Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Volume 20, Nomor 3, Oktober 2023
1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)

Pengaruh Sifat Geokimia Tanah Terhadap Sifat Kimia Serat Lignoselulosa Pohon Kelapa Sawit

Tetti Novalina Manik*), Sri Wahyuni, Nurul Hikmah, Ahmad Bakri, Simon Sadok Siregar
Program Studi Fisika Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani KM. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan

*Email korespodensi : tetti.manik@ulm.ac.id

DOI: https://doi.org/10.20527/flux.v20i3.16068
Submitted: 11st April, 2023; Accepted: 23rd October, 2023

ABSTRAK- Pengaruh sifat geokimia tanah perkebunan kelapa sawit terhadap sifat kimia serat pohon kelapa sawitnya yaitu serat batang, tandan kosong dan pelepah pohon kelapa sawit telah dilakukan. Sampel serat pelepah diambil dari pohon lahan kering dan lahan basah, untuk mendapatkan hasil yang lebih signifikan. Sifat kimia tanah pada kedalaman 0-30 cm dan 100 cm diselidiki oleh instrumen FT-IR sedangkan sifat geologi tanah diselidiki oleh alat Geolistrik 2D. Kandungan selulosa dan lignin masing-masing kelapa sawit diuji sesuai dengan SNI 14-0444-1989 dan SNI 0492-1989-A. Berdasarkan penelitian, sifat geokimia tanah memiliki pengaruh terhadap sifat kimia serat lignoselulosa pohon kelapa sawit. Kandungan selulosa serat pelepah lahan basah paling rendah dibandingkan serat lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa unsur hara tanah berpengaruh terhadap sifat kimia serat lignoselulosa, yang mana tanah lahan basah tersusun dari senyawa karbonil dan fenolik. Perlakuan alkalisasi pada serat mampu meningkatkan kandungan kimia serat selulosa. Berdasarkan sifat geologi dan kimia tanah, tanah perkebunan kelapa sawit tersusun atas mineral lempung yang tersusun dari ikatan Si-O-Si, karbonil, fenol dan lain-lain.

KATA KUNCI: *geokimia; lahan basah; lignin; selulosa*

ABSTRACT− *The influence of the geochemical properties of oil palm plantation soil on the chemical properties of oil palm tree fiber, namely stem fiber, empty bunches, and oil palm tree fronds, has been carried out. Midrib fiber samples were taken from dryland and wetland trees to obtain more significant results. The chemical properties of the soil at depths of 0-30 cm and 100 cm were investigated by the FT-IR instrument, while the 2D Geoelectric instrument investigated the geological properties of the soil. The cellulose and lignin content of each palm oil was tested according to SNI 14-0444-1989 and SNI 0492-1989-A. Based on research, the geochemical properties of soil influence the chemical properties of oil palm tree lignocellulosic fibers. The cellulose content of wetland midrib fiber is the lowest compared to other fibers. These show that soil nutrients influence the chemical properties of lignocellulosic fibers, whereas wetland soil is composed of carbonyl and phenolic compounds. Alkalization treatment of fiber can increase the chemical content of cellulose fiber. Based on the geological and chemical characteristics of the soil, oil palm plantation soil is composed of clay minerals consisting of Si-O-Si bonds, carbonyls, phenols, and others.*

KEYWORDS : *cellulose; geochemical; lignin ; wetland*

PENDAHULUAN

Serat alam atau serat lignoselulosa telah banyak dimanfaatkan sebagai penguat dari material komposit. Serat alam bersifat biodegradabilitas, terbarukan, dan ramah lingkungan. Selain itu lebih nyaman bagi manusia karena tidak beracun, dan berlimpah karena tersedia terus menerus. Namun, serat alam juga memiliki kekurangan, yaitu bersifat hirofilik, sehingga mudah terserang mikroba dan degradasi serat, kompatibilitas dengan matriks polimer rendah, sehingga membutuhkan perlakuan pada permukaan serat untuk meningkatkan daya tarik menarik serat dan matrik (adesif). (Chandramohan & Marimuthu, 2011)

Saat ini pasokan serat alam banyak diambil dari limbah tanaman seperti serat nanas, pisang, kelapa sawit dan banyak lagi. Pohon kelapa sawit merupakan salah satu sumber serat alam. Serat asal pohon sawit terdapat pada batang, pelepah dan tandan kosong buah kelapa sawit. Gambar 1 adalah sumber serat lignoselulosa pohon kelapa sawit dari (a) batang (b) pelepah, (b) tandan kosong dan (d) Bentuk serat

Gambar 1. Bagian pohon kelapa sawit (a) batang (b) pelepah dan (c) tandan kosong dan (d) Serat

Indonesia merupakan negara penyumbang serat lignoselulosa kelapa sawit terbesar di dunia, karena memiliki luas perkebunan kelapa sawit nomor satu dunia, yaitu mencapai 15,08 juta hektar pada tahun 2021 (Ditjenbun, 2021). Selain itu, pada tahun 2022, prediksi jumlah limbah batang, pelepah dan tandan tandan kosong berturut-turut sebanyak 5,68 juta ton, 4,10 juta ton dan 9,18 juta ton (Novia Yanti & Hutasuhut, 2020). Banyaknya jumlah limbah kelapa sawit ini, memberikan peluang besar bagi para peneliti, praktisi, dan masyarakat untuk memanfaatkan serat lignoselulosannya sebagai bahan dasar material maju yang memiliki nilai ekonomi.

Serat lignoselulosa yang baik didukung oleh sifat fisis, kimia dan mekanik serat tersebut. Sifat ini dipengaruhi oleh faktor alam, umur, lokasi tumbuh, varietas, jenis tanah dan kondisi tumbuh (Jawaid, M., 2017; Sarasini, 2018). Berdasarkan jenis tanah dan lokasi tumbuhnya, perkebunan kelapa sawit Indonesia ada yang tumbuh di lahan basah dan di lahan kering. (Directorate General of Plantation, 2019; Kinerja & Perindustrian, 2016).

Kesuburan lahannya dipengaruhi oleh sifat fisis, tekstur (geologi), sifat kimia dan kesediaan air di dalam tanah, dimana ketersediaan air berbeda pada lapisan atas (*top soil*) yaitu kedalaman 0-30 cm dan pada lapisan yang lebih dalam dari 30 cm. Seiring dengan penggunaan lahan, maka karakteristik tanah juga mengalami perubahan. Hal ini secara langsung juga berpengaruh terhadap sifat kimia, fisis dan mekanik serat lignoselulosa tanaman.

Serat lignoselulosa tersusun oleh komponen selulosa, hemiselulosa, lignin, ekstraktif, lipid, protein, gula sederhana, pati, zat yang larut dalam air, hidrokarbon, abu, dan sejumlah kecil alkali, alkali, dan logam berat serta senyawa lainnya. Serat lignoselulosa bersifat hidrofilik sehingga mudah bereaksi terhadap air, terutama komponen lignin dan hemiselulosa (Sarasini, 2018). Hal ini menyebabkan limbah kelapa sawit mudah busuk, berjamur dan terserang mikroba. Misalnya, batang kelapa sawit tersusun dari selulosa 35 - 40 %, hemiselulosa 25 - 30 % dan lignin 20 - 25 % (Bukhari et al., 2021), pelepah mengandung selulosa 47,76%, lignin 20,15 % sedangkan tandan kosong mengandung selulosa 50,49%, lignin 17,84 % (Ahmad et al., 2011). Keadaan ini menyebabkan serat lignoselulosa harus mendapatkan perlakuan terlebih dahulu sebelum digunakan, untuk menghilangkan atau mengurangi komponen lignin dan hemiselulosa serat yang menyelubungi serat, sehingga persen komponen selulosa meningkat. Selain itu, keberadaan kedua komponen ini (lignin dan hemiselulosa) menyebabkan kompatibel antara serat dan matrik kurang akibat sifat

hidrofilik serat dan hidropobik matriks polimer, sehingga harus diatasi.

Pengurangan kadar lignin dan hemiselulosa pada serat lignoselulosa telah dilakukan dengan beberapa perlakuan yaitu perlakuan kimia, fisika dan biologi. Salah satu dari perlakuan kimia adalah alkalisasi (Sarasini, 2018). Perlakuan alkalisasi serat dilakukan dalam larutan NaOH, KOH, $Al(OH)_3$ (Latip et al., 2019). Perlakuan dengan larutan ini telah mengurangi kadar lignin dan hemiselulosa dan meningkatkan sifat adesif atau daya ikat antara serat dan matrik. (Lee, Park and Lee, 2017; Latip *et al.*, 2019).

Riset ini melakukan pengukuran sifat fisis dan kimia serat batang, pelepah dan tandan kosong kelapa sawit asal Kalimantan Selatan dengan uji kadar selulosa dan lignin sesuai SNI 14-0444-1989 dan SNI 0492-1989-A dan uji FTIR untuk mengetahui senyawa penyusunnya. (ii) mengetahui senyawa kimia tanah dengan uji FTIR dan geologi tanah dengan metode Geolistrik (iii) mengetahui hubungan sifat fisis dan kimia serat lignoselulosa dan geokimia tanah asal tumbuh kelapa sawit. Penelitian ini juga membahas bagaimana pengaruh perlakuan alkalisasi terhadap komponen kimia sampel serat lignoselulosa yaitu terhadap selulosa dan lignin.

METODE PENELITIAN

Persiapan sampel serat Lignoselulosa

Pengujian sifat kimia serat lignoselulosa didahului dengan mempersiapkan sampel serat. Sampel limbah batang, pelepah, dan tandan kosong kelapa sawit disiapkan dari daerah Kalimantan Selatan. Khusus sampel pelepah dibedakan menjadi sampel yang tumbuh di lahan kering dan lahan basah, untuk melihat perbedaannya. Semua sampel dikering-angin di dalam ruangan kemudian diambil seratnya. Serat dipotong-potong sepanjang 15 cm, kemudian dibersihkan dengan air mengalir, dan dibiarkan selama 24 jam. Serat dikeringkan pada suhu 85^{o}C hingga kadar air maksimum 8%. Serat siap untuk perlakuan alkalisasi. Perlakuan alkalisasi dilakukan dengan cara merendam serat-serat dalam larutan NaOH 3% selama 5 jam. Serat-serat kemudian dicuci kembali dengan air mengalir dan dikeringkan hingga kadar air serat mencapai maksimum 8%.

Pengujian-Pengujian

Pengujian Kadar Selulosa dan Lignin Serat

Uji kadar komponen kimia kayu yaitu kadar lignin sesuai dengan SNI 0492-1989-A dan kadar selulosa sesuai dengan SNI 14-0444-1989.

Pengujian Senyawa Kimia Serat dengan FTIR

Uji senyawa kimia serat lignoselulosa dilakukan dengan Instrumen FT-IR model Bruker Alpha RTDLaTGS dilengkapi dengan *plat Attenuated Total Reflection* (ATR). Masing-masing serat dihaluskan kemudian diletakkan pada *holder* dan siap diuji pada rentang bilangan gelombang 4000 - 500 cm^{-1} untuk mendapatkan gugus fungsional senyawa penyusunnya.

Sifat Geokimia Tanah

Sifat geokimia tanah diketahui dengan mengukur senyawa kimia tanah dengan Instrumen FT-IR model Bruker Alpha RTDLaTGS dilengkapi dengan plat Attenuated Total Reflection (ATR) pada rentang bilangan gelombang 4000 - 500 cm-1, dimana sampel tanah diambil pada kedalaman 0 cm dan 100 cm sebanyak ±1 gram. Sifat geologi tanah dilakukan dengan alat Geolistrik metode 1D. Pengambilan sampel berlokasi di perkebunan kelapa sawit milik perseorangan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2,

Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel sifat kelistrikan dan kimia tanah

dengan titik koordinat lintasan 1, 2, 3 dan 4 berturut-turut: 114°47'5.00"E - 3°41'21.33"S,

114°47'5.11"E - 3°41'21.48"S, 114°47'5.17"E - 3°41'21.34"S, dan 114°47'4.95"E - 3°41'21.46"S.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kadar Selulosa dan Lignin Serat Lignoselulosa

Hasil uji kadar komponen kimia masing-masing serat yaitu kadar lignin dan selulosa ditunjukkan oleh Tabel 1. Kadar selulosa paling tinggi terdapat pada serat batang (B) (76,48%), diikuti oleh tandan kosong (TK) (66,08%), pelepah lahan kering (PLK) (63,44%) dan Pelepah lahan basah (PLB) (58,94%). Kadar selulosa serat pelepah sawit lahan basah tampak lebih sedikit dari serat pelepah lahan kering, dan juga paling sedikit dibandingkan dengan serat lainnya.

Berdasarkan persentasi kadar lignin dan koponen kimia lainnya, serat pelepah lahan basah lebih tinggi (41,06%) dari serat lainnya. Hal ini disebabkan oleh kandungan kimia tanah lahan basah tersusun atas gugus karbonil dan fenol (Utami et al., 2013; Yondra & Wawan, 2017) dan dibuktikan dengan hasil FTIR tanah pada Gambar 4.

Serat-serat dengan perlakuan alkalisasi menunjukkan penurunan kadar kandungan lignin dan peningkatan kandungan selulosa untuk semua sampel serat B, TK, PLK dan PLB. Sesuai dengan Tabel 1, kadar selulosa serat B, TK, PLK dan PLG meningkatkan sekitar 3,30%, 27,65%, 24,0% dan 4,55% berturut-turut setelah perlakuan alkalisasi. Hal ini membuktikan bahwa perlakuan alkalisasi dengan NaOH 3% selama 5 jam efektif untuk mengurangi kandungan lignin dan kandungan ekstrak kimia lainnya. Hasil ini juga dikonfirmasi dengan hasil spektra FTIR masing-masing serat sebelum dan setelah perlakuan yang ditunjukkan oleh Gambar 3.

Tabel 1. Kadar kimia serat lignoselulosa pohon kelapa sawit

	Kadar kimia (%)					
	Tanpa Alkalisasi			Alkalisasi		
Identitas Serat Sampel	Lignin	Selulosa	Lainnya	Lignin	Selulosa	Lainnya
Batang (B)	20,26	76,48	3,26	13,63	79,01	7,36
Tandan Kosong (TK)	8,63	66,08	25,29	7,85	81,94	10,21
Pelepah Lahan Kering (PLK)	7,14	63,44	29,42	6,89	80,98	12,13
Pelepah Lahan Basah (PLB)	17,15	58,94	23,91	11,45	61,62	26,93

Analisis Senyawa Kimia Serat

Serat lignoselulosa kelapa sawit setelah mendapatkan perlakuan alkalisasi menunjukkan perubahan gugus fungsional, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Gambar 3a adalah hasil spektra FTIR masing-masing serat sebelum alkalisasi dan Gambar 3b, setelah diberi perlakuan alkalisasi. Gambar 3a menunjukkan bahwa setiap serat lignoselulosa memiliki kedalaman intensitas transmitansi gugus fungsi yang berbeda. Gugus O-H atau fenol pada semua serat sawit berada pada bilangan gelombang 3320 cm^{-1}. Serat pelepah dari lahan basah (PLB) memiliki intensitas transmitansi paling tinggi dibandingkan serat lainnya, menunjukkan bahwa serat lahan basah lebih banyak mengandung gugus fenol dibanding serat lahan kering.

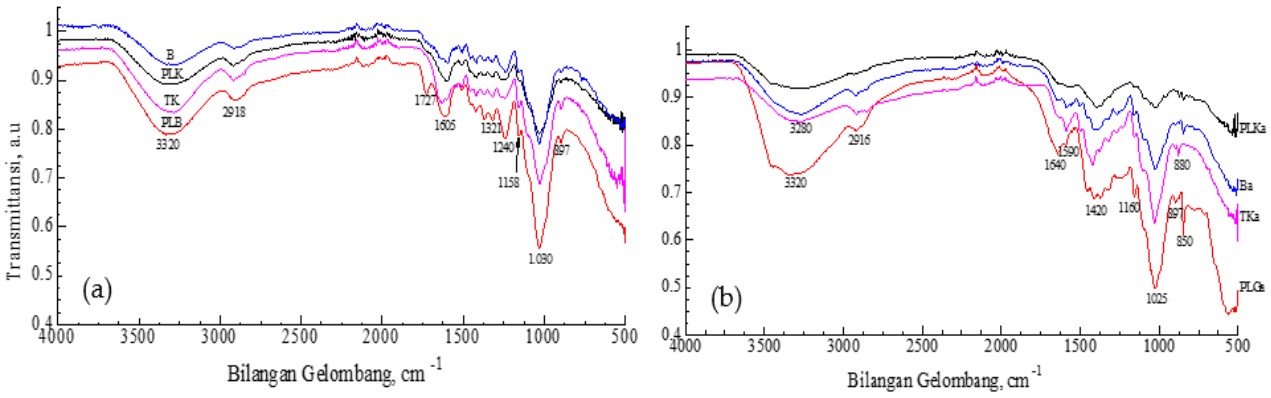
Bilangan gelombang sekitar 2918 cm^{-1} adalah gugus aldehida, yang berhubungan dengan vibrasi ulur –CH dan $–CH_2$ pada selulosa, hemiselulosa, dan lignin dan memiliki intensitas transmitansi yang hampir sama. Bilangan gelombang ini adalah kelompok gugus fungsional standar untuk biomassa (Horikawa et al., 2019). Bilangan gelombang 1730 cm^{-1} berhubungan dengan gugus karbonil dengan vibrasi regangan C=O (Stuart, 2005; Theophanides, 2012) dan hanya terdapat pada komponen hemiselulosa pelepah lahan basah (PLB). Gugus fungsi 1605 cm^{-1} dan 1512 cm^{-1} berhubungan dengan vibrasi aromatik pada lignin. Puncak 1605 cm^{-1} merupakan senyawa pektin yang merupakan senyawa polisakarida yang berfungsi sebagai pembentuk gel pada pohon. Puncak 1512 cm^{-1} yaitu vibrasi regangan COO- dalam

hemiselulosa. Puncak 1420 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi tekukan O-H pada selulosa dan hemiselulosa dan tekukan C-H pada senyawa CH_3 pada lignin. Puncak 1321 cm^{-1} sesuai dengan penekukan O-H dalam selulosa dan hemiselulosa dan 1240 cm^{-1} sesuai dengan peregangan C-O dalam asam karbonil dalam hemiselulosa dan terbanyak pada PLB. Pita 1158 cm^{-1} berhubungan dengan gugus ester pada selulosa dan hemiselulosa, pada peregangan antisimetri C-O-C. Puncak pita 1030 cm^{-1} berhubungan dengan peregangan C-O-C pada polisakarida, selulosa dan hemiselulosa dan tampak pula bahwa transmittansi pada serat PLB tertinggi. Terakhir, puncak 897 cm^{-1} adalah karakteristik dari gugus lignin yang hanya terdapat pada serat TK dan PLB.

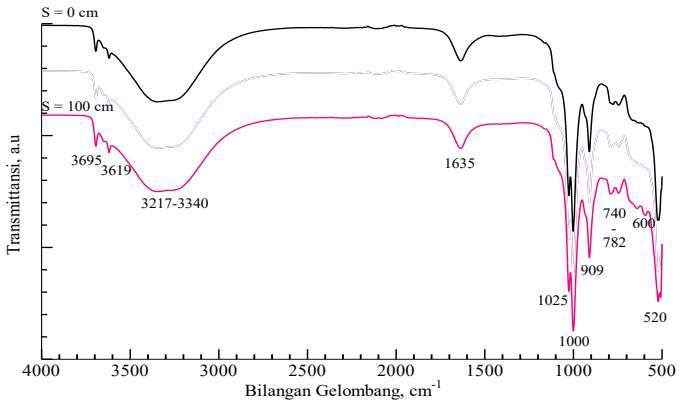
Gambar 3b menjelaskan spektra FTIR serat lignoselulosa setelah perlakuan alkalisasi. Pada serat PLB, intensitas transmitansi pita 3320 cm^{-1} lebih tinggi dari yang lain. Hal ini mengindikasikan bahwa gugus OH (Fenol) pada serat PLB lebih banyak menyerap OH dari NaOH dibanding serat lainnya. Puncak 2918 cm^{-1} juga berubah setelah dialkalisasi bahkan keberadaannya hilang pada pelepah lahan kering (PLK). Hal ini disebabkan oleh gugus aldehid pada serat bereaksi dengan basa (NaOH) membentuk ion enolat dan larut dengan air saat serat dicuci. Puncak sekitar 1727–1158 cm^{-1} pada masing-masing sampel menunjukkan perbedaan yang nyata. Hal ini menverifikasi, bahwa kadar lignin dan hemiselulosa telah berkurang dalam serat. Puncak 1030 cm^{-1} bergeser ke 1025 cm^{-1} dan juga berkurang, hal ini menunjukkan terjadi senyawa baru setelah reaksi terhadap ion Na dan intensitas transmitansinya juga berkurang. Jumlah reduksi suatu komponen bergantung pada pengikatan O-H antara serat dan NaOH. Pada PLK, puncak sekitar 1160–1420 cm^{-1} menghilang oleh alkalisasi. Puncak ini merupakan puncak gelombang hemiselulosa dan selulosa. Hasil ini sesuai dengan Tabel 1, bahwa pada PLK, kandungan polisakarida dan hemiselulosa juga telah berkurang setelah alkalisasi dan puncak sekitar 897 - 850 cm^{-1} menunjukkan bahwa NaOH telah terserap di dinding kayu. Pada serat pelepah basah, terdapat bilangan gelombang 850 cm^{-1} terkait dengan vibrasi regangan C–H, hal ini menunjukkan bahwa NaOH lebih meresap ke dinding sel sehingga muncul gugus baru.

Analisis Sifat Kimia Tanah

Pertumbuhan pohon kelapa sawit dipengaruhi oleh unsur atau senyawa kimia dari tanah tempatnya tumbuh. Selain itu, juga dipengaruhi oleh pH tanah dan kadar nitrat tanah. pH tanah pohon kelapa sawit sekitar 6. Sifat-sifat ini berpengaruh langsung terhadap sifat kimia lignoselulosa, seperti yang telah ditunjukkan oleh Tabel 1, Gambar 3 dan juga Gambar 5., Gambar 4 adalah spektra FTIR komponen kimia tanah pada lapisan tanah kering dari perkebunan kelapa sawit berdasarkan kedalaman (S) yaitu yaitu S_1 = 0 cm dan S_2 = 100 cm dan diuraikan oleh Tabel 2.



Gambar 3. Spektra FTIR serat lignoselulosa sebelum dan setelah alkalisasi



Gambar 4. Spektra FTIR tanah perkebunan kelapa sawit berdasarkan kedalaman

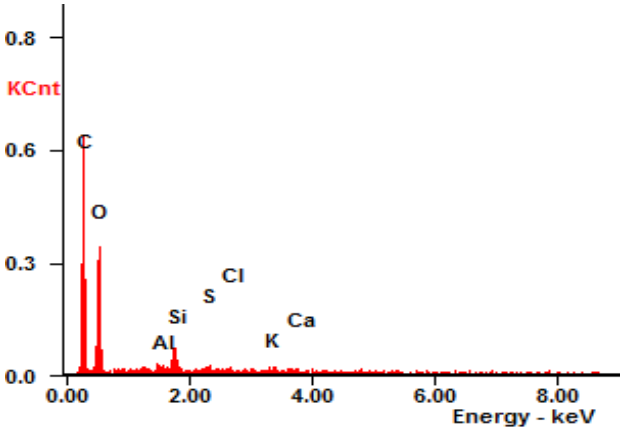
Tabel 2. Karakteristik kimia tanah perkebunan sawit berdasarkan hasil spektra FTIR

Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Komponen Kimia
3119- 3695	Ikatan Si-O-Si
3217 - 3340	Regangan O – H (fenol)
1635	Regangan C = O (Karbonil)
1300 – 400	Mineral lempung yang tersusun oleh regangan Si-O, tekukan O-H, Mg (II) dan Fe (II)
1200 – 1000	Al (III)
1100 – 900	SiO_4^{2-} dan vibrasi regangan N-H, *rocking* logam–NH_3
775 – 782	Vibrasi regangan N-H dan vibrasi tekuk C-H
1050 – 700	Regangan P – F
850 - 500	Regangan P = S
600 - 400	Bilangan senyawa *organometallic* regangan *metal-carbon*
600 – 300	Regangan P-Cl

Komponen kimia tanah hasil FTIR (Tabel 2) menunjukkan adanya hubungan antara unsur kimia tanah dan kimia kayu kelapa sawit, dimana tanah perkebunan didominasi oleh gugus fenol (regangan O-H) pada (3217 – 3340 cm^{-1}) dan karbonil (regangan C = O) pada 1635 cm^{-1} (Stuart, 2005; Theophanides, 2012). Hal ini juga mendukung sifat kimia batang kelapa sawit seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Komponen kimia tanah yang tersusun oleh senyawa Si-O-Si, Mg, Fe, Al, P-S, P-Cl, P-F, N-H, -NH_3 menunjukkan kesesuaian dengan unsur-unsur kimia penyusun batang kelapa sawit lahan kering berdasarkan hasil EDAX yaitu tersusun oleh unsur C, O, Si, Al, S, Cl, K dan Ca.

Berdasarkan hasil-hasil yang telah diperoleh tampak kesesuaian antara sifat kimia tanah dengan sifat kimia pohon kelapa sawit. Hasil ini diharapkan dapat memberi informasi kepada pengusaha dan petani kelapa sawit dalam memberi perlakuan pada lahan kelapa sawit agar mendapatkan hasil panen yang melimpah, dan juga produksi limbah berupa serat lignoselulosa yang memiliki sifat fisis dan mekanik yang kuat dan tangguh. Misalnya, senyawa silika (SiO_2) penting bagi tumbuhan dalam membuat tubuh tumbuhan menjadi tegak dan juga berfungsi untuk melawan diri terhadap gangguan jamur. Keberadaan Al dan Fe pada tanah masam akan mudah mengikat P, sehingga ketika

pemupukan dengan P menjadi kurang efisien (Turang & Wowiling, 2015).



Gambar 5. Kandungan kimia batang kelapa sawit kering

Analisis Geologi Tanah

Sifat geologi tanah berdasarkan sifat kelistrikan tanah menunjukkan bahwa lahan perkebunan kelapa sawit tempat pengambilan sampel, berada pada nilai tahanan jenis 131,63–911,56Ωm pada lintasan 1; 108,24–7170,16 Ωm pada lintasan 2, 163,10–768,1 Ωm pada lintasan 3, dan 109–640 Ωm pada lintasan 4. Berdasarkan nilai resistivitas tanah, material tanah perkebunan sawit tersebut tersusun atas tanah aluvial dan pasir, air tanah, lempung, kerikil dan batu pasir (Telford, et al, 1990) yang susunan elemen-elemen kimianya sesuai dengan Tabel 2.

KESIMPULAN

Kadar kandungan kimia lignin, selulosa dan komponen kimia lainya serat ligoselulosa berbeda pada pelepah, tandan kosong dan batangnya. Berdasarkan lokasi tumbuh, pelepah darat dan lahan basah, tampak perbedaan yang signifikan, terutama pada komponen aldehida atau karbonil. Alkalisasi NaOH 3% selama 5 jam telah meningkatkan kadar selulosa masing-masing serat. Hal ini menunjukkan bahwa sifat adesif serat juga meningkat. Berdasarkan hasil penelitian, sifat geokimia tanah menunjukkan sifat geokimia tanah mempengaruhi sifat kimia serat dari pohon kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, T., Rafatullah, M., Ghazali, A., Sulaiman, O., & Hashim, R. (2011). Oil palm biomass-based adsorbents for the removal of water pollutantsa review. *Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, *29*(3), 177–222. https://doi.org/10.1080/10590501.2011.601847

Bukhari, N. A., Loh, S. K., Luthfi, A. A. I., Abdul, P. M., Harun, S., & Jahim, J. M. (2021). Effect of neutralizing agents in the preparation of succinic acid from oil palm trunk. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1195*(1), 012032. https://doi.org/10.1088/1757-899x/1195/1/012032

Chandramohan, D., & Marimuthu. (2011). A review on natural fibers. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, *8*(2), 194–206. http://www.arpapress.com/Volumes/Vol8Issue2/IJRRAS_8_2_09.pdf

Directorate General of Plantation. (2019). *Oil Palm Area by Province in Indonesia*. 2020. https://drive.google.com/file/d/1rlmMNUbPM99DA-Ywo-Prv3cmPnWoFUUp/view?usp=sharing

Ditjenbun. (2021). Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021. *Direktorat Jendral Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia*, 1–88. https://ditjenbun.pertanian.go.id/template/uploads/2021/04/BUKU-STATISTIK-PERKEBUNAN-2019-2021-OK.pdf

Horikawa, Y., Hirano, S., Mihashi, A., Kobayashi, Y., Zhai, S., & Sugiyama, J. (2019). Prediction of Lignin Contents from Infrared Spectroscopy: Chemical Digestion and Lignin/Biomass Ratios of Cryptomeria japonica. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *188*(4), 1066–1076. https://doi.org/10.1007/s12010-019-02965-8

Jawaid, M., T. P. (2017). Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composite Materials. In *Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composite Materials*. https://doi.org/10.1016/c2015-0-04050-3

Jayamani, E., Hamdan, S., Kok Heng, S., Rahman, M. R., & Bin Bakri, M. K. (2016). Acoustical, thermal, and morphological properties of zein reinforced oil palm empty fruit bunch fiber bio-composites. *Journal of Applied Polymer Science*, *133*(43), 1–8. https://doi.org/10.1002/app.44164

Kinerja, L., & Perindustrian, K. tahun 2015. (2016). *Kementerian Perindustrian*.

Latip, N. A., Sofian, A. H., Ali, M. F., Ismail, S. N., & Idris, D. M. N. D. (2019). Structural and morphological studies on alkaline pre-treatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) fiber for composite production. *Materials Today: Proceedings*, *17*, 1105–1111. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.529

Lee, Y., Park, C. H., & Lee, E. Y. (2017). Chemical Modification of Methanol-Insoluble Kraft Lignin Using Oxypropylation Under Mild Conditions for the Preparation of Bio-Polyester. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, *37*(5), 334–342. https://doi.org/10.1080/02773813.2017.1303512

Novia Yanti, R., & Hutasuhut, I. L. (2020). Potensi Limbah Padat Perkebunan Kelapa Sawit Di Provinsi Riau. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, *15*(2), 1–11. https://doi.org/10.31849/forestra.v15i2.4696

Sarasini, F. (2018). *Mechanical and Thermal Properties of Less Common Natural Fibres and Their Composites*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68696-7_4

Stuart, B. H. (2005). Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. In *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. https://doi.org/10.1002/0470011149

telford-geldart-sheriff-applied-geophysics.pdf. (n.d.).

Theophanides, T. (2012). *INFRARED SPECTROSCOPY – MATERIALS SCIENCE , ENGINEERING AND Edited by Theophile Theophanides*.

Turang, A. C., & Wowiling. (2015). Manfaat Unsur Hara Bagi Tanaman. In *Litbang,Sulut* (Issue June, pp. 8–9). http://sulut.litbang.pertanian.go.id/index.php/publikasi/80-publikasi/leaflet/582-kegunaan-unsur-unsur-hara-bagi-tanaman

Utami, S. N. H., Maas, A., Radjagukguk, B., & Purwanto, B. H. (2013). Sifat Fisik, Kimia dan FTIR Spektrofotometri Gambut Hidrofobik Kalimantan Tengah. *Journal of Tropical Soils*, *14*(2), 159–166. https://doi.org/10.5400/jts.2009.v14i2.159-166

Yondra, Y., & Wawan, N. (2017). Chemical Properties Studys of Peatlandon Various Landuse. *Agric*, *29*(2), 103–112. https://doi.org/10.24246/agric.2017.v29.i2.p103-112