

Sifat-sifat Fizikal, Kimia dan Morfologi Tanah Laterit di Daerah Bandar Baharu, Kedah

(Physical, Chemical and Morphological Properties of Laterite Soil in Bandar Baharu District)

Ros Nadiyah Rosli^a, Khairul Naim Ahmad^b, Aizat Mohd Taib^a, Siti Aimi Nadia Mohd Yusoff^c

^a*Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia*

^b*Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia*

^c*Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam, Universiti Sains Malaysia*

*Corresponding author: nadiyahros@ukm.edu.my

Received 16 August 2023, Received in revised form 10 September 2023

Accepted 19 September 2023, Available online 30 September 2023

ABSTRAK

Daerah Bandar Baharu yang terletak di selatan negeri Kedah, Malaysia sangat kaya dengan sumber tanah laterit. Daerah ini dibezakan dengan kewujudan tanah laterit yang meluas, menjadikannya penting untuk mengkaji secara teliti sifat-sifat fizikal, kimia dan morfologi tanah ini. Memahami sifat-sifat ini adalah penting untuk menilai kesesuaian dan ciri tanah laterit dalam pelbagai aplikasi kejuruteraan dan pembinaan. Oleh itu, objektif kajian ini ialah untuk menganalisis dan menilai sifat-sifat fizikal, kimia dan morfologi bagi tanah laterit yang terpilih. Tiga jenis sumber tanah laterit telah dikenal pasti di Sungai Kechil, Bandar Baharu, dan Relau. Sampel tersebut telah dilabel sebagai SS-A, SS-B, dan SS-C. Tanah-tanah ini masing-masing dikategorikan sebagai SM, SC, dan MH, mengikut klasifikasi standard daripada Sistem Penentuan Klasifikasi Tanah (USCS). Dapatan kajian mendapati semua sampel tanah menunjukkan sifat keasidan, dengan nilai pH kurang daripada 6. Pencirian teknik pendarflour sinar-X (XRF) menunjukkan ketiga-tiga sampel tanah tersebut mempunyai tiga komponen kimia yang utama iaitu silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). Berdasarkan dapatan analisis belauan sinar-X (XRD), mineral yang ditemui dalam tanah laterit termasuk gibbsite, kuarza, kaolinit, dan magnetit. Berdasarkan imej SEM, sampel yang mempunyai kandungan partikel halus yang paling banyak iaitu 55.7% bagi sampel SS-C telah menunjukkan saiz liang yang paling kecil.

Kata kunci: Sifat-sifat fizikal; sifat-sifat kimia; sifat-sifat morfologi; tanah laterit; Daerah Bandar Baharu

ABSTRACT

The Bandar Baharu District in southern of Kedah, Malaysia is extremely rich in laterite soil. The district is distinguished by the widespread presence of laterite soil, making it critical to thoroughly explore its physical, chemical, and morphological properties. Understanding these properties is essential for determining the acceptability and behaviour of laterite soil in a variety of engineering and building applications. Thus, the objective of this study is to analyze and evaluate the physical, chemical, and morphological properties of the selected laterite soil. Three sources of laterite soils have been identified in Sungai Kechil, Bandar Baharu, and Relau. The samples are labeled as SS-A, SS-B, and SS-C. The soils are categorized as SM, SC and MH respectively according to classification by Unified Soil Classification System (USCS). Since the pH values were less than 6, all of the soils were acidic. The X-ray fluorescence (XRF) characterization shows that the three soil samples have three main chemical components, namely silicon dioxide (SiO_2), aluminium oxide (Al_2O_3) and iron oxide (Fe_2O_3). According to the X-Ray diffraction analysis (XRD) results, the minerals discovered in the laterite soils were gibbsite, quartz, kaolinite, and magnetite. Based on the scanning electron microscope (SEM) image, the sample with the highest fine particle content, which is 55.7% for the SS-C sample, shows the smallest pore size.

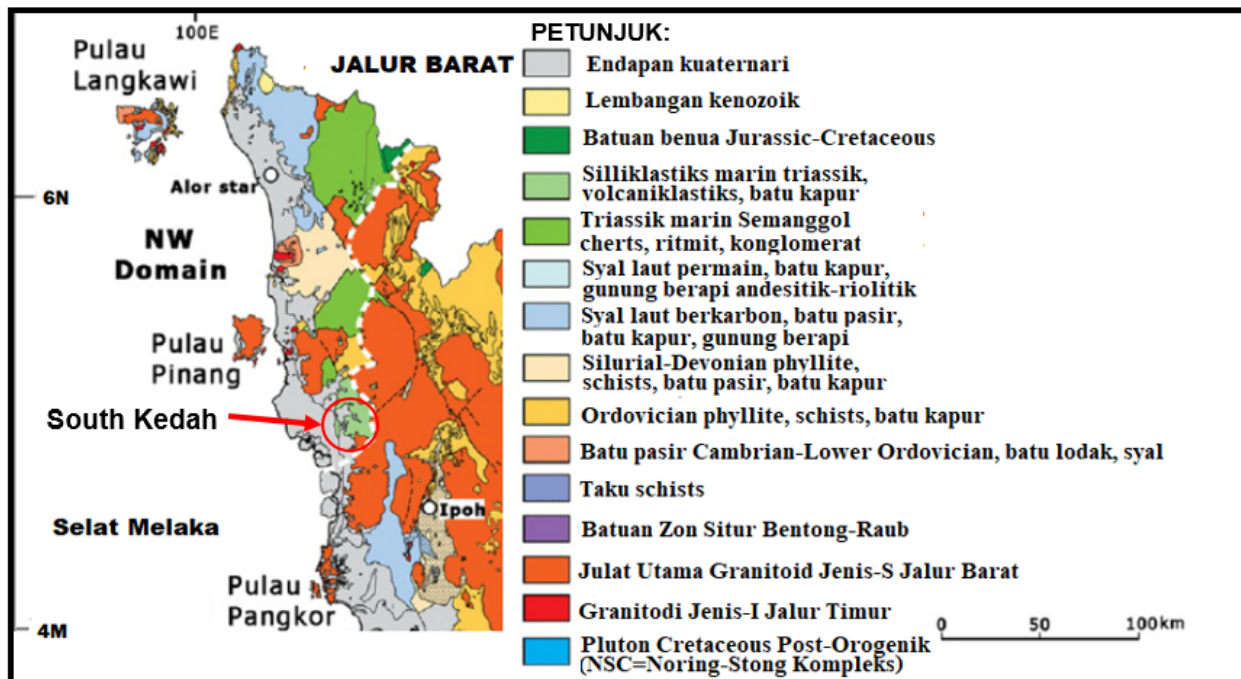
Keywords: Physical properties; chemical properties; morphological properties; laterite soil; Bandar Baharu District

PENDAHULUAN

Tanah laterit adalah sejenis tanah tropika yang lazimnya ditemui di kawasan beriklim panas dan lembap (Razali et al. 2022). Daerah Bandar Baharu yang terletak di selatan negeri Kedah, Malaysia, didapati kaya dengan sumber tanah laterit. Peta geologikal kawasan selatan negeri Kedah adalah seperti Rajah 1. Pembentukan tanah laterit boleh didapati daripada pelbagai jenis proses hakisan dan luluhawa termasuklah penghasilan daripada endapan kuaternari. Bentuk muka bumi daerah ini ditakrifkan dengan kehadiran laterit yang luas, menjadikan satu keperluan untuk menyelidik sifat-sifat fizikal, kimia, dan morfologi. Memahami sifat ini adalah sangat penting untuk menilai kesesuaian tanah laterit untuk pelbagai penggunaan dalam bidang kejuruteraan dan pembinaan (Kumar et al. 2022). Sifat fizikal tanah laterit, seperti taburan saiz partikel (PSD), kandungan kelembapan, sifat pemadatan, kebolehtelapan, dan kekuatan ricih, adalah penting dalam menentukan tingkah laku kejuruteraan (Basu & Sinha, 2021) PSD adalah parameter penting yang memberi maklumat tentang sifat-sifat asas tanah seperti saiz partikel, pengekal air, kekonduksian hidraulik, serta sifat-sifat

haba dan penyerapan (Weipeng et al. 2015). Kajian terperinci tentang sifat-sifat ini memberikan pengetahuan berharga tentang kebolehpadatan, kestabilan, dan ciri-ciri saluran tanah. Aspek-aspek ini sangat penting ketika mempertimbangkan rekabentuk asas, analisis kestabilan cerun, dan pembinaan jalan (Mamat et al. 2019).

Selain daripada sifat fizikal, komposisi kimia tanah laterit mempunyai impak yang signifikan terhadap prestasi geoteknikalnya. Stefanou dan Papazafeiriou (2013) membincangkan bahawa peningkatan dalam zat besi, aluminium, dan oksihidroksida dapat dikaitkan dengan peningkatan dalam rintangan penembusan tanah. Yamus et al. (2019) menekankan peranan penting mineralogi dan struktur dalam memahami tanah laterit, kerana ini memberikan asas untuk mengkategorikan tanah ke dalam kumpulan yang mempamerkan sifat-sifat kejuruteraan yang serupa. Tanah laterit dikenali dengan kepekatan ferum bebas oksida yang tinggi, yang memiliki sifat-sifat elektrokimia yang berbeza, kapasiti untuk menyerap bahan, tenaga permukaan yang agak tinggi, dan menyumbang kepada penyimenan asas dalam tanah. Oleh itu, ferum bebas oksida secara signifikan mempengaruhi sifat-sifat tanah (Zhang et al. 2016).



RAJAH 1. Peta geologi kawasan utara Semenanjung Malaysia (Pour & Hashim 2015)

METODOLOGI

LOKASI KAJIAN

Lokasi pengambilan sampel tanah yang khusus telah dikenalpasti iaitu Sungai Kechil ($5^{\circ}10'35.3''N$

$100^{\circ}33'41.6''E$), Bandar Baharu ($5^{\circ}08'02.7''N$ $100^{\circ}34'04.5''E$), dan Relau ($5^{\circ}14'05.4''N$ $100^{\circ}33'26.3''E$). Lokasi-lokasi ini dipilih dengan mempertimbangkan jenis tanah yang berbeza, ciri-ciri topografi, dan penggunaan tanah. Di setiap lokasi ini, sampel tanah dari kedalaman diantara 1m hingga 2.5m telah diambil menggunakan alat

penggali tanah. Tiga tanah laterit tersebut dilabel sebagai SS-A, SS-B, dan SS-C.

PENGUJIAN SIFAT-SIFAT FIZIKAL

Proses pencirian fizikal tanah laterit melibatkan penilaian PSD melalui analisis ayak dan ujian hidrometer. Ujian ini dijalankan mengikut Standard British - BS1377: Part 2 (BS1377, 1990a). Seterusnya, ujian had Atterberg turut dijalankan. Ujian ini juga dikenali sebagai ujian had konsistensi, sejajar dengan Standard British - BS1377: Part 2. Sampel tanah tersebut kemudian dikelaskan menggunakan Sistem Penentuan Klasifikasi Tanah (USCS). Seterusnya, ujian graviti spesifik (G_s) dilaksanakan mengikut BS1377: Part 2 (BS1377, 1990a, dimana ia melibatkan penentuan graviti tentu pepejal tanah yang melalui ayak dengan menggunakan piknometer air. Sebagai sebahagian daripada kajian ini, warna tanah dan kod direkodkan berdasarkan carta warna tanah Munsell (Munsell Color Company 1975).

PENGUJIAN SIFAT-SIFAT KIMIA

Seterusnya untuk pengujian sifat-sifat kimia, pH tanah telah diukur menggunakan meter pH, selaras dengan protokol ASTM D4972 (2001). Sampel tanah dikeringkan di udara dan ditapis melalui pengayak No. 10 untuk menyingkirkan bahagian yang lebih kasar. Proses pengeringan sampel tanah ini penting untuk mengawal kandungan air semasa pengukuran pH. Sebanyak 10g sampel diperuntukkan untuk pengujian ini. Sampel tanah ini kemudian dipindahkan ke dalam bekas kaca dan 10mL air ditambah. Selepas dicampur secara meyeluruh, larutan dibiarkan tanpa gangguan selama satu jam. Selepas tempoh ini, nilai pH direkod menggunakan meter pH, sementara suhu bilik berada dalam julat 15-25°C pada masa pengukuran. Sebelum melakukan ujian, meter pH telah dikalibrasi menggunakan larutan pH4, pH7, dan pH10. Selepas itu, nilai kehilangan nyalaan (LOI) ditentukan mengikut prosedur standard yang ditetapkan oleh ASTM D4972 (2001). Sampel tanah seberat 100g ditimbang dan ditapis melalui pengayak 2mm. Tanah yang telah diayak ditimbang semula untuk memastikan beratnya masih 100g. Kemudian, tanah dipanaskan ke suhu 440 ± 25 °C, suhu yang dikekalkan selama sekurang-kurangnya 3 jam, atau sehingga jisim yang malar dicapai. Komposisi unsur dalam sampel tanah ditentukan menggunakan teknik pendarflour sinar-X (XRF). Penyediaan sampel melibatkan pengisaran sampel tanah secara seragam sehingga ia boleh melepasi penapis 63 μ m. Kira-kira 0.5g dari sampel ini digabungkan dengan 5g litium tetraborat di dalam mangkuk platinum. Campuran ini kemudian dipanaskan selama 25 minit pada suhu 1110°C, selaras dengan protokol DIN EN 196 - Part 2

(DINEN196, 2013). Campuran yang cair itu kemudiannya dituang secara automatik ke dalam acuan sampel dan disejukkan selama beberapa minit sehingga sedia. Analisis XRF kemudian digunakan untuk mengukur komposisi kimia sampel, dengan mengukur cahaya pendaflour, atau sinar-X sekunder, yang dikeluarkan dari sampel apabila dirangsang oleh sumber sinar-X primer. Setiap unsur yang dikesan akan menghasilkan set sinar-X pendaflour yang unik, yang membolehkan pengenalan unsur. Kepekatan unsur-unsur ini kemudian dikuantifikasi dengan mengukur keamatan garis sinar-X yang berkenaan, berdasarkan lengkung analisis yang telah disediakan. Sebaliknya, komposisi mineral penjerap komposit, yang wujud dalam keadaan kristal, ditentukan menggunakan ujian belauan sinar-X (XRD). Untuk ujian ini, sampel tanah disediakan dengan memastikan ia dapat melepasi bukaan pengayak 63 μ m. Sebanyak 3g dari sampel ini kemudian ditempatkan pada pemegang sampel untuk dianalisis.

PENGUJIAN SIFAT-SIFAT MORFOLOGI

Pemerhatian pada skala makroskopik dilakukan untuk memahami sifat morfologi tanah. Proses ini melibatkan penggunaan teknik mikroskopi elektron pengimbasan (SEM) untuk meneliti mikroagregat tanah. Untuk penyediaan sampel analisis SEM, sampel diletakkan pada pita karbon yang diletakkan pada stub aluminium. Kemudian, sebuah alat penyalut putaran digunakan untuk menyaluti sampel dengan lapisan emas sehingga 20 ke 30 nm. Sebelum analisis, sampel tersebut divakum di dalam instrumen SEM selama 5 hingga 10 minit. Akhir sekali, imej sampel pada kawasan tertentu diambil pada pelbagai tahap pembesaran menggunakan instrumen SEM.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KLASIFIKASI BAHAN

Keputusan daripada analisis pengayak dan ujian had Atterberg digunakan untuk pengelasan tanah. Mengikut USCS, sampel SS-A, SS-B, dan SS-C masing-masing dikenalpasti sebagai pasir berlodak atau SM, pasir berlempung atau SC, dan kelodak keplastikan tinggi atau MH. Jadual 1 menunjukkan hasil dapatan yang diperoleh untuk setiap parameter yang dianalisis dalam kajian ini. Antara tiga sampel, SS-A menunjukkan peratusan kerikil tertinggi, iaitu 22%, diikuti oleh SS-B dan SS-C dengan masing-masing pada 14.53% dan 3.20%. Tambahan pula, SS-C mempunyai peratusan partikel halus tertinggi pada 55.70%, diikuti oleh SS-B pada 34.03% dan SS-A pada 24.4%. Oleh itu, diantara ketiga-tiga sampel, SS-A dikenalpasti sebagai sampel yang paling banyak partikel

kasar, manakala SS-C mengandungi jumlah partikel halus yang tertinggi.

Selanjutnya, SS-A didapati mempunyai nilai C_u tertinggi, yang menunjukkan bahawa ia mempunyai julat saiz partikel yang paling besar, dan oleh itu tanah adalah paling tidak seragam atau bergred baik. Dalam erti kata lain, dapatan ini menunjukkan sampel tanah ini mengandungi pelbagai saiz partikel. Daripada semua jenis tanah laterit, SS-C menunjukkan had cecair (LL) tertinggi pada 58.61%, manakala SS-A mempamerkan LL terendah

iaitu pada 37.61%. Had cecair yang tinggi menandakan kandungan tanah liat yang tinggi dalam tanah, oleh itu kapasiti dijangka berkurang untuk menampung beban secara efektif. Nilai indeks keplastikan (PI) adalah selaras dengan penemuan dari Ahmed (2015), di mana pengarang tersebut melaporkan nilai PI berada dalam julat 4 hingga 16% untuk tanah laterit yang diperoleh dari Nilai, Negeri Sembilan. Walau bagaimanapun, nilai PI untuk SS-A adalah luar dari julat ini, menunjukkan tekstur yang lebih berpasir atau bersaiz kasar berbanding dengan tanah laterit yang dikaji oleh Ahmed (2015).

JADUAL 1. Dapatan sifat-sifat tanah untuk sampel SS-A, SS-B dan SS-C

Parameter	Sampel		
	SS-A	SS-B	SS-C
Kelikir, %	22.00	14.53	3.20
Pasir, %	53.60	51.44	41.10
Kelodak, %	22.45	32.78	50.63
Tanah liat, %	1.95	1.25	5.07
C_u	232.56	70.79	41.67
C_c	5.95	0.23	0.31
LL, %	37.61	42.20	58.61
PL, %	35.73	28.07	46.48
PI, %	1.88	14.13	12.12
USCS	SM	SC	MH
G_s	2.6	2.68	2.54
Kod warna	7.5YR 5/6	5YR 5/8	10YR 7/8
Penerangan warna	Perang kuat	Merah kekuningan	Kuning
Nilai pH	4.82	4.79	4.51
Nilai LOI	5.76	4.58	3.70

G_s tertinggi adalah sampel SS-B iaitu 2.68, diikuti oleh 2.60 untuk SS-A, dan 2.54 untuk SS-C. Nilai-nilai G_s ini adalah lebih rendah berbanding tanah laterit dari Batu Pahat, Johor, yang mempunyai nilai 2.79 (Yusoff et al. 2016). Otomoso et al. (2012) menyatakan julat G_s diantara 2.65 hingga 2.68 adalah kebiasaan bagi pasir manakala julat antara 2.52 hingga 2.66 adalah kebiasaan bagi sampel tanah liat bukan organik. Parameter seterusnya adalah warna, ia difahami sebagai sangat empirikal kerana mineral yang ada didalam tanah menghasilkan warna yang berbeza mengikut persekitaran yang pelbagai. Kehadiran oksida besi boleh membawa kepada spektrum warna tanah yang biasanya berwarna oker, merah jambu, merah, dan perang. Maignien (1966) mencadangkan warna boleh menjadi faktor yang berguna dalam mengenal pasti tahap luhawa

tanah. Dari segi pH, nilai di bawah 6 dianggap asid, 7 adalah neutral, dan nilai di atas 8 menunjukkan bahan alkali. Tanah asid biasanya ditemui di ketinggian yang tinggi, di mana tanah dibentuk daripada bahan induk pembentuk asid, tanah hutan, dan tapak dengan mineral besi dan sulfur (McCauley et al., 2017). Dalam kajian ini, semua tanah diklasifikasikan sebagai asid kerana nilai pH kurang daripada 7. Nilai LOI didapati paling rendah untuk SS-C iaitu 3.70%, diikuti oleh SS-B iaitu 4.58%, dan SS-A iaitu 5.76%. Sampel tanah yang paling kasar mengandungi jumlah bahan organik dan kemuruapan yang paling tinggi, disebabkan oleh kehadiran akar dan bahan tumbuhan. Ini menunjukkan bahawa sampel tanah ini berkemungkinan besar berasal dari sebahagian tanah laterit yang kaya dengan bahan organik.

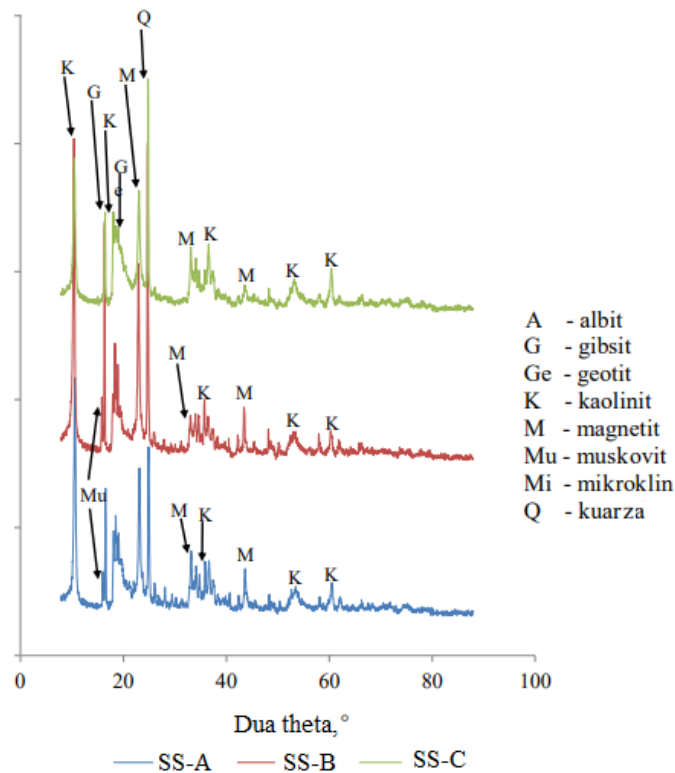
KOMPOSISI KIMIA BAGI SAMPEL TANAH

Jadual 2 memaparkan komponen kimia utama bagi sampel SS-A, SS-B, dan SS-C. Sebatian utama dalam tanah tersebut telah dikenal pasti sebagai silikon dioksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), oksida besi (III) (Fe₂O₃), kalium oksida (K₂O), kalsium oksida (CaO), titanium dioksida (TiO₂), fosforus pentoksida (P₂O₅), magnesium oksida (MgO), dan sulfur trioksida (SO₃), masing-masing dengan

komposisi lebih besar atau sama dengan 0.1%. Mustapha dan Alhassan (2012) serta Latifi et al. (2013) telah mengkaji komposisi kimia tanah laterit dari kawasan lain dan mendapati bahawa SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ adalah komponen utama, yang sejajar dengan penemuan kajian semasa. Gidigasu (2012) menyatakan bahawa kandungan Al₂O₃ dan Fe₂O₃ adalah lebih tinggi berbanding komponen kimia yang lain kerana ia merupakan ciri khas kepada semua tanah laterit.

JADUAL 2. Komposisi kimia utama bagi SS-A, SS-B dan SS-C menggunakan XRF

Unsur	Komposisi (%)		
	SS-A	SS-B	SS-C
SiO ₂	64.59	63.42	50.10
Al ₂ O ₃	23.97	27.04	39.05
Fe ₂ O ₃	3.05	2.92	4.59
K ₂ O	1.40	1.14	0.77
CaO	0.42	0.25	0.85
TiO ₂	0.30	0.27	0.45
P ₂ O ₅	0.14	0.09	0.10
MgO	0.11	0.07	0.10
SO ₃	0.11	0.09	0.12



RAJAH 2. Pola XRD bagi sampel tanah laterit

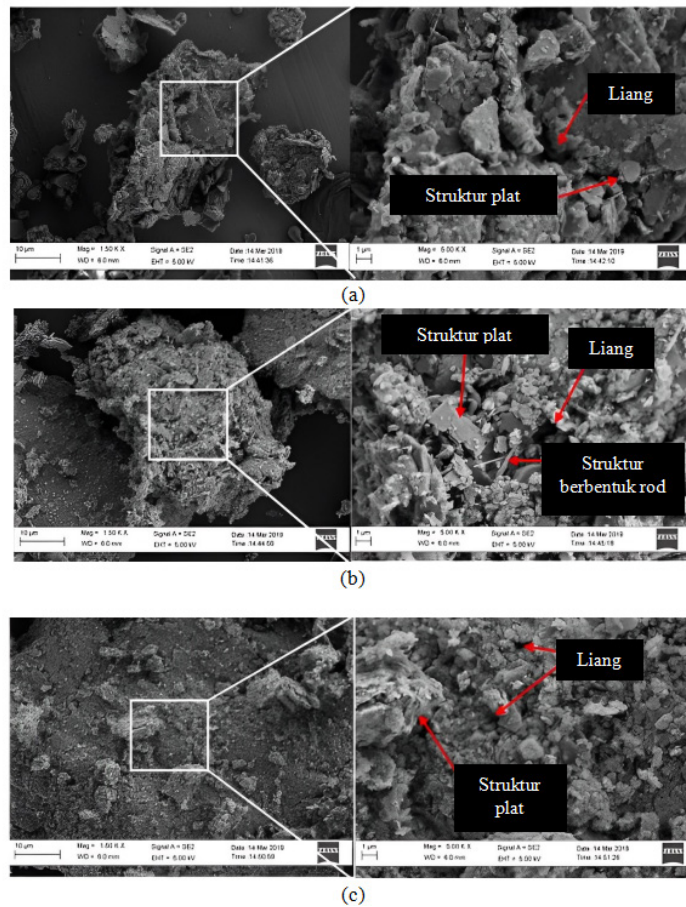
Kamtchueng et al. (2015) telah mendedahkan hasil dapatan XRD daripada pemeriksaan tanah laterit dari Cameroon. Difraktogram XRD menunjukkan tanah laterit Cameroon terdiri daripada kuarza, kaolinit, gipsit, magnetit, dan klorit. Hasil penyelidikan tempatan, Latifi et al. (2016), telah memeriksa sampel tanah laterit dari Malaysia dan mendapati bahawa mineral utama dalam tanah laterit Malaysia adalah kaolinit, kuarza, geotit, dan gipsit.

Dalam kajian ini, komposisi mineral tanah laterit telah dianalisis menggunakan teknik XRD. Sampel SS-A dan SS-B didapati mengandungi gipsit, kuarza, kaolinit, magnetit, dan muskovit, manakala SS-C kelihatan mengandungi mineral yang sama seperti SS-A dan SS-B, tetapi dengan penambahan muskovit dan geotit. Jadual 3

meringkaskan kandungan mineral yang ditemui dalam sampel. Sementara itu, Rajah 2 menunjukkan pola XRD bagi ketiga-tiga sampel tanah laterit. Dengan mengimbas sampel melalui julat dua sudut theta, arah difraksi yang mungkin bagi kekisi boleh dikumpulkan dari orientasi rawak bahan serbuk. Jenis mineral dikenal pasti berdasarkan penukaran puncak pembelauan kepada jarak-d kerana setiap mineral mempunyai set jarak-d yang unik. Keputusan yang diperolehi ini dapat dibandingkan dengan standard pola jarak-d, dimana kesemua tanah mempunyai corak yang sama berdasarkan keamatan nilai komposisi. Ini menunjukkan bahawa sampel hanya berbeza secara fizikal seperti dalam segi saiz zarah tetapi secara kimia sampel adalah serupa (Dutrow dan Clark 2019).

JADUAL 3. Komponen mineral utama yang diperolehi daripada analisis

Sampel	Komponen utama
SS-A	gipsit, kuarza, kaolinit, magnetit, muskovit
SS-B	gipsit, kuarza, kaolinit, magnetit, muskovit
SS-C	gipsit, kuarza, kaolinit, magnetit, geotit



RAJAH 3. Imej SEM sampel tanah (a) SS-A, (b) SS-B dan (c) SS-C

MORFOLOGI SAMPEL TANAH

Rajah 3 (a) hingga (c) menunjukkan morfologi sampel tanah laterit. Penemuan menunjukkan bahawa setiap sampel tanah laterit menunjukkan struktur seperti plat. Mineral berbentuk plat seperti kaolinit, muskovit, ilit, klorit, vermikulit, dan montmorilonit adalah berbeza dari segi diameter dan ketebalan. Biasanya, mineral kaolinit mempunyai diameter antara 0 hingga 3μ dan ketebalannya antara $1/3$ hingga $1/10$ daripada diameter. Mineral montmorilonit mempunyai diameter terkecil, antara 0.1 hingga 1μ dan ketebalannya adalah $1/100$ daripada diameter. Struktur seperti bentuk rod adalah ciri khas untuk mineral gipsum, sementara mineral berbentuk batang berongga adalah ciri khas meta-haloisit dan haloisit (Kasim 2009). Berbanding kaolinit dan klorit, mineral montmorilonit dan ilit memiliki kekuatan yang lebih rendah dan sifat pembengkakan yang lebih tinggi (Gidigasu 2012).

Imej SEM menunjukkan trend pengecilan saiz liang dari sampel SS-A ke SS-C, dimana ia turut menunjukkan peningkatan dalam kandungan partikel halus. Ghosh et al. (2015) mencadangkan bahawa tanah laterit boleh dikelaskan kepada dua jenis, iaitu tanah laterit aluminus, yang mempunyai kandungan alumina yang lebih tinggi, dan tanah laterit feruginus, dengan kandungan besi yang lebih tinggi. Hasil dari kajian ini menunjukkan bahawa sampel SS-A, SS-B, dan SS-C semuanya termasuk dalam kategori feruginus, yang bermaksud mempunyai lebih banyak kandungan besi berbanding dengan kandungan aluminium. Tanah laterit feruginus mempunyai struktur yang pelbagai, termasuk struktur pisolit, alveolus, dan lamela. Komposisi mineral tanah feruginus termasuk kaolinit, geotit, jumlah hematit yang berubah-ubah, gipsit, dan kuarza. Walau bagaimanapun, sama ada tanah tersebut adalah aluminus atau feruginus, pengelasan ini sebahagian besarnya adalah kualitatif dan oleh itu ia tidak terlalu signifikan.

KESIMPULAN

Tiga lokasi yang mempunyai tanah jenis laterit telah dikenal pasti di daerah Bandar Baharu, Kedah. Lokasi-lokasi ini dikenali sebagai tapak sumber untuk tanah laterit yang digunakan dalam aktiviti pembinaan tempatan. Sampel tanah dilabelkan sebagai SS-A, SS-B, dan SS-C, yang masing-masing dari kawasan Sungai Kechil, Bandar Baharu, dan Relau. Sampel SS-A didapati mempunyai partikel halus paling sedikit, diikuti oleh SS-B, dan kemudian SS-C. Mengikut pengelasan tanah USCS, sampel tanah tersebut masing-masing dikategorikan sebagai SM, SC dan MH. Graviti spesifik tanah laterit berada dalam julat antara 2.54 dan 2.68. Penerangan warna dan kod daripada carta Munsell menunjukkan SS-A berwarna

perang kuat dengan kod 7.5YR 5/6, sementara SS-B dan SS-C masing-masing berwarna merah kekuningan iaitu kod 5YR 5/8 dan kuning iaitu kod 10YR 7/8.

Kesemua sampel tanah dikenal pasti sebagai berasad dengan nilai pH kurang dari 6. Tiga sebatian utama yang dikenal pasti semasa ujian XRF adalah SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Analisis XRD mendedahkan kehadiran mineral seperti gipsit, kuarza, kaolinit, dan magnetit dalam tanah laterit. Daripada imej SEM, sampel yang mempunyai jumlah partikel halus yang paling tinggi telah menunjukkan saiz liang yang paling kecil. Untuk cadangan masa hadapan, tanah laterit dari tempat yang berlainan diperlukan bagi melihat sifat-sifat fizikal, kimia dan morfologi daripada lokasi tersebut. Jenis tanah yang berlainan seperti pasir dan tanah liat marin turut boleh dikaji untuk kegunaan kajian di masa hadapan.

RUJUKAN

- Edgison, R. 2015. *Analisis dan Penyelidikan Tanah Laterit*. Nilai Malaysia. Other thesis, INTI International University
- ASTM D4972 (2001). Standard Test Method for pH of Soils, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania.
- ASTM D4972. 2001. Standard Test Method for pH of Soils, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania.
- Basu, A. & Sinha, S. 2021. Evaluation of mechanical strength and physical properties of indurated laterite with regard to in situ characterization of lateritic profile. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* volume 80: 4207–4219.
- BS1377: Part 2 1990a. Methods of test for Soils for civil engineering purposes. Part 2: Classification tests.
- DINEN196, 2013. Method of Testing Cement - Part 2: Chemical Analysis of Cement. German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung).
- Dutrow, B. L. and Clark, C. M. 2019. X-ray Powder Diffraction (XRD). *Geochemical Instrumentation and Analysis*.
- Ghosh, S., Guchhait, S. K. and Hu, X. F. 2015. Characterization and evolution of primary and secondary laterites in Northwestern Bengal Basin, West Bengal, India. *Journal of Palaeogeography* 4(2): 203-230.
- Gidigasu, M., ed. 2012. *Laterite Soil Engineering: Pedogenesis and Engineering Principles*, 9, Elsevier scientific publication company, Amsterdam.
- Fener, M. & Yesiller, N. 2013. Vertical pore structure profile of a compacted clayey soil. *Engineering Geology* 166: 204-215.
- Kassim, K. A. 2009. *The Nanostructure Study on the Mechanism of Lime Stabilised Soil*. Research

- Vote No: 78011. Department of Geotechnics and Transportation, University Technology Malaysia.
- Kamtchueng, B. T., Onana, V. L., Fantong, W. Y., Ueda, A., Ntoulala, R. F. D., Wongolo, M. H. D., Ndong, G, Ze, A. N., Kamgang, V. K, B. and Ondoa, J. M. 2015. Geotechnical, chemical and mineralogical evaluation of lateritic soils in humid tropical area (MFOU, Central-Cameroon): Implications for road construction. *International Journal of Geo-Engineering* 6(1): 1-21.
- Kumar, G. S., Saini, P.K., Deoliya, R., Mishra, A. K. & Negi, S.K. 2022. Characterization of laterite soil and its use in construction applications: A review. *Resources, Conservation & Recycling Advances* 16: 200120.
- Latifi, N., Marto, A. and Eisazadeh, A. 2013. Structural characteristics of laterite soil treated by SH-85 and TX-85 (non-traditional) stabilizers. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 18: 1707 – 1718.
- Mamat, R. C., Kasa, A., Razali & S. F. M. 2019. A Review of road embankment stability on soft ground: Problems and future perspective. *IJUM Engineering Journal* 20(2).
- Maignien, R. 1966. Review of Research on Laterites. UNESCO, Naturak Resources Research Science IV, Paris.
- McCauley, A, Jones, C and Olson-Rutz, K. 2017. Soil pH and organic matter. *Nutrient Management* 8.
- Munsell Color Company. 1975. Munsell soil color charts, Macbeth Div. Kollmorgen, Baltimore, Md.
- Mustapha, A. M. and Alhassan, M. 2012. Chemical, Physico-chemical and geotechnical properties of lateritic weathering profile derived from granite basement. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 17: 1505 – 1514.
- Omotoso, O. A., Ojo, O. J. and Adetolaju, E. T. 2012. Engineering properties of lateritic soils around dall quarry in Sango Area, Ilorin, Nigeria. *Earth Science Research* 1(2): 71 – 81.
- Pour, A. B. & Hashim, M. 2015. Structural mapping using PALSAR data in the Central Gold Belt, Peninsular Malaysia. *Ore Geology Reviews* 64: 13-22.
- Razali, R., Rashid, M. A. H., Roshan, M. J., Zakaria, N. S. S., Rashid, A. S. A., Razali, R., Lat, D. C., Rahman, N. S. A. & Roshan, M. J. 2022. Experimental study on mechanical behavior of laterite soil treated with quicklime. *Journal of Mechanical Engineering* 11(1): 109-122.
- Stefano, S. & Papazafeiriou, A. 2013. Effects of iron and aluminum oxides and clay content on penetration resistance of five Greek soils. *Eurasian Journal of Soil Science* 2: 122-130.
- Tsozué, D. & Yongue-Fouateu, R. 2012. Morphology, Mineralogy, and geochemistry of a lateritic soil sequence developed on micaschist in the abong-mbang region, Southeast Cameroon. *South African Journal of Geology* 115(1):103-116
- Weipeng W., Jianli L., Bingzi Z., Jiabao Z., Xiaopeng L. & Yifan Y. 2015. Critical evaluation of particle size distribution models using soil data obtained with a laser diffraction method. *PLoS One* 10(4).
- Yamus, Y. B., Rashid, A.S.A., Ahmad, K., & Rahman, N. A. 2019. A review on the fundamental engineering properties of compacted laterite soil at different gradation. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology* 16(1): 10-19s.
- Zhang, X. W., L. W. Kong, X. L. Cui, & S. Yin. 2016. Occurrence characteristics of free iron oxides in soil microstructure: Evidence from XRD, SEM, and EDS. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 75(4): 1493- 1503.