

Kesan Rawatan Dolomit terhadap Kekuatan Mampatan Tanah Jerlus dari Kawasan Penanaman Padi MADA, Kedah (Effect of Dolomite Treatment on Compressive Strength of Soft Soil from MADA Paddy Growing Area, Kedah)

NADHIRAH MURSIDI*, MOHAMED FAUZI MD ISA & AZIMAH HUSSIN

Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

Diserahkan: 8 Mei 2024/Diterima: 17 Oktober 2024

ABSTRAK

Isu tanah jerlus di kawasan penanaman padi Lembaga Kemajuan Pertanian Muda (MADA) menjadi ancaman besar kepada para petani kerana ia mampu menjejaskan kebolehtelapan tanah sawah dan jumlah pengeluaran beras negara. Tanah jerlus merupakan tanah tidak subur yang berkelimpahan mineral lempung, mudah dimampatkan, kekuatan mekanikal yang rendah dan kebolehtelapan yang rendah. Kajian ini telah dilakukan untuk meneliti keberkesanan dolomit terhadap ciri-ciri mekanikal tanah jerlus dari kawasan kajian. Penambahan dolomit sebagai bahan penstabil telah dilakukan mengikut nisbah 3%, 6%, 9% dan 12% daripada berat kering tanah jerlus dan diawet selama 3, 7, 14 dan 28 hari. Hasil kajian yang diperolehi menunjukkan tanah jerlus dari kawasan kajian mempunyai pH yang neutral (7.64-7.68), berkelembapan tinggi (57.85-66.62%), tinggi kandungan organik (8.37-10.69%), mempunyai nilai indeks keplastikan yang tinggi (17.63-17.69%), memiliki nilai graviti tentu 2.23-2.28 dan bertekstur lempung berlodak. Penambahan dolomit sebagai bahan tambahan rawatan telah dikesan dapat mengurangkan kekuatan mekanikal tanah jerlus. Berdasarkan ujian kekuatan mampatan tidak terkekang (UCS), penambahan 12% dolomit merupakan nilai optimum yang dapat meningkatkan kekuatan tanah jerlus dalam keadaan direndam dan tidak direndam (41.95-679.3 kPa) dengan tempoh rawatan yang berbeza.

Kata kunci: Dolomit; sifat fizikokimia; tanah jerlus

ABSTRACT

The issue of soft soil in the paddy cultivation area of the Muda Agricultural Development Authority (MADA) poses a significant threat to farmers as it can undermine the viability of paddy fields and the country's rice production. The soft soil is an infertile soil, abundant with clay minerals, easily compressed, low mechanical strength, low permeability, and high potential for failure. Accordingly, this study was carried out to examine the effectiveness of dolomite stabilizers against the mechanical characteristics of soft soils from the study area. The addition of dolomite as a stabilizing material was carried out in the ratio of 3%, 6%, 9%, and 12% of the dry weight of the soft soil and was cured for 3, 7, 14, and 28 days. The results showed that the soft soil from the study area had a neutral pH (7.64-7.68), high moisture content (57.85-66.62%), high organic content (8.37-10.69%), a high plasticity index value (17.63-17.69%), a specific gravity value of 2.23-2.28, and a silty clay texture. The addition of dolomite as a treatment additive has been detected to reduce the mechanical strength of the soft soil. Based on the unconfined compressive strength (UCS) test, the addition of 12% dolomite is the optimum value that can enhance the strength of soft soil in both saturated and unsaturated conditions (41.95-679.3 kPa) with varying treatment durations.

Keywords: Dolomite; physicochemical characteristic; soft soil

PENGENALAN

Tanah jerlus merupakan tanah tidak subur, berkelimpahan mineral lempung, mudah dimampatkan, berkekuatan mekanikal yang rendah, kebolehtelapan yang rendah serta berpotensi tinggi untuk mengalami kegagalan (Huat 2006; Mathew & Sasikumar 2017; Raju & Daramalinggam 2012). Keadaan tersebut berlaku kerana tanah jerlus tidak memiliki kapasiti galas atau rintangan ricih yang

mencukupi (Mathew & Sasikumar 2017; Mohamed Fauzi et al. 2023; Raju & Daramalinggam 2012). Permasalahan tanah jerlus adalah isu global yang berlaku di kebanyakan negara asia (Ngo et al. 2020; Rasheed et al. 2023; Sim et al. 2024). Malaysia juga tidak terkecuali dan permasalahan tanah jerlus ini dapat diperhatikan di dataran pantai barat dan pantai timur Semenanjung Malaysia (Azura & Adnan 2019; Mathew & Sasikumar 2017). Di Malaysia, tanah

jerlus dikelaskan sebagai sedimen Kuaterner yang terdiri daripada endapan aluvium dan tanah organik atau gambut (Kaniraj & Joseph 2006).

Tanah jerlus juga dikenal pasti mempunyai kandungan air dan ketertampakan yang tinggi serta kekuatan ricih yang rendah iaitu kurang daripada 200 kPa (Al-Khafaji et al. 2023; Ayeldeen & Kitazume 2017; Vishwanath, Pramod & Ramesh 2014). Menurut Mohamad et al. (2016), tanah jerlus senang dibentuk dengan hanya menggunakan tekanan jari yang ringan serta berkekuatan ricih kurang daripada 40 kPa. Di samping itu, tanah ini juga mempunyai nilai pemadatan yang sangat rendah berdasarkan nilai rintangan penembusan iaitu kurang daripada 0.40 MPa (Azizul 2008). Kebolehtelapan bagi tanah jerlus juga adalah rendah dengan kekuatan ricih antara 25 kPa hingga 50 kPa (Amirul Najmi, Saiful Azhar & Ahmad Hakimi 2021). Selain itu, berdasarkan kajian yang dijalankan oleh Al-Khafaji et al. (2023) tanah jerlus memiliki kandungan lembapan (39.3%), had cecair (39.3%) dan indeks keplastikan (18.37) yang tinggi serta nilai UCS sebanyak 195 kPa. Manakala kajian yang dijalankan oleh Al-Waily (2019) menunjukkan tanah jerlus memiliki nilai had cecair (36%) yang tinggi, kandungan lembapan optimum sebanyak 15% dengan nilai graviti tentu iaitu 2.71. Ciri-ciri bagi tanah jerlus dalam kajian Chen et al. (2022) pula memiliki kandungan kelembapan (35.21%), indeks keplastikan (37.13%), had cecair (21.27%) dan had plastik (21.27%) yang tinggi dengan graviti tentu iaitu 2.75.

Menurut Muhammad Rendana et al. (2019), permasalahan tanah jerlus ini merupakan antara isu utama yang mempengaruhi pendapatan pesawah padi di Kedah. Terdapat sebahagian kawasan tanah padi yang terbiar akibat permasalahan tanah jerlus yang memberi kesan kepada ketidakmampuan tanah untuk menampung pergerakan jentera berat yang lazim digunakan dalam proses penanaman. Menurut Mohd Shahrin, Ayob dan Suhaimi (1989), bagi kelangsungan aktiviti penanaman padi, daya kekuatan minimum tanah untuk pergerakan jentera berat adalah 3.0 hingga 5.0 kg/cm². Sekiranya kawasan penanaman tersebut berhadapan dengan isu tanah jerlus maka ia akan menyukarkan pergerakan keluar masuk jentera tersebut.

Teknik penstabilan tanah menggunakan bahan tambahan tertentu merupakan antara kaedah yang boleh dimanfaatkan untuk tujuan pembaikan sifat geomekanikal serta rawatan struktur tanah jerlus ini. Menurut Mukesh dan Patel (2012), penstabilan tanah bermaksud proses rawatan tanah bagi mengekalkan, mengubah dan memperbaiki prestasi tanah sebagai bahan binaan. Menerusi penstabilan tanah juga prestasi kejuruteraan tanah dapat ditingkatkan (Fajobi, Ige & Adeleye 2012; Lim et al. 2014). Pelbagai pengelasan dalam kaedah penstabilan tanah telah dijalankan pengkaji seperti penstabilan fizikal, kimia, mekanikal serta tiga prinsip penstabilan iaitu konsolidasi, pengubahsuaian

kimia, ketumpatan dan pengukuhan (Latifi et al. 2016; Mukesh & Patel 2012; Raju & Daramalinggam 2012; Venkatarama Reddy 2012).

Objektif utama penyelidikan ini adalah untuk mengkaji kesan penambahan bahan penstabil dolomit terhadap kekuatan tanah jerlus. Menerusi ujian mampatan tidak terkekang, kekuatan tanah selepas penambahan telah diteliti dan perubahan yang ketara kepada sifat semula jadi tanah menjadi petunjuk kepada potensi kesesuaian penggunaan dolomit dalam merawat tanah yang bermasalah.

BAHAN DAN KAEDAH

KAWASAN PENSAMPELAN

Pensampelan dijalankan di kawasan penanaman padi yang terletak di Kampung Telok Kandih, Alor Setar, Kedah dalam lingkungan latitud 6°4'58" dan longitud 100°24'56". Kawasan kajian ini didasari oleh endapan Kuaterner yang terdiri daripada endapan sedimen yang tidak terkonsolidat seperti pasir, lempung dan lodak. Berdasarkan peta kawasan kajian (Rajah 1), kawasan kajian terdiri daripada endapan Kuaterner iaitu endapan lempung marin, pasir dan kelikir yang tidak terkonsolidat. Pada bahagian timur laut peta pula terdapat Formasi Kubang Pasu yang berusia Karbon. Menurut Dzulkafli, Sulaiman dan Harun (2019), formasi ini terdiri daripada selang lapis batu pasir, lodak dan syal serta pada bahagian bawahnya terdapat rijang. Kawasan kajian ini juga memiliki topografi kawasan tanah pamah dan beriklim monsun tropika dengan purata hujan tahunan sebanyak 2188 mm. Terdapat dua jenis sampel tanah yang diambil iaitu tanah jerlus dan tanah normal. Tanah normal merujuk kepada tanah biasa yang digunakan untuk penanaman padi. Dua kedalaman sampel telah diambil iaitu 20 cm dan 40 cm daripada permukaan bagi setiap jenis tanah untuk membezakan sifat tanah di lapisan atas dan lapisan yang lebih dalam.

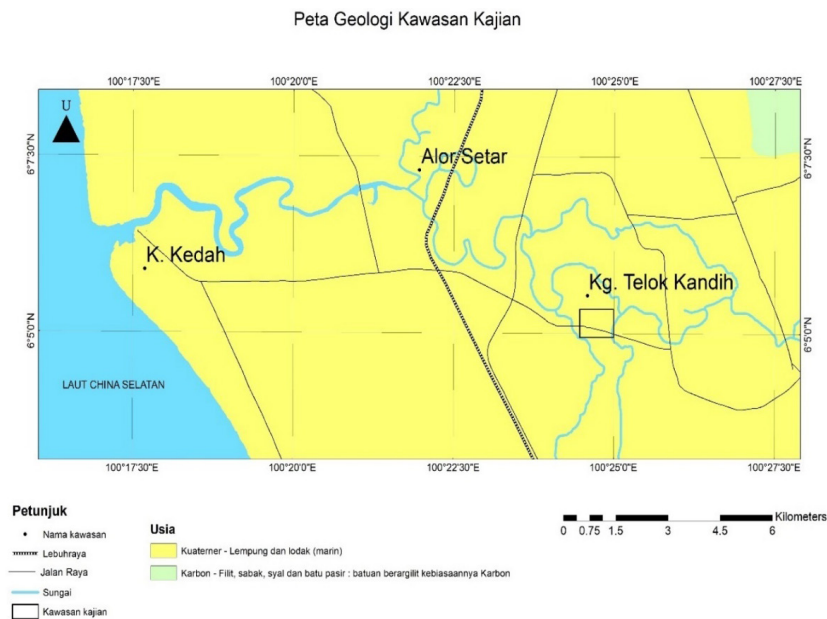
ANALISIS FIZIKOKIMIA

Analisis fizikokimia ini dijalankan untuk mengetahui sifat fizikal bagi kedua-dua jenis tanah iaitu tanah jerlus dan tanah normal sebelum bahan penstabil dicampurkan. Antara analisis yang dijalankan adalah kandungan kelembapan (ASTM D2216-19), nilai pH (ASTM D4972-19), had Atterberg (BS 1377), kandungan organik (ASTM D 2974), graviti tentu (ASTM D854-00) dan taburan saiz (ASTM D7928-21). Bagi analisis kandungan kelembapan, sampel tanah diambil terus dari lapangan dan diuji nilai peratusan air yang terkandung di dalam tanah. Manakala bagi penyediaan sampel untuk analisis seperti pH, had Atterberg, kandungan organik, graviti tentu dan taburan saiz pula, sampel tanah dikeringkan terlebih dahulu selama semalaman sebelum analisis dijalankan.

ANALISIS UJIAN KEKUATAN MAMPATAN TIDAK TERKEKANG (UCS)

Bagi mengenal pasti tindak balas tanah jerlus terhadap bahan penstabil, analisis UCS telah dijalankan untuk mendapatkan kekuatan ricih tidak tersalir (S_u) yang tidak terkonsolidat bagi lempung menggunakan mesin Load Trac II seperti yang dapat diperhatikan dalam Rajah 2. Menerusi S_u , kapasiti galas bagi tanah yang dirawat dapat ditentukan. Kaedah bancuhan tangan digunakan untuk mencampurkan bahan penstabil, sampel tanah berserta air. Setelah proses

pencampuran selesai, tanah tersebut dimasukkan ke dalam acuan untuk dimampatkan membentuk silinder dengan ketinggian 90 mm dan diameter iaitu 38 mm. Setelah sampel selesai dimampatkan, sampel dibahagikan mengikut jenis rawatan iaitu terendam dan tidak terendam bagi mewakili keadaan di lapangan. Terdapat beberapa tempoh rawatan yang dijalankan iaitu 3, 7, 14 dan 28 hari bagi melihat perubahan sampel tanah terhadap kadar bahan penstabil yang ditambah ke dalam sampel iaitu sebanyak 3%, 6%, 9% dan 12%.



RAJAH 1. Peta kawasan kajian yang terletak dalam daerah Alor Setar, Kedah



RAJAH 2. Mesin Load Trac II yang digunakan bagi menguji kekuatan mampatan tidak terkekang

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KANDUNGAN KELEMBAPAN

Hasil analisis bagi ujian fizikokimia ini dapat diperhatikan dalam Jadual 3. Kandungan kelembapan lapisan 20 cm dan 40 cm untuk tanah jerlus adalah lebih tinggi berbanding tanah normal. Kandungan kelembapan yang tinggi merupakan antara cirian utama bagi tanah jerlus selain daripada ketertampakan yang tinggi dan memiliki kekuatan ricih yang rendah (Ayeldeen & Kitazume 2017; Rohayu & Rashid 2000; Vishwanath, Pramod & Ramesh 2014). Tanah jerlus juga memiliki kandungan kelembapan yang tinggi kerana ia sentiasa terendam air dan tanah tersebut sukar untuk mengeras kepada keadaan asal kerana penggunaan tanah yang berterusan tanpa tempoh rehat (Muhammad Rendana et al. 2017).

Di samping itu juga, dapat diperhatikan penurunan nilai kandungan kelembapan daripada lapisan atas iaitu 20 cm ke lapisan 40 cm iaitu 66.62% menjadi 57.85% bagi tanah jerlus dan 65.35% menjadi 39.46% bagi sampel tanah normal. Hal ini kerana sampel tanah ini terdiri daripada lempung yang memiliki kadar keporosan yang tinggi dan membenarkan molekul air memenuhi liang dan celahan yang ada. Namun begitu lempung mempunyai kadar ketertelapan yang rendah meskipun keporosannya tinggi. Rongga dan celahan antara zarah bagi lempung adalah lebih kecil dan menyukarkan pergerakan air untuk melepaskannya jika dibandingkan dengan pasir (Judson & Kauffman 1990a). Menurut Corradini (2014), antara faktor penyusutan air bawah permukaan adalah interaksi antara kandungan kelembapan di lapisan permukaan terhadap impak fluks tenaga serta proses penyejatan tanah dan tumbuhan.

NILAI pH

Nilai pH bagi tanah jerlus dan tanah normal adalah bersifat normal iaitu 7.64-7.68. Kedua-dua jenis tanah menunjukkan perbezaan pH yang sangat rendah. Kebiasaannya tanah yang neutral berkemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor seperti iklim, kandungan mineral dan penambahan bahan organik (Pocknee & Sumner 1997; Rengel 2011;

Wang et al. 2013). Namun begitu, nilai pH sampel ini kurang sesuai bagi penanaman padi kerana nilai purata pH sampel tanah adalah lebih tinggi daripada nilai optimum yang diperlukan bagi penanaman padi iaitu pH basah 5.5 - 6.5 dan pH kering 4.5 - 5.4 (Muhammad Naim Fadzli et al. 2015; Zaki et al. 2020).

HAD ATTERBERG

Analisis had Atterberg dijalankan untuk mendapatkan had cecair, had plastik dan indeks keplastikan bagi sampel tanah. Had ini penting dalam bidang kejuruteraan tanah berbutir halus untuk pencirian, pengelasan serta meramal sifat tanah. Berdasarkan Jadual 3, tanah jerlus dan tanah normal memiliki perbezaan nilai yang sedikit untuk had cecair dan had plastik. Had cecair bagi kedua-dua jenis tanah berjulat dari 49.95% hingga 52.39%. Manakala had plastik bagi kedua-dua jenis tanah menunjukkan julat dari 32.25% hingga 38.03%. Berdasarkan Kaliakin (2017), tanah yang memiliki had cecair berjulat 35% hingga 100% serta had plastik 20% - 40% memiliki kandungan mineral lempung iaitu kaolinit. Kaolinit merupakan mineral lempung silikat tak organik semula jadi dengan lapisan struktur siloksana dan lapisan seperti gipsit (Cheng 2019). Mineral ini juga kebiasaannya tertabur di kawasan beriklim tropika yang lembap seperti di Malaysia kerana taburan hujan tinggi serta suhu panas menggalakkan perkembangan mineral tersebut (Velde 1992).

Berdasarkan Jadual 1, indeks keplastikan bagi tanah jerlus adalah lebih daripada 17% dan boleh dikelaskan sebagai tanah lempung yang memiliki darjah keplastikan tinggi dan bersifat kohesif. Manakala bagi tanah normal pula, indeks keplastikan berjulat antara 7% hingga 17% dan dikelaskan sebagai lempung berlodak yang memiliki darjah keplastikan yang sederhana dan bersifat kohesif. Indeks keplastikan yang tinggi merupakan antara petanda bahawa kestabilan tanah adalah rendah. Menurut Webb, David dan Collins (1967), semakin tinggi nilai indeks keplastikan semakin besar potensi tanah untuk menjadi tidak stabil. Di samping itu juga, tanah yang memiliki peratusan lempung yang tinggi memerlukan kapur yang banyak untuk mengubah cirian fizikokimianya bagi tujuan rawatan tanah (Dhar & Hussain 2021).

JADUAL 1. Pengelasan jenis tanah berdasarkan indeks keplastikan

Indeks keplastikan (%)	Jenis tanah	Darjah keplastikan	Darjah kohesif
0	Pasir	Bukan plastik	Tidak kohesif
<7	Lodak	Rendah	Sebahagian kohesif
7-17	Lempung berlodak	Sederhana	Kohesif
>17	Lempung	Tinggi	Kohesif

Sumber: Prakash & Jain (1992)

KANDUNGAN ORGANIK

Julat kandungan organik bagi kedua-dua jenis tanah ialah 8.37% - 10.69% dan dikelaskan sebagai tanah sedikit organik (Rohayu & Rashid 2000). Kandungan organik dalam sampel tanah jerlus menunjukkan bacaan yang tinggi berbanding tanah normal untuk kedua-dua kedalaman 20 cm dan 40 cm (Jadual 3). Hal ini kerana menurut Ghareh, Kazemian dan Shahin (2020) dan Saride, Puppala dan Chikayala (2013), sebahagian tanah jerlus memiliki kandungan organik yang tinggi berbanding tanah normal. Di samping itu, nilai kandungan organik pada lapisan 20 cm adalah lebih tinggi berbanding lapisan tanah pada kedalaman 40 cm bagi kedua-dua jenis tanah tersebut. Lapisan tanah yang terletak di bahagian atas atau lapisan yang terdapat di permukaan merupakan lapisan yang tinggi kandungan organik kerana kebanyakan bahan-bahan organik seperti ranting-ranting dan bangkai haiwan terkumpul di lapisan ini. Selain itu, di lapisan ini juga proses luluhawa dan penguraian terjadi dengan lebih tinggi berbanding lapisan tanah yang lebih dalam (Judson & Kauffman 1990b).

GRAVITI TENTU

Menerusi graviti tentu, kita dapat mengetahui berat tanah sama ada lebih ringan atau berat daripada air (Danso 2018). Berdasarkan Jadual 3, graviti tentu bagi tanah jerlus dan tanah normal menunjukkan julat yang hampir iaitu 2.19 hingga 2.29. Graviti tentu merupakan indeks yang penting untuk pengelasan tanah serta berkait rapat dengan mineralogi atau komposisi kimia tanah, peningkatan darjah luluhawa dan nisbah lempung (Oyediran & Durojaiye 2011). Kebanyakan mineral lempung mempunyai julat graviti tentu bermula dari 2 sehingga 3.3 (Mukherjee 2013). Selain itu, kajian yang dijalankan oleh Habibah et al. (2011) mendapati sampel tanah di kawasan penanaman padi di Kedah (Yan, Kota Setar dan daerah Kubang Pasu) didominasi oleh komponen lempung iaitu 82% hingga 96% dan selebihnya adalah logam berat yang kebanyakannya dalam bentuk tidak larut seperti plumbum, kuprum kromium dan zink. Kehadiran logam berat ini juga mampu mempengaruhi nilai khusus graviti bagi sampel tanah. Tanah yang memiliki nilai graviti tentu 2.0 hingga 2.6 merupakan tanah yang bertekstur halus dan mengandungi

mineral seperti kaolinit dan illit (Prakash et al. 2012; Tiwari & Ajmera 2018). Hal ini menunjukkan bahawa kedua-dua sampel tanah iaitu tanah jerlus dan tanah normal adalah tanah yang bertekstur halus.

TABURAN SAIZ

Analisis taburan saiz yang dijalankan bertujuan untuk mengelaskan tanah berdasarkan peratusan pasir, lempung dan lodak. Jadual 2 menunjukkan taburan saiz untuk tanah jerlus dan lempung mengikut peratusan pasir, lempung dan lodak. Kedua-dua jenis tanah mempunyai tekstur tanah yang sama iaitu lempung berlodak. Tekstur tanah seperti lempung berlodak dan lom lempung adalah antara cirian fizikal tanah sawah yang bagus (Muhammad Naim et al. 2015). Di samping itu, lempung berlodak juga didapati tersebar luas di kawasan pelantar benua dengan butiran saiznya yang halus (Ye 2017). Berdasarkan Jadual 2, pasir merupakan peratusan terendah yang terdapat di dalam sampel iaitu kurang daripada 1% dan peratusan tertinggi butiran didominasi oleh saiz lempung dan diikuti oleh saiz lodak. Sebagai contoh, tanah jerlus 20 cm memiliki purata saiz pasir sebanyak 0.38%, 47.85% lodak dan 50.78% lempung. Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa butiran halus (lempung dan lodak) adalah lebih dominan dalam sampel tanah padi ini sama ada tanah jerlus mahupun tanah normal.

KESAN PERATUSAN BAHAN PENSTABIL TERHADAP KEKUATAN TANAH

Peratusan bahan penstabil yang digunakan bagi kajian ini adalah 3%, 6%, 9% dan 12%. Berdasarkan kajian yang pernah dijalankan, peratusan bahan penstabil kapur yang ditambahkan kepada tanah adalah dalam julat 3% hingga 10% (Dhar & Hussain 2021; Nugroho et al. 2021; Zaini & Hasan 2024). Dolomit memiliki beberapa mineral penting yang mirip dengan struktur mineral kalsit yang terdapat dalam kapur (Gunasekaran, Anbalagan & Pandi 2006; Sun et al. 2014). Oleh itu, peratusan untuk penambahan dirujuk berdasarkan bahan penstabil kapur. Di samping itu, kebanyakan kajian yang menggunakan dolomit mencampurkannya dengan bahan penstabil yang lain (Ahmed, Hassan & Lotfi 2020; Baldovino et al. 2021; Gu et al. 2014) dan kurang sesuai untuk diadaptasi ke dalam

JADUAL 2. Purata taburan saiz bagi tanah jerlus dan normal

Sampel tanah	Kedalaman (cm)	Purata taburan saiz (%)			Tekstur
		Pasir	Lodak	Lempung	
Jerlus	20	0.38	47.85	50.78	Lempung berlodak
	40	0.38	44.06	54.72	Lempung berlodak
Normal	20	0.44	49.9	48.84	Lempung berlodak
	40	0.28	47.2	51.7	Lempung berlodak

JADUAL 3. Keputusan analisis fizikokimia bagi kedua-dua jenis tanah sebelum penanaman

Jenis tanah	Jerlus		Tanah normal	
	20	40	20	40
Kedalaman (cm)	20	40	20	40
Kandungan kelembapan (%)	66.62	57.85	65.35	39.46
pH	7.64	7.67	7.67	7.68
Had Atterberg:				
Had cecair (%)	51.51	49.95	52.39	50.67
Had plastik (%)	33.88	32.25	38.03	35.82
Indeks keplastikan (%)	17.63	17.69	14.37	14.85
Kandungan organik (%)	10.69	10.16	9.39	8.37
Graviti tentu	2.28	2.23	2.19	2.29

kajian ini. Berdasarkan Rajah 3, kekuatan mampatan tidak terkekang bagi tanah jerlus meningkat apabila kadar peratusan dolomit meningkat bagi kedua-dua keadaan rawatan iaitu secara direndam dan tidak direndam. Sebagai contoh berdasarkan Jadual 4, tanah jerlus yang dirawat secara direndam selama 7 hari pada kedalaman 20 cm memiliki kekuatan sebanyak 35.87 kPa pada 3% dolomit dan bertambah menjadi 60.33 kPa pada 12% dolomit. Manakala bagi sampel yang tidak direndam selama 7 hari pada kedalaman 20 cm memiliki kekuatan sebanyak 398.78 kPa pada 3% dolomit dan bertambah menjadi 628.35 kPa pada 12% dolomit. Di samping itu, kajian yang dijalankan oleh Dhar dan Hussain (2021) menjelaskan bahawa tanah yang memiliki kandungan lempung yang tinggi memerlukan peratusan bahan tambah seperti kapur yang tinggi untuk mengubah cirian fizikokimianya.

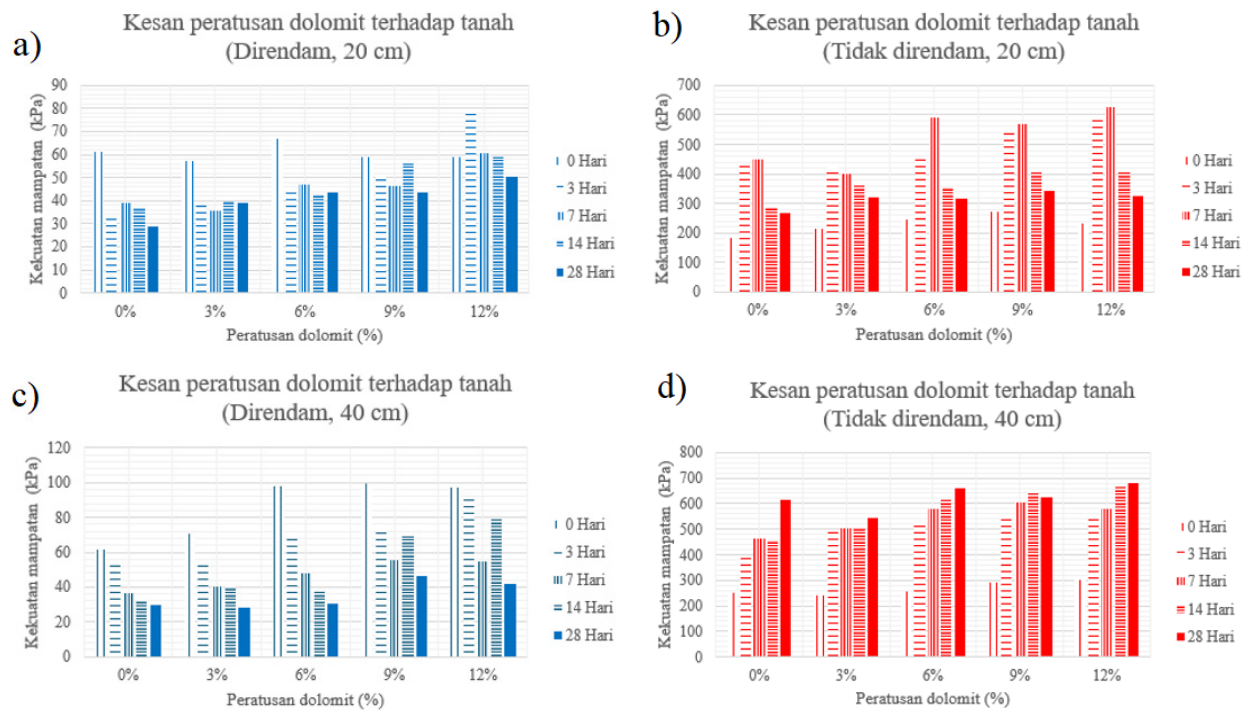
Namun begitu, berdasarkan Jadual 4 serta Rajah 3(c) dan 3(d) dapat diperhatikan bahawa nilai kekuatan bagi sampel yang direndam adalah lebih rendah berbanding sampel yang tidak direndam. Contohnya kekuatan sampel direndam, 40 cm selama 14 hari dengan 12% dolomit adalah lebih rendah iaitu 78.71 kPa berbanding sampel tidak direndam, 40 cm selama 14 hari dengan 12% dolomit iaitu 664.34 kPa. Di samping itu, nilai sampel yang direndam juga tidak mencapai kekuatan minimum tanah untuk penanaman padi iaitu 200 kPa hingga 400 kPa (Mohd Shahrin, Ayob & Suhaimi 1989; Muhammad Rendana et al. 2017). Hal ini kerana sampel yang direndam tidak dikeringkan terlebih dahulu sebelum UCS dijalankan dan mampu menyebabkan kekuatan tanah menjadi lebih rendah berbanding sampel yang tidak direndam. Proses pengeringan merupakan aspek penting dalam memperbaiki tanah jerlus yang memiliki kandungan lembapan yang tinggi (Sargent 2015). Kebanyakan mineral lempung juga lebih pantas mengeras apabila berada dalam keadaan yang kering atau dibakar (Bergaya & Lagaly 2013; Guggenheim et al. 1995). Selain itu, sifat tanah lempung yang mudah

menjadi lembut apabila kandungan air bertambah (Nugroho et al. 2021) menjadi antara faktor kekuatan tanah berkurang. Isi padu tanah juga akan berubah apabila kehadiran air dalam tanah lempung kerana kelembapan yang terjepap membentuk lapisan resap ganda pada zarah (Onyelowe et al. 2021).

Seterusnya, Rajah 3(b) dan 3(d) merupakan graf bagi sampel yang dirawat secara tidak direndam menunjukkan kekuatan tanah jerlus telah mencapai kekuatan tanah yang diperlukan. Namun dapat diperhatikan bahawa nilai kekuatan pada lapisan 40 cm adalah lebih tinggi berbanding lapisan di 20 cm. Sebagai contoh, sampel tidak direndam, 20 cm yang dirawat selama 28 hari dengan 12% dolomit memiliki kekuatan yang rendah iaitu 326.26 kPa berbanding sampel 40 cm iaitu 679.3 kPa (Jadual 4). Apabila kedalaman bertambah, nilai pemadatan tanah, tegasan ricih dan indeks kekuatan mampatan tidak terkekang turut bertambah (Li 2019; Yared et al. 2023). Lapisan yang lebih dalam memiliki kadar rongga atau liang yang sedikit dan lebih mampat berbanding lapisan yang terdedah kepada permukaan (Judson & Kauffman 1990b), maka kekuatan mampatan tanah adalah lebih tinggi berbanding dengan lapisan atas yang terdedah kepada permukaan dan gangguan. Hal ini dapat diperhatikan daripada kandungan kelembapan pada lapisan 20 cm iaitu 66.62% yang lebih tinggi daripada lapisan 40 cm iaitu 57.85% (Jadual 3). Rongga yang terdapat di lapisan atas adalah lebih tinggi dan memudahkan bahan lain seperti air untuk memenuhi rongga tersebut.

KESAN TEMPOH RAWATAN TERHADAP KEKUATAN SAMPEL TANAH JERLUS

Tindak balas antara bahan penstabil dan tanah yang dirawat kebiasaannya mengambil tempoh masa yang tertentu bagi mencapai kekuatan tanah yang diperlukan. Oleh itu, terdapat beberapa tempoh rawatan yang dijalankan



RAJAH 3. Kesan peratusan dolomit terhadap kekuatan tanah jelus

JADUAL 4. Keputusan analisis kekuatan mampatan tidak terkekang bagi sampel yang tidak direndam dan direndam

Jenis rawatan	Direndam					Tidak direndam				
Kedalaman	a) 20 cm									
	Peratusan bahan penstabil									
Hari	0%	3%	6%	9%	12%	0%	3%	6%	9%	12%
0	61.04	56.94	67.11	58.81	58.95	181.5	214.1	243.21	271.43	230
3	33.19	37.71	44.96	51.1	79.3	435.58	423.29	454.11	545.32	593.4
7	39.21	35.87	46.9	46.12	60.33	448.71	398.78	590.3	570.23	628.35
14	36.75	39.74	43.24	55.85	59.01	291.55	363.61	356.9	409.51	402.76
28	28.76	39.11	43.37	43.5	50.24	267.6	318.85	316.61	341.32	326.26
Kedalaman	b) 40 cm									
	Peratusan bahan penstabil									
Hari	0%	3%	6%	9%	12%	0%	3%	6%	9%	12%
0	61.23	70.81	97.98	99.54	96.76	253.07	242.89	258.43	289.5	301.14
3	53.85	54.01	67.78	72.56	90.7	391.87	500.11	536.21	550.43	539.25
7	36.56	40.21	47.88	55.59	54.9	464.53	503.44	580.13	604.3	580.12
14	32.73	39.95	37.81	68.85	78.71	456.7	504.11	613.5	641.3	664.34
28	29.61	28.56	30.51	46.12	41.95	616.8	543.34	659.16	627.24	679.3

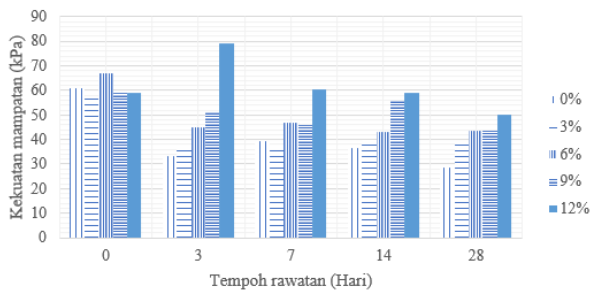
iaitu 3, 7, 14 dan 28 hari. Terdapat beberapa tindak balas yang berlaku ketika percampuran antara bahan penstabil dan tanah yang dirawat contohnya pertukaran kation, flokulasi atau aglomerasi, penghidratan, tindak balas pozolan dan potensi pengkarbonan (Onyelowe et al. 2021; Sargent 2015). Sebahagian tindak balas berlaku cepat sejeurus selepas percampuran dijalankan dan tahan sehingga beberapa jam seperti tindak balas pertukaran kation dan penggumpalan (Sargent 2015). Namun begitu, terdapat beberapa tindak balas yang mengambil masa yang lama untuk berlaku contohnya tindak balas pozolan yang mengambil masa mingguan hingga tahunan (Consoli et al. 2014; Puppala 2016; Sargent 2015). Oleh itu, pemilihan tempoh rawatan dijalankan seawal 3 hari bagi menilai tindak balas yang berlaku awal dan 28 hari bagi mengenal pasti tindak balas yang berlaku secara perlahan seperti tindak balas pozzolan dan penghidratan. Terdapat beberapa kajian yang menjadi rujukan untuk tempoh rawatan bagi kajian ini iaitu kajian yang dijalankan oleh Naeini, Naderinia dan Izadi (2012), Paneru (2020) serta Zaini dan Hasan (2024) yang menggunakan tempoh rawatan berjulat 1 hingga 30 hari.

Berdasarkan Rajah 4(a) dan 4(c), kekuatan mampatan tidak terkekang tanah berkurang apabila tempoh rawatan bertambah bagi sampel tanah yang direndam. Contohnya, sampel direndam pada kedalaman 20 cm selama 28 hari dengan 12% dolomit memiliki kekuatan tanah yang rendah iaitu 50.24 kPa berbanding sampel direndam yang dirawat selama 7 hari, 20 cm dengan 12% dolomit iaitu

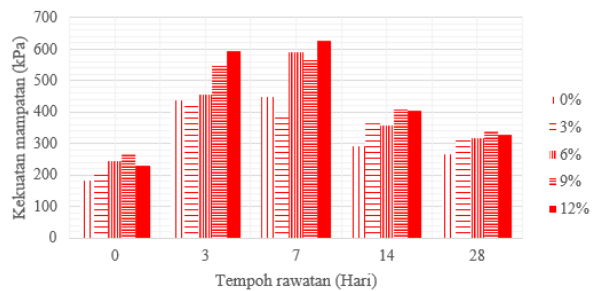
60.33 kPa (Jadual 4). Apabila sampel terendam lama di dalam air, berlakunya tindak balas seperti hidrolisis iaitu proses penguraian kimia yang mampu melemahkan ikatan kimia bahan yang direndam (Rogoff & Meng 2019) serta mampu mengurangkan kekuatan tanah. Menurut Marwan dan Rowell (1995), proses ini mampu mempengaruhi tahap kerosakan struktur dalam skala yang kecil dan mampu mengurangkan kestabilan domain tanah lempung apabila berlakunya peningkatan pH larutan. Selain itu, Rajah 5 menunjukkan berlakunya pembengkakan tanah bagi sampel yang direndam. Antara mineral yang sinonim dijumpai di dalam tanah berlempung adalah seperti mineral montmorilonit yang mudah menyerap air dan mampu menjadi bengkak dalam air atau dalam sebarang pelarut berkutub (Bar-tal et al. 2019; Bergaya & Lagaly 2006). Kehadiran mineral montmorilonit, cirian serta kuantitinya mampu menyebabkan kegagalan mekanikal serta kerosakan struktur tanah (Mehta & Sachan 2017). Maka apabila, sampel terendam lama, kekuatan mampatan tanah juga akan turut berkurang. Oleh itu, nilai kekuatan bagi sampel yang dirawat selama 0 hari adalah lebih tinggi berbanding tanah yang direndam dengan tempoh yang lebih lama.

Seterusnya, berdasarkan Rajah 4(b) dan 4(c) pola kekuatan mampatan tidak terkekang bagi kedalaman 40 cm berbeza dengan 20 cm. Kekuatan tanah bagi sampel 40 cm meningkat apabila tempoh rawatan bertambah. Sebagai contoh, kekuatan tanah 40 cm yang ditambahkan 6% dolomit dan dirawat selama 3 hari adalah

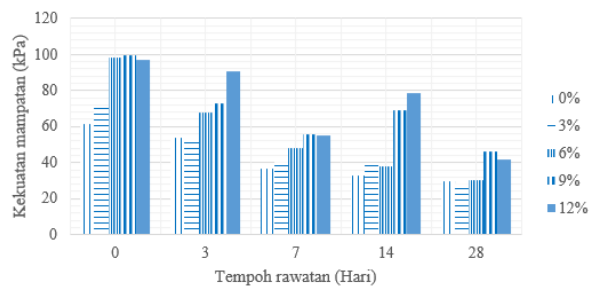
a) Kesan penambahan dolomit terhadap hari rawatan (Direndam, 20 cm)



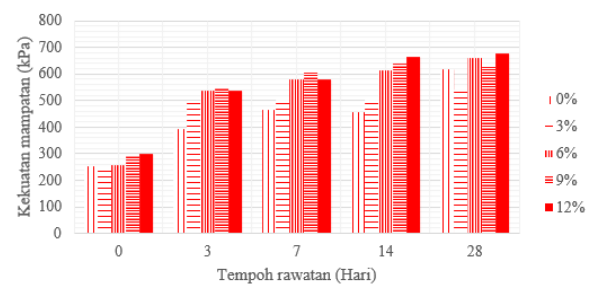
b) Kesan penambahan dolomit terhadap hari rawatan (Tidak direndam, 20cm)



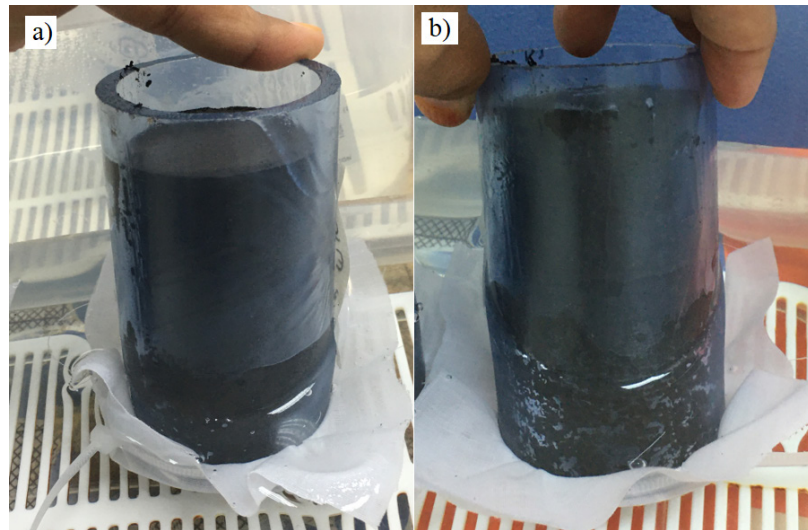
c) Kesan penambahan dolomit terhadap hari rawatan (Direndam 40 cm)



d) Kesan penambahan dolomit terhadap hari rawatan (Tidak direndam, 40cm)



RAJAH 4. Kesan tempoh rawatan terhadap kekuatan sampel tanah jerlus



RAJAH 5. Perubahan isi padu tanah berlaku apabila sampel tanah direndam; a) sampel yang baru direndam dan b) sampel tanah yang telah direndam selama 7 hari

536.21 kPa dan meningkat menjadi 659.16 kPa apabila dirawat selama 28 hari. Hal ini menunjukkan bahawa berlakunya tindak balas pada sampel. Menurut Sargent (2015), antara tindak balas yang berlaku ketika tanah dicampurkan dengan bahan penstabil adalah pertukaran kation, penggumpalan, penghidratan tindak balas pozolan dan potensi pengkarbonan. Berdasarkan kajian yang dijalankan oleh Paneru (2020), peningkatan kekuatan tanah yang seiring dengan penambahan tempoh rawatan iaitu dari 3 hingga 28 hari rawatan menunjukkan berlakunya tindak balas penghidratan dan menyebabkan berlakunya tindak balas pozolan. Tindak balas pozolan merupakan antara proses yang penting dalam proses merawat tanah yang bermasalah kerana ia bertanggungjawab dalam menstabilkan tanah (Onyelowe et al. 2021). Menurut John, Matschei dan Stephan (2018) pula, tindak balas pozolan merupakan tindak balas kimia kalsium hidroksida bersama silikon dioksida dan air membentuk kalsium silikat hidrat. Peningkatan kekuatan sampel yang dijalankan oleh Zaini dan Hasan (2024) juga dapat dilihat dengan jelas pada 30 hari rawatan yang ditambahkan dengan penstabil wasap silika dan kapur.

KESIMPULAN

Hasil kajian ini membuktikan bahawa tanah jerlus dari kawasan kajian memiliki cirian fizikokimia yang berbeza daripada tanah normal seperti kandungan kelembapan (57.85%-66.62%), indeks keplastikan (17.63%-17.69%) yang lebih tinggi. Indeks keplastikan dan kandungan kelembapan yang tinggi bagi tanah jerlus juga menunjukkan bahawa kestabilan tanah adalah rendah. Nilai pH kedua-dua tanah jerlus dan normal sampel bersifat neutral. Seterusnya, nilai graviti tentu tanah jerlus (2.23-2.28) menunjukkan tanah bertekstur halus

serta memiliki tekstur lempung berlodak berlempung berdasarkan analisis taburan saiz. Kekuatan tanah jerlus dapat ditingkatkan dengan penambahan dolomit. Hal ini dapat dilihat menerusi penambahan 12% dolomit yang merupakan nilai optimum yang mampu meningkatkan kekuatan bagi tanah jerlus dalam keadaan direndam dan tidak direndam. Menerusi penambahan dolomit juga, terdapat beberapa tindak balas yang berpotensi berlaku seperti tindak balas pozolan. Menerusi tanah yang dirawat dengan tidak direndam pada kedalaman 40 cm, menunjukkan nilai kekuatan mampatan tidak terkekang meningkat bersama tempoh rawatan yang membuktikan berlakunya tindak balas pozolan. Tindak balas pozolan merupakan tindak balas yang penting dalam penstabilan tanah serta kebiasaannya berlaku dalam kadar yang perlahan dan mampu berlaku hingga bertahun-tahun. Selain itu, nilai kekuatan mampatan bagi sampel yang tidak direndam juga melepasi tahap yang diperlukan bagi aktiviti penanaman padi. Namun begitu, bagi sampel yang dirawat secara direndam pula masih belum mencapai nilai kekuatan yang diperlukan. Hal ini kerana, keadaan tanah yang direndam terlalu lama mampu menyebabkan berlakunya tindak balas seperti hidrolisis serta kehadiran mineral pembengkakan seperti montmorilonit yang mampu melemahkan lagi kekuatan tanah yang dirawat.

PENGHARGAAN

Pengarang ingin mengucapkan jutaan terima kasih dan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia dan Fakulti Sains dan Teknologi yang telah memberikan kemudahan dan infrastruktur yang lengkap bagi menjayakan penyelidikan ini. Penyelidikan ini dijalankan menggunakan geran penyelidikan FRGS/1/2020/STG08/UKM/02/1.

RUJUKAN

- Ahmed, A.H., Hassan, A.M. & Lotfi, H.A. 2020. Stabilization of expansive sub-grade soil using hydrated lime and dolomitic-limestone by-product (DLP). *Geotechnical and Geological Engineering* 38(2): 1605-1617.
- Al-Khafaji, R., Dulaimi, A., Jafer, H., Mashaan, N.S., Qaidi, S., Obaid, Z.S. & Jwaida, Z. 2023. Stabilization of soft soil by a sustainable binder comprises ground granulated blast slag (GGBS) and cement kiln dust (CKD). *Recycling* 8(1): 10.
- Al-Waily, M.J.M. 2019. Effect of mixing granular materials on soft soil properties. *4th Scientific International Conference Najaf (SICN)*, Al-Najef, Iraq. hlm. 172-177.
- Amirul Najmi Shukri, Saiful Azhar Ahmad Tajudin & Ahmad Hakimi Mat Nor. 2021. Determination of unconfined compressive strength and atterberg limit of soft clay by stabilizing with sodium silicate and biomass silica in Batu Pahat. *Journal of Sustainable Underground Exploration* 1(1): 20-24.
- Ayeldeen, M. & Kitazume, M. 2017. Using fiber and liquid polymer to improve the behaviour of cement-stabilized soft clay. *Geotextiles and Geomembranes* 45(6): 592-602.
- Azizul, G. 2008. Soil hardpan improvement technique using vibrator subsoiler for rice mechanization farm. *Buletin Teknologi Tanaman* 5: 1-4.
- Azura Md Zahri & Adnan Zainorabidin. 2019. An overview of traditional and non traditional stabilizer for soft soil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 527(1): 1-9.
- Baldovino, J.J.A., Izzo, R.L.S., Rose, J.L. & Domingos, M.D.I. 2021. Strength, durability, and microstructure of geopolymers based on recycled-glass powder waste and dolomitic lime for soil stabilization. *Construction and Building Materials* 271: 121874.
- Bar-tal, A., Saha, U.K., Raviv, M. & Tuller, M. 2019. Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixtures. Dlm. *Soilless Culture*, disunting oleh Raviv, M., Lieth, J.H. & Bar-tal, A. London: Academic Press. hlm. 259-301.
- Bergaya, F. & Lagaly, G. 2013. *Developments in Clay Science*. Oxford: Elsevier Inc.
- Bergaya, F. & Lagaly, G. 2006. Chapter 1 - General introduction: Clays, clay minerals, and clay science. *Developments in Clay Science*. Elsevier. 5: 1-19.
- Chen, C., Wei, K., Gu, J., Huang, X., Dai, X. & Liu, Q. 2022. Combined effect of biopolymer and fiber inclusions on unconfined compressive strength of soft soil. *Polymers* 14(4): 787.
- Cheng, H. 2019. Kaolinite nanomaterials: Preparation, properties and functional applications. Dlm *Nanomaterials from Clay Minerals: A New Approach to Green Functional Materials*, disunting oleh Zhou, Y. & Liu, Q. Oxford: Elsevier Inc. hlm. 285-334.
- Consoli, N.C., Prietto, P.D.M., da Silva Lopes Jr., L. & Winter, D. 2014. Control factors for the long term compressive strength of lime treated sandy clay soil. *Transportation Geotechnics* 1(3): 129-136.
- Corradini, C. 2014. Soil moisture in the development of hydrological processes and its determination at different spatial scales. *Journal of Hydrology* 516: 1-5.
- Danso, H. 2018. Suitability of soil for earth construction as building material. *Advancements in Civil Engineering & Technology* 2(3): ACET.000540.2018.
- Dhar, S. & Hussain, M. 2021. The strength and microstructural behavior of lime stabilized subgrade soil in road construction. *International Journal of Geotechnical Engineering* 15(4): 471-483.
- Dzulkafli, M.A., Sulaiman, N. & Harun, Z. 2019. Geologi struktur formasi Kubang Pasu di Kawasan Hutan Aji, Perlis, Semenanjung Malaysia. *Sains Malaysiana* 48(1): 23-31.
- Fajobi, A.B., Ige, O.O. & Adeleye, O.K. 2012. Engineering properties of acrylic resin on lime stabilized soil. *Transitional Journal of Science and Technology* 2(11): 113-127.
- Ghareh, S., Kazemian, S. & Shahin, M. 2020. Assessment of compressibility behavior of organic soil improved by chemical grouting: An experimental and microstructural study. *Geomechanics and Engineering* 21: 337-348.
- Guggenheim, S., Martin, R.T., Alietti, A., Drits, V.A., Formoso, M.L.L., Galán, E., Köster, H.M., Morgan, D.J., Paquet, H., Watanabe, T., Bain, D.C., Ferrell, R.E., Bish, D.L., Fanning, D.S., Guggenheim, S., Kodama, H. & Wicks, F.J. 1995. Definition of clay and clay mineral: Joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals* 43(2): 255-256.
- Gu, K., Jin, F., Al-Tabbaa, A. & Shi, B. 2014. Initial investigation of soil stabilization with calcined dolomite-GGBS blends. *Geo-Shanghai 2014 Conference*. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784413401.015>
- Gunasekaran, S., Anbalagan, G. & Pandi, S. 2006. Raman and infrared spectra of carbonates of calcite structure. *Journal of Raman Spectroscopy* 37(9): 892-899.
- Habibah Jamil, Lee Pei Theng, Khairiah Jusoh, Ahmad Mahir Razali & Fouzi B Ali. 2011. Speciation of heavy metals in paddy soils from selected areas in Kedah and Penang, Malaysia. *African Journal of Biotechnology* 10(62): 13505-13513.
- Huat, B.B.K. 2006. Effect of cement admixtures on the engineering properties of tropical peat soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 11 B(7): 1113-1120.
- John, E., Matschei, T. & Stephan, D. 2018. Nucleation seeding with calcium silicate hydrate- A review. *Cement and Concrete Research* 38(113): 74-85.

- Judson, S. & Kauffman, M.E. 1990a. Underground water. Dlm. *Physical Geology*, Edisi ke-8, disunting oleh Huebner, V. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. hlm. 305-320.
- Judson, S. & Kauffman, M.E. 1990b. Weathering and soils. Dlm. *Physical Geology*, Edisi ke-8, disunting oleh Huebner, V. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. hlm. 74-93.
- Kaliakin, V.N. 2017. Example problems related to soil identification and classification. *Soil Mechanics: Calculations, Principles, and Methods*. Elsevier Inc. hlm. 51-92.
- Kaniraj, S.R. & Joseph, R.R. 2006. Geotechnical behaviour of organic soil in Sarawak. *Prosiding 4th International Conference Soft Soil Engineering*. hlm. 267-274.
- Latifi, N., Meehan, C.L., Muhd.Zaimi Abd Majid & Horpibulsuk, S. 2016. Strengthening montmorillonitic and kaolinitic clays using a calcium-based non-traditional additive: A micro-level study. *Applied Clay Science* 132-133: 182-193.
- Li, B. 2019. Study on the strength influence of pile driving disturbance on the surrounding soil. *E3S Web of Conferences* 136: 8-10.
- Lim, S.M., Wijeyesekera, D.C., Lim, A.J.M.S. & Bakar, I.B.H. 2014. Critical review of innovative soil road stabilization techniques. *International Journal of Engineering and Technology Research* 3(5): 204-211.
- Marwan, M.M. & Rowell, D.L. 1995. Cation exchange, hydrolysis and clay movement during the displacement of saline solutions from soils by water. *Irrigation Science* 16(2): 81-87.
- Mathew, A. & Sasikumar, A. 2017. Performance of soft soil reinforced with bamboo and geonet. *International Research Journal of Engineering and Technology* 04(11): 646-649.
- Mehta, B. & Sachan, A. 2017. Effect of mineralogical properties of expansive soil on its mechanical behavior. *Geotechnical and Geological Engineering* 35(6): 2923-2934.
- Mohamad, N.O., Razali, C.E., Hadi, A.A.A., Som, P.P., Eng, B.C., Rusli, M.B. & Mohamad, F.R. 2016. Challenges in construction over soft soil - Case studies in Malaysia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 136(1): 1-8.
- Mohd Shahrin Yob, Ayob Katimon & Suhaimi Othman. 1989. Soil drying requirement for mobility of heavy combine harvesters in rice fields. *MARDI Research Journal* 17(2): 296-301.
- Mohamed Fauzi Md Isa, Azimah Hussin, Nor Shahidah Mohd Nazer, Mohd Taufik Ahmad, Mohd Khusairy Khadzir, Mohd Fakhru Zaman Omar & Eddy Herman Sharu. 2023. Reviews of soft soil phenomena in rice cultivation at MADA, Kedah, Malaysia: Characterization and approaches. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 132: 1-31.
- Muhammad Naim Fadzli Abd Rani, Mohamad Najib Mohd Yusof, Shahida Hashim, Elixon Sunian @ Elixon Sulaiman & Asfaliza Ramli. 2015. Pengurusan kesuburan tanah dan nutrien untuk tanaman padi di Malaysia. *Buletin Teknologi MARDI* 8: 37-44.
- Muhammad Rendana, Wan Mohd Razi Idris, Sahibin Abdul Rahim, Zulfahmi Ali Rahman, Tukimat Lihan & Habibah Jamil. 2019. Effects of organic amendment on soil organic carbon in treated soft clay in paddy cultivation area. *Sains Malaysiana* 48(1): 61-68.
- Muhammad Rendana, Wan Mohd Razi Idris, Zulfahmi Ali Rahman, Tukimat Lihan, Habibah Jamil & Sahibin Abdul Rahim. 2017. Kekuatan struktur lapisan keras (Hardpan) dan ciri fizik tanah jerlus di kawasan penanaman padi MADA Alor Senibong, Kedah, Malaysia. *Malaysian Journal of Environmental Management* 16(1): 3-11.
- Mukesh, A.P. & Patel, H.S. 2012. A review on the effects of stabilizing agents for stabilization of weak soil. *Civil and Environmental Research* 2(6): 1-7.
- Mukherjee, S. 2013. *The Science of Clays: Applications in Industry, Engineering and Environment*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Naeini, S.A., Naderinia, B. & Izadi, E. 2012. Unconfined compressive strength of clayey soils stabilized with waterborne polymer. *KSCCE Journal of Civil Engineering* 16(6): 943-949.
- Ngo, D.H., Horpibulsuk, S., Suddeepong, A., Hoy, M., Chinkulkijniwat, A., Arulrajah, A. & Chaiwan, A. 2020. Compressibility of ultra-soft soil in the Mae Moh Mine, Thailand. *Engineering Geology* 271: 105594.
- Nugroho, S.A., Wibisono, G., Ongko, A. & Mauliza, A.Z. 2021. Effects of high plasticity and expansive clay stabilization with lime on UCS testing in several conditions. *Journal of the Civil Engineering Forum* 7(2): 147-154.
- Onyelowe, K.C., Onyia, M.E., Van, D.B., Baykara, H. & Ugwu, H.U. 2021. Pozzolanic reaction in clayey soils for stabilization purposes: A classical overview of sustainable transport geotechnics. *Advances in Materials Science and Engineering* 2021: 6632171.
- Oyediran, I.A. & Durojaiye, H.F. 2011. Variability in the geotechnical properties of some residual clay soils from southwestern Nigeria. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2(9): 235-240.
- Paneru, H. 2020. Cement stabilization of soft soil subgrade. *Kathford Journal of Engineering and Management* 2(1): 1-16.
- Pocknee, S. & Sumner, M.E. 1997. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Science Society of America Journal* 61(1): 86-92.

- Prakash, K., Sridharan, A., Thejas, H.K. & Swaroop, H.M. 2012. A simplified approach of determining the specific gravity of soil solids. *Geotechnical and Geological Engineering* 30(4): 1063-1067.
- Prakash, S. & Jain, P. 1992. *Engineering Soil Testing*. Roorkee: Nem Chand & Bros.
- Puppala, A.J. 2016. Advances in ground modification with chemical additives: From theory to practice. *Transportation Geotechnics* 9: 123-138.
- Raju, V.R. & Daramalinggam, J. 2012. Ground improvement: Principles and applications in Asia. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement* 165(2): 65-76.
- Rasheed, R.M., Moghal, A.A.B., Rambabu, S. & Almajed, A. 2023. Sustainable assessment and carbon footprint analysis of polysaccharide biopolymer-amended soft soil as an alternate material to canal lining. *Frontiers in Environmental Science* <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1214988>
- Rengel, Z. 2011. Soil pH, soil health and climate change. Dlm. *Soil Health and Climate Change*, disunting oleh Singh, B., Cowie, A. & Chan, K. Berlin: Springer. hlm. 69-85.
- Rogoff, M.J. & Meng, F.S. 2019. *Energy from Waste Technology. Waste-to-Energy*. Edisi ke-3. New York: William Andrew Publishing. hlm. 29-56.
- Rohayu Che Omar & Rashid Jaafar. 2000. The characteristics and engineering properties of soft soil at Cyberjaya. *Geological Society of Malaysia* 26(5): 313-322.
- Sargent, P. 2015. The development of alkali-activated mixtures for soil stabilisation. Dlm. *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*, disunting oleh Pacheco-Torgal, F., Labrincha, J.A., Leonelli, C., Palomo, A. & Chindapasirt, P. Oxford: Woodhead Publishing Limited. hlm. 555-604.
- Saride, S., Puppala, A.J. & Chikayala, S.R. 2013. Swell-shrink and strength behaviors of lime and cement stabilized expansive organic clays. *Applied Clay Science* 85: 39-45.
- Sim, L.W., Katman, H.Y.B., Baharuddin, I.N.Z.B., Ravindran, G., Ibrahim, M.R. & Alnadish, A.M. 2024. Global research trends in soft soil management for infrastructure development: Opportunities and challenges. *IEEE Access* 12: 73731-73751.
- Sun, J., Wu, Z., Cheng, H., Zhang, Z. & Frost, R.L. 2014. A Raman spectroscopic comparison of calcite and dolomite. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 117: 158-162.
- Tiwari, B. & Ajmera, B. 2018. Soil laboratory tests. Dlm. *Encyclopedia of Engineering Geology*, disunting oleh Bobrowsky, P.T. & Marker, B. Springer International Publishing: Cham. hlm. 853-871.
- Velde, B. 1992. *Introduction to Clay Minerals: Chemistry, Origins Uses and Environmental Significance*. London: Chapman & Hall.
- Venkatarama Reddy, B.V. 2012. Stabilised soil blocks for structural masonry in earth construction. Dlm. *Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications*, disunting oleh Hall, M., Lindsay, R. & Krayenhoff, M. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. hlm. 324-363.
- Vishwanath, G., Pramod, K. & Ramesh, V. 2014. Peat soil stabilization with rice husk ash and lime powder. *International Journal of Innovation and Scientific Research* 9: 225-227.
- Wang, Y., Tang, C., Wu, J., Liu, X. & Xu, J. 2013. Impact of organic matter addition on pH change of paddy soils. *Journal of Soils and Sediments* 13(1): 12-23.
- Webb, J., David, K. & Collins, H.R. 1967. Geological aspects of a current landslide in Vinton County, Ohio. *The Ohio Journal of Science* 67(2): 65-74.
- Yared, S., Someshakher, S.H., Simie, T. & Amana, W. 2023. Depth and soil physiochemical properties effects on soil compaction in agricultural field. *African Journal of Agricultural Research* 19(2): 170-177.
- Ye, Y.C. 2017. Chapter 2: Marine geographic and geological environment of China. *Marine Geo-Hazards in China*. Elsevier. hlm. 35-75.
- Zaini, M.S.I. & Hasan, M. 2024. Stabilization of expansive soil using silica fume and lime. *Construction* 4(1): 45-51.
- Zaki Musa, Ernie Suryati Mohamad Zain, Liza Nuriati Lim Kim Choo, Hassan Saji, Long Sidi, Azrul Syahrman Haironi, Shamsiah Sekot & Jaraie Marali. 2020. Pengurusan agronomi padi tradisional di Batang Lupar, Sarawak. *Buletin Teknologi MARDI* 19: 25-33.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: nadhirah.mu@gmail.com