



ANALISIS PERSENTASE LOSS ON IGNITION (LOI) TERHADAP ENDAPAN LATERIT

ANALYSIS OF LOSS ON IGNITION (LOI) PERCENTAGE ON LATERITE DEPOSIT

Fasya Zahra Fauziyyah Ramdani¹

¹Teknologi Geologi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

*Email : fasyaswork@gmail.com

INFO ARTIKEL

Kata Kunci:

Loss on ignition, kelembapan, thermogravimetri, organik, air.

ABSTRAK

Loss on Ignition (LOI) adalah suatu parameter yang digunakan dalam salah satu analisis untuk mengetahui kadar air atau zat yang hilang saat pembakaran. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui kadar air dan senyawa organik (% Organic Matter) yang terdapat pada tanah, lumpur, dan limbah (waste). Perhitungan LOI dapat diketahui melalui perbandingan berat sampel sebelum dan sesudah dibakar. Kehilangan berat dapat diamati pada suhu di atas 400°C, perubahan disebabkan oleh kerusakan struktural pada bahan organik tanah dan hilangnya air dari mineral lempung. Pada penelitian ini, untuk mengetahui kadar LOI dilakukan menggunakan alat berupa Thermogravimetry Analysis (TGA) dengan suhu 1000°C. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata nilai LOI di endapan limonit sebesar 10%-11%, saprolit 11%-13% dan bedrock 13%-16%. Perbandingan nilai LOI di setiap endapan tidak dapat dijadikan sebagai justifikasi (judgement) untuk zona laterit secara menyeluruh. Hal tersebut disebabkan karena karakteristik material tanah di setiap daerah berbeda akibat dari proses pembentukan yang berbeda.

Keywords:

Loss on ignition, moisture, thermogravimetric, organic, water.

Loss on Ignition (LOI) is a parameter used in an analysis to determine the amount of moisture or substances lost during combustion. This measurement is conducted to determine the moisture content and organic matter (%) present in soil, mud, and waste. The LOI is calculated by comparing the weight of the sample before and after it is burned. The weight loss can only be observed at temperatures above 400°C, with the weight change attributed to the structural degradation of soil organic matter and the loss of structural water from clay minerals. In this study, the LOI content was determined using a Thermogravimetric Analysis (TGA) device at a temperature of 1000°C. The study results showed that the average LOI value in the limonite deposit was 10%-11%, in the saprolite 11%-13%, and in the bedrock 13%-16%. However, the comparison of LOI values across different deposits cannot serve as a definitive judgment for the entire laterite zone due to variations in soil material characteristics, which result from differing formation processes.

PENDAHULUAN

Eksplorasi merupakan suatu tahapan untuk mencari komoditas yang akan ditambang. Dalam tahap eksplorasi terdapat pengambilan sampel batuan yang kemudian dilakukan deskripsi dan analisis untuk mengetahui komposisi mineralogi batuan. Setelah tahapan eksplorasi, selanjutnya terdapat kegiatan konstruksi dan penambangan. Diperlukan beberapa analisis sebagai penentu metode penambangan yang akan digunakan pada endapan laterit, salah satunya yaitu dilakukan

analisis kadar air suatu endapan.

Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis kadar air adalah dengan menggunakan Loss on Ignition (LOI), metode ini biasanya dilakukan sebelum analisis X-Ray Fluorescence (XRF).

Studi ini membahas penggunaan LOI untuk mengukur bahan organik dan air dalam tanah, serta menunjukkan bahwa nilai LOI terkait dengan kandungan organik dan proses pelapukan pada tanah laterit (Hoogsteen, 2015).

LOI adalah indikator penting dari

dekomposisi bahan organik dan hilangnya air terikat dalam proses pelapukan tanah, khususnya dalam kondisi tropis yang mendukung pembentukan laterit (Nahon, 1991).

Alat yang digunakan untuk menganalisis kadar air yaitu Thermogravimetry Analysis (TGA). Konsep kerja alat tersebut adalah menghitung nilai kadar air atau kelembapan (moisture) pada setiap perubahan suhu dan penambahan waktu. Kadar air tanah merupakan konsentrasi air dalam tanah yang dihitung dari berat kering dan berat basah (Sutanto, 2015).

Pengukuran kadar air (moisture) dapat membantu memahami karakteristik suatu material. Pengukuran thermogravimetri dilakukan dengan cara mengeringkan suatu material sehingga mempercepat penguapan air. Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini yaitu memperoleh informasi kuantitatif sebanyak-banyaknya dalam jangka waktu sesingkat-singkatnya, analisis dilakukan menggunakan alat penentu kadar air berupa thermogravimetri.

TINJAUAN PUSTAKA

Fluorescence (XRF). Studi ini membahas penggunaan LOI untuk mengukur bahan organik dan air dalam tanah, serta menunjukkan bahwa nilai LOI terkait dengan kandungan organik dan proses pelapukan pada tanah laterit (Hoogsteen, 2015). LOI adalah indikator penting dari dekomposisi bahan organik dan

hilangnya air terikat dalam proses pelapukan tanah, khususnya dalam kondisi tropis yang mendukung pembentukan laterit (Nahon, 1991).

Menganalisis kadar air yaitu Thermogravimetry Analysis (TGA). Konsep kerja alat tersebut adalah menghitung nilai kadar air atau kelembapan (moisture) pada setiap perubahan suhu dan penambahan waktu. Kadar air tanah merupakan konsentrasi air dalam tanah yang dihitung dari berat kering dan berat basah (Sutanto, 2015).

Pengukuran kadar air (moisture) dapat membantu memahami karakteristik suatu material. Pengukuran thermogravimetri dilakukan dengan cara mengeringkan suatu material sehingga mempercepat penguapan air. Tujuan penelitian ini memperoleh informasi kuantitatif sebanyak-banyaknya dalam jangka waktu sesingkat-singkatnya, analisis dilakukan menggunakan alat penentu kadar air berupa thermogravimetri.

METODOLOGI

Sampling dan Preparasi Sampel

Sampling suatu anggota dari suatu populasi secara representatif. Sumber data dalam penelitian populasi merupakan bagian dari jumlah karakteristik yang dimiliki oleh populasi (Sugiyono, 2017). Sampling *core* atau batuan dilakukan berdasarkan batas (*break*) litologi atau setiap perubahan litologi dengan panjang

minimal 20 cm *core*. Hal tersebut dilakukan agar menjaga homogenitas sampel pada saat proses analisis lebih lanjut. Setelah dilakukan sampling terdapat proses yang dinamakan preparasi. Teknik preparasi sampel yang biasa dilakukan antara lain:

1. Penimbangan berat basah

Penimbangan berat basah diperlukan untuk mengetahui kandungan air melalui berat suatu sampel secara alami sebelum nanti air tersebut dihilangkan. Dalam penelitian kali ini, penimbangan berat basah dan berat kering sangat diperlukan untuk menghitung nilai LOI.



Gambar 1. Penimbangan Berat Basah Sesuai dengan Break Sampling

2. Pengeringan Sampel

Pengeringan sampel dilakukan menggunakan oven. Oven tersebut berfungsi untuk mengeringkan atau menghilangkan kadar air dalam material. Suhu yang digunakan untuk mengeringkan sampel yakni 105°C selama 24 jam. Selama proses pemanasan oven tidak diperbolehkan untuk dibuka karena sampel akan terkontaminasi.



Gambar 2. Pengeringan Sampel dengan Menggunakan Oven

3. Penimbangan Berat Kering

Penimbangan berat kering dilakukan setelah dipanaskan dalam oven selama 24 jam. Penimbangan berat kering akan dilakukan selama 2 kali. Setelah penimbangan pertama selesai, kemudian sampel dimasukkan kembali ke dalam oven selama 10 menit, setelah itu dilakukan penimbangan kedua. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah sampel tersebut sudah memiliki berat yang konstan. Namun, apabila belum didapatkan nilai konstan maka diperlukan pengeringan tambahan hingga nilai berat sampel menjadi konstan.

4. *Crusher*

Selanjutnya material dimasukkan pada mesin *crusher* untuk memperkecil ukuran butir (Gambar 3). Dimensi material yang dihasilkan oleh crusher ini adalah 2 mm.



Gambar 3. Crusher dengan Ukuran Butir 2 mm

5. Rotary Sample Divider 1 (RSD 1)

Rotary Sample Divider (RSD) merupakan alat untuk memperkecil volume serta membagi sampel berdasarkan berat butir awal material. Berat maksimal sampel hasil RSD 1 yakni 70 gram.



Gambar 4. RSD (*Rotary Sample Divider*) 1

6. Pulverizer

Sampel hasil RSD 1 kemudian dimasukkan ke dalam *pulverizer* #80 (*mesh*) untuk dilakukan penggerusan hingga mendapatkan material yang lebih halus (Gambar 5).



Gambar 5. *Pulverizer* #80

Tahapan RSD dan *Pulverizer* dilakukan sebanyak 2 kali hingga mencapai ukuran #200. Setelah semua tahapan selesai dilaksanakan, proses selanjutnya yaitu homogenitas sampel yang kemudian sampel tersebut diambil sebanyak 25 gram untuk tahap analisis laboratorium yaitu *Loss on Ignition* (LOI).

Analisis *Loss on Ignition* (LOI)

Analisis *Loss on Ignition* merupakan suatu metode untuk mengetahui kandungan air beserta *organic matter* (OM) pada material berdasarkan berat sampel sebelum dan sesudah pembakaran. Metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan bahan organik yang terkandung dalam tanah maupun batuan diantaranya batuan beku ataupun batuan sedimen. Prinsip dasar LOI adalah pembakaran sampel yang menyebabkan penguapan air dan dekomposisi bahan organik sehingga mengakibatkan pengurangan massa.

Massa yang hilang tersebut dinyatakan sebagai persentase dari berat total sampel

sebelum pembakaran (Heiri, 2001). Perbedaan berat tersebut menunjukkan jumlah *organic matter* yang terdapat dalam sampel dengan cara mengoksidasi bahan organik menjadi CO₂ pada pembakaran suhu tinggi. Selisih berat yang hilang dan berubah menjadi oksidasi tersebut dapat diperoleh melalui persamaan 1 yang di hitung berdasarkan setiap kenaikan suhu (Desiani, 2017).

$$\% \text{ Loss Of Ignition} = \frac{(Ba-Bs)}{Ba} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

LOI (%) = Jumlah bahan *organic* pada sampel

Ba = Berat Awal (gram)

Bs = Berat setelah dibakar

Alat yang digunakan untuk mengukur persentase LOI berdasarkan massa sampel berupa Thermogravimetrik. Alat ini digunakan untuk mendapatkan nilai H₂O dan nilai LOI (*Loss on Ignition*) dengan cara meleburkan sampel dengan suhu tertentu yakni 120°C selama 1 jam untuk mengetahui nilai H₂O, kemudian suhu ditingkatkan menjadi 1000°C selama 2 jam untuk mendapatkan nilai LOI (*Loss on Ignition*) (J. L. Jensen, 2018).

Apabila sampel tersebut mengandung kalsit, dapat dilakukan pengolahan terlebih dahulu menggunakan larutan asam klorida (HCL), hal tersebut dilakukan agar sebagian besar yang mengandung kapur dapat dihilangkan

terlebih dahulu sebelum melakukan analisis *Soil Organic Matter* (SOM) (J. L. Jensen, 2018). Metode pembakaran di atas dapat menghilangkan zat kapur pada tanah, karena suhu pembakaran tanah berkapur harus sama atau lebih tinggi dari 550°C dan untuk membusukan karbonat diperlukan suhu antara 500°C sampai dengan 600°C (J. L. Jensen, 2018). Dapat kita ketahui, konsep pembakaran TGA adalah pengukuran massa dibandingkan dengan kenaikan suhu (O. O. Olatunji, 2018). Dalam proses peningkatan suhu TGA untuk mendapatkan nilai LOI memiliki 3 (Gambar 6) proses penting yakni:

- Pembakaran pertama biasanya dipanaskan hingga 150°C, pembakaran tersebut mengakibatkan hilangnya massa yang disebabkan oleh air.
- Pembakaran kedua mengalami peningkatan suhu menjadi 550°C, pembakaran ini menyebabkan material organik pada sampel hilang karena terbakar dan menghasilkan karbon dioksida.
- Pembakaran akhir meningkat menjadi 950°C - 1000°C, pada suhu ini terjadi penguraian karbonat yang menghasilkan karbon dioksida (H. Konare, 2010).

Penguraian bahan organik pada proses TGA yang menjadi penyebab hilangnya massa sampel digunakan untuk menghitung kelembapan pada suatu sampel (E. Ben-Dor, 1989).



Gambar 6. *Thermogravimetric Analyzer*



Gambar 7. Sampel yang telah dipreparasi menjadi mesh 200 yang kemudian disimpan di dalam *pulp*

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel sebanyak 206 sampel yang meliputi sampel limonit, *saprolite* dan batuan. diperlukan sebanyak 10 gram/sampel untuk LOI menggunakan *Thermogravimetric analyzer* dengan ukuran *mesh* 200 (Gambar 7).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran *Loss on Ignition* (LOI) untuk 206 sampel menggunakan *thermogravimetric analyzer* (TGA) menghasilkan nilai LOI total yang didapatkan dari nilai LOI pada setiap peningkatan suhu

Tabel 1. Hasil Analisis *Loss on Ignition* (LOI) Total Menggunakan *Thermogravimetric Analyzer*

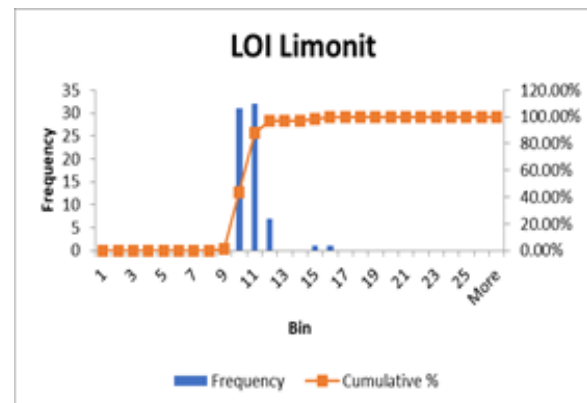
Layer 1	LOI Total	Layer 1	LOI Total	Layer 2	LOI Total	Layer 2	LOI Total	Layer 3	LOI Total	Layer 3	LOI Total	Layer 3	LOI Total
LIM	9.87	LIM	9.85	SAP	11.04	SAP	12.35	BRK	15.83	BRK	12.95	BRK	14.23
LIM	9.01	LIM	9.56	SAP	10.61	SAP	10.32	BRK	12.65	BRK	16.08	BRK	15.85
LIM	9.78	LIM	10.76	SAP	11.04	SAP	10.22	BRK	12.92	BRK	12.64	BRK	15.76
LIM	9.96	LIM	9.49	SAP	11.61	SAP	11.48	BRK	14.75	BRK	14.13	BRK	12.49
LIM	10.86	LIM	9.95	SAP	12.28	SAP	12.18	BRK	12.19	BRK	12.54	BRK	13.29
LIM	9.92	LIM	9.52	SAP	10.84	SAP	10.51	BRK	12.39	BRK	15.71	BRK	15.75
LIM	9.81	LIM	9.54	SAP	12.60	SAP	11.84	BRK	13.16	BRK	15.75	BRK	15.94
LIM	11.45	LIM	10.14	SAP	12.06	SAP	12.11	BRK	12.79	BRK	14.94		
LIM	10.48	LIM	9.07	SAP	11.17	SAP	11.87	BRK	11.79	BRK	12.74		
LIM	10.82	LIM	9.65	SAP	11.64	SAP	12.17	BRK	14.93	BRK	15.25		
LIM	10.74	LIM	9.26	SAP	11.86	SAP	11.93	BRK	13.06	BRK	12.23		
LIM	15.64	LIM	10.00	SAP	11.29	SAP	11.92	BRK	13.31	BRK	14.13		
LIM	9.74	LIM	9.19	SAP	12.20	SAP	9.60	BRK	15.56	BRK	16.07		
LIM	10.01	LIM	8.20	SAP	10.62	SAP	11.27	BRK	15.65	BRK	12.25		
LIM	10.44	LIM	10.72	SAP	10.98	SAP	10.87	BRK	12.16	BRK	13.22		
LIM	10.25	LIM	10.47	SAP	10.58	SAP	11.86	BRK	14.27	BRK	13.24		
LIM	10.00	LIM	10.28	SAP	11.83			BRK	11.93	BRK	16.05		
LIM	11.13	LIM	10.32	SAP	10.06			BRK	13.47	BRK	16.01		
LIM	10.84	LIM	10.08	SAP	12.12			BRK	15.10	BRK	13.11		
LIM	10.94	LIM	9.05	SAP	11.47			BRK	12.51	BRK	14.80		
LIM	10.97	LIM	9.89	SAP	11.47			BRK	12.34	BRK	15.78		
LIM	10.22	LIM	9.75	SAP	12.02			BRK	13.68	BRK	12.52		
LIM	14.81	LIM	9.37	SAP	11.85			BRK	15.35	BRK	12.83		
LIM	11.09	LIM	9.83	SAP	10.24			BRK	16.28	BRK	13.34		
LIM	10.33	LIM	9.44	SAP	11.62			BRK	15.11	BRK	12.52		
LIM	11.28	LIM	9.15	SAP	11.80			BRK	14.07	BRK	13.81		
LIM	10.49	LIM	9.23	SAP	12.60			BRK	12.71	BRK	13.60		
LIM	11.36	LIM	9.90	SAP	10.65			BRK	13.89	BRK	12.68		
LIM	10.85	LIM	9.89	SAP	11.52			BRK	16.19	BRK	14.10		
LIM	10.16	LIM	10.12	SAP	10.12			BRK	10.11	BRK	12.77		
LIM	11.96	LIM	9.93	SAP	11.48			BRK	10.33	BRK	13.53		
LIM	10.61	LIM	10.95	SAP	11.69			BRK	12.34	BRK	14.54		
LIM	10.09	LIM	10.29	SAP	11.29			BRK	11.75	BRK	12.75		
LIM	10.44	LIM	11.19	SAP	11.75			BRK	15.57	BRK	15.99		
LIM	10.98	LIM	10.85	SAP	11.61			BRK	16.20	BRK	16.78		
LIM	9.70	LIM	10.88	SAP	11.54			BRK	14.96	BRK	14.41		
LIM	10.82							BRK	12.92	BRK	13.10		

dan penambahan waktu pembakaran (Tabel 1).

Endapan limonit merupakan endapan yang mengalami proses pelapukan lebih awal (*exposed*). Selain itu, endapan limonit didominasi oleh tanah yang dimana tanah mempunyai struktur yang lebih padat dengan permeabilitas tinggi dan karena keberadaannya berada di paling atas dari susunan endapan laterit. Data statistik LOI pada endapan limonit menunjukan bahwa nilai LOI berkisar antara 10%-11% (Tabel 2).

Tabel 2. Rata-Rata Nilai *Loss on Ignition* (LOI) pada Endapan Limonit

Bin	Frequency	Cumulative %
1	0	0.00%
2	0	0.00%
3	0	0.00%
4	0	0.00%
5	0	0.00%
6	0	0.00%
7	0	0.00%
8	0	0.00%
9	1	1.37%
10	31	43.84%
11	32	87.67%
12	7	97.26%
13	0	97.26%
14	0	97.26%
15	1	98.63%
16	1	100.00%
17	0	100.00%
18	0	100.00%
19	0	100.00%
20	0	100.00%



Gambar 8. Sebaran Data LOI Total Limonit Menggunakan Histogram

***Loss on Ignition* (LOI) Endapan Saprolit**

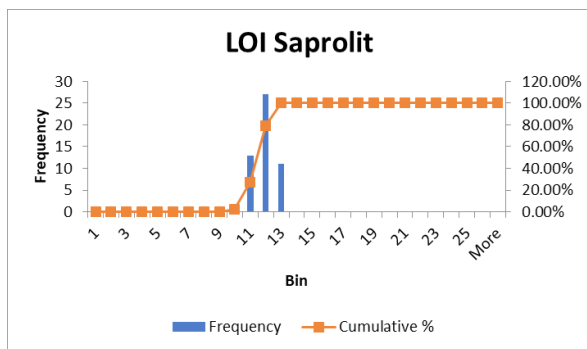
Endapan saprolit merupakan endapan yang keberadaannya berada di antara lapisan saprolit dan batuan. Data statistik LOI pada endapan saprolit menunjukan bahwa nilai LOI saprolit berkisar antara 11%-13% (Tabel 3 dan Gambar 9).

Tabel 3 Rata-Rata Nilai *Loss on Ignition* (LOI) pada Endapan Saprolit

Bin	Frequency	Cumulative %
1	0	0.00%
2	0	0.00%
3	0	0.00%
4	0	0.00%
5	0	0.00%
6	0	0.00%
7	0	0.00%
8	0	0.00%
9	0	0.00%
10	1	1.92%
11	13	26.92%
12	27	78.85%
13	11	100.00%
14	0	100.00%
15	0	100.00%
16	0	100.00%
17	0	100.00%
18	0	100.00%
19	0	100.00%
20	0	100.00%

Endapan saprolit menghasilkan kadar air atau LOI lebih tinggi dibandingkan lapisan limonit. Hal tersebut terjadi karena pembentukan saprolit sangat dipengaruhi oleh kondisi muka air tanah.

Muka air tanah tersebut yang berperan dalam proses pelindian dan leaching pada endapan saprolit, akibat dari proses tersebut menghasilkan berbagai jenis saprolit dimualai dari *earthy saprolite* (lapisan transisi), *saprolite*, *rocky saprolite* dan *hard saprolite*.



Gambar 9. Sebaran Data LOI Total Saprolit Menggunakan Histogram

Selain itu, air dapat membantu pembentukan mineral hidrosilikat dan hidroksida pada saprolit sehingga daerah yang mempunyai muka air tanah yang melimpah dan tinggi akan menghasilkan mineral hidrosilikat dan hidroksida yang melimpah dan menjadi penyebab endapan saprolit tidak memiliki sifat resistif terhadap air.

Loss on Ignition (LOI) Lapisan Batuan

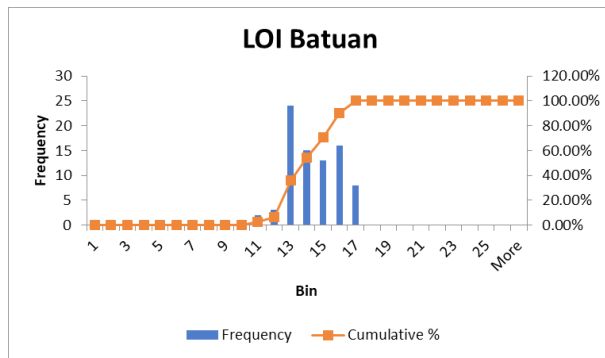
Lapisan batuan merupakan lapisan yang keberadaannya berada paling bawah dari suatu

kesatuan endapan. Data statistik LOI pada lapisan batuan menunjukkan bahwa nilai LOI batuan berkisar antara 13%-16% (Tabel 4 dan Gambar 10).

Lapisan batuan menghasilkan kadar air atau LOI paling tinggi di antara seluruh endapan pada endapan laterit. Tingginya nilai LOI yang didapatkan pada lapisan batuan endapan laterit dapat dipengaruhi oleh jenis batuan yang terbentuk dan proses *leaching*, air yang terinfiltrasi ke dalam permukaan akan melewati zona limonit dan saprolit kemudian terakumulasi di zona *bedrock*.

Tabel 4. Rata-Rata Nilai *Loss on Ignition* (LOI) pada Endapan Saprolit

Bin	Frequency	Cumulative %
1	0	0.00%
2	0	0.00%
3	0	0.00%
4	0	0.00%
5	0	0.00%
6	0	0.00%
7	0	0.00%
8	0	0.00%
9	0	0.00%
10	0	0.00%
11	2	2.47%
12	3	6.17%
13	24	35.80%
14	15	54.32%
15	13	70.37%
16	16	90.12%
17	8	100.00%
18	0	100.00%
19	0	100.00%
20	0	100.00%



Gambar 10. Sebaran Data LOI Total Batuan atau *Bedrock*

Endapan laterit cenderung terbentuk akibat dari proses pelapukan batuan ultramafik seperti harzburgit, serpentinit dan wherlit.

Karakteristik batuan ultramafik yang terserpentinisasi memiliki tekstur *fibrous*. Tekstur tersebut menjadi salah satu faktor pendukung terbentuknya mineral hidrosilikat. Selain itu, resistensi batuan ultramafik yang terserpentinisasi jauh lebih rendah dibandingkan batuan ultramafik yang tidak mengalami serpentinisasi, mengakibatkan batuan menjadi sangat *brittle* atau mudah hancur jika terkena faktor geologi lain seperti struktur, hal ini juga menyebabkan air lebih mudah masuk pada celah-celah antar mineral.

Endapan laterit cenderung terbentuk akibat dari proses pelapukan batuan ultramafik seperti harzburgit, serpentinit dan wherlit. Karakteristik batuan ultramafik yang terserpentinisasi memiliki tekstur *fibrous*.

Tekstur tersebut menjadi salah satu faktor pendukung terbentuknya mineral hidrosilikat.

Selain itu, resistensi batuan ultramafik yang terserpentinisasi jauh lebih rendah dibandingkan batuan ultramafik yang tidak mengalami serpentinisasi, mengakibatkan batuan menjadi sangat *brittle* atau mudah hancur jika terkena faktor geologi lain seperti struktur yang menyebabkan air lebih mudah masuk pada celah-celah antar mineral.

KESIMPULAN

Hasil penelitian, persentase *Loss on Ignition* (LOI) yang didapatkan menggunakan *thermogravimetric analyzer* pada endapan laterit berkisar 10%-11% pada endapan limonit, 11%-13% pada endapan *saprolite*, dan 13%-16% pada lapisan batuan. Hal ini disebabkan oleh proses infiltrasi air permukaan pada tanah, muka air tanah pada *saprolite*, dan pembentukan mineral hidrosilikat dan hidroksida pada endapan *saprolite* dan batuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Asriwijayanti 2017. Kajian Pengaruh Materi Organik Pada Sifat Fisis Tanah Lunak Jurnal Teknik Sipil Volume 13 Nomor 1, pp. 56-125.
- [2] Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). Principles of Geotechnical Engineering. United States of America: Cengage Learning.
- [3] M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). In Soil Strength and Slope Stability (pp.

81-100). Canada: John Wiley & Sons.

- [4] E. Ben-Dor, B. A. (1989). Determination of Organic Matter Content in Arid Zone Soils Using a Simple “Loss-on-Ignition” Method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1675-1695.
- [5] H. Konare, R. S. (2010). Loss on ignition: Measuring soil organic carbon in soils of the Sahel, West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 3088-3095.
- [6] Heiri, O. L. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 101-1110.
- [7] Helm, A. P., Carol, M., & Farook, Z. (2014). Slope Stability Analysis - Limit Equilibrium or The Finite Element Method? *Newcastle University Ground Engineering*, 1-7.
- [8] Hoogsteen, E. L. (2015). Estimating soil organic carbon through loss on ignition: Effects of ignition conditions and structural water loss. *Farming Systems EcologyPE&RCMathematical and Statistical Methods - Biometris*, 320-328.
- [9] J. L. Jensen, B. T. (2018). Converting loss-on-ignition to organic carbon content in arable topsoil: pitfalls and proposed procedure. *National Institutes of Health*, 604-612.
- [10] Krahn, J. (2022). Stability Modelling with SLOPE/W. An Engineering Methodology. *GeoSlope International*.
- [11] Nahon, D. B. (1991). Self-organization in chemical lateritic weathering. *Geoderma*, 5-13.
- [12] O. O. Olatunji, S. A. (2018). Thermo-gravimetric characterization of biomass. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-16.
- [13] Sari, M., Kesimal, A., & Ercikdi, B. (2019). Evaluation of the Stability of a Slope Failure and Remediation by Piled Wall. *Environmental Earth Sciences*, 441.
- [14] Smith, J. (2015). Efficiency Improvements in Coal Mining Operations. *Journal of Mining Science* 51, 202-210.
- [15] Sugiyono. (2017). *Statistik untuk Penelitian*. Bandung: CV Alfabeta.
- [16] Sutanto. (2015). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah: Konsep dan Kenyataan*. Yogyakarta: Kanisius.
- [17] Wang, B., Li, S., & Wang, X. (2019). Long-term performance and durability of wood materials used in geotechnical engineering applications. *Construction and Building Materials*, 597-610.

- [18] Wang, L., Li, Z., & Wang, S. (2017). Effect of counterweight on stability of slope under dynamic conditions. *International Journal of Geo-Engineering*, 8(16).
- [19] Wang, L., Zhang, Y., & Wei, X. (2018). Comprehensive analysis of slope stability and determination of stable slope angle in open-pit mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 97-107.
- [20] Wyllie, D. C., & Mah, C. (2018). *Rock Slope Engineering Civil Applications Fifth Edition*. New York: Taylor & Francis Group.
- [21] Zhang, D., Yang, Z., & Cheng, L. (2020). Mechanical properties of slope reinforced with boulders and vegetation. *Ecological Engineering*, 158.
- [22] Zhao, L., Wang, J., & Li, D. (2015). Effectiveness of soil nailing in stabilizing slopes: A review. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 59-64.