiliki kadar abu rendah. Tetapi, keadaan ini akan terbalik jika sulfur terdapat sebagai organik, semakin rendah kadar abunya (atau densitas relatifnya), semakin tinggi kadar sulfurnya. Untuk melakukan pengujian karakteristik batubara, harus dilakukan terhadap percontohan yang representatif. Analisis uji endap-apung biasanya diterapkan untuk percontohan batubara yang berasal dari:

- Batubara yang baru ditambang untuk umpan PLTU
- Setiap produk yang keluar dari tambang
- Batubara yang telah diremuk dari inti bor
- Batubara yang diambil langsung dari lapisannya



Tabel 5.3. Berat Percontoh Uji Komprehensif Fungsi Fraksi Ukuran Fraksi Ukuran (mm) Batubara Kotor (Kg)

-125 + 63,0	2000
-63,0 + 31,5	250
-31,5 + 16,0	30
-16,0 + 8,0	10
-8,0 + 4,0	5
-4,0 + 2,0	2,5

Sumber: Sudarsono A., 2003.

Pada Tabel diatas ditunjukkan berat percontoh untuk uji komprehensif untuk partikel lebih kecil dari 125 mm (AS 4156.1-1994 High Rank Coal Float and Sink Testing) yang disesuaikan dengan ukuran partikelnya. Berat minimum percontoh sangat penting untuk dipenuhi karena ketepatan pengujian sangat tergantung antara lain pada berat percontoh yang tersedia, berat partikel yang cukup harus tersedia pada setiap fraksi densitas agar analisis kadar abu dapat dilakukan. Peremukan terhadap percontoh untuk uji endap-apung sejauh mungkin harus dihindari karena akan mempengaruhi hasilnya. Berdasarkan Tabel 5.5 bila fraksi -125 + 63 mm berjumlah 30% maka berat percontoh ROM yang diperlukan adalah ± 6600 kg (Sudarsono A 2003). Untuk uji aliran material di dalam pabrik pencucian, berat percontoh batubara bersih sama dengan berat percontoh batubara kotor, tetapi diperlukan berat percontoh yang lebih besar untuk reject. Pada Tabel 5.6 diberikan data contoh hasil analisis ayak, dan pada Gambar 5.5 ditunjukkan diagram Rosin-Rammler dari data pada Tabel 5.6.

**Tabel 5.4. Contoh Data Analisis Ayak Untuk Uji Endap-Apung**

Fraksi ukuran (mm)	Kumulatif tertampung (%)	Kumulatif lolos (%)
+ 70	12,1	
-70 + 50	10,1	97,81
-50 + 32,0	28,1	85,71
-32,0 + 8,0	12,5	75,59
-8,0 + 4,0	10,2	47,5
-4,0 + 3,0	7,5	35,0
-3,0 + 2,5	5,6	24,8
2,5 + 2,3	13,9	17,3
-2,3	100	11,7

Sumber: PT. Arutmin Indonesia

5.2.1 Preparasi Percontoh dan Analisis Percontoh

Di dalam pabrik pencucian, batubara kotor akan dipisahkan dari pengotornya dengan menggunakan satu atau lebih sistem pengolahan. Setiap sistem pengolahan mempunyai prinsip operasi masing-masing yang dapat berbeda dari sistem operasi yang lain, tetapi secara keseluruhan ada satu faktor yang sama, yaitu bahwa ukuran partikel yang berbeda akan memperoleh hasil yang berbeda. Hal ini berarti bahwa efisiensi pengolahan partikel kecil, misalnya - 3 mm akan berbeda dengan efisiensi pengolahan partikel -12 mm dan begitu seterusnya sampai partikel yang paling kasar misal yang berukuran lebih kecil dari 150 mm. Karenanya sebelum uji endap-apung dilakukan, harus dilakukan analisis ayak terlebih dahulu, dan uji endap-apung dilakukan terhadap setiap fraksi yang diperoleh.

Selain analisis ayak, pekerjaan yang penting untuk dilakukan sebelum uji endap-apung adalah uji untuk mengetahui kemungkinan terbentuknya 'slime'. Slime adalah partikel halus yang sulit untuk diendapkan. Slime umumnya berasal



dari *mudstone* dan *shale* yang hancur menjadi partikel halus bahkan sangat halus yang tetap tinggal di dalam air sirkuit pencucian sebagai suspensi tanah liat. Adanya slime dapat mengakibatkan:

- mengubah karakteristik ketercucian batubara
- menimbulkan masalah yang serius dalam penjernihan air

Prosedur pengujian 'tumbling' dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berapa banyak material yang hancur menjadi partikel halus selama waktu tertentu (Sudarsono, 2003). Pengujian dilakukan di dalam drum baja kapasitas 200 liter. Ke dalam drum baja ini dimasukkan percontoh seberat 50 kg, kadang-kadang diberi kubus baja 50 mm dan diisi air 150 liter, kemudian drum ini diletakkan horizontal lalu diputar. Waktu tumbling ini disesuaikan dengan jenis batubara. Berat percontoh untuk analisis ayak menurut ASTM adalah 1,2 ton sedang menurut standar Australia bervariasi menurut ukurannya yaitu:

Tabel 5.5. Berat Percontoh Analisis Ayak

Ukuran Partikel Terbesar (mm)	Berat Minimum Percontoh (Kg)
100	1200
75	900
50	300

Sumber: Standar Australia, 2017.

Bila percontoh diambil dari ROM dengan ukuran partikel maksimum 250 mm, berat minimum percontoh adalah 2500 kg, dan bila ukuran terbesarnya 300 mm berat percontoh minimum adalah 4500 kg. Sieve yang disarankan untuk analisis ayak adalah 125 mm, 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, dan 0,5 mm. Biasanya untuk tujuan uji endap-apung dipakai sieve mulai dari 63 mm sampai 0,5 mm, sehingga diperoleh 9 fraksi ukuran. Terhadap 9 fraksi ukuran ini dilakukan uji endap-apung pada berbagai densitas pemisahan, sehingga akan diperoleh 9 set data ketercucian yang kemudian dapat



digabungkan dengan penghitungan tertentu menjadi kelompok penilaian tertentu (Sudarsono, 2003).

Uji endap-apung dilakukan untuk setiap fraksi dengan ukuran batubara umpan yaitu $-70 + 50$ mm, $-50 + 32$ mm dan $-32 + 2,3$ mm. Pengujian dilakukan dalam larutan dengan densitas relatif mulai dari densitas 1,3 sampai dengan 1,8 sehingga diperoleh tujuh fraksi untuk masing-masing ukuran batubara umpan. Hasil uji endap-apung batubara kemudian dihitung sehingga diperoleh hasil seperti pada tabel di bawah ini. Berdasarkan tabel di bawah ini, terlihat bahwa kandungan abu batubara umpan pada ukuran $-70 + 50$ mm adalah sebanyak 7,91%; pada ukuran $-50 + 32$ mm adalah sebanyak 5,73% dan pada ukuran $-32 + 2,3$ mm 6,76%. Akan tetapi, apabila batubara diberikan perlakuan berupa pencucian dengan menggunakan densitas relatif pemisah sekitar 1,3 sehingga akan diperoleh batubara tercuci (*yield*) sebesar 87,61% dengan kadar abu 4,43% untuk ukuran $-70 + 50$ mm; 86,35%, dengan kadar abu 2,37 untuk ukuran $-50 + 32$ mm; dan 58,36% dengan kadar abu 2,67% untuk ukuran $-32 + 2,3$ mm.

Sedangkan apabila pencucian menggunakan densitas relatif 1,4 akan diperoleh batubara tercuci (*yield*) dan kadar abunya berturut-turut yaitu pada ukuran $-70 + 50$ mm *yield* sebesar 92,62% dan kadar abunya 4,91%; pada ukuran $-50 + 32$ mm *yield* sebesar 93,46% dan kadar abunya 2,84%; sedangkan pada ukuran $-32 + 2,3$ mm *yield* sebesar 92,84 % dan kadar abunya 3,51 %.

Tabel 5.6. Hasil Uji Endap-Apung Batubara Umpan

Ukuran umpan (mm)	Densitas Relatif	Individu		Kumulatif	
		Berat (%)	Abu (%)	Berat (%)	Abu (%)
$-70 + 50$ % Berat 49,54	-1,3	87,61	4,43	87,61	4,43
	1,3 – 1,4	5,01	13,27	92,62	4,49
	1,4 – 1,5	2,35	25,41	94,97	5,42
	1,5 – 1,6	0,42	33,40	95,39	5,54
	1,6 – 1,7	2,00	42,23	97,40	6,30



Ukuran umpan (mm)	Densitas Relatif	Individu		Kumulatif	
		Berat (%)	Abu (%)	Berat (%)	Abu (%)
1,7 – 1,8		0,88	56,80	98,27	6,75
+1,8		1,73	74,21	100	7,91
		100			
-1,3		58,36	2,67	58,36	2,67
1,3 – 1,4		34,48	4,95	92,84	3,51
1,4 – 1,5		1,49	22,95	94,32	3,82
-32 + 50		1,06	32,76	95,38	4,14
% Berat 7,34		1,06	41,78	96,45	4,56
		1,7 – 1,8	0,90	49,35	97,35
		+1,8	2,65	72,36	100
		100			6,76

Sumber: Data Diolah, 2017.

Dengan dilakukannya uji endap apung diketahui perkiraan Yield batubara tercuci dan kadar abu di dalam fraksi reject berikut dengan fraksi beratnya, kadar abu terbesar pada batubara bersih dan sulit tidaknya pemisahan diantara densitas relatif pemisah 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; dan 1,8 dapat dilihat pada lampiran.

5.2.2 Basis Pelaporan Analisis

Cara melaporkan hasil analisis kadang-kadang bisa menimbulkan kebingungan dan kesalahan fatal, karena data hasil analisis yang sama bisa dihitung dan dilaporkan dengan tetap memperhitungkan adanya kadar lengas, mineral atau kadar abu, ataupun dengan tanpa memperhitungkan adanya lengas, mineral, atau kadar abu. Metode standar untuk analisis batubara dan kokas biasanya didasarkan pada basis air dried basis (adb). Akan tetapi kadangkala hasil analisis diinginkan dengan basis yang lain.

Basis (dasar) pelaporan yang umumnya dipakai adalah sebagai berikut

- As Received (ar)
- Air Dried (ad)



- Dry (d)
- Dry, Ash-free (daf)
- Dry, Mineral Matter Free (dmmf)

Pada basis as received, berarti semua hasil analisis dihitung mundur dengan memasukkan kadar lengas total dari sampel. Hal ini mungkin dilakukan jika batubara dalam keadaan sangat basah. Pada basis adb sampel batubara yang dianalisis ditempatkan di udara terbuka, kadar lengasnya secara perlahan akan mencapai keseimbangan dengan kelembaban udara. Jika kadar lengas dari sampel ini kemudian ditentukan maka diperoleh kadar lengas pada basis adb. Pada basis dry, artinya dalam keadaan kering maka kadar lengasnya adalah nol, analisis lainnya dapat dihitung dengan mudah misalnya menghitung kadar zat terbang dan kadar abu.

Pada basis daf, analisis dilakukan dengan mengabaikan kadar abu dan kadar lengas yang ada dalam sampel, artinya kadar abu dan kadar lengasnya adalah nol. Karena kadar lengas dan kadar abu sudah diketahui, perhitungan ini menjadi sederhana. Analisis dengan basis daf berkaitan dengan adanya material organik yang murni. Pada basis dmmf, analisis ini diperlukan untuk memberikan gambaran mengenai komposisi organik murni. Kadar abu dapat dihitung dengan mudah tetapi penghitungan mineral matter memerlukan metode yang lebih sulit dan memakan waktu (Sule D., 2005). Tabel 5.7 berikut ini menunjukkan gambaran data analisis proksimat suatu batubara dengan basis yang berbeda-beda. Perbedaan nilai, misalnya, untuk kadar zat terbang menggambarkan pentingnya kehati-hatian untuk menghindari kebingungan mengenai basis yang digunakan pada saat membuat laporan data suatu hasil analisis.


Tabel 5.7. Basis Hasil Analisis (% berat)

Basis	Kadar Lengas	Kadar Abu	Zat Terbang	Karbon Tertambat
As received (ar)	8,0	9,4	28,2	54,4
Air dried (adb)	2,0	10,0	30,0	58,0
Dry (db)	0	10,2	30,6	59,2
Dry, ash free (daf)	0	0	34,1	65,9

Sumber: Data Diolah, 2017.

Pada Tabel 6.8 ditunjukkan keseluruhan parameter yang diperlukan untuk menganalisis kualitas batubara, disertai dengan keterangan mengenai pentingnya analisis data kualitas batubara dikaitkan dengan pemanfaatannya.

Pada Tabel 5.8 disajikan faktor-faktor pengali yang dibutuhkan untuk mengkonversi hasil analisis pada suatu basis (dasar pelaporan) tertentu ke basis yang lain. Biasanya, rumusan tersebut tidak berlaku untuk parameter kualitas seperti karakteristik abu, sifat fisik seperti *grindability index*, abrasion index, dan sifat-sifat coking dan caking batubara.

Tabel 5.8. Parameter Kualitas Batubara

No.	Parameter	Basis pelaporan yang umum	Keterangan
1	Lengas Total	as received (ar)	Penting untuk transportasi dan perhitungan parameter lain pada basis ar.
2	Analisis proksimat lengas inherent Abu Zat terbang Karbon tertambat	Air dried (ad)	Data dasar dalam mendeskripsikan jenis batubara, jumlahnya sama dengan 100%.
3	Nilai kalori MJ/kg	Gross, air dried	Penting bila batubara sebagai bahan bakar. 1MJ/kg= 430Btu/lb = 239kcal/kg



No.	Parameter	Basis pelaporan yang umum	Keterangan
4	Total sulfur	Air dried	Berkaitan dengan masalah lingkungan. Biasanya ditentukan dengan basis ad dan hasilnya dihitung menjadi basis dmmf dengan koreksi kadar lengas dan mineral matter.
5	Analisis ultimat Karbon Hidrogen Nitrogen Sulfur Oksigen CO ₂	Dmmf	Jumlahnya sama dengan 100%. Kadar hydrogen dan oksigen penting dalam memperkirakan net <i>calorific value</i> dari data <i>gross calorific value</i>
6	Analisis abu SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ TiO ₂ Mn ₃ O ₄ CaO MgO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ SO ₃ Ash fusion temperature	Total abu	Penting untuk memperkirakan sifat abu, khususnya untuk mengidentifikasikadar komponen tertentu yang tinggi yang dapat memberikan masalah saat pemakaiannya
7	ISO – A (IDT) (ST) ISO – B (HT) ISO – C (FT)		Penting dalam memperkirakansifat abu.umumnya di ukur dibawah kondisi oksidasidan reduksi.
8	Bentuk – bentuk sulfur Sulfur piritik Sulfur organik Sulfur sulfat	Air dried	Memberikan informasi tentang produk pembakaran sulfur selama pembakaran dan karbonisasi. Jumlahnya sama sulfur total.



No.	Parameter	Basis pelaporan yang umum	Keterangan
9	Hardgrove Grindability Index (HGI)	Air dried	Perkiraan sulit atau mudahnya batubara untuk digerus

Sumber: Data Diolah, 2017.

5.2.3 Batubara Blending

Pasokan batubara untuk PLTU merupakan batubara yang tidak tergantung pada satu sumber/tambang batubara saja atau berasal dari berbagai sumber/tambang batubara dengan tipe dan kualitas yang berbeda-beda ataupun hasil pencampuran batubara yang telah dipreparasi dengan batubara yang langsung dari tambang, maka diperlukan sistem pencampuran batubara di tempat penimbunan batubara (*coal stockyard*) untuk memperoleh kualitas batubara campuran yang seragam, konsisten dan siap untuk disalurkan ke PLTU. Ada 2 sistem pencampuran batubara yang dapat digunakan yaitu bin blending dan bed blending.

Tujuan blending adalah untuk menyeragamkan kualitas berbagai sumber batubara dengan kondisi ukuran partikel yang sama (~ 50 mm crushed coal) sehingga diperoleh satu kualitas batubara campuran ($\text{blend coal} = B/C$) yang memenuhi persyaratan kualitas yang digunakan pada PLTU. Pencampuran batubara (*coal blending*) adalah proses pengadukan (*mixing*) bersama dari dua tipe/kualitas batubara yang berbeda atau lebih dimana perbandingan setiap tipe batubara yang dicampur terkendali supaya kualitas produk batubara campuran (*blend coal*) yang dihasilkan memenuhi persyaratan kualitas/spesifikasi batubara untuk PLTU. Parameter kualitas batubara yang biasa ditinjau dalam proses pencampuran batubara untuk pasokan PLTU tergantung pada spesifikasi



batubara yang disyaratkan yaitu dapat dipandang dari segi sifat kimia batubara sebagai pengotor seperti air lembab (Moisture = M) dan abu (Ash = A) atau sifat fisiknya seperti nilai kalori sebagai nilai komersial dari batubara itu sendiri.

Disini diberikan suatu perhitungan sederhana mengenai pencampuran 2 (dua) tipe/kualitas batubara yang berbeda dipandang dari parameter kadar abu.

Disini dilakukan pencampuran batubara yang diambil langsung dari tambang (ROM) dengan batubara hasil preparasi (batubara tercuci) dengan menggunakan perhitungan sederhana menggunakan rumus mass balance dan ash balance, pencampuran dua tipe/kualitas batubara yang berbeda dilihat dari kadar abu sebagai parameter, batubara dari tambang (ROM) dengan kadar abu yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara hasil preparasi (pencucian) dengan data sebagai berikut :

U = Kecepatan Berat batubara ROM = 50 ton/jam

u = Kadar abu batubara dari ROM = 4,5 %

W = Kecepatan batubara tercuci = 100 ton/jam

w = Kadar batubara tercuci = 2,5 %

Sehingga dengan mencampur (belending) batubara yang langsung dari tambang (ROM) dengan batubara hasil pencucian menghasilkan abu batubara yang lebih rendah :

- Berdasarkan persamaan mass balance : $A + B = C = 50 \text{ t/j} + 100 \text{ t/j} = 150 \text{ t/j}$
- Berdasarkan persamaan ash balance : $Aa + Bb = Cc = 4,5 \times 50 + 2,5 \times 100 = c \times 150$
jadi kadar abu campuran (blending), $c = \frac{Aa + Bb}{150} = \frac{225 + 250}{150} = 3,166\%$.



5.3 Sebaran dan Jumlah *fly ash* (partikulat) sekitar PLTU

Sebaran *fly ash* (partikulat) pada pembakaran batubara di PLTU, menunjukkan beberapa titik akumulasi di sekitar area PLTU. Adapun peta yang dihasilkan dari pengambilan sampel di beberapa titik sekitar PLTU berupa data konsentrasi *fly ash* (partikulat) yang ikut terbawa bersama gas buang keluar melalui cerobong asap. Data tiap titik pengambilan sampel diinterpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) dengan algoritma gaussian sebagai faktor pemberat (*Weight Factor*) untuk interpolasi. Hasilnya berupa *grid* interpolasi sebaran massa *fly ash* yang sering juga disebut abu terbang disekitar area PLTU. Garis kontur dihasilkan dari *grid* interpolasi dengan interval 0,5 gram. Hasil analisis data tiap titik interpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan garis kontur berupa *grid* interpolasi diolah menggunakan software SAGA GIS yang menghasilkan layout berupa peta, dengan memanfaatkan software quantum GIS. Peta yang dihasilkan menggambarkan pola sebaran akumulasi partikulat berupa *fly ash* (abu terbang) disekitar cerobong asap PLTU bergerak ke arah utara, sedangkan ke arah yang lain semakin berkurang (meski masih tergolong tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi *fly ash* (partikulat) pada arah yang lain. Berikut dijelaskan mengenai pengukuran konsentrasi partikulat yang dilakukan di area PLTU.

5.3.1 Konsentrasi Partikulat di sekitar PLTU

Pengukuran konsentrasi partikulat yang dilakukan di sekitar area PLTU dengan memperhatikan kecepatan angin dan arah angin menggunakan vacuum cleaner yang dipasang filter berukuran 1 microne, 2,5 microne, dan 8 microne.

Data lapangan diperoleh partikulat yang menggunakan filter 1 microne (PM 1) sebanyak 3,193 gr selama 30 menit, 4,478 gr selama 45 menit dan 7,266 gr



selama 60 menit. Sedangkan yang menggunakan filter yang berukuran 2,5 microne (PM 2,5) sebanyak 0,633 gr selama 30 menit, 0,782 gr selama 45 menit, 1,342 gr selama 60 menit dan filter yang berukuran 8 microne (PM8) sebanyak 0,588 gr selama 30 menit, 0,713 gr selama 45 menit, 1,241 gr selama 60 menit. Pada tabel 6.14 dibawah diperlihatkan jumlah konsentrasi partikulat seperti PM 1, PM 2,5 dan PM 8 yang didapat di sekitar PLTU. Berdasarkan data diatas dan yang tertera pada tabel dibawah dapat dilihat bahwa kosentrasi partikulat terbesar diperoleh pada PM 2,5.

Tabel 5.9. Konsentrasi Partikulat PM 1, PM 2,5, dan PM 8, sekitar wilayah PLTU

Ukuran Filter	Konsentrasi Partikulat (gr/cm ³)	Waktu Pengambilan (Menit)
PM 1	$1,459 \times 10^{-6}$	30
PM 2,5	$6,462 \times 10^{-6}$	30
PM 8	$2,119 \times 10^{-6}$	30
PM 1	$1,365 \times 10^{-6}$	45
PM 2,5	$5,322 \times 10^{-6}$	45
PM 8	$1,713 \times 10^{-6}$	45
PM 1	$1,660 \times 10^{-6}$	60
PM 2,5	$6,525 \times 10^{-6}$	60
PM 8	$2,236 \times 10^{-6}$	60

Sumber: Data Diolah, 2017.

Sedangkan pengukuran konsentrasi partikulat di dalam silo berupa ruang tertutup diperoleh partikulat menggunakan vacuum cleaner dengan menggunakan filter 1 microne (PM1) sebanyak 7,225 gr selama 20 menit, 10,050 gr selama 30 menit, filter 2,5 microne (PM2,5) sebanyak 1,284 gr selama 20 menit, 1,438 gr selama 30 menit, dan filter berukuran 8 microne (PM8) sebanyak 1,324 gr selama 20 menit, 1,385 gr selama 30 menit. Pada tabel 6.15 dibawah diperlihatkan jumlah konsentrasi partikulat seperti PM 1, PM 2,5 dan PM 8 yang didapat di sekitar PLTU. Berdasarkan data pada tabel dibawah ini terlihat bahwa konsentrasi partikulat terbesar adalah PM 1 pda waktu pengukuran 30 menit.



Tabel 5.10. Konsentrasi Partikulat Pada Silo di PLTU

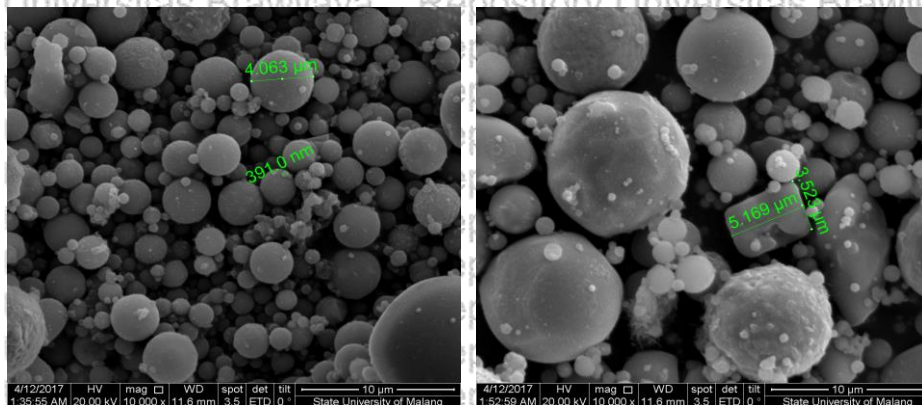
Ukuran Filter	Konsent rasi Partikulat (gr/cm^3)	Waktu Pengambilan (Menit)
PM 1	$4,953 \times 10^{-6}$	20
PM 2,5	$19,661 \times 10^{-6}$	20
PM 8	$7,156 \times 10^{-6}$	20
PM 1	$45,938 \times 10^{-6}$	30
PM 2,5	$14,680 \times 10^{-6}$	30
PM 8	$4,99 \times 10^{-6}$	30

Sumber: Data Diolah, 2017

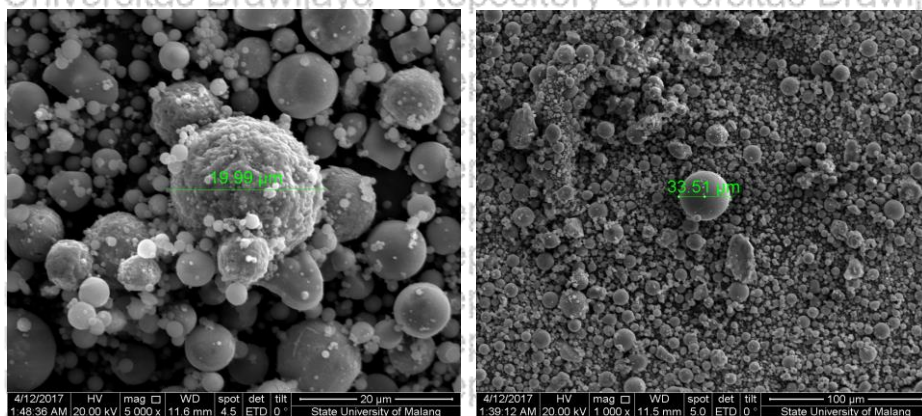
5.3.2 Ukuran dan Bentuk Partikulat Hasil Pembakaran Batubara di PLTU

1) Pengukuran Fly Ash dari Bin Silo

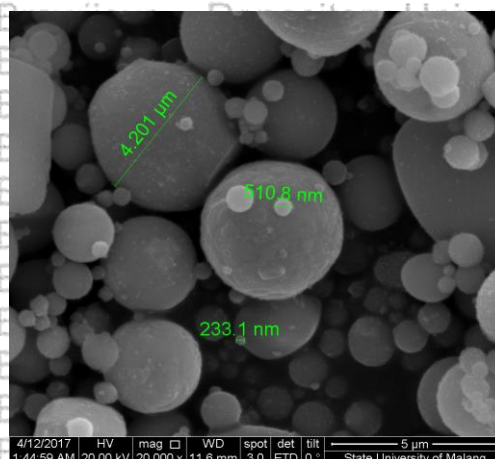
Gambar di bawah ini menunjukkan gambaran dan bentuk partikulat yang di uji di laboratorium *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan kemampuan perbesaran sampai sub-mikron, dimana sampel yang diuji ini diambil langsung dari penampungan bin silo pada PLTU, pada gambar 5.1 dibawah terlihat bentuk partikulat sebagian besar bulat terlihat ukuran pada gambar di bawah diukur dengan cara di acak, dengan diameter berukuran $4,063 \mu\text{m}$ dan ukuran partikulat terkecil $391,0 \text{ nm}$. Pada Gambar 5.2 terlihat bentuk dari partikulat lebih bervariasi dimana partikulat yang diukur berbentuk kubus dengan panjang $5,169 \mu\text{m}$. Pada Gambar 5.3 terlihat bentuk partiklat bervariasi tetapi banyak yang kelihatan berukuran bulat berrongga dimana partikulat yang diukur disini dari partikulat yang $19,99 \mu\text{m}$. Pada Gambar 6.5 ukuran partikulat terbesar $33,51 \mu\text{m}$ dan berbentuk bulat dan sebagian besar partikulat kelihatan lebih kecil. Sedangkan dari Gambar 6.6 terlihat ukuran partikulat terbesarnya berdiameter $4,201 \mu\text{m}$ dan partikulat terkecil $233,1 \text{ nm}$.



Gambar 5.1 Foto A123 (1) Bin Silo, PM 1 dan Foto A123 (2) Bin Silo, PM 2,5 Perbesaran 10000 Kali



Gambar 5.2 Foto A123 (3) Bin Silo, PM 8 Perbesaran 5000 Kali dan Foto A123 (4) Bin Langsung Perbesaran 1000 Kali

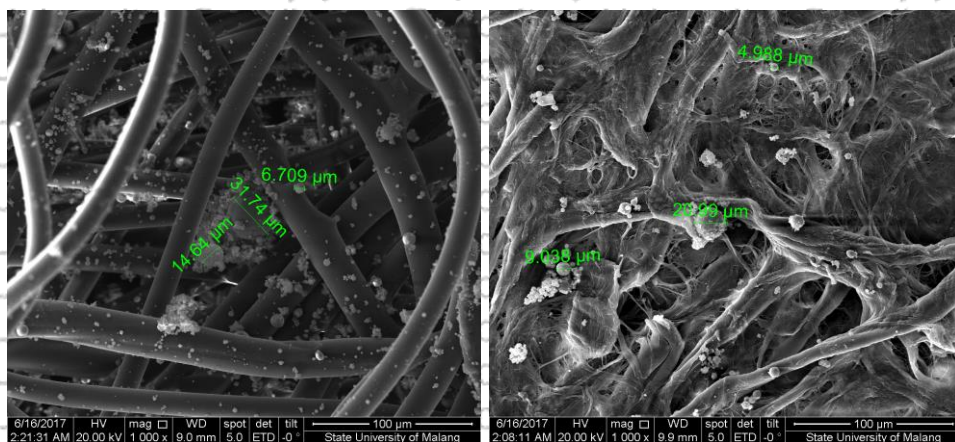


Gambar 5.3 Foto A123 (5) Crusher FA Perbesaran 20000 Kali

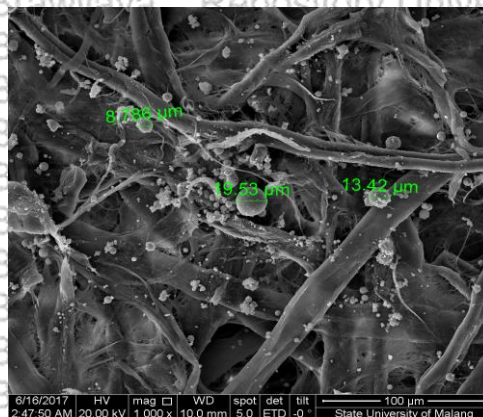


2) Pengukuran Fly Ash dari Lapangan Sekitar PLTU

Gambar di bawah ini menunjukkan gambaran dan bentuk partikulat yang di uji di laboratorium *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan kemampuan perbesaran sampai sub-mikron, dimana sampel yang diuji ini diambil dari lapangan sekitar PLTU, dengan menggunakan alat vacuum cleaner yang dipasang filter 1 microne (PM 1), filter yang berukuran 2,5 microne (PM 2,5), dan filter yang berukuran 8 microne (PM8), selama 60 menit. Disini terlihat ukuran partikulat yang diukur secara acak pada filter 1 microne yaitu 6,71 μm , 31 μm , 14,64 μm berbentuk bulat dan aglomerasi. Sedangkan pada filter 2,5 microne terdapat partikulat yang berukuran 4,99 μm , 20,99 μm , 9,04 μm berbentuk bulat dan aglomerasi dan pada filter 1 microne juga terdapat partikulat berukuran 8,79 μm , 19,53 μm , 13,42 μm bentuk bulat, Terlihat pada ketiga filter yang digunakan bahwa partikulat yang tertangkap tidak sebanyak yang terlihat ketika sampel yang diambil langsung dari silo penampungan *Fly Ash*, sehingga pada foto dibawah memperlihatkan juga serat filter yang digunakan pada saat pengambilan sampel. Berikut adalah gambar menggunakan filter masing-masing 1 microne, 2,5 microne dan 8 microne.



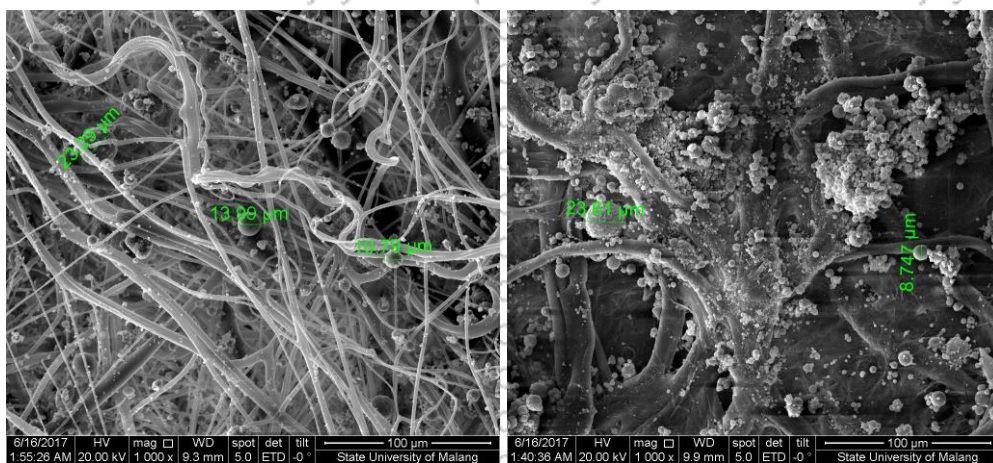
Gambar 5.4 Foto B128, Lapangan (PM 1), Perbesaran 1000 Kali dan Foto B128, Lapangan (PM 2,5) Perbesaran 1000 Kali



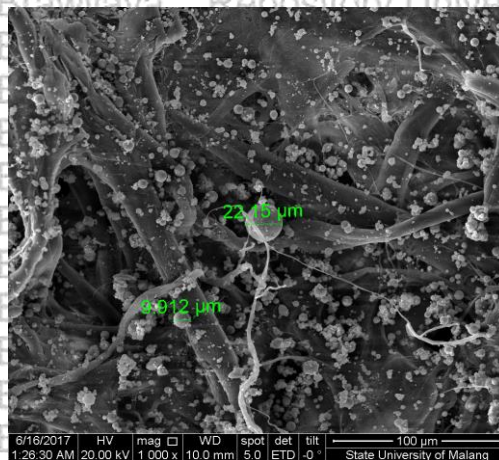
Gambar 5.5 Foto B128 Lapangan (PM 8) Perbesaran 1000 Kali

3) Pengukuran Fly Ash dari Silo Pada Saat Pemutan ke Damtruck

Gambar dibawah memperlihatkan gambaran dan bentuk partikulat yang di uji di laboratorium *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan kemampuan perbesaran sampai sub-mikron, dimana sampel yang diuji ini diambil dari silo ketika sedang berlangsung pemuatan (*Loaading*) fly ash keatas dumtruk, dengan menggunakan alat vacuum cleaner yang dipasang filter 1 microne (PM 1), filter yang berukuran 2,5 microne (PM 2,5), dan filter yang berukuran 8 microne (PM8), selama 20 menit. Berikut gambar ukuran dan bentuk dari Silo Pada Saat Permukaan ke Damtruck.



Gambar 5.6 Foto C128 Loading Damtruck (PM 1) dan Foto C129 Loading Damtruck (PM2,5) Perbesaran 1000 Kali



Gambar 5.7 Foto C128 Loading Damtruck (PM 8) Perbesaran 1000 Kali

Berdasarkan gambar 6.6 di atas, terlihat bahwa ukuran partikel yang diambil secara acak pada filter 1 microne yaitu 23,29 μm , 13,99 μm , 10,79 μm berbentuk bulat. Sedangkan dari gambar 6.10 di atas, diambil secara acak dengan filter 2,5 microne terlihat ukuran partikel 23,61 μm , 8,75 μm , berbentuk bulat dan banyak aglomerasi. Selain itu, pada gambar 6.11 juga diambil ukuran secara acak dengan menggunakan filter 8 microne terdiri dari 22,15 μm , 9,91 μm berbentuk bulat sebagian aglomerasi, akibat jumlah sampel yang didapat tidak menutupi semua permukaan filter yang digunakan sehingga ikut terlihat serat dari filter yang digunakan seperti pada foto diatas.



5.3.3 Unsur Total Dalam Partikulat

Tabel 5.11. Unsur Total Dalam Partikulat

Compound	Conc (%)	Metode
Al	3,9	XRF
Si	11,6	
K	1,3	
Ca	15,2	
Ti	1,30	
V	0,05	
Cr	0,11	
Mn	0,84	
Fe	58,34	
Ni	2,10	
Cu	0,30	
Zn	0,14	
Sr	0,93	
Mo	1,9	
Ba	0,86	
Eu	0,59	
Re	0,54	



BAB VI

IMPLIKASI HASIL PENELITIAN

6.1. Implikasi Praktis

Batubara yang diperoleh dari kegiatan penambangan tidak memungkinkan untuk langsung dimanfaatkan dikarenakan masih mengandung bahan pengotor (*impurities*). Pada saat pembentukan batubara selalu bercampur dengan mineral sebagai penyusun batuan yang selalu terdapat bersamaan selama proses sedimentasi, baik sebagai mineral organik maupun mineral anorganik. Selain itu selama berlangsung proses *coalification* terbentuk unsur pengotor berupa mineral yang tidak dapat dihindarkan. Keberadaan pengotor dalam batubara hasil penambangan diperparah lagi, dengan kenyataan bahwa tidak mungkin membersihkan/memilih/mengambil batubara yang bebas dari mineral. Hal tersebut disebabkan antara lain, penambangan batubara sekala besar menggunakan alat-alat berat antara lain bulldozer, backhoe, tractor, truck, belt conveyer, pontoon yang selalu bergelimang dengan tanah. Pada batubara dikenal dengan dua pengotor (*impurities*) yaitu:

1. *Inherent impurities*

Merupakan pengotor bawaan yang terdapat dalam batubara. Batubara yang sudah dicuci (*washing*) dan dikecilkan ukuran butirnya/diremuk (*crushing*) sehingga dihasilkan ukuran tertentu, ketika dibakar masih memberikan sisa berupa abu. Pengotor bawaan ini terjadi bersama-sama pada waktu peruses pembentukan batubara (ketika masih berupa *gelly*). Pengotor tersebut dapat



berupa gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit (CaSO_4), pirit (FeS_2), silica (SiO_2),

dapat juga berupa tulang tulang binatang (diketahui adanya senyawa fosfor dari hasil analisa abu) selain mineral lainnya. Pengotor bawaan ini tidak mungkin dihilangkan sama sekali, tetapi dapat dikurangi dengan melakukan pembersihan. Proses ini dikenal dengan teknologi batubara bersih.

2. *External impurities*

Extrenal impurities merupakan pengotor yang ada setelah batubara terbentuk (pengotor yang berasal dari luar), terdapat pada saat kegiatan penambangan antara lain terbawanya tanah yang berasal dari lapisan penutup (*overburden*).

Kejadian ini sangat umum dan tidak mungkin dihindari, khususnya pada penambangan batubara dengan metode tambang terbuka (*open pit*).

Batubara merupakan endapan organik yang mutunya sangat ditentukan oleh beberapa faktor, tempat terjadinya cekungan batubara, umur terbentuknya batubara, jumlah pengotor/ kontaminasi. Sebagai bahan baku pembangkit energy listrik yang dimanfaatkan dalam industri, mutu batubara mempunyai peranan sangat penting dalam memilih peralatan yang akan dipergunakan dan pemeliharaan alat. Dalam menentukan mutu/kualitas batubara perlu diperhatikan.

6.2. Peran Vegetasi Pada Ruang Terbuka Hijau Sebagai Reduktor Partikulat

Berdasarkan ketentuan Peraturan Menteri Pekerjaan umum No. 05/PRT/M/2008, ruang terbuka hijau (RTH) adalah area (jalur) atau mengelompok, yang penggunaanya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam.

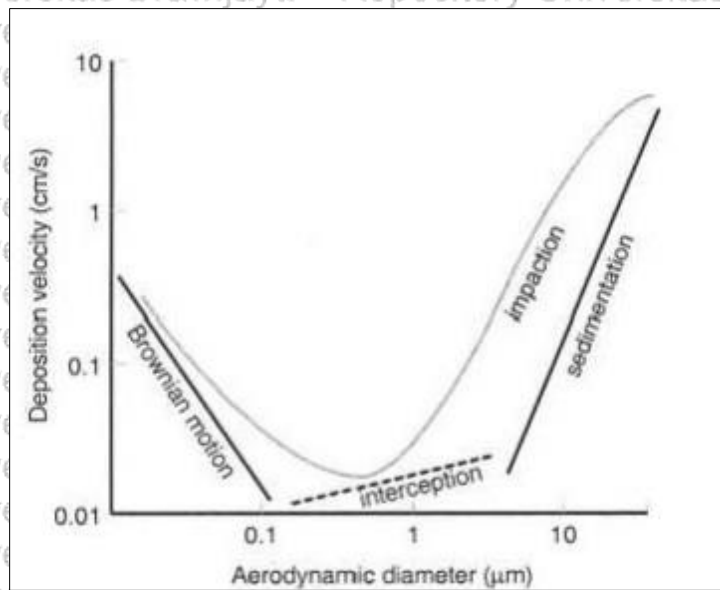


Ruang terbuka non hijau adalah ruang terbuka di wilayah perkotaan yang tidak termasuk dalam katagori RTH, berupa lahan yang diperkeras maupun yang berupa badan air. Ruang terbuka hijau terbagi atas ruang terbuka hijau privat dan ruang terbuka hijau privat dan ruang terbuka hijau publik. Ruang terbuka hijau milik institusi tertentu atau orang perseorangan yang pemanfaatannya adalah untuk kalangan terbatas antara lain berupa kebun halaman rumah/gedung milik masyarakat atau swasta yang ditanami tumbuhan. Adapun ruang terbuka hijau publik adalah ruang terbuka hijau yang dimiliki dan dikelola oleh pemerintah daerah kota/kabupaten yang digunakan untuk kepentingan masyarakat secara umum. Semua jenis tanaman memiliki jasa lingkungan. Tanaman memiliki jasa lingkungan sebagai penyerap karbondioksida, produsen oksigen, penyerap debu (partikulat), penyerap kebisingan, pemecah angin dan penyimpan air dalam tanah (Baessler, 1974 dalam Muzayanah 2016).

Satu dari beberapa jasa lingkungan tanaman adalah sebagai penyaring debu atau partikulat. Partikulat dapat tersaring oleh tanaman karena partikulat bisa terserap pada bagian tanaman, seperti daun dan batang tanaman (Beckett et al., 1998; Taihutu, 2001; Mitchel et al., 2010). Peroses terserapnya partikulat pada permukaan tanaman trjadi melalui peroses difusi *Brown*, benturan, intersepsi dan sedimentasi. Fungsi tanaman sebagai penyaring debu menyebabkan partikulat di udara ambien berkurang. Kecepatan deposisis partikulat pada permukaan tanaman tergantung pada ukuran partikulat, seperti disajikan pada gambar 7.1. Untuk partikulat besar ($> 5\mu\text{m}$) didominasi oleh efek sedimentasi. Untuk partikulat kecil didominasi didominasi oleh difusi *Brown*. Efek difusi *Brown* meningkat



dengan menurunnya ukuran partikulat. Partikulat dengan ukuran $0,1-2,0 \mu\text{m}$ terbatas geraknya melalui *leaf boundary layer* (area permukaan daun). Deposisi partikulat pada permukaan tanaman tergantung pada distribusi ukuran partikulat (Grantz *et al.*, 2003; Cavanagh *et al.*, 2006).



Gambar 6.1 Profil kecepatan deposisi partikulat dengan ukuran partikel yang berbeda dan mekanisme deposisi yang dominan
(QUARG, 1996 dalam Cavanagh *et al.*, 2006)

Berdasarkan hasil penelitian Little dan Wiffen (1977), yang mengukur kecepatan deposisi pada tanaman semak dengan kecepatan angin 2.5 m/dt . Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hutan cemara, kecepatan deposisi mendekati distribusi teoritis yang dikemukakan Peters and Eiden, 1992 dalam Grantz *et al.*, 2003. Distribusi ini mencerminkan interaksi efek difusi Brown (garis putus-putus) yang berkurang dengan meningkatnya ukuran partikulat dan kecepatan sedimentasi (Hukum Stoke's) yang meningkat seiring dengan ukuran



partikulat yang semakin besar. Deposisi partikulat berukuran sedang ($0.1-1.0 \mu\text{m}$) tidak tergantung dari ukuran partikulat tetapi dipengaruhi oleh difusi Brown dan Hukum Stoke's (Grantz *et al.*, 2003). Penelitian oleh ahli Geografi dan Kehutanan (Nowak *et al.*, 2006; Jim dan Chen, 2008; Merbitz *et al.*, 2012; Speak *et al.*, 2012; Chaturvedi *et al.*, 2013) menunjukkan bahwa ruang terbuka hijau bisa menurunkan konsentrasi partikulat udara ambien. Ada kecenderungan konsentrasi partikulat pada udara ambien semakin kecil jika persentase tutupan kanopi tanaman semakin besar. Hasil penelitian berlatar belakang ilmu lingkungan (Jun *et al.*, 2005; Cavanagh *et al.*, 2009; Shan *et al.*, 2011; Gummeneni *et al.*, 2011) menyampaikan bahwa tanaman pada ruang terbuka hijau bisa menurunkan konsentrasi partikulat udara ambien dengan fenomena transport massa, industri maupun PLTU yang berbahan bakar batubara dengan filtrasi oleh tanaman.



BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian seperti yang diuraikan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- 1) Berdasarkan analisa karakteristik batubara dari tambang yang digunakan oleh PLTU, diperlukan perlakuan berupa pencucian dan pencampuran (blending) agar PLTU tidak bermuara pada salah satu tambang, sehingga batubara tercuci dari tambang (ROM) akan menghasilkan batubara yang berkadar abu rendah.
- 2) Pada hasil penelitian ini, terlihat bahwa kegiatan preparasi (pencucian batubara) dapat menurunkan kadar abu secara signifikan, dimana kadar abu batubara umpan berdasarkan uji endap apung pada ukuran $-70 + 50$ mm adalah 7,91% dan pada ukuran $-50 + 32$ mm adalah 5,73% serta pada ukuran $-32 + 2,3$ adalah 6,73%.
- 3) Berdasarkan hasil perhitungan konsentrasi partikulat fly ash batubara di sekitar PLTU yang keluar bersama gas buang melalui cerobong selama 60 menit diperoleh PM 1 sebesar $1,660 \times 10^{-6} \text{ gr}/\text{Cm}^3$; sedangkan PM 2,5 sebesar $6,525 \times 10^{-6} \text{ gr}/\text{Cm}^3$ dan PM 8 sebesar $2,236 \times 10^{-6} \text{ gr}/\text{Cm}^3$ seperti yang diperlihatkan pada peta sebaran partikulat dengan ukuran PM 1, PM 2,5, dan PM 8. Hasil dari IDW-power 4 menggambarkan pola sebaran akumulasi partikulat disekitar PLTU bergerak kearah utara, semakin jauh terbawa angin akumulasi partikulat semakin berkurang (masih tergolong tinggi dibandingkan konsentrasi partikulat kearah yang lain. Sehingga konsentrasi fly ash (partikulat) di area sekitar PLTU tersebut tidak melampaui



ambang batas yang dipersyaratkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014.

7.2. Saran

Dengan melihat hasil analisis dan kesimpulan yang dikemukakan sebelumnya, maka beberapa saran yang dapat ditambahkan adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk pembakaran batubara yang dilakukan pada PLTU-X selain melakukan pencucian dan pencampuran (belending) sebaiknya dilakukan upgrinding batubara (UBC) dan the watering agar kadar lengas dapat dikurangi atau hilang sehingga akan menaikkan efisiensi pembakaran dan mengurangi kadar partikulat yang terlepas bersama gas buang.
- 2) Pada pembakaran batubara di PLTU-X sebaiknya yang dijadikan operator merupakan seseorang yang ahli di bidang tersebut serta berkompeten agar tidak terjadi hasil yang tidak akurat.
- 3) Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya langsung menganalisa batubara dari tambang dan melihat proses preparasi secara langsung sehingga tidak mengandalkan data analisa dari PLTU-X



DAFTAR PUSTAKA

A.Yu. Stolboushkin, A.I. Ivanova, O.A. Fomina. 2016. Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016. *Procedia Engineering* **150**. 2016. 1496 – 1502.

Adinugraha, W. 2006. "Tesis Magister" *Studi Pencucian Batubara Menggunakan Chance Cone Dengan Media Hematite*.

Alberty A. Robert., Farrington Daniels. 1980. *"Physical Chemistry"*, John Wiley & Sons, Inc.

Agus, F., dan I.G. Subiksa. 2008. Lahan gambut: potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian. World Agroforestry Centre. Bogor.

Ana Alonso-Serrano, Matt Visser. 2016. On burning a lump of coal. *Physics Letters B* **757**. 2016. 383–386.

Anggayana, Komang. 2005. *"Buku Ajar Pengeboran Eksplorasi Dan Penampang Lubang Bor"*. Departemen Teknik Pertambangan ITB, Bandung.

Arikunto. 1996. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Rineka Cipta.

Asisten Deputi Urusan Pengkajian Dampak Lingkungan Deputi MENLH Bidang Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup 2007.

Badin John Elmur. 1984. *"Coal Combustion Chemistry - Correlation Aspect"*. Elsevier.

Betekhtin, A., *"A Course of Mineralogy"*, Peace Publisher, Moscow.

Brent A. Slaker, Khaled M. Mohamed. 2017. A practical application of photogrammetry to performing rib characterization measurements in an underground coal mine using a DSLR camera. *International Journal of Mining Science and Technology* **27**. 2017. 83–90.

Brown, G.G. 1978. *"Unit Operation"*, 14th Printing. Japan: Modem Asia Edition

Burt, Erica MPH., Peter Orris, MD, MPH., Susan Buchanan, MD, MPH. 2013. *Scientific Evidence of Health Effects from Coal Use in Energy Generation*. University of Illinois at Chicago School of Public Health Chicago, Illinois, USA.

Burt, R.O..1984. (assisted by Chris Mills), *"Gravity Concentration Technology"*, Elsevier.



Cahyadi, Dwika Budianto, Adi Surjosatyo, Yulianto S. Nugroho. 2014. *Karakterisasi Pembakaran Batubara Halus Dalam Lingkungan Udara dan Oxy-Fuel*. *Jurnal Energi dan Lingkungan* Vol. 10, No. 1, Juni 2014. Universitas Indonesia, Depok.

Chadwik M.J., Lindman N. 2011. *"Pelepasan Emisi Pembakaran Batubara Terjadi Pada Awal Pembakaran Batubara"*.

Chadwik M.J., Lindman N. 1982. *"Environmental Indication Of Expanded Coal Utilization"*. Pergamon Press.

Choesin, Devi N., Rahmat Taufik, Esyanti Rizkita R. 2003. *"Pengetahuan Lingkungan"*, Departemen Biologi Institut Teknologi Bandung.

Chuan-Zhi Gui, Long-Yan Ran, Jin-Ping Li, Zhi-Zhong Guan. 2010. Changes of learning and memory ability and brain nicotinic receptors of rat offspring with coal burning fluorosis. *Neurotoxicology and Teratology* **32**. 2010. 536-541.

Cristina Argiz, Amparo Moragues, Esperanza Menendez. 2017. Use of ground coal bottom ash as cement constituent in concretes exposed to chloride environments. *Journal of Cleaner Production* **170**. 2017. 25-33.

Edgar F Thomas. 1983. *Coal Processing and Pollution Control*, Gulf Publishing Company Book Division. Houston.

Friederike Fachinger, Frank Drewnick, Reto Giere, Stephan Borrmann. 2017. How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions. *Atmospheric Environment* **158**. 2017. 216-226.

Ghofur A., Atikah, Soemarno, Hadi A. 2016. *"Characterization of coal fly Ash As converter Catalytic Material in Reducing Hc and Co Exhaust Gas from Motor Vehicles"*. Diambil dari : www.iesrijuournals.org

Guangyu Li, Chang'an Wang, Pengqian Wang, Yongbo Du, Xuan Liu, Wufeng Chen, Defu Che. 2017. Ash Deposition and Alkali Metal Migration during Zhundong High-alkali Coal Gasification. The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE 2016. *Energy Procedia* **105**. 2017. 1350 – 1355.

Janis Krumins, Zhiping Yang, Qiang Zhang, Min Yan, Maris Klavins. 2017. A study of weathered coal spectroscopic properties. International Scientific Conference "Environmental and Climate Technologies", CONECT 2017, 10-12 May 2017, Riga, Latvia. *Energy Procedia* **128**. 2017. 51-58.

Juan Riaza, Muhammad Ajmi, Jon Gibbins, Hannah Chalmers. 2017. Ignition and combustion of single particles of coal and biomass under O₂/CO₂ atmospheres. *Energy Procedia* **114**. 2017. 6067 – 6073.



- Kim H.T. 1991. *"Dasar-Dasar Kimia Tanah"*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Krevelen D.W. Van. 1993. *"Coal (Typology, Physics, Chemistry, Constitution)"*. Elsevier.
- Kuzmick, Danika M., Carys L. Mitchelmore, William A. Hopkins, and Christopher L. Rowe. 2007. *Effect of Coal Combustion Residues on Survival, Antioxidant Potential, and Genotoxicity Resulting from Full-Lifecycle Exposure of Grass Shrimp (Palaemonetes pugio Holthius)*. *Science of the Total Environment* **373**. 2007. 420-430.
- Leonard, J. W., & Mitchell, D.R., "Coal Preparation", 3rd Ed..1968.*The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc.* New York.
- Madhulika Dutt, Jyotilima Saiki, Silvio R. Taffarel, Frans B. Waanders, Diego de Medeiros, Cesar M.N.L. Cutruneo, Luis F.O. Silva, Binoy K. Saikia. 2017. Environmental assessment and nano-mineralogical characterization of coal, overburden and sediment from Indian coal mining acid drainage. *Geoscience Frontiers* **8**. 2017. 1285-1297.
- McCabe W.L., Smith J.C., Harriot P. 1982. *"Unit Operation of Chemical Engineering"*. McGraw-Hill.
- Moh. Nazir. Ph.D. 2005. *Metode Penelitian*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Moleong. 2008. *"Analisis Data Model Interaktif"*. Bandung: RemajaRosdakarya.
- Moleong. 2008. *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Edisi Revisi. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Muhadjir, Noeng. 2000. *Metode Penelitian Kualitatif*. Jogja: Rake Sarasin.
- Mulyana, Deddy. 2002. *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Nari Soundarrajan, Nandakumar Krishnamurthy, Sarma V. Pisupati. 2012. Physical and Chemical Characterization of Coal Particles Used as Entrained Flow Gasifier Feedstock: Heterogeneity in Mineral Matter Distribution. *Energy Procedia* **14**. 2012. 1735 – 1740.
- Natalie Christine Nakaten, Thomas Kempka. 2017. Radial-symmetric well design to optimize coal yield and maintain required safety pillar width in offshore underground coal gasification. *Energy Procedia* **125**. 2017. 27-33.
- Nukman. 2009. Pencucian Batubara Asal Tanjung Enim di Dermaga Kertapati Dengan Menggunakan Air Bergelembung Udara: Suatu Usaha Peningkatan Mutu Batubara. *Jurnal Rekayasa Sriwijaya* No 2 Vol 18 Juli 2009.



Nurmalita, 2012. Analisis Efisiensi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Energi Alamraya Semester di Kabupaten Nagan Raya Naggroe Aceh Darussalam. Skripsi. ITB: Bogor.

Oleksandr Ivakhnenko, Adina Aimukhan, Aida Kenshimova, Fandus Mullagaliyev, Erlan Akbarov, Lylia Mullagaliyev, Svetlana Kabirova, Azamat Almukhametov. 2017. Advances in coalbed methane reservoirs integrated characterization and hydraulic fracturing for improved gas recovery in Karaganda Coal Basin, Kazakhstan. European Geosciences Union General Assembly 2017, EGU Division Energy, Resources & Environment, ERE. *Energy Procedia* **125**. 2017. 477–485.

Osborne, D.G.. "Coal Preparation Technology", Vol. I & 2. Graham Trotman.

Patrick Booth, Heidi Brown, Jan Nemcik, Ren Ting. 2017. Spatial context in the calculation of gas emissions for underground coal mines. *International Journal of Mining Science and Technology* **27**. 2017. 787–794.

Peraturan Menteri Nomor 30 PT. Perusahaan Listrik Negara Tahun 2012

Pólka Marzena, Ptak Szymon. 2017. Impact of biomass implementation on coal burning installations. TRANSCOM 2017: International scientific conference on sustainable, modern and safe transport. *Procedia Engineering* **192**. 2017. 743 – 747.

Prananta, Hendri. 2006. *Pencucian Batubara menggunakan Chance Cone*. Thesis. Universitas Teknologi Bandung.

Pryor, E.J.. 1965. "Mineral Processing". Essex, England: Elsevier Publishing Co. Ltd.

Putra Anugrah Gusti, Solihin dan Sriyanti. 2016. *Kajian Penurunan Kadar Abu dari Limbah Pencucian Batubara PT Kaltim Prima Coal dengan Metode Pelarutan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara*. Prosiding Teknik Pertambangan. Volume 2, No .ISSN: 2460-6499.

Qi Lingling, Tang Xu, Wang Zhaofeng, Peng Xinshan. 2017. Pore characterization of different types of coal from coal and gas outburst disaster sites using low temperature nitrogen adsorption approach. *International Journal of Mining Science and Technology* **27**. 2017. 371–377.

RAE. 1986. *Intisari Fisika Kelas 1, 2, 3*. Bandung: Pionir Jaya.

REN Jianxing, LI Fangqin, ZHU Qunzhi, WU Jiang, YANG Yongwen, Liu Qingrong, LIU Hongfang. 2012. Research of Multi-Fuel Burning Stability In A 300MW Coal-Fired Utility Boiler. 2012 International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems. *Energy Procedia* **17**. 2012. 1242 – 1248.



Robert Zarzyki, Zbigniew Bis, Rafal Kobylecki. 2016. The Concept of Coal Burning in a Cyclone Furnace. IX International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, ICCHMT2016. *Procedia Engineering* **157**. 2016. 472 – 479.

Rusnadi, L., 2006. “Tesis Magister”. Studi Pencucian Batubara Menggunakan Chance Cone Dengan Media Pasir Kuarsa.

Sammy M. Nyale, Omotola O. Babajide, Grant D. Birch, Nuran Böke, Leslie F. Petrik. 2013. Synthesis and characterization of coal fly ash-based foamed geopolymer. *Procedia Environmental Sciences* **18**. 2013. 722 – 730.

Silvana Fais, Paola Ligas, Francesco Cuccuru, Enrico Maggio, Alberto Plaisant, Alberto Pettinau, Giuseppe Casula, Maria Giovanna Bianchi. 2015. Detailed petrophysical and geophysical characterization of core samples from the potential caprock-reservoir system in the Sulcis Coal Basin (southwestern Sardinia - Italy). *Energy Procedia* **76**. 2015. 503 – 511.

Slamet, Suprpto. 2009. *Blending Batubara Untuk Pembangkit Listrik Studi Kasus PLTU Suralaya Unit 1-4*. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (tek MIRA). Bandung.

Sloss, Lesley. 2013. Coal Mine Site Reclamation. *IEA Clean Coal Centre. CCC/216*. ISBN 978-92-9029-536-5. Germany.

Speight G. James. 1994. “*The Chemistry and Technology Of Coal*”. Elsevier.

Stefano Munir dan Ikin Sodikin. 2009. “*Hubungan Antara Parameter Karakteristik Limbah Batubara Kalimantan Timur dan Karakteristik Pembakarannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara*”. Bandung.

Sudarsono, A.S. 2003. “*Pengantar Preparasi dan Pencucian Batubara*”. Bandung: Departemen Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.

Sukandarrumidi. 2009. *Bahan Galian Industri*, Cetakan Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Sukandarrumidi. 2009 (B). *Geologi Mineral Logam*, Cetakan Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Sule, D. 2006. “*Seminar Batubara Nasional*”. Jakarta: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

Sule, D.. 2004. “*Materi Kuliah Perancangan Pabrik Pencucian Batubara*”. Program Pascasarjana, Rekayasa Pertambangan ITB.

Taggart, A.F., 1954. “*Handbook of Mineral Dressing*”. John Wiley & Sons, Inc.

Volbor A. T. 1987 “*Coal Science And Chemistry*”. Elsevier.



Wardoyo, Arinto Y.P. 2016. Emisi Partikulat Kendaraan Bermotor & Dampak Kesehatan. Universitas Brawijaya Press: Malang, Indonesia.

Waterman, Sulistyana B. dan Dean, Saputra. 2012. *Analisis Pengaruh Lingkungan Pengendapan Batubara Terhadap Kandungan Sulfur Batubara*. Prosiding Simposium dan Seminar Nasional Geomekanika ke-1 Tahun 2012: Menggagas Masa Depan Rekayasa Batuan dan Terowongan di Indonesia. 1-29-1-38. ISSN.

Wilkinson P, Smith Kirk R., Joffe M, Haines A. Energy and Health 1: A global perspective on energy: health effects and injustices. *Lancet* 2007 Sep 13; 370 (9591): 5.

Williams A., Pourkashanian M., Jones J.M. and Skorupska N.. 2013. "Ukuran umpan batubara yang digunakan sebagai umpan".

Williams, Pourkashanian M. and Jones J.M., 2000. *Combustion and Gasification of Coal*. New York: Taylor and Francis.

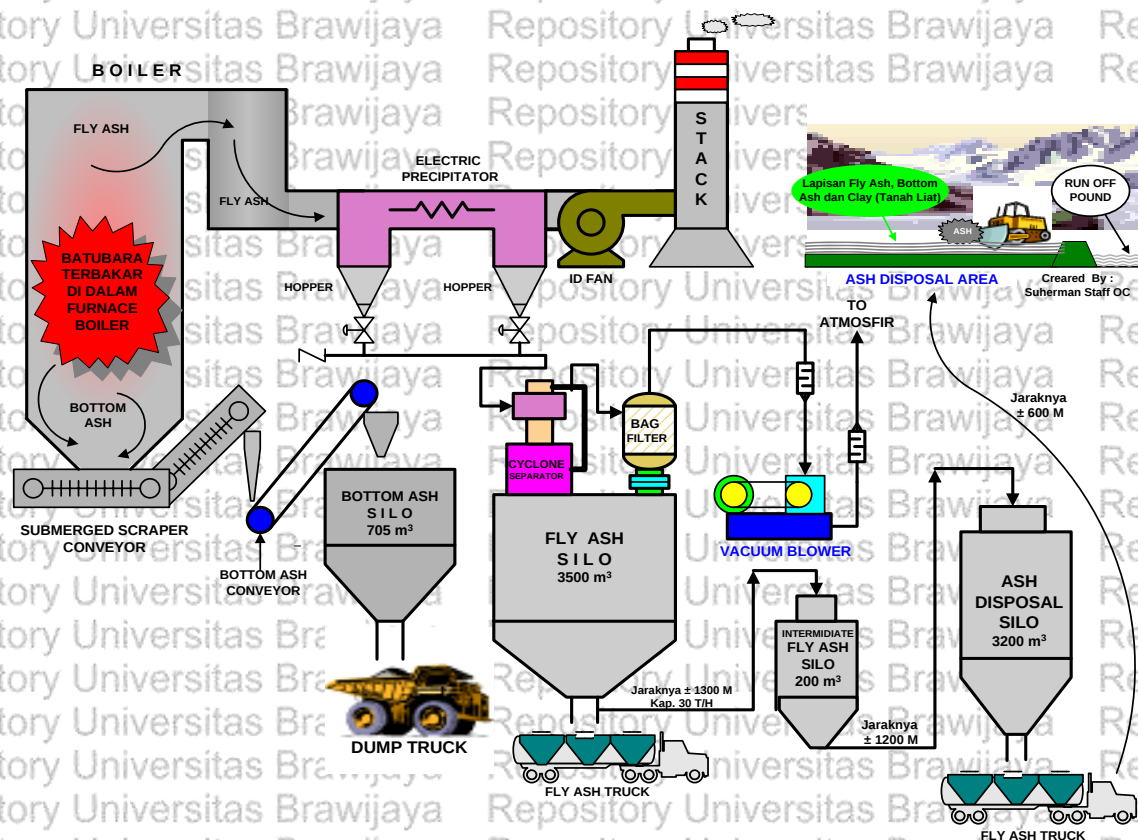
-----, 2004. "Teknologi Pengukuran dan Analisa Udara Emisi". Jakarta: Balai Besar Kimia Dan Keramik, Departemen Perindustrian Dan Perdagangan Republik Indonesia.

-----, 2003. "Emission Estimation Technique Manual For Combustion In Boilers". Version 1,2. Canberra: National Pollution Inventory.

-----, 2003. "Clean Coal Technology In Ikeshima". Ikeshima: Nedo Project.

#PLTU di Yokohama, Jepang.

#PLTU Isego yang Lokasinya di Yokohama. Milik Perusahaan bernama J-Power



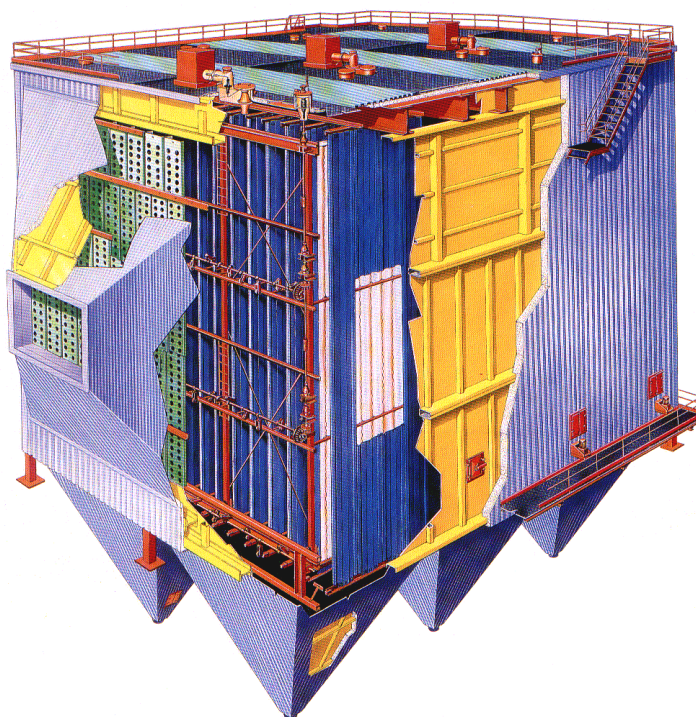
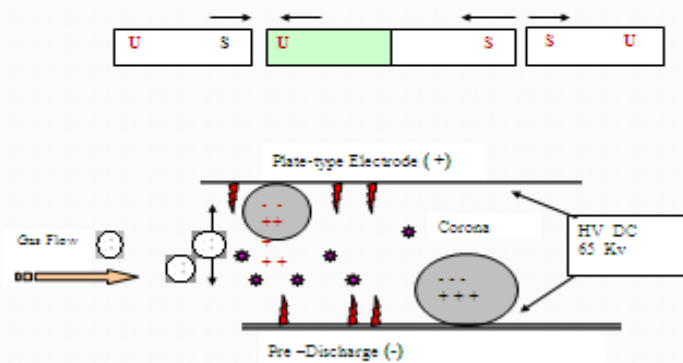


Lampiran 2. Prinsip Kerja Electrostatic Precipitator

PRINSIP KERJA

Electrostatic Precipitator

- Ionisasi pada abu terbang





Lampiran 3. Proximate Analysis Bulan Juli 2015

		PT. PJB UBI O&M PTU TANJUNG AWAR - AWAR										No. Dok : FMA 08.3.2.5								
		PJB INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM										Tgl Terbit : 15 Juni 2015								
		FORMULIR										Rev : 00								
		COAL ANALYSIS										Halaman : 1								
BULAN : JULI 2015																				
LABORATORIUM : PT. PJB UBI O&M TANJUNG AWAR - AWAR																				
N O	SAMPLE	DITERIMA DI LAB UJTA	TANGGAL ANALISA	IM	TM	PROXIMATE ANALYSIS (% W)						GROSS CAL VALUE				ULTIMATE ANALYSIS (% W)				
						ASH CONTENT				VOLATILE MATTER		Fixed Carbon	(K Cal/Kg)			C	H	N	S	O
						3 - 6 (ar)				30-40 (ar)										
						ar	adb	db		ar	adb		db	adb	ar					
1	PT BB 20 80 75%	22/06/2015	03/07/2015	15,19	34,17	2,10	2,82	3,32	32,38	41,71	49,18	40,29	4141,1	5335,0	6200,5	69,47	4,84	0,94	-	-
2	PT BB 20 80 85%	22/06/2015	03/07/2015	11,47	31,49	2,07	2,68	3,03	33,18	42,88	48,44	42,97	4318,8	5580,9	6304,0	67,36	5,03	0,96	-	-
3	PT BB 20 80 100%	22/06/2015	03/07/2015	11,91	30,50	2,35	2,98	3,38	33,70	42,71	48,48	42,41	4328,7	5484,0	6225,5	69,28	4,84	0,91	-	-
4	PT BB 40 60 75%	22/06/2015	03/07/2015	15,02	31,39	2,26	2,80	3,29	33,13	41,04	48,29	41,15	4428,0	5484,5	6453,9	68,88	4,88	0,92	-	-
5	PT BB 40 60 85%	22/06/2015	03/07/2015	13,82	32,27	2,29	2,92	3,39	32,76	41,69	48,38	41,57	4177,7	5315,7	6168,1	69,32	4,60	0,88	-	-
6	PT BB 40 60 100%	22/06/2015	03/07/2015	14,95	31,54	1,94	2,42	2,84	33,73	41,91	49,28	40,73	4331,7	5381,4	6327,3	69,32	4,97	0,84	-	-
KETERANGAN :														Tuban, 8 Juli 2015						
: nilai parameter atau kualitas batubara pada saat batubara tersebut diterima / disampling														Mengetahui						
: nilai kualitas pada kondisi batubara setelah di air dried/ keadaan kadar kelembaban yang hampir sama dengan dengan kelembaban udara sekitarnya														GENERAL MANAGER						
: nilai kualitas pada kondisi batubara kering atau tidak memiliki nilai moisture/moisture free														Diperiksa						
														SPV S KIMA						
														BAMBANG TEDJO N 7299011A						
														NURUL YANUAR 7292112K3						



Lampiran 4. Proximate Analysis Bulan Juni 2015

PT. PJB UBI O&M PLTU TANJUNG AWAR - AWAR PJB INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM FORMULIR COAL ANALYSIS										No. Dok Tgl. Terbit Revisi Halaman		FMA 08.1.2.5 15 Juni 2015 : 00 : 1																					
BULAN : JUNI 2015																																	
LABORATORIUM : PT. PJB UBI O&M TANJUNG AWAR - AWAR																																	
NO	PHOTO BARIS	PENYEDIA BATUBARA	Selesai Bangkir	TERIMA DARI UTRA	TANGGAL ANALISA	TUG BOAT (TB)	BARGE (BG)	PROXIMATE ANALYSIS (% W)						GROSS CAL VALUE		ULTIMATE ANALYSIS (% W)																	
ASAL SAMPEL : PT. PJB UBI O&M TANJUNG AWAR - AWAR								IM						Tm		ASH CONTENT		VOLATILE MATTER		Fixed Carbon		(K. Calg)		C		H		N		S		O	
								25 - 35						3 - 6 (gr)		30-40 (gr)		adb		ar		adb		adb		adb		adb		adb			
1	198	PT KALIMA PRIMA COAL	6/05/2015	25/05/2015	05/06/2015			13.58	22.82	1.54	1.73	1.99	36.01	40.51	45.05	44.58	53.15	59.79	6887														
3	199	PT PLN BB	08/05/2015	25/05/2015	05/06/2015			30.72	30.67	1.95	2.21	2.78	33.63	38.13	48.09	38.95	44.71	50.99	6393														
3	200	PT DGL	19/05/2015	25/05/2015	05/06/2015			15.35	32.21	1.41	1.77	2.09	33.71	42.13	49.72	40.84	43.12	5390	6361														
4	201	PT DGL	11/05/2015	25/05/2015	10/06/2015			21.91	34.01	1.45	1.71	2.19	33.24	39.34	50.37	37.05	42.93	5034	6445														
5	202	PT PLN BB	12/05/2015	25/05/2015	10/06/2015			16.75	32.15	3.87	4.51	5.42	31.64	38.82	45.84	39.92	40.88	5017	6026														
6	203	PT KIDEKO JAYA AGUNG	14/05/2015	04/06/2015	10/06/2015			20.84	35.07	1.34	1.65	2.07	32.82	40.42	50.55	37.89	41.75	5142	6430														
7	204	PT BUKIT ASAM	18/05/2015	04/06/2015	11/06/2015			10.75	28.81	2.28	2.84	3.18	33.09	41.31	48.28	45.10	49.15	6136	6675														
8	205	PT DGL	29/05/2015	04/06/2015	11/06/2015			18.07	32.33	1.57	1.89	2.33	33.96	40.81	50.18	38.62	42.82	5147	6328														
9	206	PT KIDEKO JAYA AGUNG	23/05/2015	08/06/2015	11/06/2015			21.90	35.67	1.34	1.63	2.06	32.38	39.29	50.33	37.15	41.43	5029	6440														
10	207	PT DGL	23/05/2015	08/06/2015	16/06/2015			18.62	32.38	1.88	2.02	2.49	34.00	40.92	50.28	38.43	42.80	5150	6329														
11	208	PT BUKIT ASAM	25/05/2015	07/06/2015	10/06/2015			13.52	20.25	2.54	3.15	3.05	33.54	40.42	45.05	42.52	48.05	5005	6725														
12	209	PT PLN BB	26/05/2015	08/06/2015	16/06/2015			13.68	29.49	3.00	3.67	4.25	36.01	44.08	51.07	38.56	43.24	5293	6133														
13	210	PT BUKIT ASAM	27/05/2015	08/06/2015	18/06/2015			11.85	24.10	2.60	3.01	3.42	35.14	40.82	46.30	44.32	5252	6077	6894														
14	211	PT BUKIT ASAM	29/05/2015	08/06/2015	18/06/2015			11.08	25.11	2.48	2.95	3.32	34.63	41.12	46.43	44.87	5125	6087	6844														
15	212	PT DGL	31/05/2015	08/06/2015	18/06/2015			15.85	27.13	2.04	2.36	2.80	35.87	41.51	49.23	40.46	45.81	5302	6287														
16	213	PT DGL	03/06/2015	08/06/2015	18/06/2015			17.66	32.96	1.78	2.18	2.64	33.49	40.89	49.67	39.27	4243	5181	6292														



Lampiran 5. Proximate Analysis Bulan Januari 2016

		PT. PJB UBI O&M TANJUNG AWAR - AWAR										No. Dok : PMA 08.12.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		PJB INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM										Tgl Terbit : 15 Juni 2015																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		FORMULIR										Rev : 00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		COAL ANALYSIS										Edisi : 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
RUTAN : JANUARI 2016																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
LABORATORIUM : PT. PJB UBI O&M TANJUNG AWAR - AWAR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
NO	FORM NO. P	PENYEDIA BATUBARA	Gedung Sampel	DITAMBAH LAGI	TANGGAL ANALISA	TUGAS (IB)	BARGE (BG)	PROXIMATE ANALYSIS (% W)						GROSS CAL VALUE		ULTIMATE ANALYSIS (% W)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
								IM	TM	ASH CONTENT			VOLATILE MATTER			Fixed Carbon	(Kcal/kg)		C				H				N				S																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
								25-35		ar	adb	db	ar	adb	db																				adb	ar	adb	db																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
ASAL SAMPEL : PT. PJB UBI O&M TANJUNG AWAR - AWAR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
1	243	PT PLN BB	30/12/2015	11/01/2016	25/01/2017			10.02	28.62	8.97	10.80	12.09	34.12	41.56	46.49	37.03	43.30	5273	6600	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb	adb



Lampiran 6. Analisa Proksimat Pengujian 13 Januari 2017

Parameters	Units	Results				Methods
		As Received Basis	Air Dried Basis	Dry Basis	Dry Ash Basis	
Proximate Analysis :						
- Total Moisture	%	34.83	-	-	-	ASTM D 3302M -15
- Inherent Moisture	%	-	14.41	-	-	ASTM D 3173-11
- Ash Content	%	2.48	3.26	3.81	-	ASTM D 3174-12
- Volatile Matter	%	32.82	43.11	50.37	52.36	ASTM D 3175-11
- Fixed Carbon	%	29.86	39.22	45.82	47.64	ASTM D 3172-13
Total Sulfur	%	0.17	0.22	0.26	0.27	ASTM D 4239-14
Gross Calorific Value	Kcal/Kg	4191	5504	6431	6685	ASTM D 5865-13
Ultimate Analysis :						
- Total Moisture	%	34.83	-	-	-	ASTM D 3302M-15
- Inherent Moisture	%	-	14.41	-	-	ASTM D 3173-11
- Ash Content	%	2.48	3.26	3.81	-	ASTM D 3174-12
- Sulfur	%	0.17	0.22	0.26	0.27	ASTM D 4239-14
- Hydrogen	%	3.08	4.05	4.73	4.92	ASTM D 5373-14
- Carbon	%	44.78	58.81	68.71	71.43	ASTM D 5373-14
- Nitrogen	%	0.47	0.62	0.72	0.75	ASTM D 5373-14
- Oxygen	%	14.18	18.63	21.77	22.63	ASTM D 5373-15
HGI	Index	-	62	-	-	ASTM D 409M-12
Size Distribution						
Passing mesh 70 mm (-70)	%		99.11			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 50 mm (-)	%		93.38			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 32 mm (-)	%		80.89			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 2,38 mm (-)	%		18.23			ASTM D 3174-2004
Ash Analysis						
- SiO ₂	%		34.49			ASTM D 3682-13
- Al ₂ O ₃	%		8.63			ASTM D 3682-13
- Fe ₂ O ₃	%		28.99			ASTM D 3682-13
- CaO	%		12.57			ASTM D 3682-13
- MgO	%		5.06			ASTM D 3682-13
- K ₂ O	%		0.51			ASTM D 3682-13
- Na ₂ O	%		0.42			ASTM D 3682-13
- MnO ₂	%		0.23			ASTM D 3682-13
- TiO ₂	%		0.61			ASTM D 3682-13
- P ₂ O ₅	%		0.56			ASTM D 2795-95
- SO ₃	%		7.17			ASTM D 5016-08e1
Slagging Factor	Index		0.28			Low
Fouling Factor	Index		0.46			Med
Sodium In Ash			0.31			
Ash Fusion Temperature		Reducing		Oxidizing		
- Initial Deformation	°C	1130		1200		ASTM D 1857M-10
- Spherical	°C	1140		1210		ASTM D 1857M-10
- Hemispherical	°C	1150		1220		ASTM D 1857M-10
- Flow	°C	1170		1240		ASTM D 1857M-10

Sumber: Data Diolah, 2017

Lampiran 7. Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy

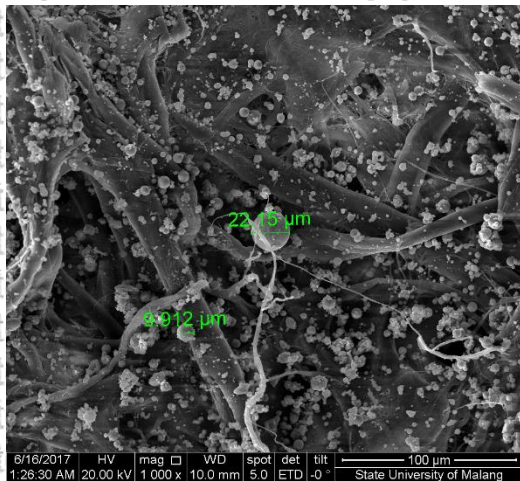


Foto A124 (1) Berasal dari SILO, PM 1.

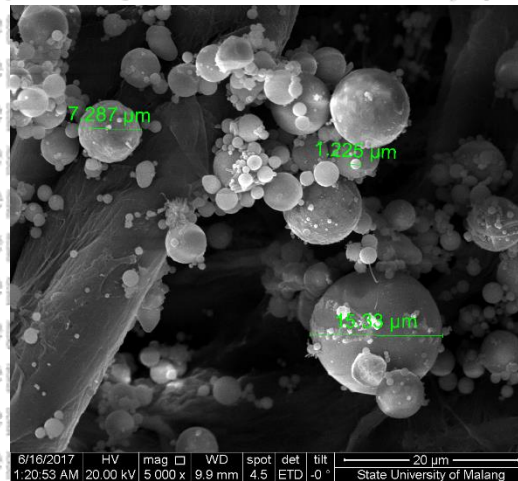


Foto A124 (2)

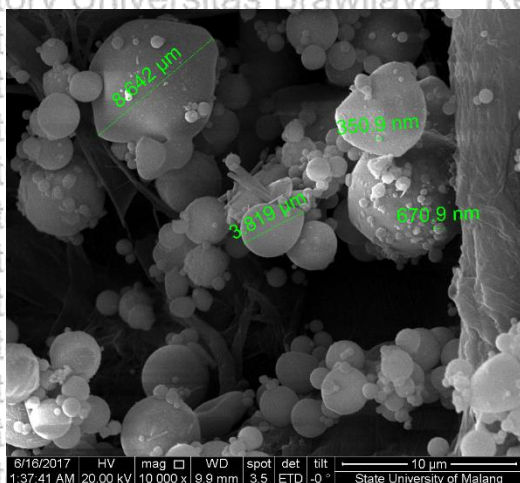


Foto A124 (3)

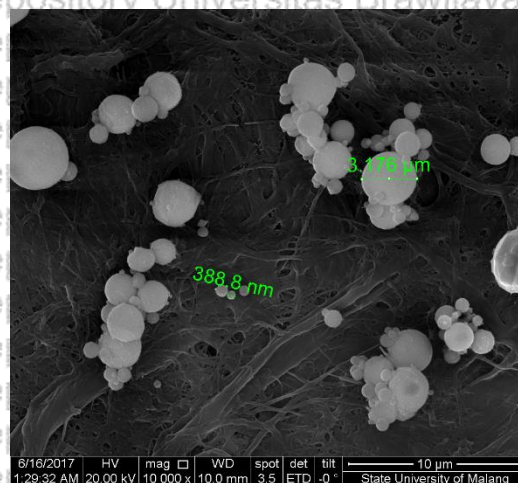


Foto A124 (4)

Lampiran 7. (Lanjutan) Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy

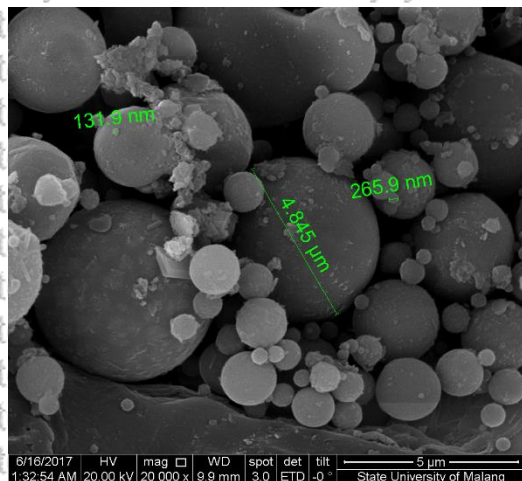


Foto A124 (5)

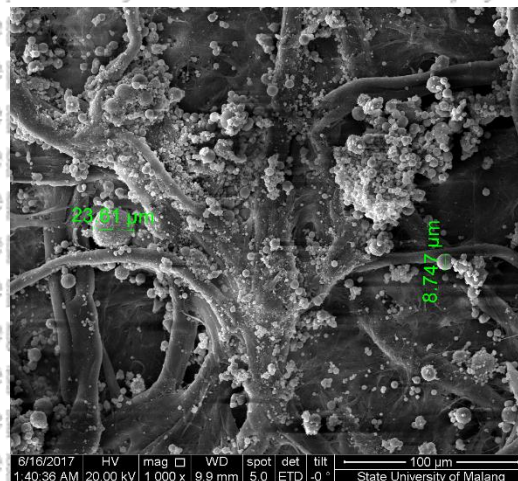


Foto A125 (1)

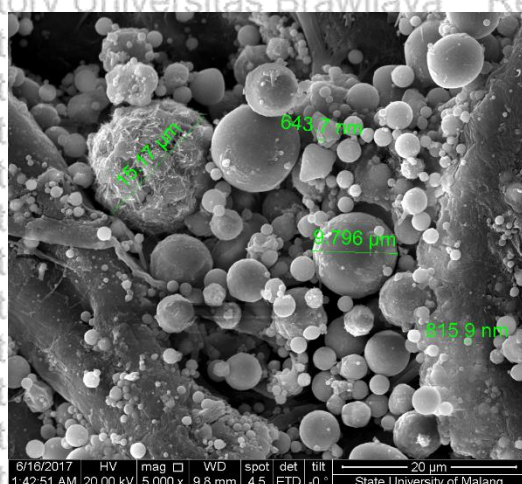


Foto A125 (2)

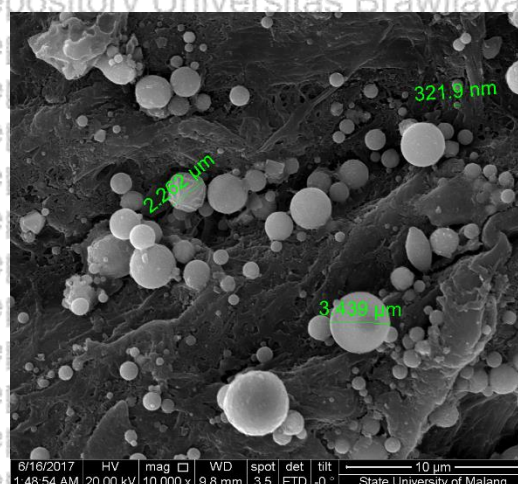


Foto A125 (3)

Lampiran 7. (Lanjutan) Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy

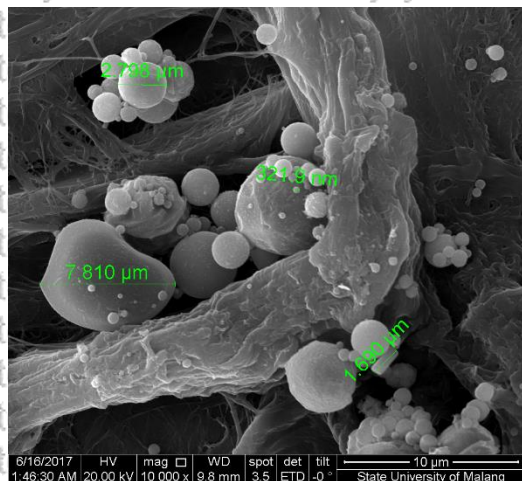


Foto A125 (4)

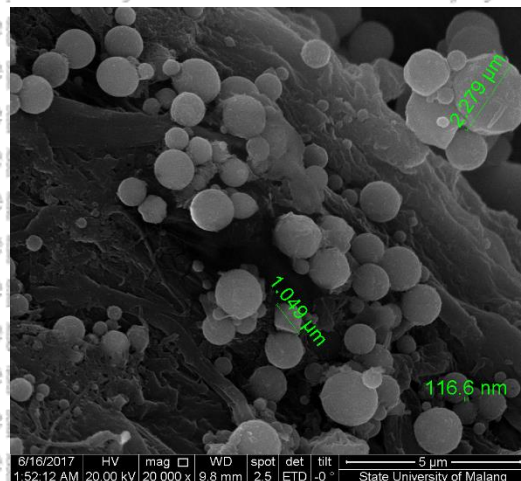


Foto A125 (5)

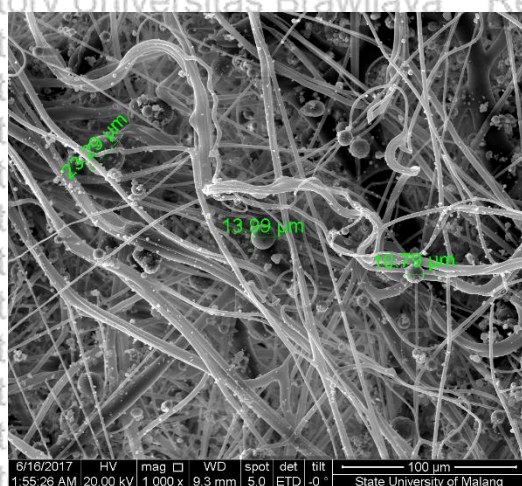


Foto A126 (1)

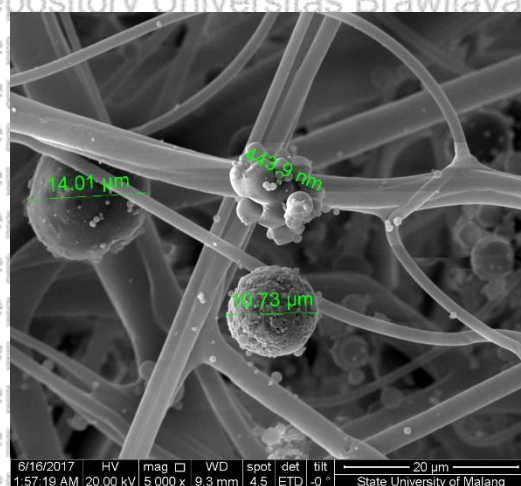


Foto A126 (2)

Lampiran 7. (Lanjutan) Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy

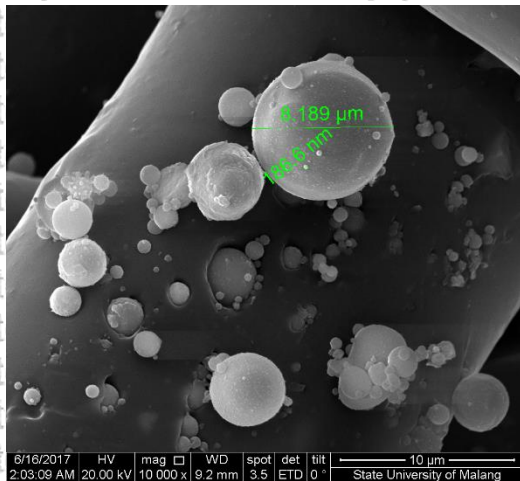


Foto A126 (3)

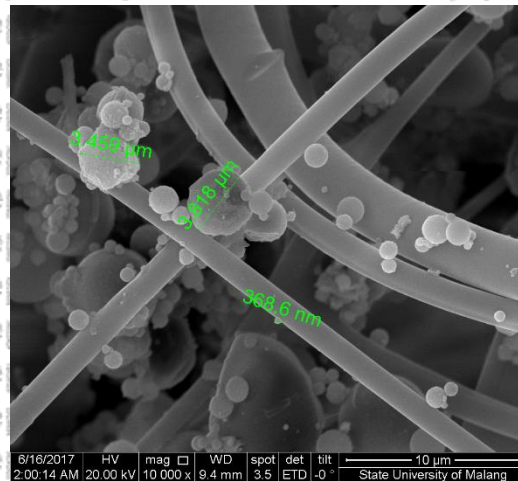


Foto A126 (4)

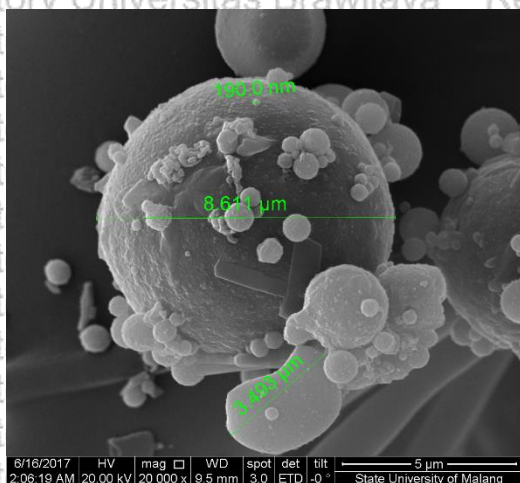


Foto A126 (5)

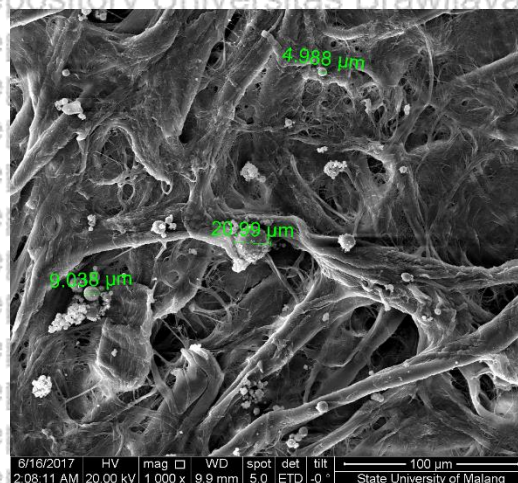


Foto A127 (1)

Lampiran 7. (Lanjutan) Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy

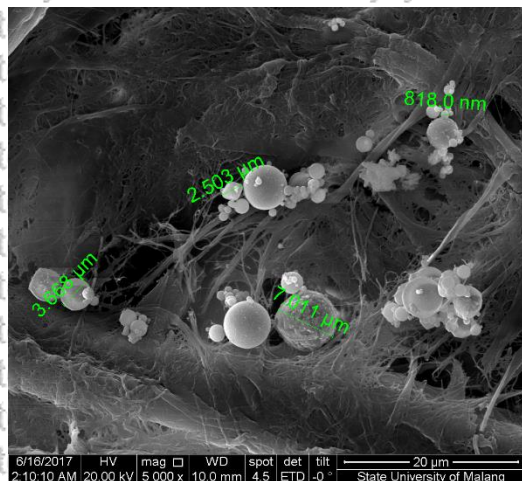


Foto A127 (2)

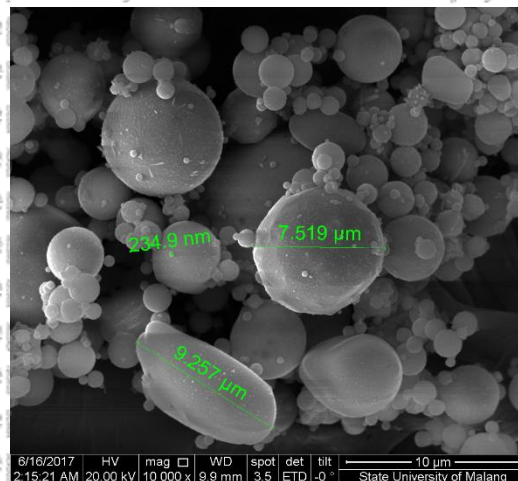


Foto A127 (3)

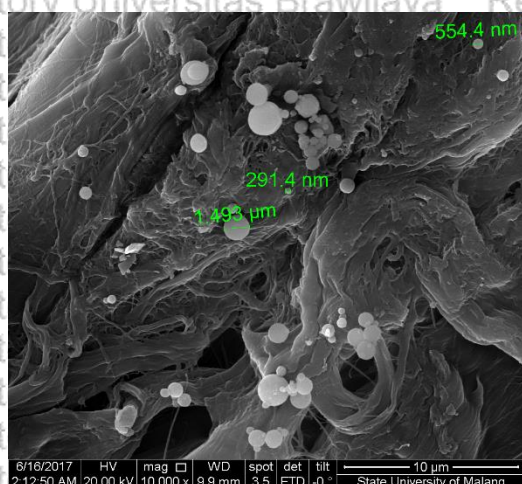


Foto A127 (4)

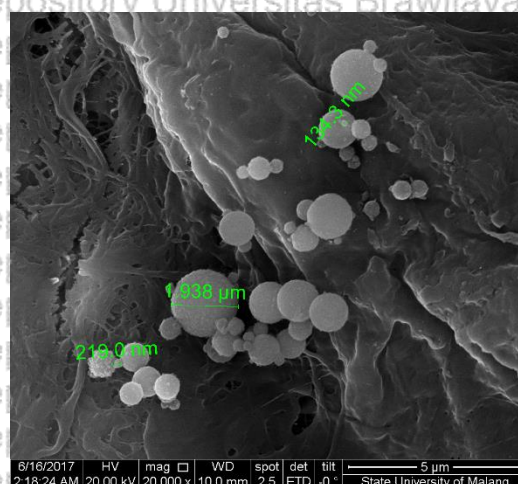


Foto A127 (5)

Lampiran 7. (Lanjutan) Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy

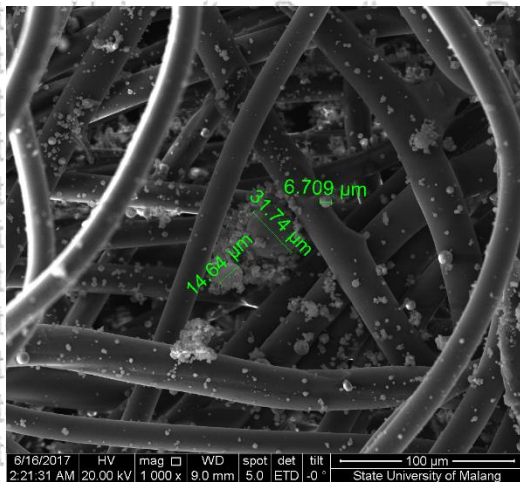


Foto A128 (1)

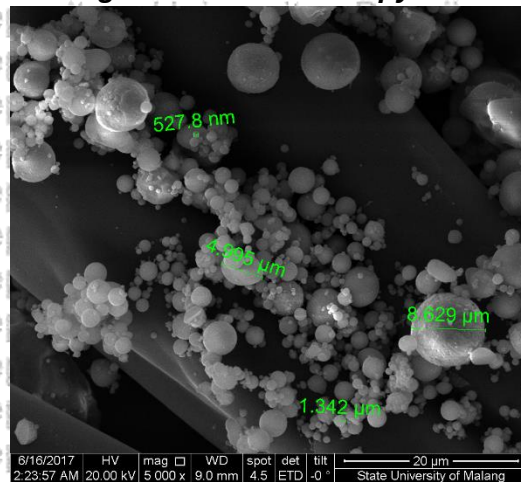


Foto A128 (2)

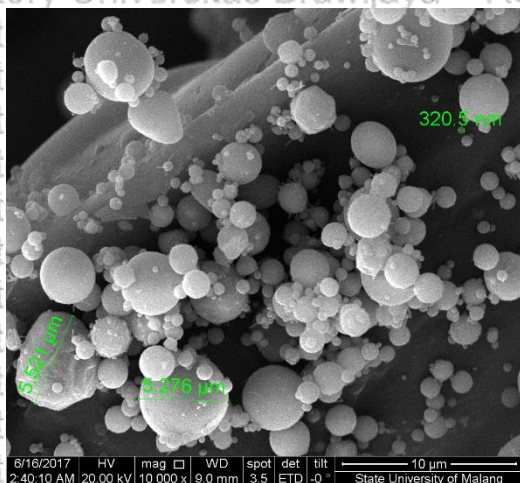


Foto A128 (3)

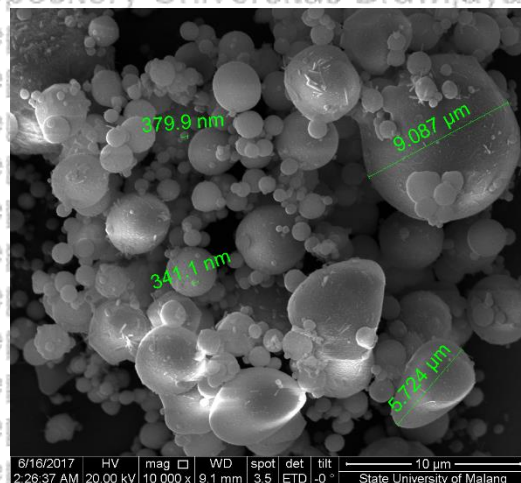


Foto A128 (4)

Lampiran 7. (Lanjutan) Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy

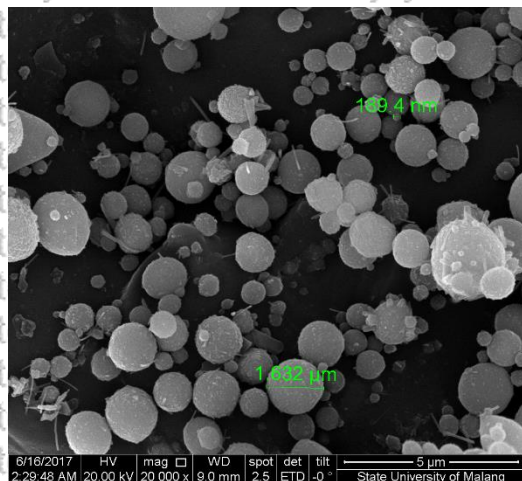


Foto A128 (5)

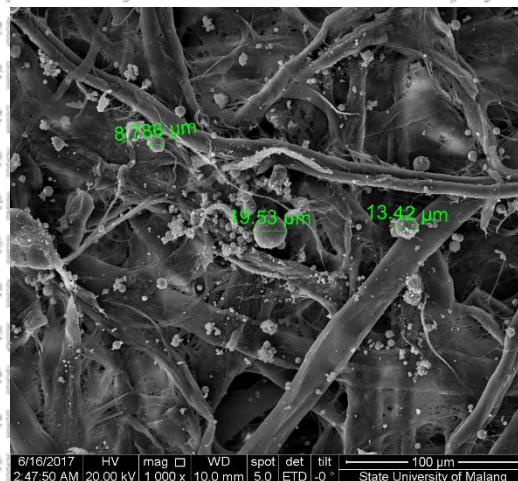


Foto A129 (1)

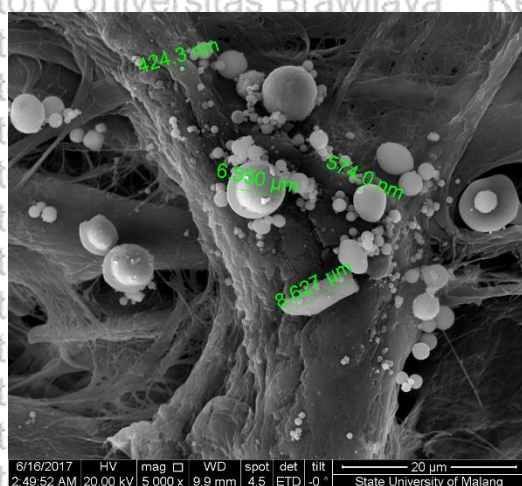


Foto A129 (2)

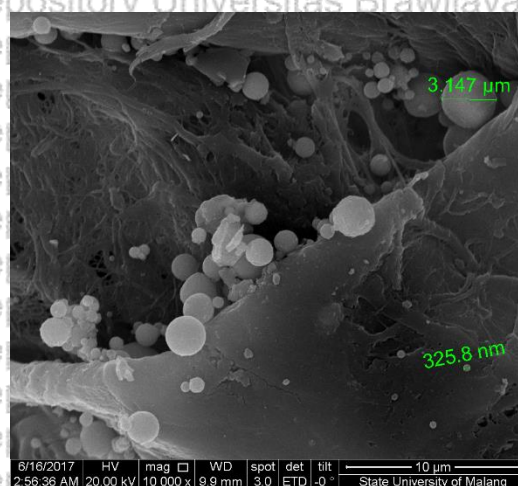


Foto A129 (3)

Lampiran 7. (lanjutan) Foto Gambar Bentuk dan Ukuran Partikulat Berdasarkan Scanning Electron Microscopy

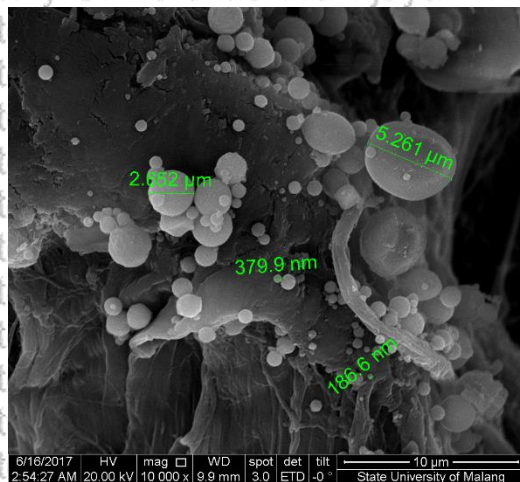


Foto A129 (4)

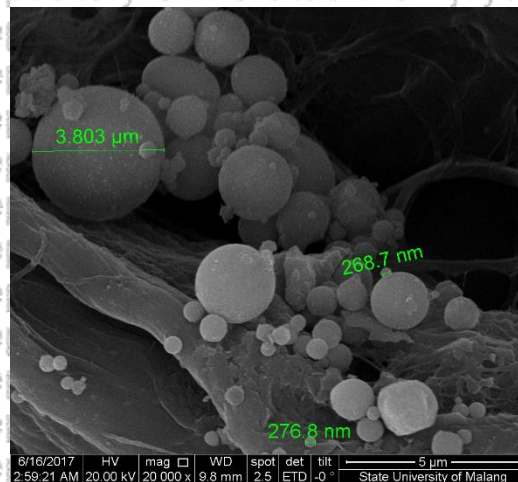


Foto A129 (5)



Lampiran 8. Ukuran Kristal yang dihitung Menggunakan Persamaan Scherrer

2Theta (deg.)	FWHM (deg.)	Theta (rad)	FWHM (rad)	cos Theta	Crystallite Size (nm)
20,8581	0,1574	0,1820	0,0027	0,9835	51,32
25,4560	0,1734	0,2221	0,0030	0,9754	46,97
26,6498	0,1378	0,2326	0,0024	0,9731	59,25
27,5682	0,3075	0,2406	0,0054	0,9712	26,60
30,1496	0,4723	0,2631	0,0082	0,9656	17,42
33,3804	0,6298	0,2913	0,0110	0,9579	13,17
35,5977	0,1968	0,3106	0,0034	0,9521	42,40
36,5797	0,0549	0,3192	0,0010	0,9495	152,40
39,4739	0,1506	0,3445	0,0026	0,9413	56,04
40,2500	0,0900	0,3512	0,0016	0,9389	94,01
40,9100	0,0900	0,3570	0,0016	0,9369	94,21
42,4581	0,2362	0,3705	0,0041	0,9321	36,08
42,9901	0,2362	0,3752	0,0041	0,9304	36,15
45,7525	0,2362	0,3993	0,0041	0,9213	36,50
50,0841	0,3149	0,4371	0,0055	0,9060	27,85
53,9900	0,0900	0,4712	0,0016	0,8910	99,06
54,8945	0,0864	0,4790	0,0015	0,8874	103,61
57,3409	0,6298	0,5004	0,0110	0,8774	14,38
59,9081	0,4723	0,5228	0,0082	0,8664	19,41
60,7700	0,0900	0,5303	0,0016	0,8626	102,32
62,5725	0,6298	0,5460	0,0110	0,8546	14,76
68,0776	0,7680	0,5941	0,0134	0,8287	12,48
71,2300	0,0900	0,6216	0,0016	0,8129	108,58
75,3100	0,0900	0,6572	0,0016	0,7917	111,49
81,0700	0,0900	0,7075	0,0016	0,7600	116,14
83,3500	0,0900	0,7274	0,0016	0,7469	118,18
Average Crystallite Size (nm)					61,95

Diketahui:

$\lambda = 0,1541 \text{ \AA}$ dan $k = 0,9$

Ukuran kristal digitung dengan menggunakan persamaan Scherrer sebagai berikut: $D =$

$$\frac{k\lambda}{B_0 \cos \theta}$$

dengan, D = ukuran kristal (nm)

λ = panjang gelombang sinar X ($\text{\AA}$)

B_0 = lebar puncak pada setengah maksimum (Full Width Half Maximum, FWHM)^o

θ = sudut Bragg (o)

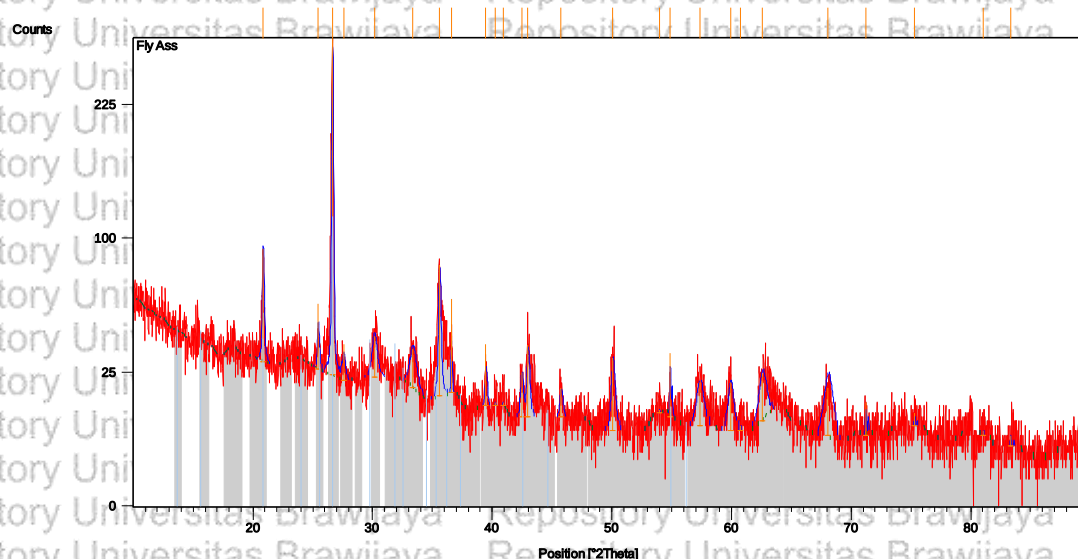


Lampiran 9. Hasil Laboratorium Mineral dan Material Maju Univ. Negeri Malang

Distribution:

Name	Function	0.1	0.5	1.0
N.N.-999	Masterking Group Manager (MGM)	✓		
N.N.-998	Product Ontwikkelt Manager (POM)	✓		
N.N.-1	(AS)			✓
N.N.-2	(DS)			✓
N.N.-3	(BS)			✓
T.P.	Supervisor All Coding			✓

Graphics.(Fly Ash)





Peak List:(Fly Ash)

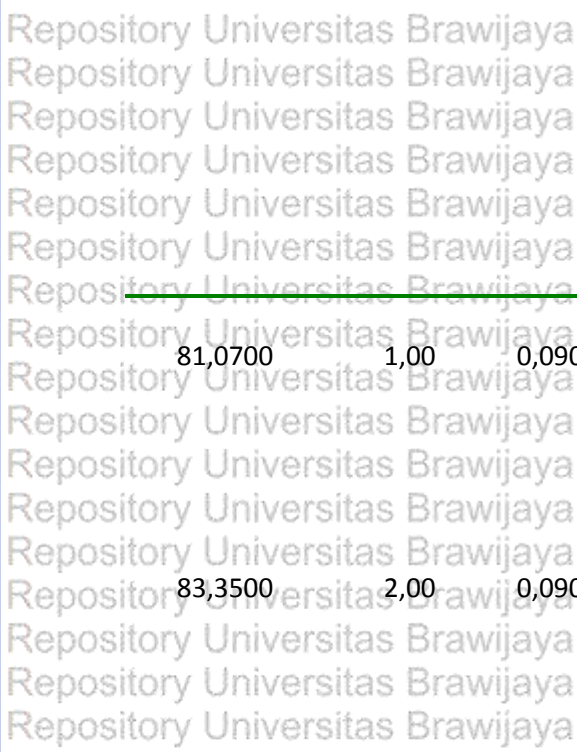
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
20,8581	63,16	0,1574	4,25890	22,40	0,1889	01-083-0539
25,4560	31,20	0,1734	3,49912	11,07	0,2080	00-010-0173
26,6498	281,95	0,1378	3,34503	100,00	0,1653	01-087-1702; 01-083-0539
27,5682	14,40	0,3075	3,23564	5,11	0,3691	01-087-1702
30,1496	17,32	0,4723	2,96423	6,14	0,5668	01-087-1702; 01-088-0315
33,3804	14,86	0,6298	2,68435	5,27	0,7557	01-084-2068
35,5977	63,97	0,1968	2,52207	22,69	0,2362	01-087-1702; 01-088-0315
36,5797	41,80	0,0549	2,45659	14,83	0,0659	01-084-2068; 01-083-0539
39,4739	22,40	0,1506	2,28289	7,94	0,1807	01-084-2068; 01-083-0539
40,2500	1,00	0,0900	2,24064	0,35	0,1080	01-084-2068; 01-083-0539
40,9100	1,00	0,0900	2,20601	0,35	0,1080	01-084-2068; 01-087-1702
42,4581	13,85	0,2362	2,12909	4,91	0,2834	01-083-0539
42,9901	25,03	0,2362	2,10397	8,88	0,2834	01-087-1702; 01-088-0315
45,7525	8,50	0,2362	1,98316	3,02	0,2834	01-087-1702; 01-083-0539
50,0841	22,67	0,3149	1,82133	8,04	0,3779	01-083-0539



53,9900	1,00	0,0900
54,8945	21,50	0,0864
57,3409	12,36	0,6298
59,9081	13,30	0,4723
60,7700	1,00	0,0900
62,5725	14,57	0,6298
68,0776	12,46	0,7680
71,2300	8,00	0,0900
75,3100	3,00	0,0900

1,69843	0,35	0,1080	01-084-2068; 01-087-1702
1,67256	7,63	0,1037	01-084-2068; 01-087-1702;
1,60688	4,38	0,7557	01-083-0539
1,54402	4,72	0,5668	00-010-0173; 01-084-2068;
1,52417	0,35	0,1080	01-087-1702; 01-083-0539;
1,48453	5,17	0,7557	01-088-0315
1,37614	4,42	0,9216	00-010-0173; 01-084-2068;
1,32387	2,84	0,1080	01-087-1702; 01-083-0539
1,26196	1,06	0,1080	01-084-2068; 01-088-0315
			01-084-2068; 01-087-1702;
			01-083-0539; 01-

166
01-084-2068; 01-087-1702
01-084-2068; 01-087-1702;
01-083-0539
00-010-0173; 01-084-2068;
01-087-1702; 01-083-0539;
01-088-0315
00-010-0173; 01-084-2068;
01-087-1702; 01-083-0539
01-084-2068; 01-087-1702
01-084-2068; 01-087-1702;
01-088-0315
00-010-0173; 01-084-2068;
01-087-1702; 01-083-0539
01-084-2068; 01-088-0315
01-084-2068; 01-087-1702;
01-083-0539; 01-



Identified Patterns List: (Fly Ash)

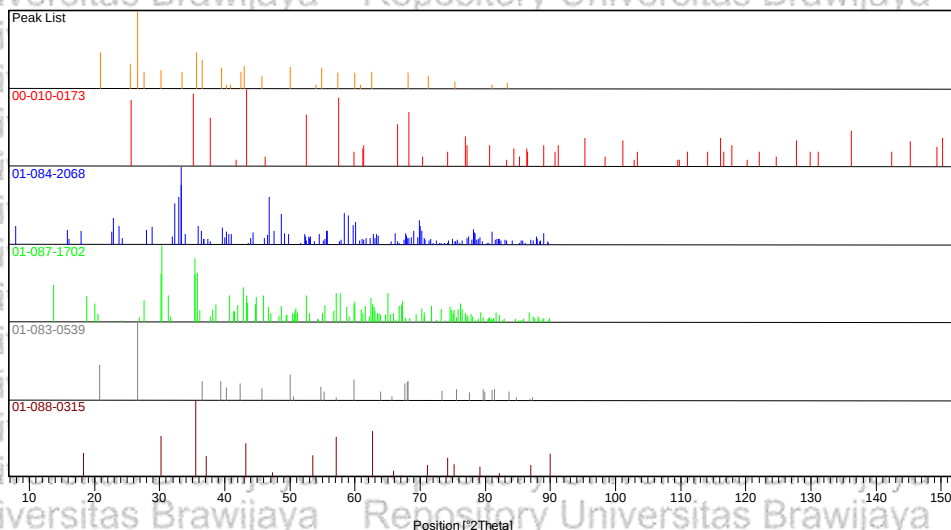
Visible	Ref. Code	Compound Name	Perct. (%)	Chemical Formula
*	00-010-0173	Alumina	12	Al ₂ O ₃
*	01-084-2068	Calcium Titanium Iron Oxide	5	Ca ₃ Ti Fe ₂ O ₈
*	01-087-1702	Hedenbergite	24	Ca Fe (Si ₂ O ₆)
*	01-083-0539	Quartz	50	Si O ₂
*	01-088-0315	Magnetite	8	Fe ₃ O ₄

Average Crystallite Size: (Fly Ash)

D = 61,95 nm



Plot of Identified Phases: (Fly Ash)





Name and formula

Reference code: 00-010-0173

Mineral name: Corundum, syn

Common name: alumina

PDF index name: Aluminum Oxide

Empirical formula: Al_2O_3

Chemical formula: Al_2O_3

Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral

Space group: R-3c

Space group number: 167

a (Å): 4,7580

b (Å): 4,7580

c (Å): 12,9910

Alpha (°): 90,0000

Beta (°): 90,0000

Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm³): 3,99

Measured density (g/cm³): 4,05

Volume of cell (10⁶ pm³): 254,70

Z: 6,00

RIR: 1,00

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
Mineral
Alloy, metal or intermetallic
Cement and Hydration Product
Corrosion
Common Phase
Educational pattern
Forensic
NBS pattern
Superconducting Material

Quality: Indexed (I)



Comments

Color: Blue, colorless, yellow purple to violet, green, pink to deep pigeon-blood red

Sample preparation: Sample annealed at 1400 C for four hours in an Al_2O_3 crucible.

Analysis: Spectroscopic analysis showed $<0.1\%$ K, Na, Si; $<0.01\%$ Ca, Cu, Fe, Mg, Pb; $<0.001\%$ B, Cr, Li, Mn, Ni.

Optical data: $A=1.7604$, $B=1.7686$, $\text{Sign}=-$

Additional pattern: See ICSD 60419 (PDF 77-2135). To replace 43-1484.

Melting point: 2050°

Temperature: Pattern taken at 26 C.

References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, 9, 3, (1960)*

Optical data: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I, 520*

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	1	2	3,47900	25,584	75,0
2	1	0	4	2,55200	35,137	90,0
3	1	1	0	2,37900	37,785	40,0
4	0	0	6	2,16500	41,685	1,0
5	1	1	3	2,08500	43,363	100,0
6	2	0	2	1,96400	46,184	2,0
7	0	2	4	1,74000	52,553	45,0
8	1	1	6	1,60100	57,519	80,0
9	2	1	1	1,54600	59,769	4,0
10	1	2	2	1,51400	61,166	6,0
11	0	1	8	1,51000	61,345	8,0
12	2	1	4	1,40400	66,548	30,0
13	3	0	0	1,37400	68,198	50,0
14	1	2	5	1,33700	70,359	2,0
15	2	0	8	1,27600	74,268	4,0
16	1	0	10	1,23900	76,882	16,0
17	1	1	9	1,23430	77,229	8,0
18	2	2	0	1,18980	80,695	8,0
19	3	0	6	1,16000	83,219	1,0
20	2	2	3	1,14700	84,378	6,0
21	1	3	1	1,13820	85,184	2,0
22	3	1	2	1,12550	86,378	6,0
23	1	2	8	1,12460	86,464	4,0
24	0	2	10	1,09880	89,021	8,0
25	0	0	12	1,08310	90,665	4,0
26	1	3	4	1,07810	91,204	8,0
27	2	2	6	1,04260	95,263	14,0
28	0	4	2	1,01750	98,410	2,0
29	2	1	10	0,99760	101,095	12,0

**Name and formula**

Reference code: 01-084-2068

ICSD name: Calcium Titanium Iron Oxide

Empirical formula: $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{O}_8\text{Ti}$ Chemical formula: $\text{Ca}_3\text{TiFe}_2\text{O}_8$ **Crystallographic parameters**

Crystal system: Orthorhombic

Space group: Pcm21

Space group number: 26

a (Å): 5, 5295

b (Å): 11, 2045

c (Å): 5, 4379

Alpha (°): 90, 0000

Beta (°): 90, 0000

Gamma (°): 90, 0000

Calculated density (g/cm³): 4, 02Volume of cell (10⁶ pm³): 336, 91

Z: 2, 00

RIR: 2, 86

Subfiles and QualitySubfiles: Inorganic
Corrosion
Modelled additional pattern

Quality: Calculated (C)

Comments

ICSD collection code: 203100

ReferencesPrimary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)Structure: Rodriguez Carvajal, J., Vallet Regi, M., Gonzalez Calbet, J.M., *Mater. Res. Bull.*, **24**, 423, (1989)

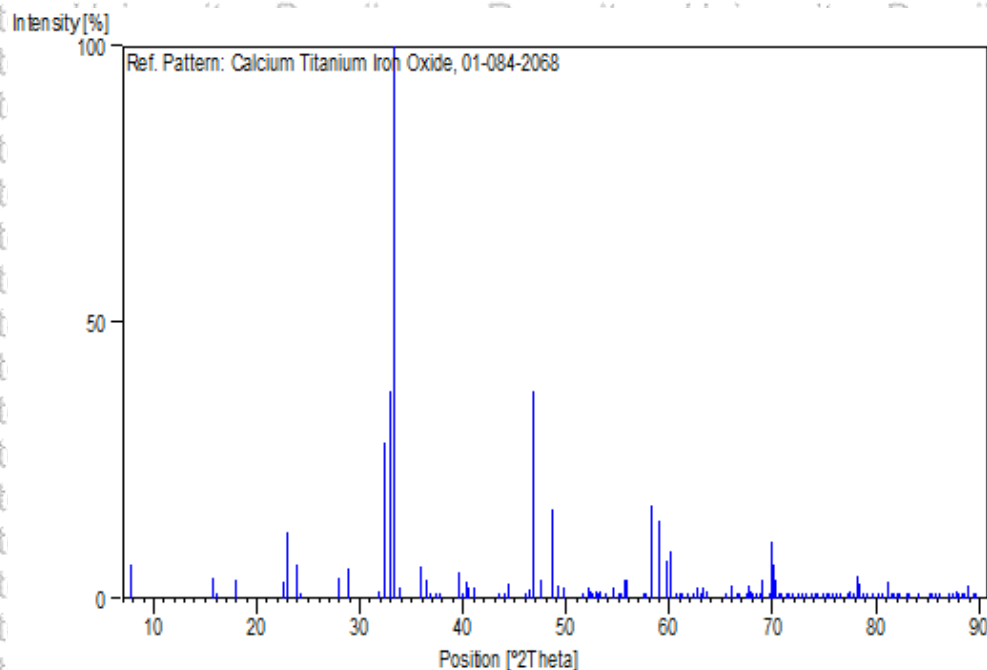
**Peak list**

No.	h	k	l	d, [Å]	2Theta [deg]	I, [%]
1	0	1	0	11,20450	7,884	6,1
2	0	2	0	5,60225	15,806	3,7
3	1	0	0	5,52950	16,016	0,6
4	1	1	0	4,95855	17,874	3,4
5	1	2	0	3,93542	22,575	2,9
6	1	0	1	3,87716	22,919	12,1
7	0	3	0	3,73483	23,805	6,0
8	1	1	1	3,66399	24,272	0,8
9	1	2	1	3,18812	27,964	3,6
10	1	3	0	3,09498	28,823	5,4
11	0	4	0	2,80112	31,924	1,3
12	2	0	0	2,76475	32,355	28,4
13	0	0	2	2,71895	32,915	37,7
14	1	3	1	2,68983	33,282	100,0
15	2	1	0	2,68424	33,353	60,6
16	0	1	2	2,64227	33,899	2,0
17	1	4	0	2,49879	35,910	5,8
18	2	0	1	2,46451	36,427	3,3
19	0	2	2	2,44609	36,711	0,6
20	1	0	2	2,43993	36,807	0,7
21	2	1	1	2,40697	37,329	0,7
22	1	1	2	2,38406	37,702	0,2
23	1	4	1	2,27055	39,663	4,9
24	2	2	1	2,25587	39,932	1,0
25	1	2	2	2,23698	40,284	2,9
26	2	3	0	2,22214	40,565	2,0
27	0	3	2	2,19815	41,027	1,9
28	1	5	0	2,07683	43,542	0,1
29	2	3	1	2,05702	43,984	0,8
30	1	3	2	2,04267	44,309	2,6
31	2	4	0	1,96771	46,092	0,9
32	0	4	2	1,95099	46,510	1,6
33	1	5	1	1,93858	46,826	37,7
34	2	1	2	1,91020	47,564	3,4
35	0	6	0	1,86742	48,723	16,1
36	2	4	1	1,85030	49,204	2,3
37	2	2	2	1,83200	49,728	1,9
38	1	6	0	1,76925	51,619	0,1
39	3	2	0	1,75084	52,203	1,9
40	3	0	1	1,74562	52,371	1,3
41	2	5	0	1,74087	52,524	0,3
42	0	5	2	1,72927	52,904	1,2
43	3	1	1	1,72481	53,051	0,8
44	1	0	3	1,72060	53,191	1,3
45	1	1	3	1,70245	53,804	0,2
46	1	6	1	1,68244	54,497	2,1
47	3	2	1	1,66659	55,058	0,3
48	2	5	1	1,65799	55,369	0,6
49	3	3	0	1,65285	55,556	3,5

[illegible]



Stick Pattern



Name and formula

Reference code: 01-087-1702

Mineral name: Hedenbergite, syn

ICSD name: Calcium Iron Silicate

Empirical formula: $\text{CaFeO}_6\text{Si}_2$

Chemical formula: $\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$

Crystallographic parameters

Crystal system: Monoclinic

Space group: C2/c

Space group number: 15

a (Å): 9,7220

b (Å): 8,8580

c (Å): 5,1670

Alpha (°): 90,0000

Beta (°): 104,0700

Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm³): 3,82

Volume of cell (10⁶ pm³): 431,62



Z: 4, 00

RIR: 1, 59

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at high or low pressure

Subfiles: Inorganic

Mineral

Corrosion

Quality: Modelled additional pattern

Calculated (C)

Comments

ICSD collection code: 083444

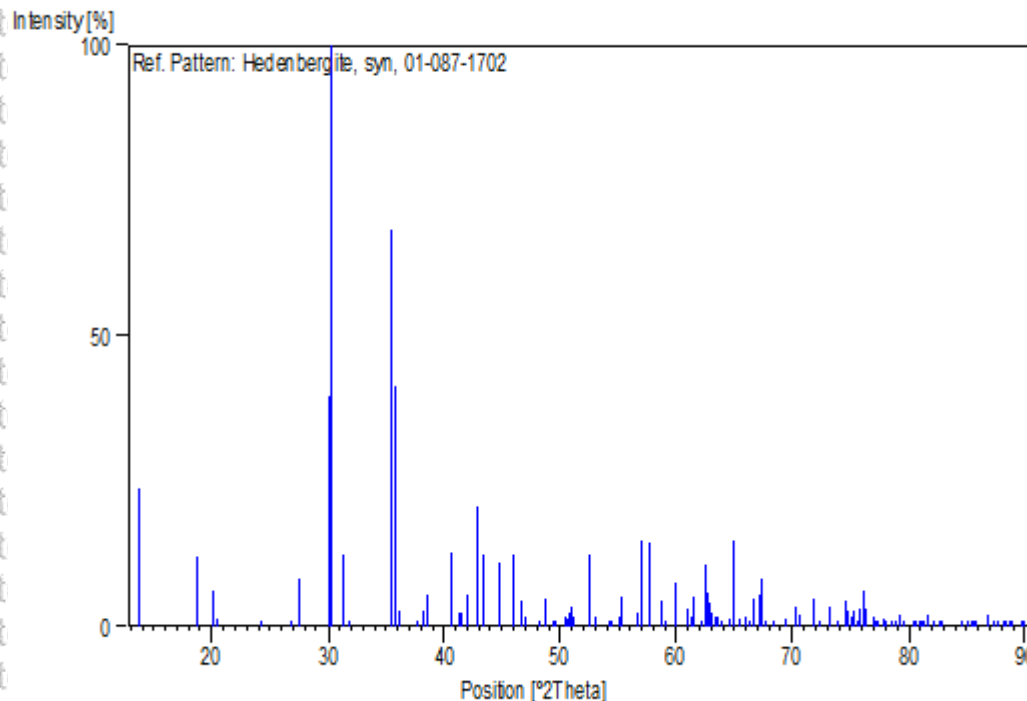
ReferencesPrimary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)Structure: Zhang, L., Ahsbahs, H., Hafner, S.S., Kutoglu, A., *Am. Mineral.*, **82**, 245, (1997)**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	6,45641	13,704	23,6
2	2	0	0	4,71517	18,805	11,9
3	0	2	0	4,42900	20,032	6,1
4	-1	1	1	4,32293	20,529	1,4
5	1	1	1	3,67396	24,205	0,1
6	0	2	1	3,31884	26,841	0,6
7	2	2	0	3,22820	27,610	8,3
8	3	1	0	2,96244	30,143	39,7
9	-2	2	1	2,94638	30,311	100,0
10	-3	1	1	2,85256	31,333	12,4
11	1	3	0	2,81778	31,730	0,7
12	-1	3	1	2,53617	35,363	39,0
13	2	2	1	2,52909	35,465	68,5
14	0	0	2	2,50599	35,803	41,4
15	-1	1	2	2,47954	36,198	2,7
16	1	3	1	2,38337	37,713	0,8
17	4	0	0	2,35758	38,141	2,8
18	3	1	1	2,32737	38,656	5,6
19	1	1	2	2,21513	40,699	12,8
20	0	2	2	2,18107	41,363	2,4
21	-3	1	2	2,17463	41,491	2,3
22	3	3	0	2,15214	41,945	5,4
23	-3	3	1	2,10888	42,848	20,8
24	-4	2	1	2,08717	43,316	12,2

[illegible]



Stick Pattern



Name and formula

Reference code: 01-083-0539

Mineral name: Quartz

ICSD name: Silicon Oxide

Empirical formula: O_2Si

Chemical formula: SiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal

Space group: P3121

Space group number: 152

a (Å): 4,9210

b (Å): 4,9210

c (Å): 5,4163

Alpha (°): 90,0000

Beta (°): 90,0000

Gamma (°): 120,0000

Calculated density (g/cm³): 2,63Volume of cell (10⁶ pm³): 113,59

Z: 3,00

RIR: 3,07

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at high or low temperature

Diffraction data collected at high or low pressure

Subfiles: Inorganic

Mineral

Alloy, metal or intermetallic

Corrosion

Modelled additional pattern

Quality: Calculated (C)

Comments

ICSD collection code: 079634

ReferencesPrimary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*, (1997)Structure: Glinnemann, J., King, Jr., H.E., Schulz, H., Hahn, Th.,
La Placa, S.J., Dacol, F., Z. Kristallogr., **198**, 177,
(1992)**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	0	4,26171	20,827	21,7
2	1	0	1	3,34924	26,593	100,0
3	1	1	0	2,46050	36,488	6,5
4	0	1	2	2,28570	39,389	6,6
5	1	1	1	2,24018	40,224	3,1
6	2	0	0	2,13086	42,384	4,9
7	0	2	1	1,98292	45,718	2,8
8	1	1	2	1,82111	50,046	11,3
9	0	0	3	1,80543	50,511	0,4
10	2	0	2	1,67462	54,772	3,4
11	1	0	3	1,66241	55,209	1,5
12	2	1	0	1,61078	57,138	0,2
13	2	1	1	1,54395	59,857	7,9
14	1	1	3	1,45561	63,902	1,5
15	3	0	0	1,42057	65,673	0,4
16	2	1	2	1,38440	67,616	4,9
17	0	2	3	1,37748	68,002	6,1
18	3	0	1	1,37409	68,193	6,6
19	0	1	4	1,29050	73,296	1,8

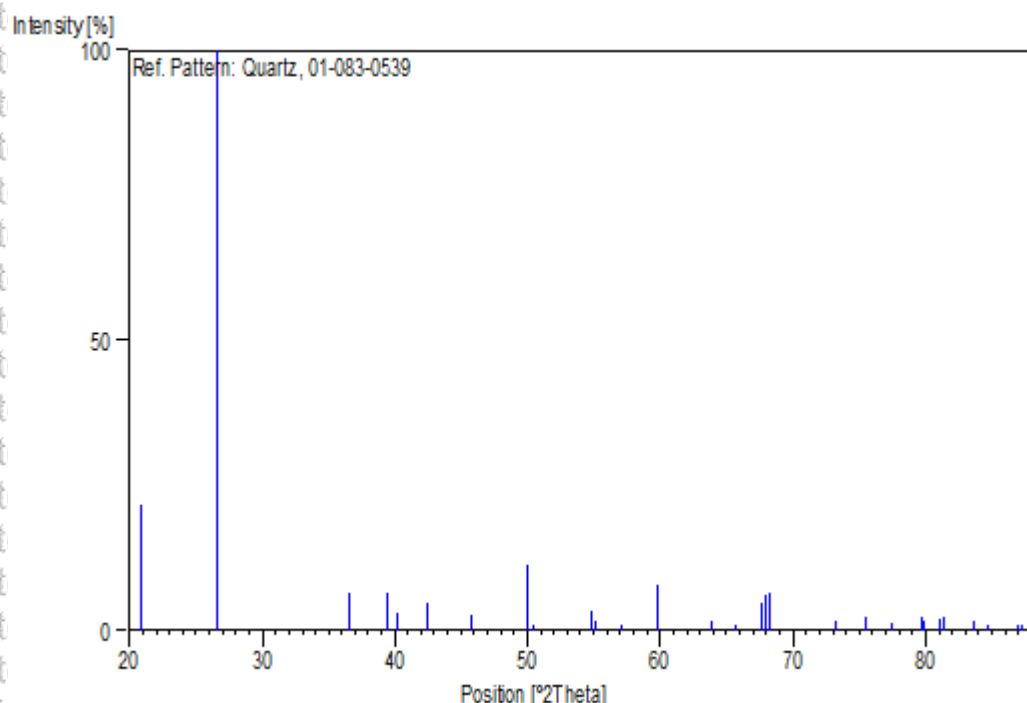


20	0	3	2	1,25800	75,515	2,4
21	2	2	0	1,23025	77,531	1,3
22	1	2	3	1,20194	79,715	2,4
23	2	2	1	1,19969	79,895	1,5
24	1	1	4	1,18630	80,982	2,1
25	3	1	0	1,18199	81,339	2,4
26	3	1	1	1,15481	83,677	1,5
27	0	2	4	1,14285	84,756	0,2
28	2	2	2	1,12009	86,899	0,1
29	0	3	3	1,11641	87,257	0,2

30	0	3	2	1,25800	75,515	2,4
31	2	2	0	1,23025	77,531	1,3
32	1	2	3	1,20194	79,715	2,4
33	2	2	1	1,19969	79,895	1,5
34	1	1	4	1,18630	80,982	2,1
35	3	1	0	1,18199	81,339	2,4
36	3	1	1	1,15481	83,677	1,5
37	0	2	4	1,14285	84,756	0,2
38	2	2	2	1,12009	86,899	0,1
39	0	3	3	1,11641	87,257	0,2

40	0	3	2	1,25800	75,515	2,4
41	2	2	0	1,23025	77,531	1,3
42	1	2	3	1,20194	79,715	2,4
43	2	2	1	1,19969	79,895	1,5
44	1	1	4	1,18630	80,982	2,1
45	3	1	0	1,18199	81,339	2,4
46	3	1	1	1,15481	83,677	1,5
47	0	2	4	1,14285	84,756	0,2
48	2	2	2	1,12009	86,899	0,1
49	0	3	3	1,11641	87,257	0,2

Stick Pattern



Name and formula

Reference code: 01-088-0315

Mineral name: Magnetite - synthetic

ICSD name: Iron Oxide

Empirical formula: Fe_3O_4

Chemical formula: Fe_3O_4



Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
 Space group: Fd-3m
 Space group number: 227
 a (Å): 8,3750
 b (Å): 8,3750
 c (Å): 8,3750
 Alpha (°): 90,0000
 Beta (°): 90,0000
 Gamma (°): 90,0000

Calculated density (g/cm³): 5,24
 Volume of cell (10⁶ pm³): 587,43
 Z: 8,00

RIR: 5,10

Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic
 Mineral
 Alloy, metal or intermetallic
 Corrosion
 Modelled additional pattern
 Quality: Calculated (C)

Comments

ICSD collection code: 084611

References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++
 Structure: Sasaki, S., Acta Crystallogr., Sec. B: Structural Science, **53**, 762, (1997)

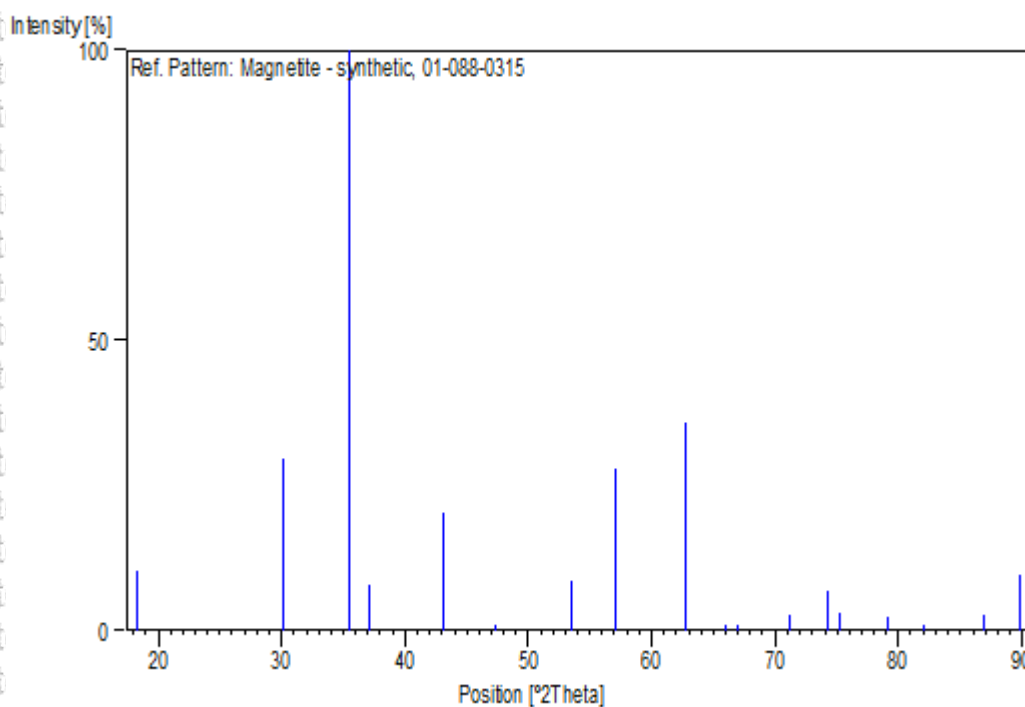
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	4,83531	18,333	10,3
2	2	2	0	2,96101	30,158	29,6
3	3	1	1	2,52516	35,522	100,0
4	2	2	2	2,41765	37,158	7,9
5	4	0	0	2,09375	43,173	20,4
6	3	3	1	1,92136	47,271	0,5
7	4	2	2	1,70954	53,563	8,4
8	5	1	1	1,61177	57,100	27,9



9	4	4	0	1,48050	62,704	35,9
10	5	3	1	1,41563	65,932	0,9
11	4	4	2	1,39583	66,989	0,1
12	6	2	0	1,32420	71,142	2,7
13	5	3	3	1,27718	74,188	6,8
14	6	2	2	1,26258	75,193	3,0
15	4	4	4	1,20883	79,171	2,2
16	5	5	1	1,17273	82,119	0,4
17	6	4	2	1,11916	86,989	2,7
18	7	3	1	1,09033	89,899	9,7

Stick Pattern



9	4	4	0	1,48050	62,704	35,9
10	5	3	1	1,41563	65,932	0,9
11	4	4	2	1,39583	66,989	0,1
12	6	2	0	1,32420	71,142	2,7
13	5	3	3	1,27718	74,188	6,8
14	6	2	2	1,26258	75,193	3,0
15	4	4	4	1,20883	79,171	2,2
16	5	5	1	1,17273	82,119	0,4
17	6	4	2	1,11916	86,989	2,7
18	7	3	1	1,09033	89,899	9,7

9	4	4	0	1,48050	62,704	35,9
10	5	3	1	1,41563	65,932	0,9
11	4	4	2	1,39583	66,989	0,1
12	6	2	0	1,32420	71,142	2,7
13	5	3	3	1,27718	74,188	6,8
14	6	2	2	1,26258	75,193	3,0
15	4	4	4	1,20883	79,171	2,2
16	5	5	1	1,17273	82,119	0,4
17	6	4	2	1,11916	86,989	2,7
18	7	3	1	1,09033	89,899	9,7

9	4	4	0	1,48050	62,704	35,9
10	5	3	1	1,41563	65,932	0,9
11	4	4	2	1,39583	66,989	0,1
12	6	2	0	1,32420	71,142	2,7
13	5	3	3	1,27718	74,188	6,8
14	6	2	2	1,26258	75,193	3,0
15	4	4	4	1,20883	79,171	2,2
16	5	5	1	1,17273	82,119	0,4
17	6	4	2	1,11916	86,989	2,7
18	7	3	1	1,09033	89,899	9,7

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian di Lapangan



Tempat Penelitian di PLTU



Peneliti di dekat Cerobong/Stack



Pipa Transmisi Fly Ash menuju ESP



Abu Sisa Pembakaran di Grate



Induced Draft Fan Pada PLTU-X



Coal Feder



Coal Bunker



Silo Penampungan Fly Ash



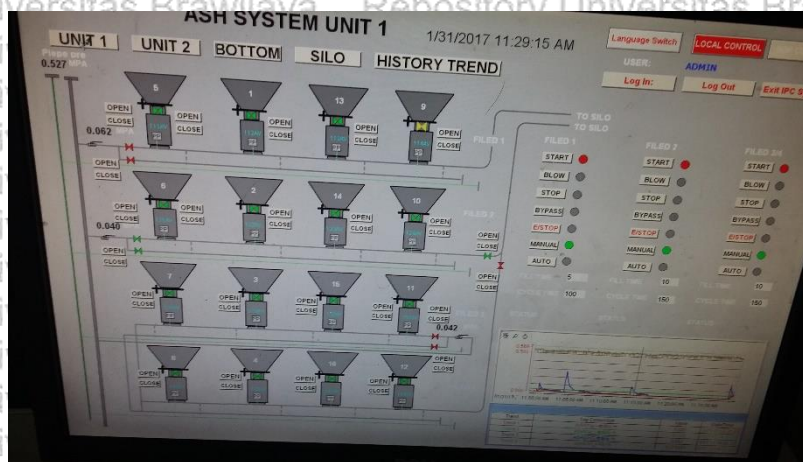
Coal Mill



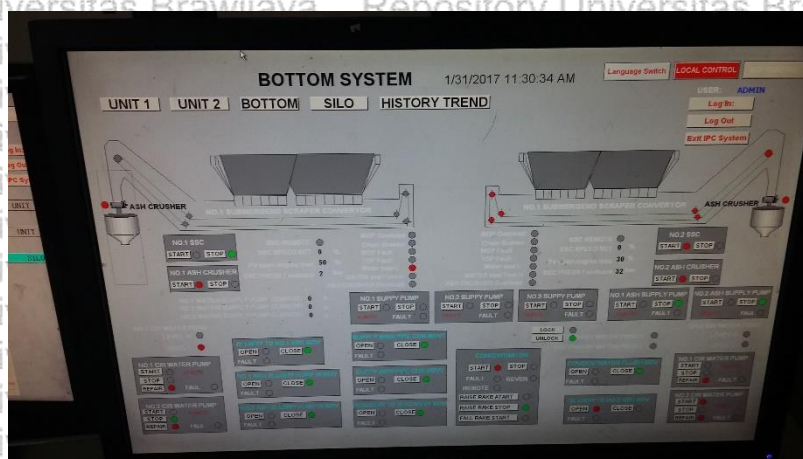
Crusher Fly Ash



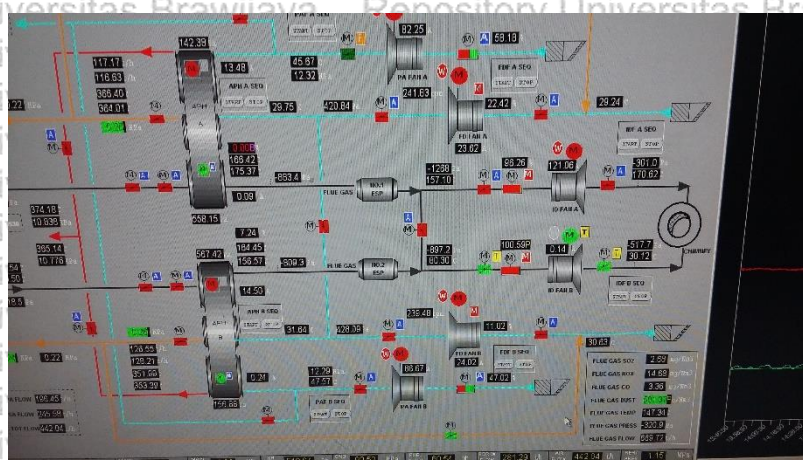
Selang Pembuangan Dari Silo



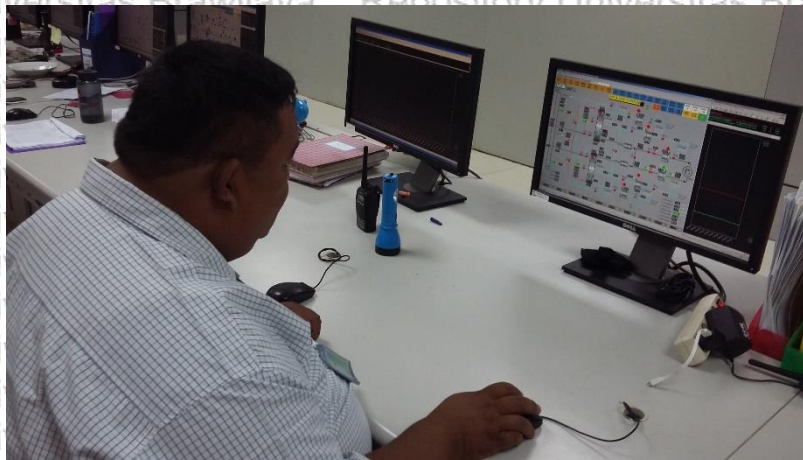
Air Gas System



Condensate Water System



Turbine TSI System



Ruang Control System Pada PLTU-X



Stock File Batubara



Stacking & Reclainer



BC Batubara



Diskusi dengan Kasub Pembangkitan



Diskusi Dengan Kasub Lingkungan



Laboratorium Univ. Negerii Malang



Penangkapan Fly Ash Sekitar PLTU-X



Pengamatan air disekitar PLTU-X



Tempat Pemuatan Fly Ash Di Silo



ESP Pada PLTU



Instalasi ESP



Water TNK



Jalur Pipa Fly Ash

Lampiran 11. Laporan Hasil Uji XRF

195



UNIVERSITAS NEGERI MALANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)
Jalan Semarang 5, Malang 65145
Telp. 0341-551312 (paw 200) / 574895 / 085106001088
E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id
Website : central-laboratory.um.ac.id

LAPORAN HASIL UJI
No. LSUM.LHU.E.00222.2017

Nomor Pengujian : LSUM.P.00187.2017
 Nomor Sampel : SILO (E 194)
 Nama Pelanggan : Hendri P.
 Instansi Pelanggan : UB
 Jenis Karakterisasi : XRF
 Sampel Diterima Tanggal : 30 Mei 2017

Hasil

Compound	Conc (%)	Metode
Al	3.9	XRF
Si	11.6	
K	1.3	
Ca	15.2	
Ti	1.30	
V	0.05	
Cr	0.11	
Mn	0.84	
Fe	58.34	
Ni	2.10	
Cu	0.30	
Zn	0.14	
Sr	0.93	
Mo	1.9	
Ba	0.86	
Eu	0.59	
Re	0.54	

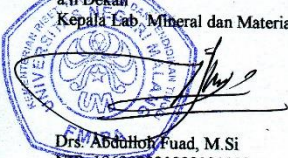
Unsur terdapat dalam matrik dan tidak dicatatkan

UML → FUAD

Keterangan :

- Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji
- Dilarang menggandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.

Malang, 05 Juni 2017
 a.n Dekan
 Kepala Lab. Mineral dan Material Maju



Drs. Abdulloh Fuad, M.Si
 NIP. 196302221988121002



Lampiran 12. Laporan Hasil Uji SEM (1)

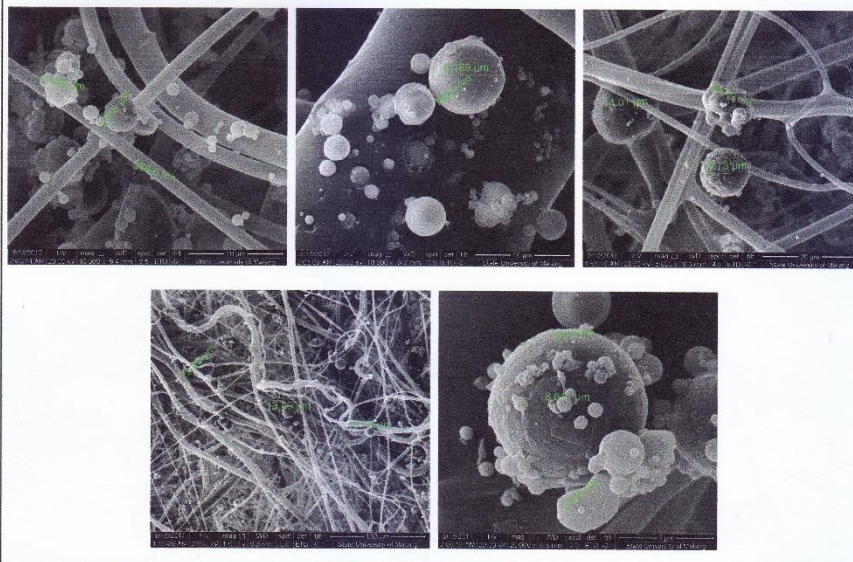


UNIVERSITAS NEGERI MALANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)
Jalan Semarang 5, Malang 65145
Telp. 0341-551312 (psw 200) 574895/ 085106001088
E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id
Website : central-laboratory.um.ac.id

LAPORAN HASIL UJI LSUM.LHU.A.00101.2017

Nomor Pengujian : LSUM.P.00187.2017
Nomor Sampel : A126 - [Silo N 95]
Nama Pelanggan : Hendry Prananta
Instansi Pelanggan : UB
Jenis Karakterisasi : SEM
Sampel Diterima Tanggal : 30 Mei 2017

Hasil



Keterangan :

1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji
2. Dilarang menggunakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.

Malang, 15 Juni 2017
a.n Dekan
Kepala Lab. Mineral dan Material Maju

Drs. Abdullloh Fuad, M.Si
NIP. 196302221988121002

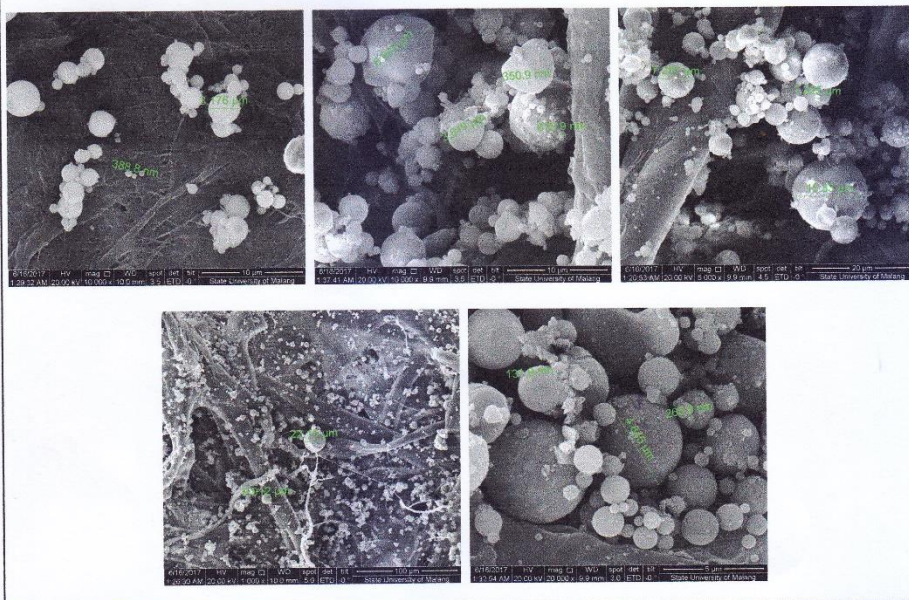


Lampiran 13. Laporan Hasil Uji SEM (2)

UNIVERSITAS NEGERI MALANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)Jalan Semarang 5, Malang 65145
Telp. 0341-551312 (psw 200) 574895/ 085106001088
E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id
Website : central-laboratory.um.ac.idLAPORAN HASIL UJI
LSUM.LHU.A.00099.2017

Nomor Pengujian : LSUM.P.00187.2017
Nomor Sampel : A124 - [Silo WM No.40]
Nama Pelanggan : Hendry Prananta
Instansi Pelanggan : UB
Jenis Karakterisasi : SEM
Sampel Diterima Tanggal : 30 Mei 2017

Hasil



Keterangan :

1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji
2. Dilarang menggandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.

Malang, 15 Juni 2017

Kepala Lab. Mineral dan Material Maju

Drs. Abdulloh Fuad, M.Si
NIP. 196302221988121002



Lampiran 14. Laporan Hasil Uji SEM (3)

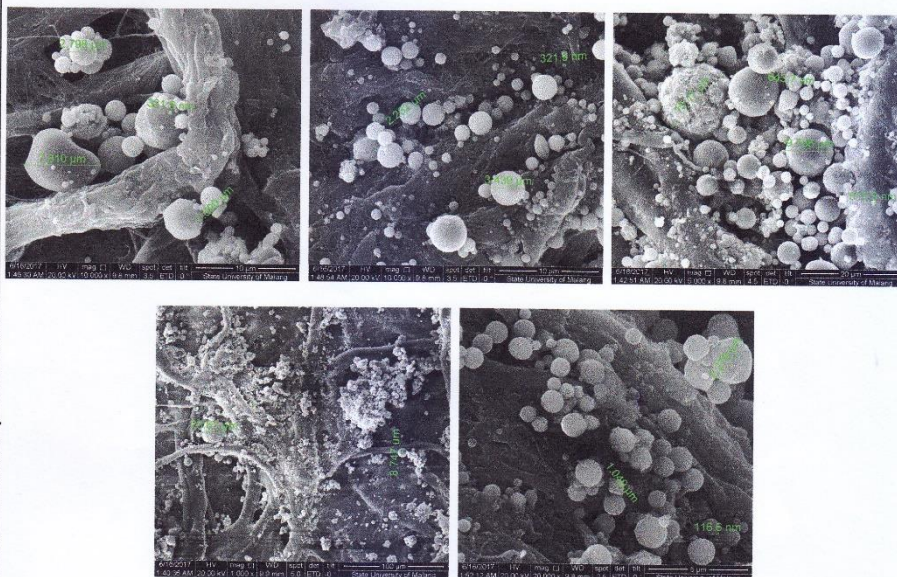


UNIVERSITAS NEGERI MALANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)
Jalan Semarang 5, Malang 65145
Telp. 0341-551312 (psw 200) 574895/085106001088
E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id
Website : central-laboratory.um.ac.id

LAPORAN HASIL UJI LSUM.LHU.A.00100.2017

Nomor Pengujian : LSUM.P.00187.2017
Nomor Sampel : A125 – [Silo WM No.5]
Nama Pelanggan : Hendry Prananta
Instansi Pelanggan : UB
Jenis Karakterisasi : SEM
Sampel Diterima Tanggal : 30 Mei 2017

Hasil



Keterangan :

1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji
2. Dilarang menggandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.

Malang, 15 Juni 2017

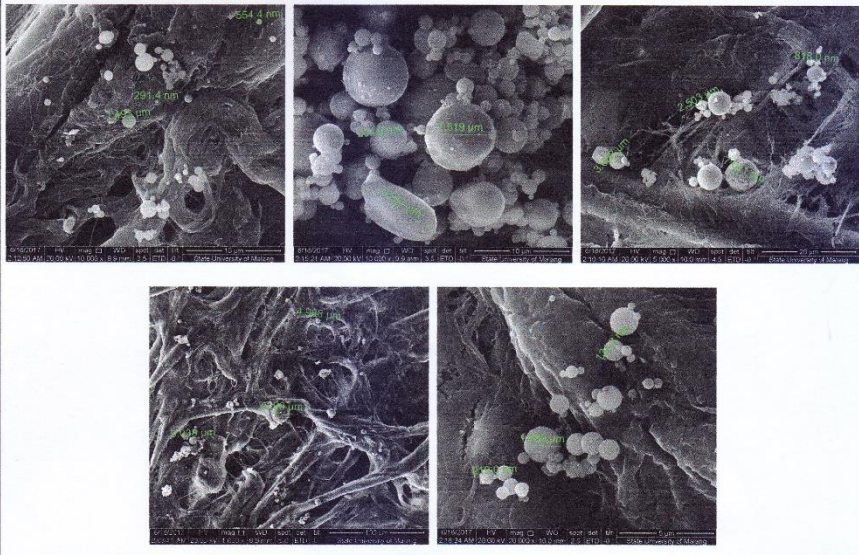
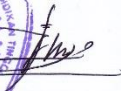
Dekan,
Kepala Lab. Mineral dan Material Maju



Drs. Abdulloh Fiyad, M.Si
NIP. 196302221988121002

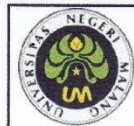


Lampiran 15. Laporan Hasil Uji SEM (4)

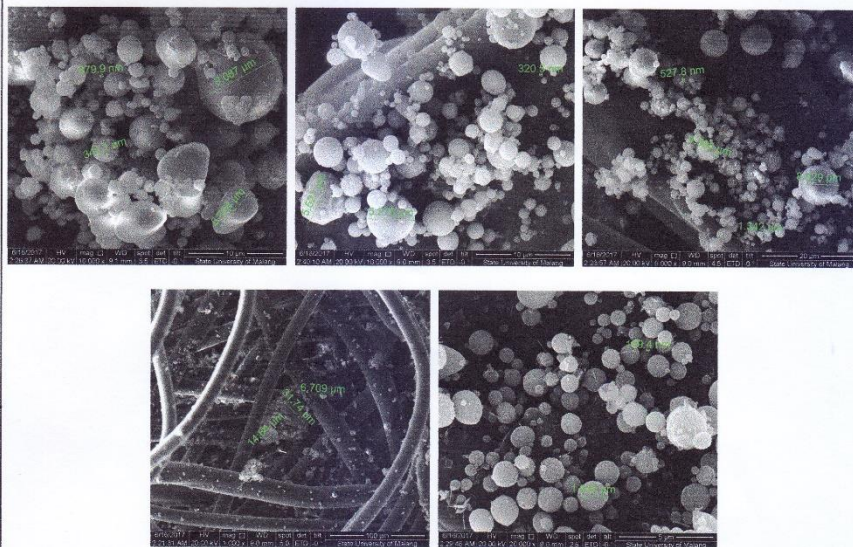
		UNIVERSITAS NEGERI MALANG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL) Jalan Semarang 5, Malang 65145 Telp. 0341-551312 (psw 200) 574895/ 085106001088 E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id Website : central-laboratory.um.ac.id
LAPORAN HASIL UJI LSUM.LHU.A.00102.2017		
Nomor Pengujian	: LSUM.P.00187.2017	
Nomor Sampel	: A127 – [Lapangan WM No.5]	
Nama Pelanggan	: Hendry Prananta	
Instansi Pelanggan	: UB	
Jenis Karakterisasi	: SEM	
Sampel Diterima Tanggal	: 30 Mei 2017	
Hasil		
		
Keterangan : 1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji 2. Dilarang menggandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.		
Malang, 15 Juni 2017 an Dekan Kepala Lab Mineral dan Material Maju  Drs. Abdulloh Fuad, M.Si NIP. 196302221988121002		



Lampiran 16. Laporan Hasil Uji SEM (5)

UNIVERSITAS NEGERI MALANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)Jalan Semarang 5, Malang 65145
Telp. 0341-551312 (psw 200) 574895/085106001088
E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id
Website : central-laboratory.um.ac.id**LAPORAN HASIL UJI**
LSUM.LHU.A.00103.2017

Nomor Pengujian : LSUM.P.00187.2017
Nomor Sampel : A128 - [Lapangan N 95]
Nama Pelanggan : Hendry Prananta
Instansi Pelanggan : UB
Jenis Karakterisasi : SEM
Sampel Diterima Tanggal : 30 Mei 2017

Hasil**Keterangan :**

1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji
2. Dilarang mengandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.

Malang, 15 Juni 2017

Kepala Lab Mineral dan Material Maju

Drs. Abdulloh Fyad, M.Si
NIP. 196302221988121002



Lampiran 17. Laporan Hasil Uji SEM (6)



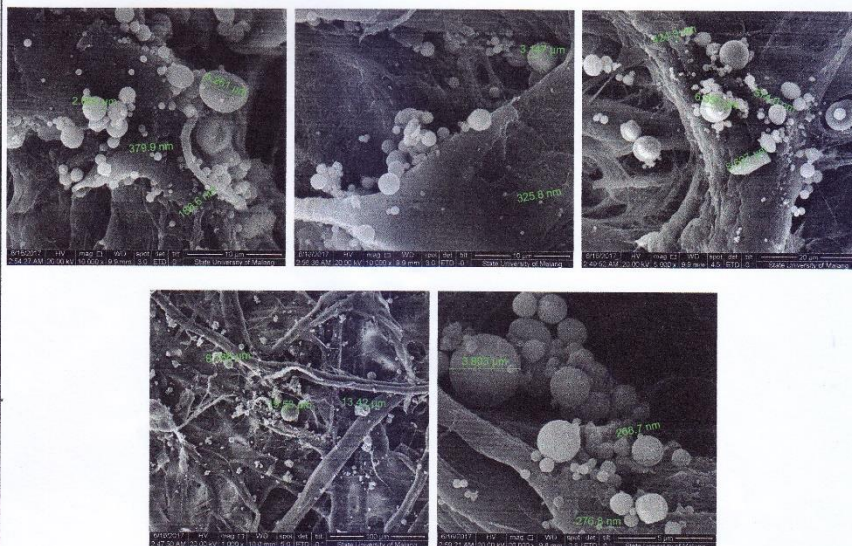
UNIVERSITAS NEGERI MALANG FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)

Jalan Semarang 5, Malang 65145
Telp. 0341-551312 (paw 200) 574895/085106001088
E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id
Website : central-laboratory.um.ac.id

LAPORAN HASIL UJI LSUM.LHU.A.00104.2017

Nomor Pengujian : LSUM.P.00187.2017
Nomor Sampel : A129 – [Lapangan WM No.40]
Nama Pelanggan : Hendry Prananta
Instansi Pelanggan : UB
Jenis Karakterisasi : SEM
Sampel Diterima Tanggal : 30 Mei 2017

Hasil



Keterangan :

1. Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji
2. Dilarang menggandakan sebagian laporan hasil pengujian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Mineral dan Material Maju.

Malang, 15 Juni 2017
Kepala Lab. Mineral dan Material Maju

[Signature]
Drs. Abdullloh Fuad, M.Si
NIP. 196302221988121002



Lampiran 18. Perhitungan Konsentrasi Secara Manual

$$\begin{aligned} V \text{ Hisap PM 1} &= 1,34 \text{ m/s} \\ V \text{ Hisap PM 2,5} &= 0,06 \text{ m/s} \\ V \text{ Hisap PM 8} &= 0,171 \text{ m/s} \end{aligned}$$

PLTU PM 1

$$\begin{aligned} m &= 7,267 \text{ gr} \\ t &= 3600 \text{ s} \\ A &= 9,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ V &= 1,34 \text{ m/s} \\ M &= \frac{7,267 \text{ gr}}{3,600 \text{ g}} \\ C &= \frac{\frac{7,267 \text{ gr}}{3600 \text{ g}}}{\frac{9,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \times 1,34 \text{ m/s}}{7,267 \text{ gr}}} \\ &= \frac{9,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \times 1,34 \text{ m/s} \times 3600}{7,267 \text{ gr}} \\ &= \frac{9,07 \cdot 10^{-4} \cdot 1,34 \text{ m}^3 \cdot 3600}{7,267 \text{ gr}} \\ &= \frac{9,07 \cdot 10^{-4} \cdot 1,34 \cdot 3600 \text{ m}^3}{0,007267 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} \\ &= \frac{9,07 \cdot 10^{-4} \cdot 1,34 \cdot 3600 \text{ m}^3}{0,007267 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} \\ &= 4,375 \text{ m}^3 \\ &= 0,00166 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$C (\text{PM 1}) = 1,66 \cdot 10^{-6} \text{ gr/m}^3$$

PLTU PM 2,5

$$\begin{aligned} m &= 1,2784 \text{ gr} \\ t &= 3600 \text{ s} \end{aligned}$$

Vhisap PM1 = 1,34 m/s
Vhisap PM2,5 = 0,06 m/s



$$V_{\text{hisap}} \text{ PM } 8 = 0,17 \text{ m/s}$$

Diluar PLTU (1 Jam)

$$C \text{ pada PM } 1 = 1,66 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3 \rightarrow 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ mgr/cm}^3 = 0,00166 \text{ mgr/cm}^3$$

$$C \text{ pada PM } 2,5 = 6,525 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

$$C \text{ pada PM } 8 = 2,236 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

Diluar PLTU 45 (Menit)

$$C \text{ pada PM } 1 = 1,3646 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

$$C \text{ pada PM } 2,5 = 5,322 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

$$C \text{ pada PM } 8 = 1,71265 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

Diluar PLTU (30 Menit)

$$C \text{ pada PM } 1 = 1,4595 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

$$C \text{ pada PM } 2,5 = 6,462 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

$$C \text{ pada PM } 8 = 2,1186 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

Di dalam Silo (20 Menit)

$$C \text{ pada PM } 1 = 4,953 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{PM } 2,5 = 19,661 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{PM } 8 = 7,15567 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

Di dalam Silo (30 Menit)

$$C \text{ pada PM } 1 = 45,938 \cdot 10^{-16} \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{PM } 2,5 = 14,68 \cdot 10^{-16} \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{PM } 8 = 4,99 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

(Diluar)

$$45 \text{ Menit} = 2700 \text{ s}$$

$$M = 4,478 \text{ gr}$$

$$C = \frac{4,478 \text{ kg} \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1,34 \text{ m/s} \cdot 2700 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{4,478 \text{ kg} \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \times 1,34 \times 2700 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{4,478 \text{ kg} \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{3,281526 \text{ m}^3}$$

$$= 0,0013646 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,3646 \text{ gr/m}^3$$

$$= 1,3646 \cdot 10^{-6} \text{ gr/cm}^3$$

$$M = 0,782 \text{ gr}$$

$$C = 0,782 \cdot 10^{-3} \text{ gr}$$



$$9,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0,06 \text{ m/s} \cdot 2700 \text{ g}$$

$$= \frac{0,782 \cdot 10^{-3} \text{ gr}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 0,06 \times 2700 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{0,782 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,146934 \text{ m}^3}$$

$$= 0,005322 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 5,322 \text{ gr} / \text{m}^3$$

$$= 5,322 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$M = 0,713 \text{ gr}$$

$$C = \frac{0,713 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 0,17 \text{ m/s} \cdot 2700 \text{ s}}$$

$$= \frac{0,713 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 0,17 \times 2700 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{0,713 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,416313 \text{ m}^3}$$

$$= 0,00171265$$

$$= 1,71265 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$30 \text{ menit} = 1800 \text{ s}$$

$$M = 3,193 \text{ gr}$$

$$C = \frac{3,193 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 1,34 \times 1800 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{3,193 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{2,187684 \text{ m}^3}$$

$$= 0,0014595 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 1,4595 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$M = 0,633 \text{ gr}$$

$$C = \frac{0,633 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 0,06 \times 1800 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{0,633 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,097956 \text{ m}^3}$$

$$= 0,006462 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 6,462 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$M = 0,588 \text{ gr}$$

$$C = \frac{0,588 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 0,17 \times 1800 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{0,588 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,277542 \text{ m}^3}$$

$$= 0,0021187$$

$$= 2,1187 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$



$$= 0,0021186 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 2,1186 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$

(Di dalam)

20 Menit.

$$M = 7,225 \text{ gr}$$

$$C = 7,225 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\frac{9,07 \cdot 10^{-4} \times 1,34 \times 1200 \text{m}^3}{1,45845 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{7,225 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{1,45845 \text{ m}^3}$$

$$= 0,004953 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 4,953 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$M = 1,284 \text{ gr}$$

$$= \frac{1,284 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 0,06 \times 1200 \text{m}^3}$$

$$= \frac{1,284 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,0065304 \text{ m}^3}$$

$$= 0,019661 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$= 19,661 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$M = 1,324 \text{ gr}$$

$$= \frac{1,324 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 0,17 \times 1200 \text{m}^3}$$

$$= \frac{1,324 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,185028 \text{ m}^3}$$

$$= 0,00715567$$

$$= 7,15567 \cdot 10^{-6} \text{ gr} / \text{cm}^3$$



30 Menit

$$M = 10,050 \text{ gr}$$

$$C = \frac{10,050 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 1,34 \times 1800 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{10,050 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{2,187684 \text{ m}^3}$$

$$= 0,045938 \text{ kg / m}^3$$

$$= 45,938 \cdot 10^{-6} \text{ gr / cm}^3$$

$$M = 1,438 \text{ gr}$$

$$C = \frac{1,438 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 0,006 \times 1800 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{1,438 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,097956 \text{ m}^3}$$

$$= 0,01468 \text{ kg / m}^3$$

$$= 14,68 \cdot 10^{-6} \text{ gr / cm}^3$$

$$M = 1,385 \text{ gr}$$

$$C = \frac{1,385 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{9,07 \cdot 10^{-4} \times 0,17 \times 1800 \text{ m}^3}$$

$$= \frac{1,385 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{0,277542 \text{ m}^3}$$

$$= 0,00499 \text{ kg / m}^3$$

$$= 4,99 \cdot 10^{-6} \text{ gr / cm}^3$$

$$X = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$= 10,28 \sqrt{\frac{2,186}{9,8}}$$

$$= 10,28 \sqrt{\frac{362}{9,8}}$$

$$= 10,28 \sqrt{37,551}$$

$$= 62,99 \leftarrow \rightarrow 63 \text{ Meter}$$

$$X = V_o X_{\text{total}}$$

$$= V_o \cos X$$

$$= \frac{V_o^2 \sin 2X}{g}$$

$$X = \frac{10,28^2 \cdot \sin 2X}{9,8}$$

$$= \frac{104,6784 \cdot \sin 2X}{9,8} = \frac{105,6784 \cdot \sin 2X}{9,8}$$

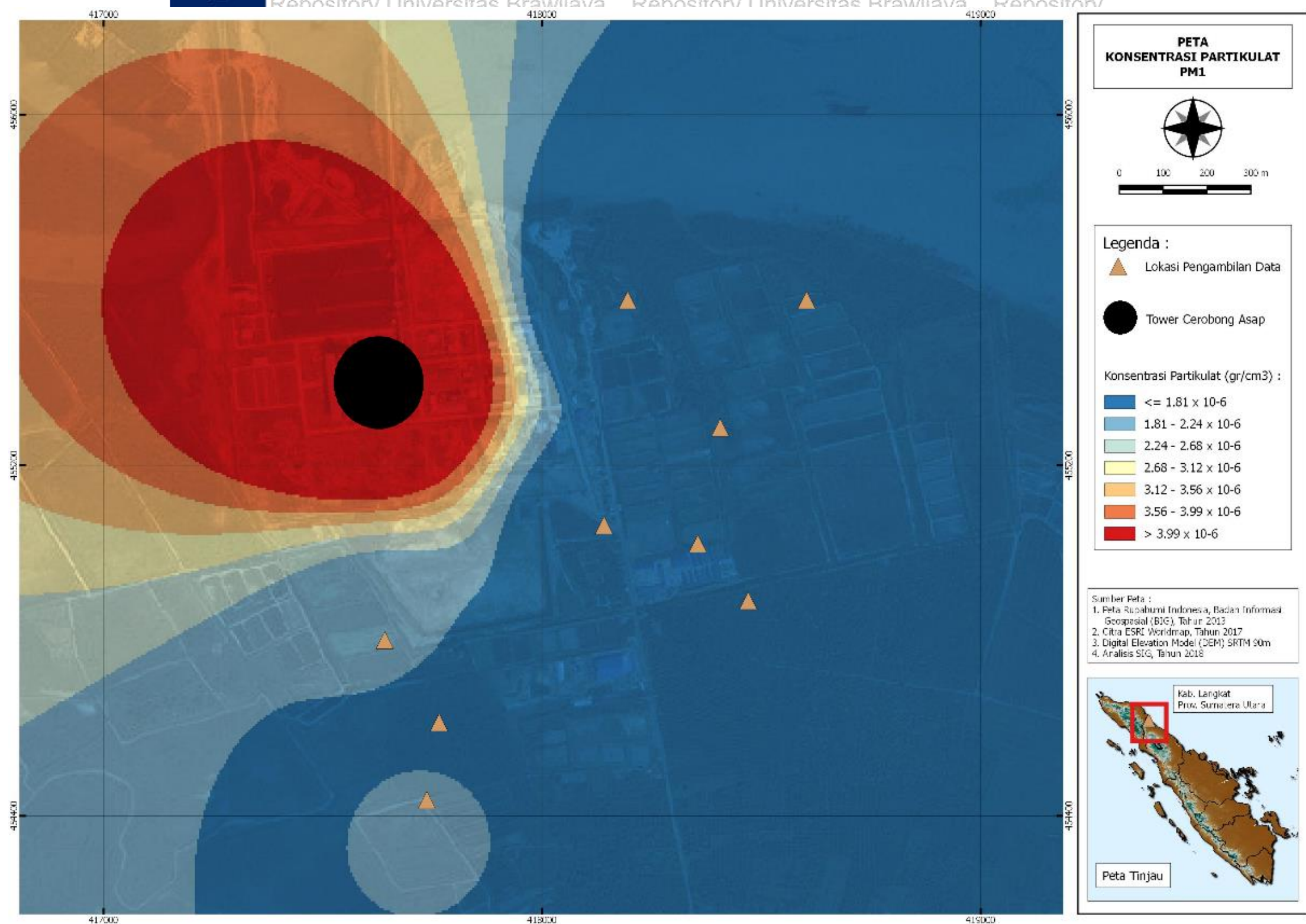


Lampiran 19. Titik kordinat pengambilan sampel PM 1

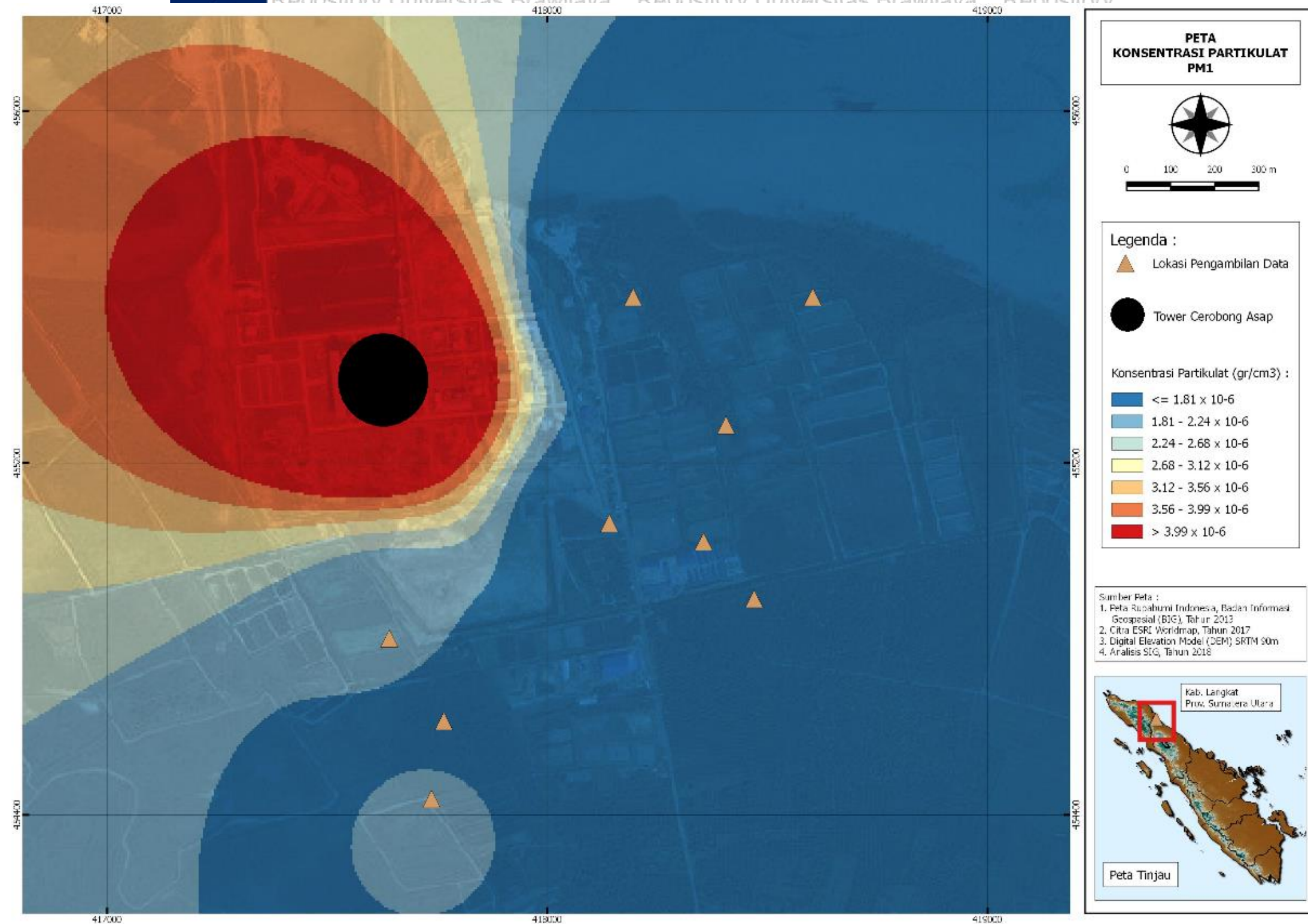
KONSENTRASI PARTIKULAT PM1

No.	PM	Konsentrasi Partikulat (gr/cm^3) Y	Waktu Pengambilan (Menit) X_1	Kec. Hisap (m/s) X_2	Jarak (m) X_3	Koordinat	
						Longitude	Latitude
1.	PM1	0.000004953	20	1,34	0	417632	455391
2.	PM1	0.000004594	30	1,34	0	417632	455391
3.	PM1	0.000001409	30	1,34	600	418141	455063
4.	PM1	0.000001359	45	1,34	801	418355	455021
5.	PM1	0.000001661	60	1,34	985	418470	454891
6.	PM1	0.000001961	30	1,34	589	417641	454801
7.	PM1	0.000001097	45	1,34	804	417765	454613
8.	PM1	0.000001889	60	1,34	987	417737	454436
9.	PM1	0.000001009	30	1,34	597	418195	455577
10.	PM1	0.000001639	45	1,34	797	418406	455286
11.	PM1	0.000001460	60	1,34	996	418603	455577

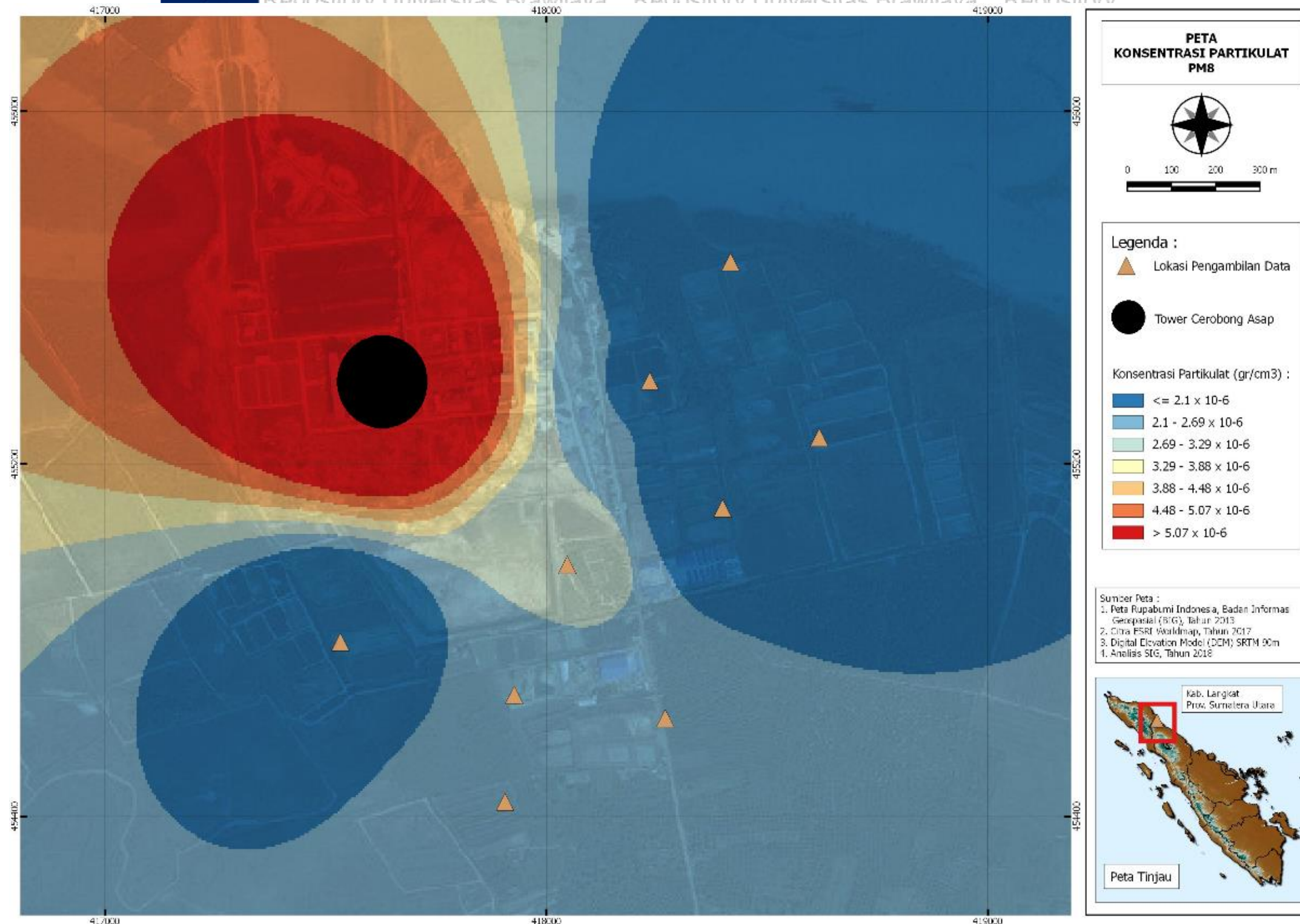
Lampiran 20. Peta sebaran partikulat PM 1



Lampiran 21. Peta sebaran partikulat PM 2,5



Lampiran 22. Peta sebaran partikulat PM 8



E-ISSN: 2407-246X



IISS PROCEEDING

**International
Interdisciplinary
Studies
Seminar**

**GRADUATE PROGRAM
BRAWIJAYA UNIVERSITY
2016**

Jadwal Presentasi International Interdisciplinary Studies Seminar Program Pascasarjana Universitas Brawijaya
Environmental Policy
13 April 2016

No	Penulis			Judul	Hari- Tgl	Pukul	Ruang	Moderator
1	Dyah Ayu Wijayanti			Human Activities and Implications Pollution on The Prenduan Coastal, Sumenep, East Java Indicators: Expression of Metallothionein (Mt) In Gills Oyster (<i>Crassostrea cucullata</i>)	Rabu, 13 April 2016	12.45-13.00 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
2	Faizal Andri	Eko Widadodo		Meta-Analysis of Dietary Exogenous Enzymes Supplementation on Crude Protein Digestibility of Broiler: A Statistical Approach toward Environmentally-Friendly Broiler Production	Rabu, 13 April 2016	13.00-13.15 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
3	Febi Wahyu Sulistyadi			Change Landscape Residential Area and Vegetation Around the Military Airbase Abdul Rachman Saleh with Mapping Method	Rabu, 13 April 2016	13.15-13.30 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
4	Hendri Prananta Perangin Angina			Washing Coal Use The Chance Cone	Rabu, 13 April 2016	13.30-13.45 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
5	Matfuch			Eksplorasi Efek Antibakteri <i>Holothuria scabra</i> Terhadap Bakteri <i>Aeromonas hydrophila</i>	Rabu, 13 April 2016	13.45-14.00 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
6	Purnomo			Ethnobotany of Plants Custom Javanese Wedding Ceremonies: Plants As A Symbol of Hope and The Doctrine of Life	Rabu, 13 April 2016	14.15-14.30 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
7	Sri Sudaryanti	Soemarno	Marsoedi	The Use of Multivariate Analyses to Assess The Health of The Upper Brantas Catchment Using Macroinvertebrate Communities	Rabu, 13 April 2016	14.30-14.45 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
8	Sumardi	M. Bisri	Soemarno	A. Munawir	Rabu, 13 April 2016	15.00-15.15 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
9	Harsuko Riniwati,	Nuddin Harahab		Beton Hibrida Berpenguat Kaca: Sebuah Solusi Pemanfaatan Limbah	Rabu, 13 April 2016	15.45-16.00 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
10	Zaenal Fanani			Analysis of Public Perception of Fish Frozen Production Malang City with Gesca Method	Rabu, 13 April 2016	16.00-16.15 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D
11	Mohamad Faiz Zil Ikram Mahmud,	Chen Chuei Yee		The Effect of Food Security to Human Resources Tough of Airborne Infantry Battalion 502/18/2 Army Strategic Reserve Command In Jabung Malang City With Gesca Method	Rabu, 13 April 2016	16.15-16.30 WIB	R.3.04	Wilke, S.Sos.,M.Sl.,Ph.D

WASHING COAL USE THE CHANCE CONE

Hendri Prananta Perangin-angin

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Pertambangan dan Perminyakan, Universitas Negeri Papua
Jl Gunung Salju Amban Manokwari Papua Barat

ABSTRAK

Studi pencucian batubara ini dilakukan dengan merancang dan membuat alat chance cone, yang kemudian dilanjutkan dengan uji kinerja proses menggunakan pasir besi sebagai media pemisah. Variabel yang digunakan untuk percobaan ini adalah batubara umpan berukuran $-12,5 + 5 \text{ mm}$; $-5 + 1,68 \text{ mm}$; dan $-1,68 \text{ mm} + 0,85 \text{ mm}$, pengaduk dengan kecepatan putaran 44, 53, 72, 96, dan 120 rpm, serta densitas relative media (suspensi air dan pasir besi), 1,3 dan 1,4. Dari hasil uji endap-apung umpan didapatkan kadar abu awal batubara umpan masing-masing 7,91 %, 5,73 %, dan 6,76 %. Dari percobaan uji kinerja alat, efisiensi tertinggi diperoleh pada densitas relative media 1,4 sebesar 69,18 % pada putaran pengaduk 120 rpm dengan ukuran umpan $-1,68 \text{ mm} + 0,85 \text{ mm}$, dan kandungan abu 6,39 %.

Kata kunci : Perolehan, abu, putaran pengaduk, densitas, ukuran umpan dan efisiensi.

ABSTRACT

Study of coal washing was conducted by designing and creating chance cone equipment which was then continued by process performance test using iron sand as a separator medium. The variable used for this experiment was feed coal with the size of $-12,5 + 5 \text{ mm}$; $-5 \text{ mm} + 1,68 \text{ mm}$; and $-1,68 \text{ mm} + 0,85 \text{ mm}$, a mixer with a spinning speed of 44, 53, 72, 96, and 120 rpm, and a media relative density (suspension of water and iron sand) of 1,3 and 1,4. From the result of sink – float test, the initial coal ash level of 7,91 %, 5,73 %, and 6,76 % each was obtained. From the result of equipment performance test, the highest efficiency was obtained at 1,4 media relative density of 69,18 % at mixer speed of 120 rpm with bait size of $-1,68 + 0,85 \text{ mm}$ and ash content of 6,39 %.

Keyword : Result, ash, mixer spin, density, feed size and efficiency

INTRODUCTION

Fossil oil crisis in the end of 1970s has led many countries, including Indonesia, to search for alternative energy due to the scarcity and the less evenly distribution of fossil oil reserve. Indonesia represents a country with very potential coal resource estimated as more than 63.4 millions tons (ESDM, 2013). This resource is widely spread mostly in Sumatra and Kalimantan.

Coal begins with high pressure and high temperature at very long time. Different attributes of the coal may be due to the difference of material source, precipitation environment, coaling condition, and degree of change in the diversity, quantity, and distribution of pollutants.

In term of utilization, coal is used for various industries and households. To utilize coal, the users must understand their goal of utilizing coal. Some coals derive from mining, but the output may not meet environmental friendly standard. Washing the coal is then the mandatory activity to fulfill this standard.

Strategic Meaning of Coal

Mineable reserve of coal in Indonesia is counted for 12 millions tons (ESDM - 2013) and it is the biggest energy reserve if compared to fossil oil that only counts for 3 millions SBM and also to gas that reaches 90 TSCF (13.30 millions SBM). Although recent utilization of coal as energy source is still relatively low in Indonesia, but this coal is an important thing for primary energy source at several power plants and fuel industries. In accord with RPJMN for Period 2015 -2019, Production Plan for Year 2015 is estimated as 423 millions tons. Domestic Percentage of National Coal Production in Year 2015 is 24% and this figure is planned to increase to 60% by Year 2019. Of the total of Indonesia coal production in Year 2015, 333 millions tons or 70% are allocated for export and the remaining 30 % are used for domestic utilization. In the future, it is expected that the utilization of Indonesia coal can show significant figure either as the provider of national energy, as the alternative to fossil oil and also as the substitute to charcoal that may reduce forest quality. Coal plays a strategic role because coal gives double impact on national

and local economics. The benefits include absorbing workforce, driving upward the economic of remote area, helping to develop the regions and communities, and improving revenue from tax, royalty, and foreign exchange for central and local governments.

Chance Cone



Gbr 1. Chance Cone

Chance Cone is the first commercial tool for separating heavy media. Solid media is sand. Suspended sand may retain at cone due to mixing force or bottom-up water stream. Relationship between mixer and water stream depends on the expected density during separation. Clean coals float on media surface, whereas dirty coals (the reject) sink into cone base. Mixer rotation may cause water to move in circle which brings fractions of clean coals to go about three-fourth circumference of the batch before finally flows with discharge stream. Media is separated with spraying. In the base of the batch, there is a chamber functioned as expel the reject, and this chamber is equipped with pneumatically open-closed valve.

Settling velocity of the particle in heavy media batch is considered comparable to the volume of the particle itself:

$$\text{Settling velocity} \approx (mg - mg) - R \quad \text{-----1 or}$$

$$\text{Settling velocity} \approx g v (\delta - \rho) \quad \text{-----2}$$

where :

g = gravity velocity

v = particle volume

δ = particle relative density

ρ = media relative density

R = fluid resistance

If v decreases (particle shrinks), the force denoted by $g v (\delta - \rho)$ declines, and the rate is equivalent to R such that settling velocity is zero or very small. If R is bigger than $g v (\delta - \rho)$, settling velocity may be negative such that particle will float. Settling velocity is related perpendicularly to the force that drives particle. Various sizes of bait coal are used in this research such as:

- 12.5 mm + 5 mm; -5 mm + 1.68 mm; and -1.68 mm + 0.85 mm.

The objectives of research are:

1. To determine the yield and the theoretical ash content of bait coal;

2. To understand the effect of process variables, such as bait size, mixing speed and media relative density on the yield of washed coal and the ash content; and
3. To recognize the efficiency of tool performance.

METHOD OF RESEARCH

Research involves two stages, such as tool engineering stage and tool performance test stage. Tool engineering stage is run with two approaches, respectively by examining the function and the structure of every tool. Tool performance test stage involves media preparation, bait preparation, settle-float test, data collection, ash content analysis, and calorific value test.

Further stages of research including equipments, materials and work procedures, are explained. This research is done at the Laboratory of Excavation Material Processing and the Laboratory of Coal Analysis, Department of Mining, Bandung Technology Institute.

Data Collection Method

Several methods are used for data collection, such as:

- Tool engineering, which is aimed to examine function and structure of every tool.
- Media and bait preparations.
- Settle-float test against the bait and the analysis against early ash content.
- Process performance test for each process variable.
- Analysis against the data of experiment to ensure the effect of process variables on the washed coal yield and the reduction of its ash content.

RESULT AND DISCUSSION

Coal is washed with chance cone tool. The difference in variables such as bait coal size, media relative density, and mixing rotation speed has been examined. Result and discussion about ash content reduction due to the washing are explained.

Settle-Float Test

Settle-Float Test is done against each fraction of bait coal size, including $-12.5 + 5$ mm; $-5 + 1.68$ mm and $-1.68 + 0.85$ mm. The testing is performed by using the solution at various relative densities, ranging from density 1.3 to 1.8. There are seven fractions for each bait coal size.

The result is similar to that of Table IV.1.

Ukuran umpan (mm)	Densitas relatif	Individu		Kumulatif	
		Berat %	Abu %	Berat %	Abu %
-12.5+5 % Berat 49.54	-1.3	87.61	4.43	87.61	4.43
	1.3-1.4	5.01	13.27	92.62	4.91
	1.4-1.5	2.35	25.41	94.97	5.42
	1.5-1.6	0.42	33.40	95.39	5.54
	1.6-1.7	2.00	42.23	97.40	6.30
	1.7-1.8	0.88	56.80	98.27	6.75
	+1.8	1.73	74.21	100.00	7.91
-5+ 1.68 % Berat 32.11	-1.3	86.35	2.37	86.35	2.37
	1.3-1.4	7.11	8.57	93.46	2.84
	1.4-1.5	1.90	24.69	95.36	3.28
	1.5-1.6	0.81	33.49	96.17	3.53
	1.6-1.7	0.98	43.36	97.16	3.93
	1.7-1.8	0.75	50.53	97.90	4.29
	+1.8	2.30	72.78	100.00	5.73
- 1.68+ 0.85 % Berat 7.34	-1.3	58.36	2.67	58.36	2.67
	1.3-1.4	34.48	4.95	92.84	3.51
	1.4-1.5	1.49	22.95	94.32	3.82
	1.5-1.6	1.06	32.76	95.38	4.14
	1.6-1.7	1.06	41.78	96.45	4.56

	1.7-1.8 +1.8	0.90 2.65 100	49.35 72.36	97.35 100.00	4.97 6.76
--	-----------------	---------------------	----------------	-----------------	--------------

Source: Tesis Chance Cone

Table IV.1 indicates that ash content of bait coal at size $-12.5 + 5$ mm is 7.91%; at size $-5 + 1.68$ mm, ash content is 3.73%; and at size $-1.68 + 0.85$ mm, it is 6.76%. If the coal is washed at separator relative density 1.3, the obtained washed coal (yield) is 87.61% with ash content of 4.43 % for size $-12.5 + 5$ mm; or yield of 86.35% with ash content of 2.37% at size $-5 + 1.68$ mm; and yield of 58.36% with ash content of 2.67 % at size $-1.68 + 0.85$ mm. If the washing uses relative density 1.4, the obtained washed coal (yield) and also its ash content, in consecutive manner, are described as follows. At the size $-12.5 + 5$ mm, Yield is 92.62 % with ash content of 4.91%; at size $-5 + 1.68$ mm, Yield is 93.46% with as content of 2.84%; at size $-1.68 + 0.85$ mm, Yield is 92.84 % with ash content of 3.31 %. Table 4.1. Result of Settle-Float Test of Bait Coal.

After settle-float test is done, it provides the estimation of washed coal yield and ash content in the reject fractions. The testing result also delivers information about fraction weight, the biggest ash content in clean coal and also the difficulty rate of separation in various separator relative densities, such as 1.3; 1.4;1.5;1.6;1.7; and 1.8.

The Effect of Mixer Rotation and Bait Coal Size on Percentage of Washed Coal (Yield), Efficiency and Ash

Using various process variables, such as bait coal size, mixing speed and media relative density, therefore, process performance test is conducted and the result is displayed on Table IV.2 and IV.3.

In two relative densities of separator media, respectively 1.3 and 1.4, washed coal yield is increasing with the increase of mixing speed, but it does not mean that the higher speed of mixing rotation will give higher yield. The provision is limited only for mixing speed at range 44-120 rotations per minute. This tendency of yield increase with higher rotation speed is evident because iron sand suspension and water (the media) are more stable in the cone, and the resultant density is approximates to relative densities 1.3 and 1.4.

Table 4.2. Result of Experiment with Media Relative Density 1.3.

Fraksi Ukuran BB (mm)	Putaran Pengaduk (rpm)	Batu bara terdusi		Cum. % Float dari grafik	Efisiensi
		Berat %	Absu %		
$-12.5+5$ % berat: 49.54	44	6.45	1.31	55.20	11.69
	53	11.70	1.78	61.63	18.98
	72	15.80	1.80	61.89	25.53
	96	27.10	1.84	62.41	43.42
	120	38.25	1.89	63.06	60.65
$-5+1.68$ % berat: 32.11	44	7.40	1.80	88.84	8.33
	53	14.80	1.96	89.66	16.51
	72	23.05	2.00	89.88	25.64
	96	31.10	2.56	92.44	33.64
	120	41.20	2.86	93.67	43.98
$-1.68+0.85$ % berat: 7.34	44	17.20	2.25	87.40	19.68
	53	122.60	2.85	90.28	25.03
	72	34.20	3.18	91.71	37.29
	96	47.20	3.95	94.60	49.89
	120	49.90	4.68	96.78	51.56

Composite	44	7.68	1.56	69.99	11.14
-12.5+0.85	53	13.72	1.93	74.11	18.59
	72	19.93	1.99	74.45	26.54
	96	30.20	2.27	75.9	40.43
	120	40.28	2.47	76.89	53.89

Source: Tesis Chance Cone

When the yield from settle-float test against the variables of mixing speed and bait coal size are compared with the expectation, it seems that washed coal yield in the experiment or settle-float test remain below the expected yield.

If the ash content of washed coal is considered, the effect of mixing speed and bait coal size at media relative densities 1.3 and 1.4 is then understood. It is said that the increment of mixing speed may increase the yield of washed coal. The size of bait coal is also influential to the yield. The smoother bait size, the higher yield can get.

Result of settle-float test is conversely. Under ideal condition, for example at media relative density 1.3, the material with density less than 1.3 will float as washed coal, whereas all particles with relative density more than 1.3 will sink. But, during the continuous washing of chance cone, it does not operate perfectly as expected by settle-float test, and therefore, washing yield is always poor if compared to the result of settle-float test. This is the reality that happens in the experiment.

Table 4.3. Result of Experiment at Media Relative Density 1.4

Fraksi Ukuran BB (mm)	Putaran Pengaduk (rpm)	Batubara tercuci		Cum. % Float dari grafik	Efisiensi
		Berat %	Abu %		
-12.5+5	44	9.20	1.37	56.00	16.42
% berat:	53	23.24	1.85	62.51	37.17
49.54	72	31.00	2.44	69.80	44.40
	96	41.70	2.60	71.64	58.20
	120	52.50	4.70	90.37	58.10
-5+1.68	44	14.70	2.08	90.26	16.29
% berat:	53	24.60	2.24	91.02	27.03
32.11	72	36.10	2.73	93.16	38.75
	96	46.80	3.49	95.91	48.80
	120	59.45	4.84	99.08	60.00
-1.68+0.85	44	36.60	2.43	88.27	41.45
% berat:	53	41.40	2.56	88.91	46.55
7.34	72	57.40	3.15	91.57	62.67
	96	61.20	4.88	97.28	62.91
	120	69.00	6.39	99.73	69.18
Composite	44	13.44	1.71	71.03	18.44
-12.5+0.85	53	25.23	2.05	74.98	34.28
	72	35.02	2.60	80.02	43.87
	96	21.93	3.11	82.51	55.20
	120	56.37	4.89	94.29	59.70

CONCLUSION AND SUGGESTION

Conclusion

Based on the result of experiment, tool performance test, and discussion, it can be concluded that:

1. The ash content of bait coal, based on settle-float test against the size $-12.5 + 5$ mm; $-5 + 1.68$ mm and $-1.68 + 0.85$ mm, can be ordered as follows: 7.91 %, 3.73 % and 6.76 %.
2. The effect of experiment variables on washed coal yield and ash content is described as follows:
The higher speed of mixer rotation (44-120 rpm), the greater yield and ash content of washed coal.
3. The highest efficiency at media relative density 1.3, at size $-12.5 + 5$ mm, and with mixer mixing speed at 120 rpm, is obtained for 60.63 %. Meanwhile, the highest efficiency at relative density 1.4, at size $-1.68 + 0.85$ mm, and with mixer rotation at 120 rpm, is attained for 69.18%.

Pursuant to this conclusion, it can be said that coal washing done by chance cone tool will provide clean coal as expected by the user of clean coal, and one expectation is to avoid environmental pollution.

Indeed, the way of utilization has been shifted. Natural resource has been utilized by taking account environmental priorities which involve:

1. Environmental friendly (Environmental Factor)
2. Technicality (Technological Provision)
3. Economy (Economical Factor)

All three factors are integrated into one mandate for saving the earth from environmental pollution as the effect of utilizing natural resources.

Suggestion

The problem in experiment has induced suggestions to carry on the reparation over the tools or equipments. Main media tank must be repaired which the longitudinal section wall can be made higher than the existing metric in order to keep the media from easily expelled from media tank. Overflow channel must be equipped with strain wire at mesh smaller than media size, and therefore it is only water that can exit as overflow. Additional media pumps must be installed to the reject media tank such that media can be flown into main media tank continuously. Drain strain can be operated in vibration to facilitate the separation of media, precisely in distinguishing the clean coal from the reject, and to keep the tool operating continuously. To expel the product or washed coal yield, water spraying is given continuously to ensure the separation of the product coal from the media, especially when the product coal is flown with yield coal. For next research, the experiment may involve various media relative densities such as 1.5, 1.6, 1.7, and 1.8, to obtain greater yield from the exp.

Acknowledgement

1. Bapak Drs Arianto Yudi Ponco Wardoyo M.Sc., Ph.D
2. Dr Bagyo Yanuwadi
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief S. S. Sudarsono, M.Sc
4. Bapak Prof. Ir. Djamhur Sule, M.Sc
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Soemarno, Ms

References

- Adinugraha, W. 2006. "Tesis Magister", Studi Pencucian Batubara Menggunakan Chance Cone Dengan Media Hematite.
- Betekhtin, A., "A Course of Mineralogy", Peace Publisher, Moscow.
- Brown, G.G. 2008. "Unit Operation", 14th Printing, Modern Asia Edition, Japan.
- Burt, R.O. 2004. (assisted by Chris Mills). "Gravity Concentration Technology", Elsevier.
- Kim H.T. 1991. "Dasar-Dasar Kimia Tanah", Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Leonard, J. W, & Mitchell, D.R. 1968. "Coal Preparation", 3rd Ed., The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc, New York.
- McCabe, W.L., Smith, J.C, Harriot, P. 2002 "Unit Operation of Chemical Engineering", McGraw-Hill.
- Osborne, D.G. 1988.9. "Coal Preparation Technology", Vol. 1 & 2, Graham Trotman Limited a Member of Kluwer Academic Publisher Group.

The Characterization of Coal-Fired Particulates in Electric Steam Power Plant - X, North Sumatra

Hendri Prananta¹, Soemarno², Amin Setyo Leksono³, Bagyo Yanuwidi⁴

Environmental Science Program, Brawijaya University, Indonesia

Abstract: *The Coal derived from the mine often does not meet the requirements that are in accordance with the wishes of consumers (users) or by industries that need it. Coal related problem is the tendency that coal is very difficult to fulfill the requirement of clean energy utilization in Electric Steam Power Plant that matches environmentally friendly criteria. Various kinds of problems put forward from the use of coal in the processing of the steam power plant is a relatively large fly ash when compared with large companies abroad. To achieve optimal production yield, Electric Steam Power Plant has obstacle in the form of gas tendency in the form of fly ash and lack of handling or alternative tool that pay attention to environmental sustainability. Therefore, washing is part of a series of coal procurement process in accordance with consumer wishes. The purpose of this study is to analyze the coal characteristics of the mines used by the power plant based on the provisions of the quality / standard in order not to pollute the environment, to examine the results of the proximate analysis of the washing coal which is bought to know the effect of coal combustion and to know the particulate concentration of fly ash coal in Electric Steam Power Plant - X and the impact it has on the environment. The methodology used is exploratory survey method and using qualitative descriptive analysis using approach method of Standard Operational Procedure SEM (Scanning Electron Microscope), XRD (X-Ray Diffraction), and XRF (X-Ray Fluorescence). Based on the result analysis in this study using proximate analysis, it is produced that the coal used as fuel in the X-power plant has been in accordance with the provisions applicable to the utilization of coal in the Electric Steam Power Plant - X. In the analysis results using XRD seen that there are content of Alumina, Calcium Titanium Iron Oxide, Hedenbergite, Quartz and Magnetite. The XRF analysis result obtained fly ash composition from Silo and from disposal area. The conclusion of this study is the preparation activity (leaching of coal) can significantly decrease ash content, where ash content of coal bait based on floating-settling test at -70 + 50 mm is 7.91% and in size -50 + 32 mm is 5.73% and the size of -32 + 2.3 is 6.73% and the calculation of particulate fly ash coal concentration around Electric Steam Power Plant - X exiting with the exhaust gas does not exceed the threshold required by the Ministry of Environment of the Republic of Indonesia Year 2014. Hopefully this research will be useful for stakeholders both in electricity world, industry, academia and many coal mining practitioners so as to provide information on the characteristics and characteristics of the coal used so that it can be designed the combustion tool in accordance with the characteristics of the coal and facilitate the preparation coal on its utilization.*

Keywords: Coal, Fly Ash, SEM (Scanning Electron Microscope), XRD (X-Ray Diffraction), and XRF (X-Ray Fluorescence)

1. Introduction

The coal derived from the mine often does not meet the requirements that are in accordance with the wishes of consumers (users) or by industries that need it. Coal related problem is the tendency that coal is very difficult to fulfill the requirement of clean energy utilization in Electric Steam Power Plant that matches environmentally friendly criteria. Various kinds of problems put forward from the use of coal in the processing of the steam power plant is a relatively large fly ash when compared with large companies abroad. To achieve optimal production yield, Electric Steam Power Plant has obstacle in the form of gas tendency in the form of fly ash and lack of handling or alternative tool that pay attention to environmental sustainability. Therefore, washing is part of a series of coal procurement process in accordance with consumer wishes.

The purpose of this study is to analyze the coal characteristics of the mines used by the power plant based on the provisions of the quality / standard in order not to pollute the environment, to examine the results of the proximate analysis of the washing coal which is bought to know the effect of coal combustion and to know the particulate concentration of fly ash coal in Electric Steam Power Plant - X and the impact it has on the environment.

2. Literature Review

The process of burning coal will take place well if there is sufficient air available. Coal combustion process is a complex science due to the variance of the physical and chemical conditions of coal, but usually the combustion reaction of coal is described by the oxidation reaction of carbon to produce mono-oxide or carbon dioxide carbon. The composition of gases in the atmosphere can change due to air pollution due to natural activities and from various human activities. Air pollution sources can come from forest fires, dust, industry and transportation equipment such as motorized vehicles and vehicles in the form of heavy equipment that uses fuel. Air pollutants (pollutants) can generally be classified into two basic groups, namely particles and gas.

Air pollution by various types of pollutants can reduce air quality. Declining air quality for the respiration of all organisms (especially humans) will reduce the level of public health. Smoke from forest fires can cause irritation of the respiratory tract, even the occurrence of acute respiratory infections (ARI). Every occurrence of forest fires is always followed by an increase in cases of respiratory tract infections. The amount of pollutants released into the air in time units is called emissions. Emissions can be caused by biogenic emissions (natural processes) for example, CH₄ resulting from the degradation of organic matter by microbes

and anthropogenic emissions (human activities) such as motor vehicle fumes, factory smoke and combustion waste.

The research approach used in this research is exploratory research analysis. Nazir (2005) explains that exploratory survey methods are often used to reveal facts and identify problems and get justification for ongoing implementation. In line with this statement, this research has the purpose to explain the fact of coal processing at Electric Steam Power Plant. Seeing the fact that coal processing at Electric Steam Power Plant resulted environmental damage in the air, causing a tendency to innovate by making an alternative form of coal washing process using Chance Cone. For this reason, it is necessary to investigate further the suitability of coal used by Electric Steam Power Plant and how there is the potential for an alternative form of coal washing process using Chance Cone.

3. Methodology

The data in this study are qualitative and quantitative. Qualitative data is more in the form of words, then the interview becomes very important device. The interview is an effort to collect information by using a number of questions orally to answer verbally (Nawawi, 1993). The main questions will be designed in the form of open questions, easy understood, neutral, and not colored by certain values or character direct. Furthermore, more specific data collection will conducted through observation by involving researchers as observers (participant observation) and in-depth interview (independent interview). Activity data collection will be carried out continuously until it reaches a point saturation. In this interactive model data analysis, the components data analysis namely; data reduction, data presentation, and conclusion drawing; interactively interconnected during and after data collection. The data obtained from observation, interview, and documentation supporting secondary data from Electric Steam Power Plant in Langkat area, North Sumatra.

4. Result

Proximate Analysis

This study carried out a proximate analysis that is commonly carried out on the use of coal either by mining companies or buyers as users. This proximate analysis is quite simple but requires special and standard equipment. Proximate analysis consists of four analysis values which, if added together, will be 100%, namely:

- 1) Moisture content
- 2) Ash (ash)
- 3) Flying substances (volatile matter)
- 4) Carbon fixed (fixed carbon)

The fourth value calculated in the proximate analysis is tethered carbon, which is obtained from 100% minus the amount of moisture content, ash content and flying matter (Sudarsono, 2003). The results of the proxy analysis obtained from the sample taken in the stockpile of Electric Steam Power Plant - X are shown in the table below as follows:

Table 1: Coal proximate analysis data

Tanggal	Kadar Lemas (%)	Kadar Abu (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Tertambat (%)	Jumlah (%)
13 Januari 2017	14,41	3,26	43,11	39,22	100
10 Mei 2017	13,21	2,60	44,43	39,76	100

Source: Sucofindo, 2017

The table above shows that the coal used as fuel in the Electric Steam Power Plant - X is in accordance with the provisions applicable to the use of coal in Electric Steam Power Plant - X. Basically there are about 16 or more parameters determining the quality of coal but in its utilization, not all parameters must be met, but only according to their use. Coal quality requirements for the Electric Steam Power Plant industry:

- 1) Water content of 23.6%
- 2) Ash Content 7.8%
- 3) Flying substances 30.3%
- 4) Calorific Value 5,242 Kcal / Kg
- 5) Total Sulfur 0.4%
- 6) Alkali in Abu Max. 2 ° 10
- 7) Hardgrove Index 50-62

Table 2: Proximate analysis based on laboratory result

Parameters	Units	Results				Methods
		As Received Basis	Air Dried Basis	Dry Basis	Dry Ash Basis	
Proximate Analysis :						
- Total Moisture	%	33.47	-	-	-	ASTM D 3302M-17
- Inherent Moisture	%	-	13.21	-	-	ASTM D 3173-17
- Ash Content	%	1.99	2.60	3.00	-	ASTM D 3174-12
- Volatile Matter	%	34.06	44.43	51.19	52.77	ASTM D 3175-17
- Fixed Carbon	%	30.48	39.76	45.81	47.23	ASTM D 3172-13
Total Sulfur	%	0.19	0.25	0.29	0.30	ASTM D 4239-14 (A)
Gross Calorific Value	Kcal/Kg	4325	5643	6502	6703	ASTM D 5865-13
Ultimate Analysis :						
- Total Moisture	%	33.47	-	-	-	ASTM D 3302M-17
- Inherent Moisture	%	-	13.21	-	-	ASTM D 3173-17
- Ash Content	%	1.99	2.60	3.00	-	ASTM D 3174-12
- Sulfur	%	0.19	0.25	0.29	0.30	ASTM D 4239-14 (A)
- Hydrogen	%	4.38	5.72	6.59	6.79	ASTM D 5373-14
- Carbon	%	46.04	60.07	69.21	71.35	ASTM D 5373-14
- Nitrogen	%	0.71	0.92	1.06	1.09	ASTM D 5373-14
- Oxygen	%	13.21	17.23	19.85	20.47	ASTM D 3176-15
HGI	Index	-	62	-	-	ASTM D 409M-16
Size Distribution						
Passing mesh 70 mm (-70)	%		97.81			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 50 mm (-)	%		92.48			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 32 mm (-)	%		75.59			ASTM D 3174-2004
Passing mesh 2,38 mm (-)	%		16.24			ASTM D 3174-2004
Ash Analysis						
- SiO ₂	%		40.32			ASTM D 3682-13
- Al ₂ O ₃	%		15.75			ASTM D 3682-13
- Fe ₂ O ₃	%		19.00			ASTM D 3682-13
- CaO	%		11.68			ASTM D 3682-13
- MgO	%		5.51			ASTM D 3682-13
- K ₂ O	%		0.67			ASTM D 3682-13
- Na ₂ O	%		0.71			ASTM D 3682-13
- MnO ₂	%		0.10			ASTM D 3682-13
- TiO ₂	%		0.43			ASTM D 3682-13
- P ₂ O ₅	%		0.49			ASTM D 2795-95
- SO ₃	%		4.43			ASTM D 5016-08e1
Slagging Factor	Index		0.19			Low
Fouling Factor	Index		0.47			Med
Sodium In Ash			0.53			
Ash Fusion Temperature						
- Initial Deformation	°C	1150		1220		ASTM D 1857-10
- Spherical	°C	1160		1230		ASTM D 1857-10
- Hemispherical	°C	1170		1250		ASTM D 1857-10
- Flow	°C	1180		1270		ASTM D 1857-10

Particulate Concentration

The concentration of particulates in the study at the Electric Steam Power Plant - X is measured in terms of PM₁₀ coarse particles, PM_{2.5} fine particles, PM₁ ultrafine particles. The concentration of particulates found around the study area in ambient air can be related to air quality and also have an impact on human health and the surrounding environment. Judging from its particulate form it consists of various forms of aerosols (dispersed solids or liquids in gas), dust, fog, fume or smoke resulting from condensation, haze (a combination of droplets of water, gas and dust), mists (liquid particles), particles, smoke or smoke from combustion, smog (a form of smoke and fog) and soot (Arinto, 2016). Particulate toxicity is affected by two factors, namely chemical composition and particulate size. From the results of the research on Electric Steam Power Plant - X by taking samples in the form of fly ash at the disposal area of the combustion product in Electric Steam Power Plant- X, a particulate sample is obtained in the form of dust with a chemical composition based on laboratory analysis of element content or chemical composition (XRF) of Electric Steam Power Plant - X fly ash. The following is the analysis table using the XRD method as follows:

Table 3: Data analysis based on XRD method

Kandungan	Persentase (%)	Rumus Senyawa
Alumina	12	Al ₂ O ₃
Calcium Titanium Iron Oxide	5	Ca ₃ TiFe ₂ O ₃
Hedenbergite	24	CaFe(Si ₂ O ₆)
Quartz	50	SiO ₂
Magnetite	8	Fe ₃ O ₄

Based on the results of XRD analysis, it can be seen from the table that the Electric Steam Power Plant - X contained Alumina (Al as much as 12% with an intensity of 960 cps, Calcium Titanium Iron Oxide) of 5% with an intensity of 360 cps, Hedenbergite) as much as 24% with an intensity of 320 cps, Quartz (50% with an intensity of 180 cps, and Magnetite with an intensity of 320 cps and the size of Crystal D = 61.95 nm. The largest content is Quartz content and the smallest is Calcium Titanium Iron Oxide.

Particulate Size and Shape at Electric Steam Power Plant - X

The figure below shows the description and shape of the particulates tested in the Scanning Electron Microscopy (SEM) laboratory with the ability to magnify to sub-microns, where the samples tested were taken directly from the bin silo reservoir in the Electric Steam Power Plant - X,

in Figure 1 below most rounded particulate shapes appear to be sized on the image below is measured in a random way, with a diameter of $4.063\ \mu\text{m}$ and the smallest particulate size of $391.0\ \text{nm}$. In the figure, it can be seen that the shapes of particulates are more varied where the particulates are measured in the form of cubes with a length of $5.169\ \mu\text{m}$. In the figure there are varied particulate shapes but many

appear to be hollow round sizes where particulates measured here from particulates are $19.99\ \mu\text{m}$. The largest particulate size is $33.51\ \mu\text{m}$ and is round in shape and most particulates appear smaller. Whereas from the other picture, the largest particulate size was $4.201\ \mu\text{m}$ and the smallest particulate $233.1\ \text{nm}$.

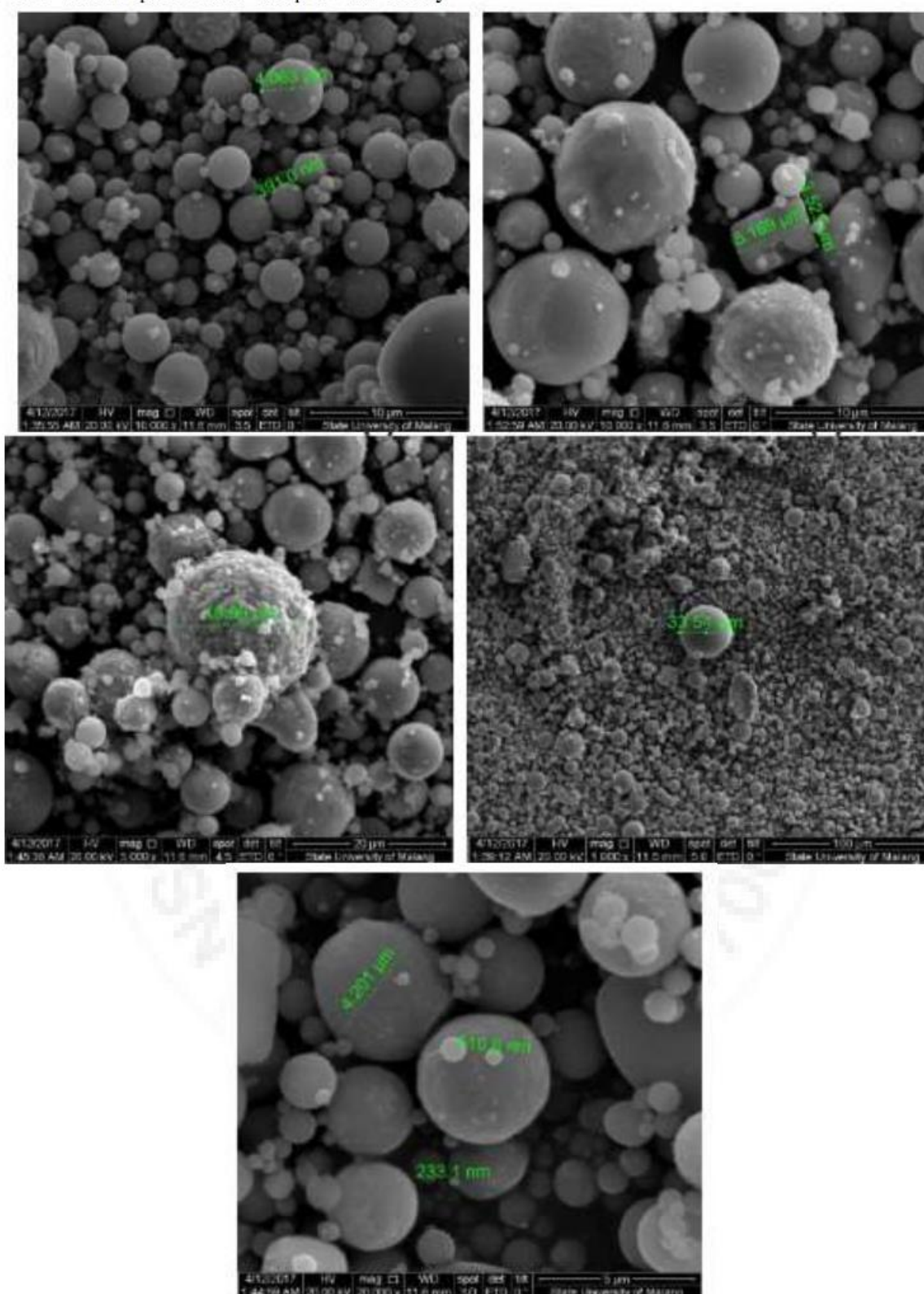


Figure 1: Particulate size and shape in ELECTRIC STEAM POWER PLANT - X

Based on medical record data obtained at the Hospital located near the power plant area at the study site, it was found that there were many illnesses suffered by the community around the power plant area. In this study, whether the power plant operation has an impact on the surrounding community on some of the diseases caused. In this test, it was carried out using a statistical approach to test before and after the existence of a power plant which had an impact on the incidence of illness suffered by the community around the power plant. Some diseases obtained

based on medical record data in hospitals around power plant include tuberculosis with clinical smear, TB with positive smear, whooping cough, clinical malaria, pneumonia, and dysentery. The disease was processed using the Paired Sample Statistics approach during 2011 to 2016.

5. Conclusion and Suggestion

The conclusions obtained from this study are 1) Based on the analysis of the characteristics of coal from the mines

used by Electric Steam Power Plant - X, treatment is needed in the form of washing and mixing so that it does not lead to one of the mines, so coal is washed from the mine (ROM) will produce coal low ash content, 2) Based on the results of proximate analysis carried out in Electric Steam Power Plant - X shows that the effect of coal combustion requires moisture content, ash content, flying substances and tethered carbon that require special and standard equipment to facilitate preparation activities, 3) Based on the calculation Coal fly ash particulate concentrations around Electric Steam Power Plant - X that come out with flue gas through the chimney for 60 minutes with the results of these concentrations do not exceed the threshold required by the Ministry of Environment of the Republic of Indonesia in 2014.

4.1 Suggestion

Coal combustion carried out at Electric Steam Power Plant - X in addition to washing and mixing (belending) should be carried out by upgrading coal (UBC) and the watering so that moisture content can be reduced or lost so as to increase combustion efficiency and reduce the level of particulates released with the exhaust gas.

References

- [1] A.Yu. Stolboushkin, A.I. Ivanova, O.A. Fomina. 2016. Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016. *Procedia Engineering* (2016) 1496 – 1502.
- [2] Adinugraha, W. 2006. "Tesis Magister". *Studi Pencucian Batubara Menggunakan Chance Cone Dengan Media Hematite*. Alberty A. Robert., Farrington Daniels. 1980. "Physical Chemistry", John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Agus, F., dan I.G. Subiksa. 2008. Lahan gambut: potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian. World Agroforestry Centre. Bogor.
- [4] Ana Alonso-Serrano, Matt Visser. 2016. On burning a lump of coal. *Physics Letters B* (2016) 383–386.
- [5] Anggayana, Komang. 2005. "Buku Ajar Pengeboran Eksplorasi Dan Penampang Lubang Bor". Departemen Teknik Pertambangan ITB, Bandung.
- [6] Arikunto. 1996. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Rineka Cipta.
- [7] Asisten Deputi Urusan Pengkajian Dampak Lingkungan Deputi MENLH Bidang Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup 2007.
- [8] Badin John Elmur. 1984. "Coal Combustion Chemistry - Correlation Aspect". Elsevier.
- [9] Slamet, Suprpto. 2009. *Blending Batubara Untuk Pembangkit Listrik Studi Kasus ELECTRIC STEAM POWER PLANT Suralaya Unit 1-4*. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (tek MIRA), Bandung.
- [10] Stefano Munir dan Ikin Sodikin. 2009. "Hubungan Antara Parameter Karakteristik Limbah Batubara Kalimantan Timur dan Karakteristik Pembakarannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara". Bandung.

- [11] Sudarsono, A.S. 2003. "Pengantar Preparasi dan Pencucian Batubara". Bandung: Departemen Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.