

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xii
SARI .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Rumusan Masalah .....	4
I.3. Maksud dan Tujuan .....	4
I.4. Manfaat Penelitian .....	5
I.5. Lokasi Penelitian .....	5
I.6. Batasan Masalah .....	7
I.7. Peneliti Terdahulu .....	9
I.8. Kebaharuan Penelitian .....	11
BAB II .....	12
GEOLOGI REGIONAL .....	12
II.1. Fisiografi Regional .....	12
II.2. Struktur Regional .....	14
II.3. Stratigrafi Regional .....	17
BAB III .....	27
DASAR TEORI .....	27
III.1. Pengertian Batubara .....	27
III.2. Genesis Batubara .....	28
III.3. Material Penyusun Batubara .....	30
III.3.1. Material Organik .....	30
III.3.2. Material Anorganik .....	35
III.4. Pengetian Rare Earth Elements and Yttrium (REY) .....	36
III.5. Klasifikasi Rare Earth Elements and Yttrium (REY) .....	38
III.6. Deposit Rare Earth Elements and Yttrium (REY) .....	39
III.7. Mineral Pembawa Rare Earth Elements and Yttrium (REY) .....	42

III.8. Rare Earth Elements and Yttrium (REY) pada Batubara .....	44
BAB IV .....	47
HIPOTESIS DAN METODOLOGI PENELITIAN .....	47
IV.1. Hipotesis .....	47
IV.2. Tahapan dan Metode Penelitian.....	48
IV.2.1. Tahap Pendahuluan .....	48
IV.2.2. Tahap Pengumpulan Data.....	49
IV.2.3. Tahap Pekerjaan Laboratorium .....	50
IV.2.4. Tahap Analisis dan Evaluasi .....	53
IV.2.5. Ketersediaan Data dan Analisis .....	54
IV.2.6. Tahap Pelaporan.....	54
IV.2.7. Jadwal Penelitian.....	55
BAB V.....	57
PENYAJIAN DATA .....	57
V.1. Data Lapangan .....	57
V.1.1. <i>Seam</i> C2 .....	57
V.1.2. <i>Seam</i> C1 .....	61
V.1.3. <i>Seam</i> B2.....	62
V.1.4. <i>Seam</i> B1 .....	63
V.1.5. <i>Seam</i> A.....	64
V.2. Data Laboratorium .....	65
V.2.1. Data Mineralogi.....	65
V.2.2. Data Maseral Batubara.....	67
V.2.3. Data Abu Batubara .....	75
V.2.4. Data Geokimia.....	76
V.2.5. Data Keterdapatan REY.....	82
BAB VI .....	83
PEMBAHASAN.....	83
VI.1. Karakteristik Batubara.....	83
VI.1.1. Litotipe Batubara.....	83
VI.1.2. Komposisi Maseral dan Mineral Batubara .....	86
VI.1.3. Kadar Abu Batubara.....	88
VI.2. Mikrofasis dan Paleomire Batubara Sawahlunto .....	89
VI.2.1. Mikrofasis Batubara Formasi Sawahlunto .....	89

VI.2.2. Analisis TPI vs GI .....	97
VI.2.3. Rekonstruksi <i>Paleomire</i> Batubara Sawahlunto.....	99
VI.3. Konsentrasi REY .....	104
VI.3.1. Evaluasi Konsentrasi REY pada Batubara dan Abu Batubara.....	106
VI.3.2. Evaluasi Pengayaan REY dan Unsur Jejak pada Batubara.....	110
VI.4. Moda Keterdapatan REY pada Batubara .....	112
VI.4.1. Keterdapatan Mineral pada Batubara .....	112
VI.4.2. Keterdapatan REY pada Material Organik .....	115
VI.5. Tipe Genetis Pengayaan REY pada Batubara .....	118
VI.5.1. Tipe Distribusi REY .....	118
VI.5.2. Anomali Redoks Sensitif dan Non-Redok Sensitif .....	123
VI.5.3. Konsentrasi Unsur Penciri Tipe Pengayaan Tertentu.....	128
VI.6. Interpretasi Proses Pengayaan REY pada Batubara Ombilin .....	131
BAB VII .....	141
KESIMPULAN DAN SARAN .....	141
VII.1. Kesimpulan.....	141
VII.2. Saran .....	143
DAFTAR PUSTAKA .....	144

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Grafik global produksi dan permintaan REY (USGS, 2015).....	1
Gambar 1.2. Distribusi global sumberdaya REY berdasarkan negara penghasil dan keterdapatan (USGS, 2016) .....	2
Gambar 1.3. Peta lokasi penelitian dan kesampaian daerah penelitian .....	6
Gambar 2.1. Peta lokasi Cekungan Ombilin, Sumatera Barat (Koesoemadinata dan Matasak, 1981).....	13
Gambar 2.2. Peta struktur penyusun Cekungan Ombilin (Situmorang et al., 1991) .....	15
Gambar 2.3. Model skematis graben Cekungan Ombilin yang bersifat transtensional saat Paleogen (Situmorang et al., 1991) .....	15
Gambar 2.4. Peta free air gravity menunjukkan hubungan geometris yang jelas antara Oroklin Sunda dan persebaran cekungan sedimenter di Paparan Sunda (McCarthy dan Elders, 1997; Husein, 2018).....	16
Gambar 2.5. Hubungan struktural antara struktur Oroklin Sunda (garis merah putus-putus) dan Sistem Sesar Sumatra (garis kuning tegas). Regangan pada lengkungan terluar (extrados) Oroklin Sunda (arah gerak relatif ditunjukkan panah merah) saat terjadinya rotasi Paleogen menyebabkan terbentuknya cekungan sedimenter (Husein, 2018)..	16
Gambar 2.6. Peta lokasi pengambilan sampel dan geologi regional daerah penelitian pada Lembar Solok (Silitonga dan Kastowo, 1975, dengan perubahan) .....	17
Gambar 2.7. Kompilasi kolom stratigrafi Cekungan Ombilin dari beberapa peneliti terdahulu. ....	26
Gambar 3.1. Proses pembatubaraan (van Krevelen, 1992 dengan perubahan oleh Amijaya, 2007).....	30
Gambar 3.2. Beberapa contoh kenampakan maseral liptinite; (A) sporinite; (B) exsudatinite; (C) resinite; (D) liptodetrinite, oleh Pickel et al.,(2016) .....	32
Gambar 3.3. Beberapa contoh kenampakan Inertinite, (A) Fusinite; (B) Macrinite; (C) Semifusinite; (D) Funginite, menurut ICCP (2000).....	33
Gambar 3.4. Kenampakan maseral vitrinite pada mikroskop, (A) Corpogellinite; (B) Collodetrinite; (C) Vitrodetrinite; (D) Gelinite, menurut ICCP (1998).....	34
Gambar 3.5. Tabel periodik unsur Mendeleev (1869) dalam Voncken (2005) ....	37
Gambar 3.6. Pemanfaatan REY dan persentase negara penghasil REY di dunia (USGS, 2016).....	40
Gambar 4.1. Diagram alir penelitian .....	56

Gambar 5.1.	Peta lokasi pengambilan sampel pada daerah penelitian yang di overlay dengan Peta Geologi Regional Lembar Solok (Silitonga dan Kastowo, 1995).....	58
Gambar 5.2.	Peta lokasi pengambilan sampel yang di-overlay dengan peta struktur Cekungan Ombilin oleh Situmorang et al (1991). ....	59
Gambar 5.3.	<i>Overlay</i> antara lokasi pengambilan sampel dengan model skematis pembentukan <i>paleogene transtensional graben</i> oleh Situmorang et al (1991).....	59
Gambar 5.4.	Profil section pada seam C2, yang menunjukkan sikuen menghalus keatas, dengan litotipe batubara yang berkembang <i>bright</i> dan <i>bright banded coal</i> .....	60
Gambar 5.5.	<i>Profil section</i> pada seam C1, dengan litotipe <i>bright coal</i> . Seam C1 diambil secara <i>bulk sampling</i> karena tidak dijumpai singkapan....	61
Gambar 5.6.	<i>Profil section</i> pada seam B2, dengan litotipe yang berkembang yaitu <i>bright coal</i> dan <i>dull coal</i> .....	62
Gambar 5.7.	<i>Profil section</i> pada seam B1, dengan litotipe yang berkembang yaitu <i>bright coal</i> dan <i>bright banded coal</i> dengan <i>parting</i> berupa batulanau. ....	63
Gambar 5.8.	<i>Profil section</i> pada seam A dengan litotipe yang berkembang yaitu <i>bright coal</i> dan <i>bright banded coal</i> , dengan <i>parting</i> yang memisahkan yaitu batupasir dan batulanau .....	64
Gambar 5.9.	Kenampakan (A) singkapan; (B) sampel setangan; (C) XPL dan (D) PPL pada sampel granit .....	68
Gambar 5.10.	Kenampakan (A) singkapan; (B) sampel setangan; (C) XPL dan (D) PPL pada sampel andesit .....	68
Gambar 5.11.	Kenampakan (A) singkapan; (B) sampel setangan; (C) XPL dan (D) PPL pada sampel marmer .....	69
Gambar 5.12.	Kenampakan (A) singkapan; (B) setangan; (C) XPL dan (D) PPL pada sampel meta-sedimen .....	69
Gambar 5.13.	Kenampakan (A) singkapan; (B) sampel setangan; (C) XPL dan (D) PPL pada batugamping .....	70
Gambar 5.14.	Kenampakan secara (A) singkapan; (B) sampel setangan; (C) XPL dan (D) PPL pada sampel <i>parting</i> seam A.....	70
Gambar 6.1.	Kenampakan litotipe batubara daerah penelitian dalam sampel setangan. (A) merupakan litotipe <i>bright-banded coal</i> , (B) litotipe batubara <i>bright-banded coal</i> dengan <i>parting</i> , (C) litotipe <i>bright-coal</i> , (D) litotipe <i>dull-coal</i> .....	84
Gambar 6.2.	Stratigrafi komposit daerah penelitian dengan kolom kesebandingan <i>stratotype section</i> Formasi Sawahlunto oleh Koesoemadinata dan Matasak (1981) .....	85
Gambar 6.3.	Suksesi vertikal kelimpahan maseral, kandungan abu dan perkembangan <i>paleomire</i> pada batubara daerah penelitian.....	90
Gambar 6.4.	Suksesi vertikal kelimpahan maseral, kandungan abu dan perkembangan <i>paleomire</i> pada batubara daerah penelitian (lanjutan). ....	91

- Gambar 6.5. Mikrofases batubara daerah penelitian ..... 92
- Gambar 6.6. Analisis TPI vs GI pada batubara daerah penelitian. Plotting diagram berdasarkan Diessel (1965) yang telah dimodifikasi ..... 97
- Gambar 6.7. Grafik hubungan antara *paleomire* daerah penelitian dengan beberapa anomali geokimia dan unsur jejak yang telah dinormalisasi oleh Ketris dan Yudovich (2009), pada *seam* A dan B1 ..... 101
- Gambar 6.8. Grafik hubungan antara *paleomire* daerah penelitian dengan beberapa anomali geokimia dan unsur jejak yang telah dinormalisasi oleh Ketris dan Yudovich (2009), pada *seam* C1 dan B2 ..... 102
- Gambar 6.9. Grafik hubungan antara *paleomire* daerah penelitian dengan beberapa anomali geokimia dan unsur jejak yang telah dinormalisasi oleh Ketris dan Yudovich (2009), pada *seam* C2 ..... 103
- Gambar 6.10. Konsentrasi rata-rata REY pada tiap seam batubara Ombilin terhadap ketebalan. Data konsentrasi REY pada *World hardcoal*, *World low-rank coal*, *China coal* dan *US coal* diambil dari Dai et al. (2016a)..... 105
- Gambar 6.11. Grafik konsentrasi total REY pada batubara, *floor*, *roof* dan *basement* dalam ppm. Dengan garis merah merupakan *cut off world hard coal* (78,5 ppm) dengan evolusi *paleomire* batubara daerah penelitian ..... 107
- Gambar 6.12. Evaluasi konsentrasi REY pada Batubara Ombilin, terdapat empat sampel yang berada pada promising area, skema evaluasi oleh Seredin dan Dai (2012)..... 109
- Gambar 6.13. *Concentration coefficient* (CC) pada batubara B2-03, B2-06 dan C2-09A. Nilai CC merupakan nilai dari *coal/world hard coal*, diambil dari Ketris dan Yudovich (2009). ..... 111
- Gambar 6.14. Beberapa kenampakan pirit yang teridentifikasi pada pengamatan SEM-EDX. .... 113
- Gambar 6.15. Kenampakan mineral yang dijumpai pada batubara daerah penelitian. (A) *massive clay minerals* dan *Fe-Oxide*, (B) kenampakan detail *Fe-Oxide*, (C) *clay mineral cell-fillings*, (D) kenampakan detail pirit dan *clay minerals*, (E) *Clay minerals* dalam kenampakan *lump-dispersed*, (F) kenampakan *clay mineral* dalam bentuk *lens-like* dan kuarsa..... 114
- Gambar 6.16. Kenampakan keterdapatan REY pada batubara daerah penelitian, gambar kiri merupakan gambar kenampakan SEM-EDX, tengah merupakan *overlay mapping* tiap unsur, kanan merupakan unsur REY dengan *margin error terendah*. (A) sampel B2-03, (B) sampel B2-06 dan (C) sampel C2-09A. .... 116
- Gambar 6.17. Konsentrasi *coal/UCC*. Data konsentrasi REY dengan normalisasi UCC yang diambil dari Taylor dan McLennan (1985). Ce dan Eu digunakan untuk analisis redoks sensitif, sedangkan unsur La, Gd dan Y digunakan untuk analisis non-redoks sensitif pada *seam* A. .... 119
- Gambar 6.18. Konsentrasi *coal/UCC*. Data konsentrasi REY dengan normalisasi UCC yang diambil dari Taylor dan McLennan (1985). Ce dan Eu

	digunakan untuk analisis redoks sensitif, sedangkan unsur La, Gd dan Y digunakan untuk analisis non-redoks sensitif pada <i>seam</i> B2, B1, C2, dan C1.....	120
Gambar 6.19.	Tipe distribusi REY pada setiap seam batubara Ombilin. ....	121
Gambar 6.21.	Grafik perbandingan individu unsur REY pada batubara daerah penelitian yang mengalami pengayaan dengan batuan <i>basement</i> , mengindikasikan pola individu unsur mengikuti pola batuan <i>basement</i> andesit-basaltik (BM-03) .....	127
Gambar 6.20.	Grafik perbandingan individu REY pada batubara daerah penelitian yang mengalami pengayaan REY dengan <i>Upper Continental Crust</i> (Taylor dan Mc Lennan, 1965) .....	127
Gambar 6.23.	Rekonstruksi lingkungan pengendapan batubara Ombilin, kotak merah merupakan lingkungan pengendapan seam B2 dan C pada lingkungan <i>fan-delta</i> dan kotak kuning merupakan lingkungan pengendapan seam B1 dan A pada lingkungan lakustrin.....	139
Gambar 6.24.	Rekonstruksi dan interpretasi proses pengayaan REY pada batubara Ombilin. (1) merupakan proses pengayaan pada seam C yang dipengaruhi oleh air laut, serta pengayaan dari <i>basement</i> yang lapuk, tersedimentasi, tersirkulasi dan terdeposisi pada <i>mire</i> , kemudian terjadi sedimentasi sehingga menghasilkan <i>interburden</i> antara <i>seam</i> C dan B2. (2) merupakan proses pengayaan pada seam B2, yang dipengaruhi oleh infiltrasi air laut dan sumber sedimen atau <i>provenance</i> dari <i>basement</i> yang masuk ke dalam proses pengambutan sehingga dapat memperkaya REY pada batubara. ....	140

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Beberapa peneliti terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian....	9
Tabel 3.1. Kelompok mineral pada batubara (Speight, 2005).....	36
Tabel 4.1. Ketersediaan dan jumlah data yang dianalisis .....	54
Tabel 4.2. Jadwal penelitian yang direncanakan oleh penulis .....	55
Tabel 5.1. Data komposisi mineralogi penyusun batuan <i>basement</i> dan <i>parting</i> .	71
Tabel 5.2. Data komposisi maseral dan <i>mineral matter</i> pada batubara daerah penelitian pada <i>seam</i> A dan B1 .....	72
Tabel 5.3. Data komposisi maseral dan <i>mineral matter</i> pada batubara daerah penelitian pada <i>seam</i> B2 dan C2 .....	73
Tabel 5.4. Data komposisi maseral dan <i>mineral matter</i> pada batubara daerah penelitian pada <i>seam</i> C2 .....	74
Tabel 5.5. Data <i>ash yields</i> batubara daerah penelitian berdasarkan analisis proksimat.....	75
Tabel 5.6. Data geokimia REY pada setiap sampel (ppm) hasil analisis ICP-MS .....	77
Tabel 5.7. Data oksida mayor pada setiap sampel hasil analisis ICP-AES.....	80
Tabel 5.8. Tabulasi hasil perhitungan dan deteksi unsur pada analisis SEM-EDX. ....	82
Tabel 6.1. Kriteria yang digunakan dalam klasifikasi mikrofases dan kelimpahan maseral .....	93
Tabel 6.2. Tabel hasil penghitungan tipe distribusi batubara daerah penelitian	122
Tabel 6.3. Nilai perhitungan anomali redoks sensitif dan non-redoks sensitif ..	124
Tabel 6.4. Tabel nilai hasil perhitungan konsentrasi asosiasi unsur jejak serta tipe pengayaan genetis.....	130