

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| SKRIPSI.....   | i    |
| HALAMAN JUDUL .....  | ii   |
| HALAMAN PENGESAHAN .....   | iii  |
| HALAMAN PERNYATAAN .....   | iv   |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....  | v    |
| KATA PENGANTAR .....   | vi   |
| DAFTAR ISI.....  | viii |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xi   |
| DAFTAR TABEL.....  | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN.....   | xiv  |
| INTISARI .....   | xv   |
| ABSTRACT.....  | xvi  |
| BAB I PENDAHULUAN.....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 2    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....   | 3    |
| 1.4 Batasan Masalah.....   | 3    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....  | 5    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....  | 6    |
| 2.1 Tinjauan Geologi Regional.....   | 6    |
| 2.1.1 Fisiografi Cekungan Sumatra Selatan .....                            | 6    |
| 2.1.2 Tatanan tektonik .....   | 6    |
| 2.1.3 Stratigrafi regional.....  | 9    |
| 2.1.4 Lingkungan pengendapan.....  | 14   |
| 2.2 Tinjauan Lokal .....   | 17   |
| 2.2.1 Geologi lokal .....  | 18   |
| 2.2.2 Stratigrafi lokal .....  | 18   |
| 2.3 Penelitian Geofisika Menggunakan <i>Ground Penetrating Radar</i> ..... | 21   |

|   |    |
|---|----|
| BAB III DASAR TEORI.....                                  | 30 |
| 3.1 Batubara.....   | 30 |
| 3.2 Metode <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR).....     | 32 |
| 3.3 Gelombang Elektromagnetik.....                        | 34 |
| 3.3.1 Persamaan Maxwell .....                             | 34 |
| 3.3.2 Persamaan Konstitutif .....                         | 35 |
| 3.3.3 Persamaan Helmholtz.....                            | 36 |
| 3.4 Perambatan Gelombang Radar dalam Tanah .....          | 37 |
| 3.4.1 Kecepatan dan panjang gelombang .....               | 37 |
| 3.4.2 Atenuasi.....                                       | 39 |
| 3.4.3 <i>Skin depth</i> .....                             | 39 |
| 3.4.4 Kedalaman penetrasi dan resolusi .....              | 40 |
| 3.4.5 Propagasi gelombang radar .....                     | 43 |
| 3.4.6 Konsep polaritas refleksi .....                     | 45 |
| 3.4.7 Karakteristik sinyal pada penampang radargram ..... | 46 |
| 3.4.8 Parameter fisis gelombang radar .....               | 49 |
| 3.5 Prinsip Pengolahan Data GPR.....                      | 51 |
| 3.5.1 <i>Move start time</i> .....                        | 51 |
| 3.5.2 <i>Dewow filter</i> .....                           | 54 |
| 3.5.3 <i>Gain function</i> .....                          | 56 |
| 3.5.4 <i>Band-pass butterworth</i> .....                  | 56 |
| 3.5.5 <i>Background removal</i> .....                     | 58 |
| 3.5.6 <i>Frequency-wavenumber</i> (f-k).....              | 58 |
| 3.5.7 <i>Correct 3D topography</i> .....                  | 59 |
| BAB IV METODE PENELITIAN .....                            | 60 |
| 4.1 Diagram Alir .....                                    | 60 |
| 4.2 Data dan Lokasi Penelitian.....                       | 61 |
| 4.3 Perangkat Penelitian .....                            | 62 |
| 4.4 Pengolahan Data GPR .....                             | 63 |
| 4.4.1 <i>Import data GPR</i> .....                        | 63 |
| 4.4.2 <i>Move start time</i> .....                        | 65 |

|   |            |
|---|------------|
| 4.4.3 <i>Dewow filter</i> .....                       | 67         |
| 4.4.4 <i>Gain function</i> .....                      | 69         |
| 4.4.5 <i>Band-pass butterworth</i> .....              | 71         |
| 4.4.6 <i>Background removal</i> .....                 | 73         |
| 4.4.7 <i>Frequency-wavenumber (f-k)</i> .....         | 75         |
| 4.4.8 <i>Correct 3D topography</i> .....              | 78         |
| <b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....               | <b>85</b>  |
| 5.1 Identifikasi Lapisan Batubara .....               | 87         |
| 5.1.1 Lintasan 1 .....                                | 87         |
| 5.1.2 Lintasan 2 .....                                | 95         |
| 5.1.3 Lintasan 3 .....                                | 102        |
| 5.1.4 Lintasan 4 .....                                | 107        |
| 5.1.5 Lintasan 5 .....                                | 114        |
| 5.2 Struktur Geologi yang Berkembang di Pit “X” ..... | 120        |
| 5.3 Kemenerusan Lapisan Batubara .....                | 123        |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....              | <b>129</b> |
| 6.1 Kesimpulan.....                                   | 129        |
| 6.2 Saran.....  | 129        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                           | <b>130</b> |
| <b>LAMPIRAN</b> .....                                 | <b>134</b> |
| Lampiran A .....                                      | 134        |
| Lampiran B.....                                       | 138        |
| Lampiran C.....                                       | 139        |
| Lampiran D .....                                      | 141        |
| Lampiran E.....                                       | 146        |
| Lampiran F .....                                      | 147        |
| Lampiran G .....                                      | 152        |

## DAFTAR GAMBAR

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1  | Pola struktur Cekungan Sumatra Selatan (Bishop, 2001) .....   | 8  |
| Gambar 2.2  | Stratigrafi regional Cekungan Sumatra Selatan (Barber, 2005) .....  | 10 |
| Gambar 2.3  | Peta Geologi Regional (Gafoer dkk., 2007) .....   | 16 |
| Gambar 2.4  | Litofasies 1 (Ramadhana dkk., 2020).....  | 16 |
| Gambar 2.5  | Lingkungan pengendapan M1 dan M2 (Horne, 1978) .....  | 17 |
| Gambar 2.6  | Peta area penembangan PT Bukit Asam Tbk (PT Bukit Asam Tbk, 2023) .....   | 18 |
| Gambar 2.7  | Peta geologi lokal daerah penelitian (PT Bukit Asam Tbk, 2023).....   | 18 |
| Gambar 2.9  | Kolom stratigrafi lokal pada bor “log_d” di Banko Tengah B (PT Bukit Asam, 2023).....   | 20 |
| Gambar 2.10 | Bawah permukaan area pengujian (Miaso dkk., 2018) .....   | 22 |
| Gambar 2.11 | Pola refleksi pada area pengujian (Miao dkk., 2018).....  | 23 |
| Gambar 2.12 | Segmentasi dengan metode Otsu 2D (Miao dkk., 2018).....   | 23 |
| Gambar 2.13 | Interpretasi batubara (Koşaroğlu dkk., 2023).....   | 24 |
| Gambar 2.14 | Singkapan batubara dengan ketebalan lapisan 2.5 meter (Ibrahim dkk., 2007) .....  | 25 |
| Gambar 2.15 | Geometri Refleksi (Ibrahim dkk., 2007) .....  | 25 |
| Gambar 2.16 | Lapisan batubara yang berundulasi (Ibrahim dkk., 2007) .....  | 26 |
| Gambar 2.17 | Geometri refleksi GPR (Ibrahim dkk., 2007).....   | 27 |
| Gambar 2.18 | Profil penampang GPR.....   | 29 |
| Gambar 3.1  | Proses pembentukan batubara (Cook, 1982).....   | 31 |
| Gambar 3.2  | Skema pembangkitan gelombang radar dalam metode GPR (Daniels, 2004) .....   | 33 |
| Gambar 3.3  | Kedalaman penetrasi sinyal GPR pada medium (Cook, 1975 dalam Reynolds, 2011).....   | 42 |
| Gambar 3.4  | Resolusi vertikal dan horizontal (Jol, 2009).....   | 42 |
| Gambar 3.5  | Propagasi gelombang radar (Annan, 2005) .....   | 43 |
| Gambar 3.6  | Pengaruh komposisi material terhadap pantulan GPR (Manrique dkk, 2019).....   | 45 |
| Gambar 3.7  | Tiga kategori umum noise (Kramer, 2011) .....   | 47 |
| Gambar 3.8  | Jalur sinar antara antena pemancar dan penerima untuk gelombang udara dan gelombang tanah (Fisher dkk., 1996)....   | 52 |
| Gambar 3.9  | Lokasi A-E merupakan posisi waktu nol pada wavelet awal yang diusulkan oleh pengguna GPR dalam survei yang dilakukan oleh <i>Georadar Research</i> (Yelf, 2004) ..... | 53 |
| Gambar 3.10 | Koreksi <i>dewow</i> pada data GPR (Jol, 2009) .....  | 55 |
| Gambar 3.11 | Prinsip filter <i>butterworth</i> dalam domain frekuensi (Cassidy, 2009).....   | 57 |
| Gambar 4.1  | Diagram alir penelitian.....  | 60 |
| Gambar 4.2  | Diagram alir pengolahan data.....   | 61 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.3  | Lokasi area penelitian di Pit “X” .....                                    | 62  |
| Gambar 4.4  | Input data <i>raw</i> GPR .....  | 65  |
| Gambar 4.5  | Tampilan jendela kerja pengolahan <i>move start time</i> .....             | 66  |
| Gambar 4.6  | Penampang radargram pengolahan <i>move start time</i> .....                | 67  |
| Gambar 4.7  | Tampilan jendela kerja pengolahan <i>dewow</i> .....                       | 68  |
| Gambar 4.8  | Penampang radargram pengolahan <i>dewow</i> .....                          | 69  |
| Gambar 4.9  | Tampilan jendela kerja pengolahan <i>gain</i> .....                        | 70  |
| Gambar 4.10 | Penampang radargram pengolahan <i>gain function</i> .....                  | 71  |
| Gambar 4.11 | Tampilan jendela kerja pengolahan <i>butterworth</i> .....                 | 72  |
| Gambar 4.12 | Penampang radargram pengolahan <i>butterworth</i> .....                    | 73  |
| Gambar 4.13 | Tampilan jendela kerja pengolahan <i>background removal</i> .....          | 74  |
| Gambar 4.14 | Penampang radargram pengolahan <i>background removal</i> .....             | 75  |
| Gambar 4.15 | Tampilan jendela kerja pengolahan <i>f-k filter</i> .....                  | 76  |
| Gambar 4.16 | Pemilihan area <i>f-k filter</i> .....                                     | 77  |
| Gambar 4.17 | Penampang radargram pengolahan <i>f-k</i> .....                            | 77  |
| Gambar 4.18 | Tampilan jendela kerja <i>correct 3D topography</i> .....                  | 79  |
| Gambar 4.19 | Penampang radargram <i>correct 3D topography</i> .....                     | 79  |
| Gambar 5.1  | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 1 sebelum <i>f-k filter</i> ...  | 92  |
| Gambar 5.2  | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 1 setelah <i>f-k filter</i> .... | 93  |
| Gambar 5.3  | Hasil identifikasi lapisan batubara lintasan 1 .....                       | 94  |
| Gambar 5.4  | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 2 sebelum <i>f-k filter</i> ..   | 96  |
| Gambar 5.5  | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 2 setelah <i>f-k filter</i> .... | 97  |
| Gambar 5.6  | Hasil identifikasi lapisan batubara lintasan 2 .....                       | 100 |
| Gambar 5.7  | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 3 sebelum <i>f-k</i> .....       | 104 |
| Gambar 5.8  | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 3 setelah <i>f-k filter</i> .... | 105 |
| Gambar 5.9  | Hasil identifikasi batubara lintasan 3 .....                               | 106 |
| Gambar 5.10 | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 4 sebelum <i>f-k</i> .....       | 110 |
| Gambar 5.11 | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 4 setelah <i>f-k filter</i> .... | 111 |
| Gambar 5.12 | Hasil identifikasi batubara lintasan 4 .....                               | 112 |
| Gambar 5.13 | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 5 sebelum <i>f-k</i> .....       | 115 |
| Gambar 5.14 | Delineasi pola refleksi batubara lintasan 5 setelah <i>f-k filter</i> .... | 116 |
| Gambar 5.15 | Hasil identifikasi batubara lintasan 5 .....                               | 118 |
| Gambar 5.16 | Peta korelasi patahan pada lintasan GPR di Pit “X” .....                   | 122 |
| Gambar 5.17 | Hasil korelasi lintasan 1, 2, 3 .....                                      | 124 |
| Gambar 5.18 | Hasil korelasi lintasan 4 dan 5 .....                                      | 126 |

## DAFTAR TABEL

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabel 3.1 | Hubungan frekuensi dengan kedalaman penetrasi dan resolusi (Reynolds, 2011) .....  | 43 |
| Tabel 3.2 | Nilai konstanta dielektrik dan kecepatan untuk material bumi (Daniels, 2004) ..... | 49 |
| Tabel 4.1 | Menu <i>import</i> data pada ReflexW (Sandmeier, 2020).....                        | 63 |
| Tabel 4.2 | Menu opsi plot pada ReflexW (Sandmeier, 2020).....                                 | 64 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran A.1 Penurunan persamaan Maxwell menjadi persamaan gelombang Helmholtz .....                 | 134 |
| Lampiran B.1 Penurunan persamaan Maxwell menjadi persamaan kecepatan gelombang radar .....           | 138 |
| Lampiran C.1 Penurunan persamaan Helmholtz menjadi persamaan atenuasi gelombang radar .....          | 139 |
| Lampiran D.1 Penurunan persamaan Helmholtz menjadi persamaan <i>skin depth</i> gelombang radar ..... | 141 |
| Lampiran E.1 Data <i>outcrop</i> lapangan .....  | 146 |
| Lampiran E.2 Data bor lapangan .....   | 146 |
| Lampiran F.1 Data elevasi lintasan 1 .....   | 147 |
| Lampiran F.2 Data elevasi lintasan 2 .....   | 148 |
| Lampiran F.3 Data elevasi lintasan 3 .....   | 149 |
| Lampiran F.4 Data elevasi lintasan 4 .....   | 150 |
| Lampiran F.5 Data elevasi lintasan 5 .....   | 151 |
| Lampiran G.1 Penyesuaian data <i>outcrop</i> .....   | 152 |
| Lampiran G.2 Penyesuaian data bor .....  | 152 |