

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBARAN PENGESAHAN | ii |
| LEMBARAN PERNYATAAN | iii |
| HALAMAN UNGKAPAN HATI | iv |
| HALAMAN UCAPAN TERIMA KASIH | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xx |
| INTISARI | xxi |
| ABSTRACT | xxii |
| I. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan Penelitian..... | 5 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 7 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 7 |
| 1.5 Keaslian Penelitian | 7 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI..... | 9 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 9 |
| 2.1.1 Pembentukan tanah..... | 9 |
| 2.1.2 Perkembangan perubahan sifat kimia tanah reklamasi tambang. | 11 |
| 2.1.3 Proses pembentukan deposit batubara | 15 |
| 2.1.4 Pembentukan pirit dan kemasaman tanah..... | 16 |
| 2.1.5 Metode penambangan terbuka dan regulasi penanganan pasca tambang..... | 18 |
| 2.1.6 Potensi batubara, biochar, senyawa humat sebagai amelioran tanah reklamasi tambang batubara..... | 19 |
| 2.1.7 Revegetasi lahan reklamasi tambang batubara | 24 |
| 2.2 Landasan Teori | 25 |
| 2.3 Hipotesis | 27 |
| III. METODE PENELITIAN | 28 |
| 3.1 Penelitian I “Genesis tanah yang berkembang di atas lapisan batubara”..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 3.1.1 Bahan dan alat penelitian I..... | 29 |
| 3.1.2 Waktu dan tempat penelitian I..... | 29 |
| 3.1.3 Prosedur penelitian I..... | 29 |
| 3.1.3.1 Persiapan survei untuk penelitian I..... | 29 |
| 3.1.3.2 Pelaksanaan survei pendahuluan untuk penelitian I..... | 30 |
| 3.1.3.3 Pelaksanaan survei utama untuk penelitian I..... | 30 |
| 3.1.3.4 Parameter dan metode analisis laboratorium untuk penelitian I..... | 32 |
| 3.2 Penelitian II” Dinamika sifat tanah reklamasi pasca tambang batubara terbuka”..... | 33 |
| 3.2.1 Bahan dan alat penelitian II..... | 33 |
| 3.2.2 Waktu dan tempat penelitian II..... | 34 |
| 3.2.3 Prosedur penelitian II..... | 34 |
| 3.2.3.1 Persiapan survei untuk penelitian II..... | 34 |
| 3.2.3.2 Pelaksanaan survei pendahuluan untuk penelitian II..... | 34 |
| 3.2.3.3 Pelaksanaan survei utama untuk penelitian II..... | 34 |
| 3.2.3.4 Parameter dan metode analisis laboratorium untuk penelitian II..... | 35 |
| 3.3 Penelitian III “Model kolom reklamasi untuk penurunan kemasaman tanah pada lahan pasca tambang”..... | 35 |
| 3.3.1 Bahan dan alat penelitian III..... | 35 |
| 3.3.2 Waktu dan tempat penelitian III..... | 36 |
| 3.3.3 Prosedur penelitian III..... | 36 |
| 3.3.3.1 Pelaksanaan Penelitian III..... | 39 |
| 3.3.4 Parameter dan metode analisis laboratorium untuk penelitian III | 40 |
| 3.4 Analisis dan Interpretasi data | 40 |
| 3.4.1 Penelitian I | 40 |
| 3.4.2 Penelitian II..... | 40 |
| 3.4.3 Penelitian III | 41 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 42 |
| 4.1 Genesis Tanah yang Berkembang di Atas Lapisan Batubara..... | 42 |
| 4.1.1 Deskripsi umum lokasi penelitian..... | 42 |
| 4.1.1.1 Curah hujan, suhu udara dan suhu tanah wilayah penelitian..... | 44 |
| 4.1.1.2 Vegetasi lokasi penelitian..... | 46 |
| 4.1.1.3 Geomorfologi dan geologi lokasi penelitian..... | 46 |
| 4.1.2 Ciri morfologi warna tanah | 49 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.1.2.1 | Kenampakan morfologi dan warna tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 49 |
| 4.1.2.2 | Kenampakan morfologi dan warna tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 52 |
| 4.1.2.3 | Kenampakan morfologi dan warna tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 55 |
| 4.1.3 | Ciri morfologi tekstur, struktur, konsistensi, dan batas horison.... | 57 |
| 4.1.3.1 | Ciri morfologi tekstur, struktur, konsistensi, dan batas horison tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 57 |
| 4.1.3.2 | Ciri morfologi tekstur, struktur, konsistensi, dan batas horison tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 58 |
| 4.1.3.3 | Ciri morfologi tekstur, struktur, konsistensi, dan batas horison tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 59 |
| 4.1.4 | Distribusi ukuran partikel tanah | 60 |
| 4.1.4.1 | Distribusi ukuran partikel tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 60 |
| 4.1.4.2 | Sifat distribusi ukuran partikel tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 64 |
| 4.1.4.3 | Sifat distribusi ukuran partikel tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 67 |
| 4.1.5 | Sifat Kimia Tanah | 69 |
| 4.1.5.1 | Nilai pH H ₂ O, pH KCl, kation masam dan basa tertukar tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 69 |
| 4.1.5.2 | Nilai pH H ₂ O, pH KCl, kation masam dan basa tertukar tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 74 |
| 4.1.5.3 | Nilai pH H ₂ O, pH KCl, kation masam dan basa tertukar tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 80 |
| 4.1.5.4 | Nilai KPK, C-org, Nitrogen, C/N, HA, FA, P ₂ O ₅ dan K ₂ O tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 83 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.5.5 Nilai KPK, C-org, Nitrogen, C/N, HA, FA, P ₂ O ₅ dan K ₂ O tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 90 |
| 4.1.5.6 Nilai KPK, C-org, Nitrogen, C/N, HA, FA, P ₂ O ₅ dan K ₂ O tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol) | 98 |
| 4.1.5.7 Nilai pH H ₂ O ₂ , kandungan S, Fe, Al, Si, dan <i>pyrite</i> tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 105 |
| 4.1.5.8 Nilai pH H ₂ O ₂ , S, Fe, Al, Si, dan <i>pyrite</i> tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 109 |
| 4.1.5.9 Nilai pH H ₂ O ₂ , kandungan S, Fe, Al, Si, dan <i>pyrite</i> tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 114 |
| 4.1.6 Sifat mineralogi tanah | 118 |
| 4.1.6.1 Sifat mineralogi tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 118 |
| 4.1.6.2 Sifat mineralogi tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 144 |
| 4.1.6.3 Sifat mineralogi tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 163 |
| 4.1.7 Klasifikasi tanah yang berkembang di atas lapisan batubara..... | 172 |
| 4.2. Perubahan Sifat Tanah Reklamasi Pasca Penambangan Batubara Terbuka | 180 |
| 4.2.1 Deskripsi umum lokasi penelitian pada tanah reklamasi..... | 180 |
| 4.2.2 Ciri dan dinamika morfologi tanah reklamasi tambang batubara..... | 183 |
| 4.2.3 Sifat fisika lapisan permukaan tanah reklamasi tambang batubara..... | 187 |
| 4.2.3.1 Agregat terbentuk dan stabilitas agregat tanah..... | 187 |
| 4.2.3.2 <i>Bulk density</i> tanah (BD)..... | 189 |
| 4.2.3.3 Permeabilitas dan kapasitas infiltrasi tanah..... | 189 |
| 4.2.4 Dinamika sifat kimia tanah reklamasi tambang batubara..... | 191 |
| 4.2.4.1 Dinamika pH H ₂ O, pH KCl, kemasaman total, kation masam dan basa dapat tertukar..... | 191 |
| 4.2.4.2 Dinamika nilai pH H ₂ O ₂ , kandungan Fe, S, <i>pyrite</i> , dan SO ₄ larut, dan potensial redoks | 204 |
| 4.2.4.3 Dinamika KPK, C-organik, N-total, C/N, asam humat | 214 |

| | |
|--|-----|
| dan fulvat, P_2O_5 dan K_2O total..... | |
| 4.3. Model Kolom Reklamasi untuk Penurunan Kemasaman Tanah Pada Lahan Pasca Penambangan Batubara Terbuka..... | 240 |
| 4.3.1 Karakteristik dasar bahan pembentuk tanah penyusun model kolom reklamasi..... | 240 |
| 4.3.2 Sifat kimia dan struktur permukaan bahan amelioran (batubara dan biochar)..... | 243 |
| 4.3.3 Kemasaman dan sifat kimia tanah tertentu pada masing- masing model kolom reklamasi..... | 245 |
| 4.3.4 Serapan Al dan Fe oleh akar dan daun serta pertumbuhan tanaman jagung pada model kolom reklamasi yang dicobakan..... | 255 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 258 |
| 5.1. Kesimpulan..... | 258 |
| 5.2. Saran..... | 258 |
| DAFTAR PUSTAKA | 259 |
| LAMPIRAN..... | 275 |

DAFTAR TABEL

| No. | Teks | Hal. |
|-----|--|------|
| 1. | Perubahan tanah dan proses pembentukan tanah: hubungannya dengan skala spasial dan temporal, dan usulan indikator untuk mengenalinya (MacEwan and Fitzpatrick, 1996)..... | 11 |
| 2. | Ringkasan peraturan sistem operasional penambangan tentang penanganan overburden dari pertambangan batubara permukaan (Chang, 1985)..... | 19 |
| 3. | Hasil analisis kimia biochar cangkang kelapa sawit (Endriani et al., 2013)..... | 20 |
| 4. | Nilai pH tanah setelah 2 tahun pemberian biosolid (Griebel et al., 1979 cit. Castello, 2003)..... | 21 |
| 5. | Substansi humat, kandungan gugus fungsional karboksilat dan kelompok fenolat dan nilai-nilai CEC dari sampel bongkahan batubara dan sampel campuran tanah dengan batubara dari Yunani (Giannouli et al., 2009) | 22 |
| 6. | Pengaruh kemasaman terhadap rata-rata luas daun (LDA) dan berat daun (BDS) (Boer <i>et al.</i> , 2011)..... | 24 |
| 7. | Klasifikasi cakupan bahan induk untuk tujuan pedologik (Gray dan Murphy, 2002)..... | 27 |
| 8. | Parameter fisika, kimia, mineralogi tanah dan mineralogi batuan/bahan induk dan metode analisis laboratorium yang digunakan untuk penelitian I..... | 33 |
| 9. | Parameter fisika, dan kimia tanah dan metode analisis laboratorium yang digunakan untuk penelitian II..... | 35 |
| 10. | Parameter kimia tanah dan pertumbuhan tanaman dan serta metode analisis dan pengukuran yang digunakan pada penelitian III..... | 40 |
| 11. | Data curah hujan bulanan selama 10 tahun di wilayah penelitian periode pengamatan tahun 2001-2010..... | 44 |
| 12. | Data suhu udara dan tanah rerata bulanan selama 10 tahun di wilayah penelitian periode pengamatan tahun 2001-2010 | 45 |
| 13. | Ciri morfologi tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 51 |
| 14. | Ciri morfologi tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara.... | 54 |
| 15. | Ciri morfologi tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 56 |
| 16. | Distribusi ukuran partikel tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 62 |
| 17. | Distribusi ukuran partikel tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas | 65 |

| | | |
|-----|---|-----|
| | lapisan batubara..... | |
| 18. | Distribusi ukuran partikel tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 67 |
| 19. | Nilai pH H ₂ O, pH KCl, Kation masam dan basa tertukar tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 70 |
| 20. | Nilai pH H ₂ O, pH KCl, dan Kation masam dan basa yang dapat dipertukarkan tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara ... | 75 |
| 21. | Nilai pH H ₂ O, pH KCl, Kation masam dan basa dapat tukar tanah yang berkembang dan dibawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 80 |
| 22. | Nilai KPK, C-organik, Nitrogen, C/N, asam humat, asam fulvat, P ₂ O ₅ dan K ₂ O tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 84 |
| 23. | Nilai KPK, C-org, Nitrogen, C/N, asam humat, asam fulvat, P ₂ O ₅ dan K ₂ O tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara..... | 92 |
| 24. | Nilai KPK, C-org, Nitrogen, C/N, asam humat, asam fulvat, P ₂ O ₅ dan K ₂ O tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 98 |
| 25. | Nilai pH H ₂ O ₂ , kandungan S, Fe, Al, Si, dan <i>pyrite</i> tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 106 |
| 26. | Nilai pH H ₂ O ₂ , S, Fe, Al, Si, dan <i>pyrite</i> tanah yang berkembang dan horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 111 |
| 27. | Nilai pH H ₂ O ₂ , potensial redoks, kandungan S, Fe, Al, Si, dan <i>pyrite</i> tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 114 |
| 28. | Kandungan dan jenis mineral fraksi pasir total tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 118 |
| 29. | Kandungan dan jenis mineral lempung tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara | 126 |
| 30. | Kandungan dan jenis mineral fraksi pasir total tanah yang horison terbawahnya tidak berbatas langsung dengan lapisan batubara..... | 144 |
| 31. | Kandungan dan jenis mineral lempung tanah yang horison terbawahnya tidak berbatas langsung dengan lapisan batubara | 151 |
| 32. | Kandungan dan jenis mineral fraksi pasir total hasil pengujian sayatan tipis tanah yang berkembang dan di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 163 |
| 33. | Kandungan dan jenis mineral lempung tanah yang di bawahnya tidak terdapat lapisan batubara (tanah kontrol)..... | 165 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 34. | Analisis indeks kemiripan sifat tanah pada penelitian tahap I (Buol et al., 1980)..... | 178 |
| 35. | Warna tanah dan struktur tanah reklamasi tambang batubara menurut umur | 184 |
| 36. | Beberapa sifat fisika lapisan permukaan profil tanah reklamasi tambang batubara | 187 |
| 37. | Kemasaman total, pH H ₂ O, pH KCl, Kation masam dan basa dapat tertukar pada beberapa profil tanah reklamasi tambang batubara umur 1-5 tahun | 192 |
| 38. | Nilai pH H ₂ O ₂ , Kandungan Fe, S, <i>Pyrite</i> , dan SO ₄ larut, potensial redoks pada beberapa profil tanah reklamasi tambang batubara umur 1-5 tahun | 205 |
| 39. | KPK, C-organik, N-total, C/N, asam humat dan fulvat, P ₂ O ₅ dan K ₂ O total pada beberapa profil tanah reklamasi tambang batubara umur 1-5 tahun | 215 |
| 40. | Kandungan Fe, Al, Si-dithionit sitrat, Fe, Al, Si-ammonium oksalat, dan Fe, Al, Si-sodium pirofosfat pada beberapa profil tanah reklamasi tambang batubara umur 1-5 tahun | 228 |
| 41. | Kandungan Fe, Al, Si-dithionat sitrat, Fe, Al, Si-ammonium oksalat, dan Fe, Al, dan Si-sodium pirofosfat tanah reklamasi tambang batubara menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm pada umur 1-5 tahun..... | 230 |
| 42. | Beberapa sifat kimia bahan pembentuk tanah yang digunakan untuk membuat model kolom reklamasi | 241 |
| 43. | Beberapa sifat kimia amelioran batubara, biochar cangkang kelapa sawit, dan ekstrak humat-Ca yang diberikan pada model kolom reklamasi tertentu | 243 |
| 44. | Nilai pH H ₂ O, pH KCl, pH H ₂ O ₂ , dan Kation masam dan basa dapat tukar pada tanah yang disebabkan oleh perbedaan perlakuan model kolom reklamasi | 246 |
| 45. | Kemasaman total, Nilai pH H ₂ O ₂ , Fe total, pH H ₂ O air lindian, SO ₄ ⁻² larut dan potensial redoks pada tanah yang disebabkan oleh perbedaan perlakuan model kolom reklamasi | 250 |
| 46. | KPK, C-organik, N-total, C/N, asam humat dan fulvat, P ₂ O ₅ dan K ₂ O total pada tanah yang disebabkan oleh perbedaan perlakuan model kolom reklamasi | 253 |
| 47. | Nilai serapan Fe dan Al-akar, serapan Fe dan Al-daun, tinggi tanaman, panjang akar dan bobot kering akar, dan bobot kering trubus tanaman jagung pada tanah yang disebabkan oleh perbedaan model kolom reklamasi..... | 255 |

DAFTAR GAMBAR

| No. | Teks | Hal |
|-----|---|-----|
| 1. | <i>Road map</i> penelitian (alur pemikiran penelitian) | 6 |
| 2. | Perubahan kecenderungan kandungan N pada tanah mineral ekosistem pinus: perubahan empat dekade konsentrasi N total (8 plot permanen utama) dari 4 lapisan tanah mineral pada Percobaan Calhoun Forest, SC (Richter <i>et al.</i> , 2000 <i>cit.</i> Lin, 2011)..... | 13 |
| 3. | Rata-rata agregasi tanah pada 2 (dua) horison permukaan tanah tambang menurut umur reklamasi dan tanah asli (Thomas, 2001)..... | 14 |
| 4. | Voltamperogram pirit yang diperoleh dari elektroda dengan ukuran butir pirit tetap (44-63mm): (1) pirit baru digiling, (2) pirit telah dicuci 8 jam, (3) pirit yang telah dicuci 21 jam, dan (4) pirit setelah adsorpsi oleh 20 mg/L larutan asam humat yang dicuci 8 jam. Potensial evolusi: 0,97 mV/min, 1 siklus, KCl 0,5 mol/L (ÄCai <i>et al.</i> , 2009)..... | 21 |
| 5. | Perubahan pH, redoks dan kandungan sulfat tanah sulfat masam di bawah kondisi anaerobik selama 6 bulan dengan (▪) atau tanpa (°) mulsa (<i>Phragmites</i> tunas) dimasukkan dengan jumlah 1 g per 80 g tanah. Tanda bintang menunjukkan perbedaan signifikan (p 0,05) antara perlakuan pada setiap kedalaman (Michael <i>et al.</i> , 2015)..... | 23 |
| 6. | Perubahan pH, redoks dan kandungan sulfat tanah sulfat masam di bawah kondisi aerobik selama 6 bulan dengan (▪) atau tanpa (°) mulsa (<i>Phragmites</i> tunas) dimasukkan dengan jumlah 1 g per 80 g tanah. Tanda bintang menunjukkan perbedaan signifikan (p 0,05) antara perlakuan pada setiap kedalaman (Michael <i>et al.</i> , 2015)..... | 23 |
| 7. | Pengaruh aktivitas H ⁺ pada medium terhadap tingkat pertumbuhan jagung (O) dan kacang besar (broad bean)(●). Medium akar adalah 0,25 mM Na ₂ SO ₄ + 25 µM K ₂ SO ₄ + 1 mM CaSO ₄ (Yan <i>et al.</i> , 1992)... | 25 |
| 8. | Bagan alir tahapan penelitian..... | 28 |
| 9. | Sebaran jalur transek pemboran dan pengamatan penelitian yang dilakukan (P1-P17= Profil tanah asli 1-17, C1-C4= Coring 1-4)..... | 31 |
| 10. | Susunan bahan pembentuk tanah dan amelioran yang diberikan pada model kolom reklamasi yang dicobakan (MG0, MG1, MG2, MG3, MG4, MG5, dan MG6)..... | 38 |
| 11. | Sebaran lokasi pengamatan dan pengambilan contoh tanah penelitian disertasi tahap I..... | 43 |
| 12. | Jenis vegetasi dominan yang terdapat pada tapak profil tanah perwakilan penelitian disertasi tahap I | 46 |
| 13. | Sebaran satuan geomorfologi lokasi penelitian disertasi tahap I | 47 |
| 14. | Sebaran formasi geologi lokasi penelitian disertasi tahap I | 48 |
| 15. | Kenampakan morfologi profil tanah yang berkembang dan berbatasan langsung dengan bagian atas lapisan batubara berupa profil tanah asli sebelum penambangan (PTA4, PTA5, PTA6, PTA7, PTA11, dan PTA14)..... | 50 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 16. | Kenampakan morfologi profil tanah yang horison terbawahnya tidak berbatasan langsung dengan lapisan batubara berupa profil tanah asli sebelum penambangan (PTA1, PTA2, PTA3, PTA8, PTA9, PTA12, PTA13, PTA15, dan PTA16)..... | 53 |
| 17. | Kenampakan morfologi profil tanah yang berkembang dan dibawahnya tidak terdapat lapisan batubara atau tanah kontrol berupa profil tanah kontrol asli sebelum penambangan (PTC10 dan PTC17)..... | 55 |
| 18. | Diagramatik dari keseluruhan proses pembentukan pyrite sedimen... | 116 |
| 19. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir tanah PTA4 horison Bt1 (atas) dan 2C1 (bawah) dengan deskripsi (1. <i>Fragment</i> ; 2. <i>Calcite</i> ; 3. <i>Glauconite</i> ; 4. <i>Feldspars</i> ; 5. <i>Hornblende</i> ; 6. <i>Quartz</i> ; 7. <i>Opaque</i> ; 8. <i>Skeletal</i>)..... | 119 |
| 20. | Pengujian SEM-EDS contoh asal horison 2C1 tanah PTA4..... | 120 |
| 21. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir tanah PTA6 horison Bw2 (atas) dan 2C1 (bawah) dengan deskripsi (1. <i>Quartz</i> ; 2. <i>Feldspars</i> ; 3. <i>Hornblende</i> ; 4. <i>Calcite</i> ; 5. <i>Intraclas</i> ; 6. <i>Opaque</i>)..... | 122 |
| 22. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir tanah PTA11 horison Bt2 (atas) dan 2C1 (bawah) dengan deskripsi (1. <i>Feldspars</i> ; 2. <i>Quartz</i> ; 3. <i>Hornblende</i> ; 4. <i>Calcite</i> ; 5. <i>Intraclas</i> ; dan 6. <i>Opaque</i>)..... | 124 |
| 23. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir tanah PTA14 horison Bw2 (atas) dan C (bawah) dengan deskripsi (1. <i>Intraclas</i> = atas; 1. <i>Fragment</i> = bawah; 2. <i>Calcite</i> ; 3. <i>Glauconite</i> ; 4. <i>Feldspars</i> ; 5. <i>Hornblende</i> ; 6. <i>Quartz</i> ; 7. <i>Opaque</i> ; 8. <i>Skeletal</i>)..... | 125 |
| 24. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA4 pada horison Bt1 dengan perlakuan kering udara (A), penjenuhan Mg-glyserol (B), penjenuhan Mg (C), penjenuhan K (D), dan K-pemanasan (E)..... | 132 |
| 25. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA4 pada horison 2C1 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 134 |
| 26. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA6 pada horison Bw2 dengan perlakuan penjenuhan Mg..... | 136 |
| 27. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA6 pada horison 2C1 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 137 |
| 28. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA11 pada horison Bt2 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 139 |
| 29. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA11 pada horison 2C1 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 140 |
| 30. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA14 pada horison Bw2 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 142 |
| 31. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA14 pada horison C dengan perlakuan penjenuhan Mg | 143 |
| 32. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir PTA2 horison Bt1 (atas) dan C (bawah) dengan deskripsi (1. | 145 |

| | | |
|-----|---|-----|
| | <i>Fragment</i> = atas; 1. <i>Intraclas</i> = bawah; 2. <i>Calcite</i> ; 3. <i>Glauconite</i> ; 4. <i>Feldspars</i> ; 5. <i>Hornblende</i> ; 6. <i>Quartz</i> ; 7. <i>Opaque</i> ; 8. <i>Skletal</i> = bawah). | |
| 33. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir PTA8 horison Bt1 (atas) dan BC (bawah) dengan deskripsi (1. <i>Feldspars</i> ; 2. <i>Calcite</i> ; 3. <i>Quartz</i> ; 4. <i>Intraclas</i> ; 5. <i>Hornblende</i> ; 6. <i>Opaque</i> ; 7. <i>Skletal</i> = atas; dan 1. <i>Fragment</i> ; 2. <i>Calcite</i> ; 3. <i>Glauconite</i> ; 4. <i>Feldspars</i> ; 5. <i>Hornblende</i> ; 6. <i>Quartz</i> ; 7. <i>Opaque</i> = bawah)..... | 147 |
| 34. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir PTA12 horison Bt1 (atas) dan C (bawah) dengan deskripsi (1. <i>Feldspars</i> ; 2. <i>Quartz</i> ; 3. <i>Hornblende</i> ; 4. <i>Calcite</i> ; 5. <i>Intraclas</i> ; 6. <i>Opaque</i>)..... | 148 |
| 35. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir PTA16 horison Bt1 (atas) dan BC (bawah) dengan deskripsi (1. <i>Intraclas</i> = atas; 1. <i>Fragment</i> = bawah; 2. <i>Calcite</i> ; 3. <i>Glauconite</i> ; 4. <i>Feldspars</i> ; 5. <i>Hornblende</i> ; 6. <i>Quartz</i> ; 7. <i>Opaque</i>)..... | 150 |
| 36. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA2 pada horison Bt1 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 152 |
| 37. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA2 pada horison C dengan perlakuan penjenuhan Mg | 153 |
| 38. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA8 pada horison Bt1 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 155 |
| 39. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA8 pada horison BC dengan perlakuan penjenuhan Mg | 156 |
| 40. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA12 pada horison Bt1 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 158 |
| 41. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA12 pada horison C dengan perlakuan penjenuhan Mg | 159 |
| 42. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA16 pada horison Bt1 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 161 |
| 43. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTA16 pada horison BC dengan perlakuan penjenuhan Mg | 162 |
| 44. | Foto sayatan tipis pembesaran (40X) cross nikol mineral fraksi pasir tanah PTC10 horison Bt1 (atas) dan BC (bawah) dengan deskripsi (1. <i>Feldspars</i> ; 2. <i>Quartz</i> ; 3. <i>Hornblende</i> ; 4. <i>Calcite</i> ; 5. <i>Intraclas</i> ; 6. <i>Opaque</i> = kiri; dan 1. <i>Feldspars</i> ; 2. <i>Calcite</i> ; 3. <i>Quartz</i> ; 4. <i>Intraclas</i> ; 5. <i>Hornblende</i> ; 6. <i>Opaque</i> ; dan 7. <i>Skletal</i> = bawah)..... | 164 |
| 45. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTC10 pada horison Bt1 dengan perlakuan penjenuhan Mg | 166 |
| 46. | Difraktogram X-RD mineral lempung tanah PTC10 pada horison BC dengan perlakuan penjenuhan Mg | 167 |
| 47. | Sebaran tanah berdasarkan pengklasifikasian menurut kriteria penciri diagnostik pada masing-masing profil tanah lokasi penelitian tahap I yang diamati | 179 |
| 48. | Kenampakan jenis vegetasi yang ditanam kembali pada tanah reklamasi PTR1, PTR2, PTR3, PTR4, dan PTR5 (Profil tanah | 181 |

| | | |
|-----|--|-----|
| | reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | |
| 49. | Sebaran lokasi pengamatan dan pengambilan contoh tanah penelitian disertai tahap II (titik profil tanah perwakilan, minipit, pemboran)..... | 182 |
| 50. | Kenampakan morfologi tanah reklamasi tambang batubara PTR1, PTR2, PTR3, PTR4, dan PTR5 (Profil tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | 183 |
| 51. | Histogram penurunan infiltrasi air ke dalam tanah reklamasi tambang batubara PTR1, PTR2, PTR3, PTR4, dan PTR5 (Profil tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | 190 |
| 52. | Perubahan dinamis nilai pH H ₂ O (A) dan pH KCl (B) tanah reklamasi tambang batubara menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm pada MTR1, MTR2, MTR3, MTR4, dan MTR5 (Minipit tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | 196 |
| 53. | Perubahan dinamis nilai pH H ₂ O berdasarkan umur pelaksanaan reklamasi 1-5 tahun menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm | 197 |
| 54. | Perubahan dinamis kandungan Al-dd (C) dan H-dd (D) tanah reklamasi tambang batubara menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm pada MTR1, MTR2, MTR3, MTR4, dan MTR5 (Minipit tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | 198 |
| 55. | Perubahan dinamis kandungan Al-dd berdasarkan umur pelaksanaan reklamasi 1-5 tahun menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm..... | 199 |
| 56. | Perubahan dinamis Ca-dd (E), Mg-dd (F), K-dd (G), dan Na-dd (H) tanah reklamasi tambang batubara menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm pada MTR1, MTR2, MTR3, MTR4, dan MTR5 (Minipit tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | 201 |
| 57. | Perubahan dinamis kandungan Ca-dd (atas) dan Mg-dd (bawah) berdasarkan umur pelaksanaan reklamasi 1-5 tahun menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm | 203 |
| 58. | Perubahan dinamis nilai pH H ₂ O ₂ (I), potensial redoks (J), kandungan Fe-total (K), S-total (L), <i>pyrite</i> -total (M), dan SO ₄ -larut (N) tanah reklamasi tambang batubara menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm pada MTR1, MTR2, MTR3, MTR4, dan MTR5 (Minipit tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | 208 |
| 59. | Perubahan dinamis kandungan <i>pyrite</i> -total berdasarkan umur pelaksanaan reklamasi 1-5 tahun menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm | 212 |
| 60. | Perubahan dinamis kandungan SO ₄ -terlarut berdasarkan umur pelaksanaan reklamasi 1-5 tahun menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm | 212 |
| 61. | Berbagai kategori lingkungan redoks dengan akseptor elektron yang penting | 213 |
| 62. | Distribusi kandungan C-organik total pada profil tanah reklamasi tambang batubara PTR1, PTR2, PTR3, PTR4, dan PTR5 (Profil | 214 |

| | | |
|-----|--|-----|
| | tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | |
| 63. | Perubahan dinamis Karbon organik (O), N-total (P), rasio C/N (Q), dan KPK (R) tanah reklamasi tambang batubara menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm pada MTR1, MTR2, MTR3, MTR4, dan MTR5 (Minipit tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)... | 219 |
| 64. | Perubahan dinamis asam humat (S), asam fulvat (T), P ₂ O ₅ -total (U), dan K ₂ O-total (V) tanah reklamasi tambang batubara menurut sekuen 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm pada MTR1, MTR2, MTR3, MTR4, dan MTR5 (Minipit tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | 222 |
| 65. | Perubahan dinamis kandungan C-organik menurut seluruh sekuen kedalaman 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, dan 30-40 cm (atas) dan C-organik permukaan (bawah) pada MTR1, MTR2, MTR3, MTR4, dan MTR5 (Minipit tanah reklamasi berumur 1, 2, 3, 4, dan 5 tahun)..... | 225 |
| 66. | Transformasi fosfor dalam ekosistem tanah alami (Smeck, 1985)..... | 227 |
| 67. | SEM photograph of coal (A) and Biochar oil palm shell (B) dengan pembesaran x 10.000 dengan jarak antar partikel (1µm) dan huruf P dengan panah merah menunjukkan pori pada biochar | 245 |
| 68. | Kandungan C-organik (OC) dan asam humat (HA) (Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama di puncak histogram tidak berbeda nyata pada taraf 5% berdasarkan uji LSD data hasil analisis akhir percobaan)..... | 253 |
| 69. | Laju pertumbuhan tinggi tanaman jagung per minggu pengamatan pada masing-masing model kolom reklamasi | 257 |

DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Teks | Hal. |
|-----|--|------|
| 1. | Proses penyiapan batubara sebelum digunakan sebagai amelioran pada penelitian III | 275 |
| 2. | <i>Lay out</i> penempatan perlakuan untuk tahap penelitian III di rumah kaca | 276 |
| 3. | Foto hasil pengeboran geologi untuk mengetahui stratigrafi dan keterdapatan batubara di bawah permukaan tanah | 277 |
| 4. | Data hasil pengujian SEM-EDS-Mapping bahan pembentuk tanah untuk penelitian tahap III dan sampel tanah penelitian tahap 1..... | 279 |
| 5. | Data hasil pengujian SEM-batubara dan biochar cangkang kelapa sawit dari penelitian tahap III..... | 294 |