

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
SARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	4
I.3. Tujuan Penelitian.....	4
I.4. Manfaat Penelitian.....	5
I.5. Lokasi Penelitian	5
I.6. Batasan Penelitian	7
I.7. Peneliti Terdahulu dan Keaslian Penelitian	8
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	15
II.1. Batubara Indonesia.....	15
II.2. Sistem Pembakaran Batubara di PLTU	17
BAB III. DASAR TEORI DAN HIPOTESIS	20
III.1. <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> (FA dan BA)	20

III.1.1. Pengertian FA dan BA.....	20
III.1.2. Klasifikasi Komponen Penyusun FA dan BA.....	21
III.1.3. Komponen Inorganik Penyusun FA dan BA.....	24
III.1.4. Komponen Organik Penyusun FA dan BA	28
III.2. <i>Rare Earth Elements and Yttrium (REY)</i>	30
III.2.1. Pengertian dan Klasifikasi REY	30
III.2.2. Prospeksi Kelimpahan REY pada <i>Coal Ashes</i>	33
III.2.3. Keterdapatan REY pada FA dan BA.....	37
III.3. Hipotesis	39
BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN	40
IV.1. Metode dan Tahapan Penelitian	40
IV.2. Alat dan Bahan	47
BAB V. PENYAJIAN DATA	50
V.1. Data Kadar Abu Batubara (<i>Ash Yield</i>)	50
V.2. Data Geokimia.....	51
V.2.1. Data Senyawa Oksida Mayor	51
V.2.2. Data Hasil Analisis SEM-EDX	53
V.2.3. Data REY.....	60
V.3. Data Komponen Penyusun Batubara, FA, dan BA.....	69
V.4. Data Mineralogi FA.....	72
BAB VI. PEMBAHASAN.....	74
VI.1. Komponen Penyusun FA dan BA	74
VI.1.1. Komponen Inorganik Penyusun FA dan BA.....	73
VI.1.2. Komponen Organik Penyusun FA dan BA.....	83
VI.2. Potensi Keterdapatan REY pada FA dan BA.....	84

VI.2.1. Prospeksi Kelimpahan REY pada FA dan BA.....	85
VI.2.2. Model Keterdapatn REY pada FA	94
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN	106
VII.1. Kesimpulan	106
VII.2. Saran.....	106
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN 1 Data REY	111
LAMPIRAN 2 Hasil Analisis XRD.....	113
LAMPIRAN 3 Hasil Analisis Petrografi Sampel Batubara, FA, dan BA	123
LAMPIRAN 4 Hasil Analisis SEM-EDX Pada Sampel FA.....	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Hasil pemodelan kebutuhan dan pasokan energi nasional Tahun 2025 (Perpres RI No. 22 Tahun 2017).....	1
Gambar 1. 2. Peta lokasi pengambilan sampel	6
Gambar 2.1. Peta persebaran cekungan penghasil batubara di Indonesia (Friedrich, 1999 dalam Belkin et al., 2009).....	15
Gambar 2. 2. Lokasi pengambilan sampel batubara pada berbagai wilayah di Indonesia (Belkin et al., 2009)	16
Gambar 2. 3. Sistem kerja <i>fluidized bed combustion</i> (FBC) (PPTKE-BPPT, 2013)	18
Gambar 3. 1. A) <i>Glass cenospheres (c), pleiospheres (p), and solid (s) spheres. B) Solid (s) glass sphere, likely with sub-micron inclusions. Field of view about 220 μm on long axis</i> (Hower, 2012)	26
Gambar 3. 2. A-B) <i>mullite (m). Field of view about 220 μm on long axis</i> (Hower, 2012)	27
Gambar 3. 3. A) <i>Quartz. Scale=100 μm. B) Spinel. Scale=25 μm. C) Glass almost completely replacing rock fragment.. Scale=50 μm. D) Partially baked rock fragment with glassy rim.. Scale=50 μm</i> (Hower, 2012)	27
Gambar 3. 4. A) <i>Anisotropic tenuinetwork carbon (c) with inertinite. Scale = 50 μm. B) Isotropic crassinetwork carbon (ic) with inertinite. Scale=100 μm. C) Anisotropic crassinetwork carbon (a) with inertinite. Field of view about 220 μm</i> (Hower, 2012).....	29
Gambar 3. 5. Persentase berbagai grup REY pada total komposisi REY di UCC (Seredin and Dai, 2012)	33
Gambar 3. 6. Hasil plot kelimpahan rata-rata REY pada batubara di China dan USA (Dai et al., 2008 ; Finkelman, 1993)	34
Gambar 3. 7. Grafik $\text{REY}_{\text{def}} - C_{\text{outl}}$ untuk <i>REY- rich coal ashes</i> (Seredin and Dai, 2012)	36
Gambar 4. 1. Diagram alir penelitian.....	46
Gambar 5. 1. Foto permukaan sampel FA-4.....	55

Gambar 5. 2. Pola keterdapatan unsur C pada sampel FA-4	55
Gambar 5. 3. Pola keterdapatan unsur O pada sampel FA-4	56
Gambar 5. 4. Pola keterdapatan unsur Al pada sampel FA-4	56
Gambar 5. 5. Pola keterdapatan unsur Si pada sampel FA-4.....	56
Gambar 5. 6. Pola keterdapatan unsur Mg pada sampel FA-4.....	57
Gambar 5. 7. Pola keterdapatan unsur Fe pada sampel FA-4	57
Gambar 5. 8. Pola keterdapatan unsur Y pada sampel FA-4	57
Gambar 5. 9. Foto permukaan sampel FA-5	58
Gambar 5. 10. Pola keterdapatan unsur C pada sampel FA-5	59
Gambar 5. 11. Pola keterdapatan unsur O pada sampel FA-5	59
Gambar 5. 12. Pola keterdapatan unsur Si pada sampel FA-5.....	59
Gambar 5. 13. Pola keterdapatan unsur Y pada sampel FA-5	60
Gambar 5. 14. Grafik konsentrasi total REY pada sampel batubara	61
Gambar 5. 15. Grafik konsentrasi total REY pada sampel FA	61
Gambar 5. 16. Grafik konsentrasi total REY pada sampel BA.....	62
Gambar 5. 17. Grafik konsentrasi total REY pada sampel batubara (normalisasi terhadap UCC)	63
Gambar 5. 18. Grafik konsentrasi total REY pada sampel BA (normalisasi terhadap UCC).....	63
Gambar 5. 19. Grafik konsentrasi total REY pada sampel FA (normalisasi terhadap UCC).....	64
Gambar 5. 20. Grafik kelimpahan total <i>critical REY</i> pada sampel FA	66
Gambar 5. 21. Grafik kelimpahan total <i>critical REY</i> pada sampel BA	66
Gambar 5. 22. Grafik persentase kelimpahan <i>critical REY</i> pada FA.....	67
Gambar 5. 23. Grafik persentase kelimpahan <i>critical REY</i> pada BA	67
Gambar 5. 24. Grafik nilai C_{out} pada FA.....	68

Gambar 5. 25. Grafik nilai C_{outl} pada BA	68
Gambar 5. 26. Grafik persentase mineral (normalisasi) pada sampel batubara.....	70
Gambar 6. 1. Komposisi maseral pada sampel batubara; a. fusinit (F); b. funginit (Fg); c. funginit (Fg); d. ulminit (U).....	74
Gambar 6. 2. Komposisi mineral pada sampel batubara; a. <i>clay minerals</i> ; b. <i>clay minerals</i> dan pirit (Py); c. kuarsa (Qz); d. kuarsa (Qz).....	76
Gambar 6. 3. Komponen inorganik penyusun FA ; a. kuarsa (Qz); b. <i>mullite</i> (Mul); c. <i>Fe-oxide mineral</i> ; d. spinel (Spl); e. <i>glass cenosphere</i> , f. <i>glass pleiosphere</i>	79
Gambar 6. 4. Morfologi <i>glass</i> pada FA dan BA; a. <i>cenosphere</i> ; b. <i>pleiosphere</i> ...	81
Gambar 6. 5. Spinel; a. pada sampel BA; b. pada sampel FA	82
Gambar 6. 6. <i>Unburned coal</i> ; a. <i>crassisphere</i> ; b. <i>tenuisphere</i> ; c. <i>crassinetwork</i> ; d. <i>solid</i>	84
Gambar 6.7. Grafik perbandingan kelimpahan individual REY pada sampel batubara, FA, dan BA (normalisasi terhadap UCC) terhadap kelimpahan rata-rata individu REY di China.	86
Gambar 6. 8. Grafik perbandingan nilai konsentrasi total REY pada FA dan BA terhadap data hasil penelitian terdahulu.....	87
Gambar 6. 9. Grafik perbandingan nilai konsentrasi total REO pada FA dan BA terhadap data hasil penelitian terdahulu.....	88
Gambar 6. 10. Grafik perbandingan nilai konsentrasi total <i>critical REY</i> pada FA dan BA terhadap data hasil penelitian terdahulu	90
Gambar 6. 11. Grafik perbandingan nilai persentase <i>critical REY</i> pada sampel FA dan BA terhadap data hasil penelitian terdahulu	91
Gambar 6. 12. Grafik perbandingan nilai C_{outl} pada sampel FA dan BA terhadap data hasil penelitian terdahulu	92
Gambar 6. 13. Hasil <i>plotting</i> nilai C_{outl} dan persentase <i>critical REY</i> sampel FA grafik $REY_{def} - C_{outl}$ untuk <i>REY-rich coal ashes</i> (Seredin and Dai, 2012)	93

Gambar 6. 14. Hasil <i>plotting</i> nilai C_{out} dan persentase <i>critical REY</i> sampel BA grafik $REY_{def} - C_{out}$ untuk <i>REY-rich coal ashes</i> (Seredin and Dai, 2012)	93
Gambar 6. 15. (A).Grafik perbandingan konsentrasi total <i>critical REY</i> terhadap komponen penyusun FA, (B).Grafik perbandingan konsentrasi total REY terhadap komponen penyusun FA	96
Gambar 6. 16. Grafik konsentrasi individu <i>REY</i> pada sampel FA-4 dan FA-5	97
Gambar 6. 17. Perbandingan pola keterdapatn unsur Y terhadap unsur mayor penyusun komponen organik pada sampel FA-4	98
Gambar 6. 18. Perbandingan pola keterdapatn unsur Y terhadap unsur mayor penyusun komponen organik pada sampel FA-5	99
Gambar 6. 19. Perbandingan pola keterdapatn unsur Y terhadap unsur mayor Al-Mg-Fe-O penyusun Fe-spinel dan Mg-spinel pada sampel FA-4 ..	100
Gambar 6. 20. Perbandingan pola keterdapatn unsur Y terhadap unsur mayor Si-O penyusun <i>glass</i> pada sampel FA-4	101
Gambar 6. 21. Perbandingan pola keterdapatn unsur Y terhadap unsur mayor Si-O penyusun <i>glass</i> pada sampel FA-5	102
Gambar 6. 22. Model keterdapatn REY pada <i>glass</i> di sampel FA-4	103
Gambar 6. 23. Model keterdapatn REY pada <i>glass</i> di sampel FA-5	103
Gambar 6. 22. Model keterdapatn REY pada spinel di sampel FA-4	104

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Daftar limbah B3 dengan kode limbah D223 (Riyanto, 2013)	2
Tabel 1. 2. Tabel rangkuman peneliti terdahulu	13
Tabel 3.1. Klasifikasi komponen FA, ICCP Ash Working Group-Commission III (Suárez-Ruiz et al., 2017)	21
Tabel 3.2. Komponen penyusun FA (Hower, 2012)	23
Tabel 3.3. Klasifikasi genetik dan tekstural komponen penyusun FA (Hower et al., 2017)	24
Tabel 3.4. Kelimpahan material inorganik penyusun FA dari <i>Jungar Power Plant</i> (Dai et al., 2010)	25
Tabel 3.5. Kelimpahan mineral penyusun FA dan BA dari <i>Jungar Power Plant</i> (Dai et al., 2010)	28
Tabel 3.6. Letak REY pada Tabel Periodik Unsur (pada kotak berwarna hijau muda)(Encyclopedia Britanica, 2007)	30
Tabel 4.1. Tabulasi sampel beserta metode analisis yang digunakan	45
Tabel 4.2. Daftar alat dan kegunaannya	47
Tabel 4.3. Daftar bahan dan kegunaannya	47
Tabel 5.1. Persentase <i>ash yield</i> pada sampel batubara	50
Tabel 5.2. Persentase senyawa oksida mayor pada batubara, FA, dan BA	52
Tabel 5.3. Keterdapatan REY pada sampel FA-4 berdasarkan analisis SEM-EDX	54
Tabel 5.4. Keterdapatan REY pada sampel FA-5 berdasarkan analisis SEM-EDX	58
Tabel 5.5. Kelimpahan total REO pada FA dan BA	65
Tabel 5.6. Persentase kelompok maseral dan <i>mineral matter</i> pada sampel batubara	69
Tabel 5.7. Persentase komponen penyusun FA dan BA	71

Tabel 5.8. Variasi dan kelimpahan mineral pada sampel FA berdasarkan hasil analisis XRD	73
Tabel 6.1. Persentase kelompok maseral inertinit, <i>mineral mater</i> , dan <i>ash yield</i> pada sampel batubara	75
Tabel 6.1. Kelimpahan komponen inorganik dan organik penyusun FA	78