

Sifat penyerakan tanah aluvium di Shah Alam, Selangor (Dispersive behavior of alluvial soil in Shah Alam, Selangor)

ZULAIKHA NABILA AHMAD PUA'AD¹, NOR SHAHIDAH MOHD NAZER^{1,*}, NABILAH NURINA¹,
ANIS SYAZWANI JAMSUS¹, AZLAN SHAH NERWAN SHAH^{1,2}

¹Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

²Bahagian Teknologi Industri, Agensi Nuklear Malaysia, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia

*Corresponding author email address: shahidahnazer@ukm.edu.my

Abstrak: Tanah terserak merupakan tanah yang berisiko terhadap hakisan apabila butiran tanah bertindak balas dengan air. Tindak balas pengasingan tanah berlaku apabila kehadiran jumlah ion natrium yang tinggi akibat penjerapan di permukaan lempung menolak di antara satu sama lain menyebabkan deflokulasi butiran. Penentuan sifat serakan tanah alluvium dijalankan melalui 3 jenis ujian penyerakan iaitu ujian *Crumb*, ujian hidrometer berganda dan ujian serakan lubang pin. Berdasarkan keputusan yang diperolehi, tanah alluvium dikategorikan sebagai terserak tinggi oleh ujian *Crumb*, manakala untuk ujian hidrometer berganda dan ujian serakan lubang pin kedua-duanya menunjukkan pada tahap sederhana terserak. Keadaan ini didorong oleh sifat tanah alluvium dengan kehadiran koloid lempung yang tinggi dan menyebabkan proses penembusan air terhadap keseluruhan butiran tanah menjadi perlahan. Dapatan ini penting dalam menafsir sifat semulajadi tanah ini terutama melibatkan permasalahan seperti kegagalan empangan, kestabilan cerun dan pendasaran bangunan.

Kata kunci: Tanah terserak, tanah aluvium, ujian *Crumb*, ujian hidrometer berganda, ujian lubang pin

Abstract: Dispersive soils are prone to erosion when soil particles react with water. The dispersion process occurs when a high amount of sodium ions adsorbed onto clay surfaces causes repulsion between particles, leading to deflocculation. The dispersive characteristics of alluvial soil were determined using three types of dispersion tests, namely the Crumb test, the double hydrometer test, and the pinhole dispersion test. Based on the results obtained, the alluvial soil was classified as highly dispersive by the Crumb test, while both the double hydrometer and pinhole tests indicated a moderately dispersive level. This condition is influenced by the nature of alluvial soils, which contain a high amount of clay colloids, resulting in slower water penetration throughout the soil particles. These findings are important for understanding the natural behaviour of this soil, particularly in relation to issues such as dam failure, slope stability, and building foundations.

Keywords: Dispersive soil, alluvial soil, Crumb test, double hydrometer test, pinhole test

PENGENALAN

Tanah terserak aluvium merupakan fenomena penting yang memberikan impak signifikan terhadap kestabilan tanah dan perancangan guna tanah di pelbagai kawasan serantau dan global. Tanah terserak banyak ditemui di sepanjang lebihan sungai, delta, dan kawasan banjir yang mempunyai lapisan sedimen halus yang mudah terhakis dan tererosi. Fenomena ini menimbulkan cabaran besar dalam pembinaan infrastruktur, pengurusan sumber air, serta mitigasi bencana seperti tanah runtuh dan hakisan pesisir (Mitchell & Soga, 2005; Fan & Kong, 2013). Kajian terhadap tanah terserak penting untuk memahami

bagaimana sifat mekanik dan kimianya, terutamanya interaksi dengan ion natrium, mempengaruhi kestabilan struktur tanah kawasan yang berisiko (Sherard *et al.*, 1976; Goodarzi & Salimi, 2015).

Shah Alam merupakan sebuah bandar yang terletak di Selangor berkeluasan 8.104 dengan populasi penduduk 6.9 juta (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2024). Topografi Shah Alam adalah kawasan tanah rendah di mana sebahagian kawasan tersebut diliputi oleh tanah rata dengan ketinggian kurang daripada 20 m dari aras laut. Walau bagaimanapun, terdapat juga kawasan yang bertopografi tinggi iaitu di Bukit Jelutong yang mempunyai ketinggian melebihi 150

m. Pada tahun 1973, Gobbett & Hutchison telah menyusun serta menganalisis semua maklumat geologi yang tersedia bagi kawasan Selangor pada ketika itu. Himpunan data tersebut menjadi rujukan asas dalam memahami susun atur geologi, jenis batuan, dan evolusi geotektonik di negeri Selangor serta kawasan Lembah Klang secara keseluruhan. Secara geologinya, kawasan Selangor terdiri daripada Formasi Bukit Kenny yang merupakan jujukan sedimen klastik dan aluvium Kuaterner. Formasi Bukit Kenny terbentang dari Kuala Lumpur hingga ke Petaling Jaya dan memanjang ke arah selatan sejauh sekurang-kurangnya 30 km, memperlihatkan satu struktur sinklin yang luas dan jelas di kawasan tersebut (Stauffer, 1973). Formasi Bukit Kenny terletak secara tidak selaras di atas Batu Kapur Kuala Lumpur dan direjah oleh granit Trias. Usia Formasi Bukit Kenny telah ditentukan berdasarkan jumpaan fosil di Sepang, Selangor.

Menurut Kamal Roslan (1999), Formasi Bukit Kenny berusia Karbon hingga Perm manakala Norhafizah (2002) pula berpendapat ia berusia Silur hingga Trias Tengah. Menurut Suntharalingam & Teoh (1985), sedimen Kuaterner terbahagi kepada empat unit litostratigrafi berdasarkan litologi, usia dan sekitaran pengendapan. Unit-unit tersebut dikatakan berusia Pleistosen hingga Holosen, di mana Formasi Simpang dan Formasi Kempadang berusia Pleistosen manakala Formasi Gula dan Formasi Beruas berusia Holosen. Walau bagaimanapun, dipercayai terdapat dua formasi di sekitar kawasan kajian iaitu Formasi Beruas dan Formasi Gula (Fadlee, 1997).

Kehadiran tanah terserak terutamanya di kawasan tanah lembut seperti Klang dan Shah Alam menimbulkan kebimbangan terhadap kestabilan dan perancangan guna tanah. Shah Alam terletak di atas Formasi Bukit Kenny yang terdiri daripada jujukan batu pasir, sabak, syal, dan filit yang mengalami metamorfosis ringan. Selain itu, kawasan ini juga meliputi aluvium Kuaterner seperti Formasi Beruas dan Formasi Gula. Walau bagaimanapun, kawasan kajian ini lebih dikaitkan dengan Formasi Beruas yang umumnya kaya dengan bahan organik berbanding Formasi Gula (Kamal Roslan, 1999). Kawasan Klang pula didominasi oleh Formasi Gula yang berlitologi lodak, lempung dan pasir dengan sebilangan kecil kelikir, cangkerang dan terumbu. Kehadiran bahan organik terutama dari tinggalan tumbuhan dan serpihan cangkerang mencirikan kedua-dua kawasan ini sebagai mendapan Kuaterner. Secara amnya, tanah lembut di Shah Alam terdiri daripada tanah gambut manakala tanah lempung halus dengan kandungan air tinggi mendominasi di Klang.

Tanah lembut biasanya dicirikan sebagai tanah yang mempunyai kekuatan ricih yang rendah, kebolehmampatan yang tinggi dan kebolehtelapan rendah. Tujuan kajian ini dilaksanakan adalah untuk melihat tindak balas tanah lembut iaitu mineral lempung terhadap tanah terserak apabila kehadiran peratusan ion natrium yang tinggi ke

dalam tanah itu wujud. Serakan tanah lempung adalah tanah yang mempunyai butiran yang halus, di mana tanah lempung terserak dengan kehadiran air untuk membentuk sistem serakan berkoloid. Sifat tanah lempung berkait rapat dengan saiz butiran 1-100nm dan bercas negatif. Aliran air melalui tanah lempung terserak boleh menyebabkan pemisahan bebas zarah lempung, manakala struktur tanah yang longgar, ketumpatan rendah dan tempoh masa yang singkat menunjukkan berlakunya proses hakisan dalaman. Sherard *et al.* (1976) menjelaskan bahawa perbezaan utama antara tanah lempung terserak dan tidak terserak terletak pada susunan struktur kation dalam air liang tanah.

Analisis makmal dijalankan bagi tujuan pengesanan tahap penyerakan sampel tanah yang diambil. Dapatan kajian berpotensi membantu meningkatkan pemahaman ke atas struktur tanah lembut di Shah Alam dan Klang bagi mencadangkan langkah mitigasi bersesuaian bagi merangka pelan pembangunan yang lestari.

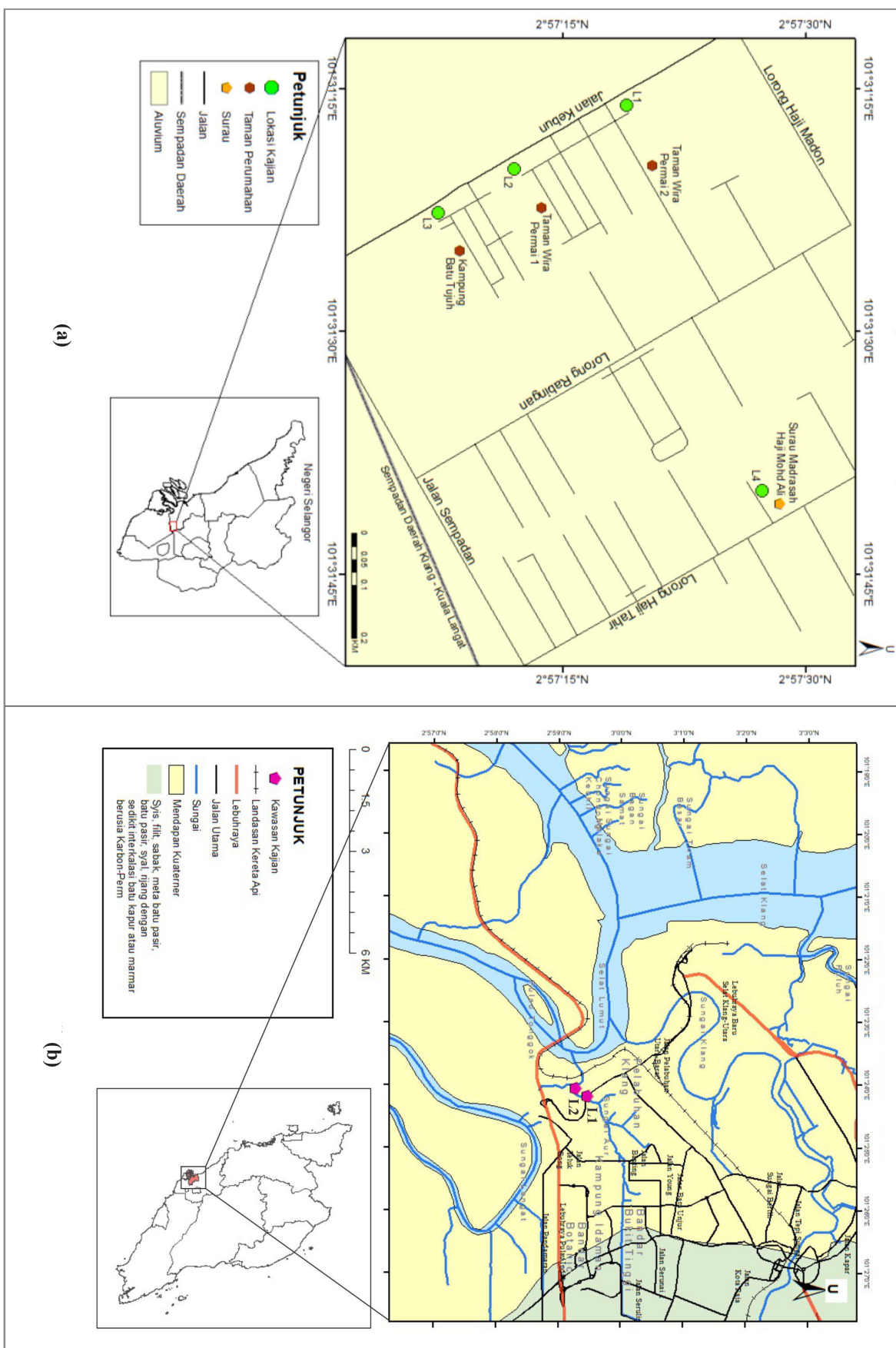
BAHAN DAN KAEDAH

Persampelan dan ujian makmal

Kaedah persampelan di lokasi kawasan kajian adalah menggunakan teknik gerimit tangan (*hand auger*). Pemasangan alat di lakukan dengan menyambung gerimit jenis heliks (*spiral*) pada pemegang T untuk kedalaman 1 meter pertama bagi memudahkan korekan lubang. Bagi kedalaman 1 hingga 3 meter, gerimit jenis lempung terbuka (*open clay*) digunakan untuk mengambil sampel sehingga kedalaman yang ditetapkan. Sampel tanah di ambil sebanyak 5 kg bagi setiap lokaliti untuk proses ujian makmal dilakukan. Sampel-sampel tanah terganggu ini di dapatkan dari 2 kawasan yang berbeza iaitu di Jalan Kebun, Shah Alam (Rajah 1(a)) dan di Kampung Sungai Aur, Pelabuhan Klang (Rajah 1(b)). Berikut adalah nombor persampelan mengikut lokaliti bagi kedua dua kawasan kajian (Jadual 1).

Sampel tanah yang diambil terlebih dahulu dikeringkan pada suhu bilik selama 72 jam (3 hari) untuk memastikan kestabilan bahan sebelum dijalankan pelbagai analisis sifat indeks mengikut piawaian ASTM (2007, 2014, 2017, 2019, 2020, 2021). Ujian sifat indeks fizikal terdiri daripada pengukuran tahap kelembapan tanah mengikut piawaian ASTM D2216-19, analisis taburan saiz butiran menggunakan ASTM D7928-21e1, ujian graviti tentu dengan ASTM D854-00, serta pengujian had-had Atterberg berdasarkan ASTM D4318-17e1. Kesemua ujian ini bertujuan untuk mengkaji aspek fizikal utama tanah seperti kandungan air, klasifikasi saiz butiran, kepekatan zarah, dan tingkah laku tanah dalam keadaan berubah kelembapan.

Seterusnya, ujian sifat indeks kimia dilakukan dengan mengukur pH tanah (ASTM D4972-19) untuk menilai tahap keasidan dan kealkalian tanah, analisis pembelauan sinar-X menurut ASTM D4972-19 untuk menentukan mineralogi tanah, serta pengimbasan mikroskop elektron



Jadual 1: Pengelasan nombor persampelan.

Lokaliti	Nombor pengelasan persampelan
Jalan Kebun, Shah Alam	
L1	SA3, SA4
L2	SA6
L3	SA7
L4	SA8
Kampung Sungai Aur, Pelabuhan Klang	
L1	KLG 3, KLG 5, KLG 7
L2	KLG 9, KLG 10

(ASTM E1508) bagi meneliti struktur mikro tanah secara lebih terperinci. Kapasiti penukaran kation (ASTM D7503-08) juga diuji untuk memahami keupayaan tanah menukar ion, manakala kandungan organik diukur menggunakan ASTM D2974 yang penting dalam analisa sifat biologi dan kimia tanah.

Untuk pengesanan tahap penyerakan tanah, tiga ujian tambahan digunakan iaitu ujian *Crumb* (ASTM D6572-00) yang menilai kestabilan agregat tanah terhadap hakisan. Ujian ini juga boleh dilakukan di lapangan dengan merendamkan sampel berbentuk bebola di dalam air suling. Menurut Davies & Lacey (2009), darjah serakan bagi ujian *Crumb* adalah terdiri daripada empat tahap iaitu tiada, sedikit (<0.5 cm), sederhana (0.5 cm - 1.5 cm) dan kuat (>1.5 cm).

Ujian hidrometer berganda ASTM D4221-99 (ASTM, 2005) adalah untuk mengkaji pemisahan zarah halus dalam tanah dengan membandingkan larutan yang mempunyai campuran agen serakan dan tiada agen serakan. Darjah serakan ujian hidrometer berganda ini adalah ditentukan melalui peratusan serakan. Peratus serakan kurang daripada 30% menunjukkan tanah tersebut adalah tidak terserak, diikuti 30% hingga 50% dikelaskan sebagai sederhana terserak dan melebihi 50% adalah terserak.

Ujian serakan lubang pin (ASTM D4647/D4647-13) dijalankan adalah bertujuan untuk mengenal pasti tahap serakan dan hakisan tanah berdasarkan kadar aliran air, tahap keruhan efluen dan diameter lubang spesimen yang ditebuk. Tahap serakan tanah kemudiannya ditentukan berdasarkan indikasi serakan tanah (Jadual 2).

HASIL DAN PERBINCANGAN

Sifat indeks fizikal

Jadual 3 menunjukkan keputusan sifat indeks fizikal sampel tanah. Tanah Jalan Kebun Shah Alam mempunyai kandungan kelembapan melebihi 100% kerana tanah gambut umumnya mempunyai kandungan organik yang tinggi. Kandungan air dalam sampel tanah SA7 adalah paling tinggi iaitu sebanyak 257% dan kandungan air dalam SA4 adalah paling rendah iaitu 163%. SA8,

SA3 dan SA6 pula mengandungi peratus kandungan kelembapan 208%, 204% dan 178% masing-masing. Nilai graviti tentu tanah di kawasan kajian adalah ber julat 1.79 hingga 2.49, di mana sampel SA3 merekodkan bacaan tertinggi dengan 2.49, diikuti oleh SA8 dengan nilai 2.34 dan SA4 dengan nilai 2.26.

Sampel SA7 merekodkan nilai 1.96 dan SA6 merekodkan nilai terendah dengan 1.79. Sampel tanah menunjukkan peratusan pasir yang dominan ber julat antara 76% hingga 87% manakala kandungan butiran halus bagi lodak dan lempung adalah sekitar 12% - 20% dan 1% - 3%. Sampel SA4 dan SA6 menunjukkan lempung pada tahap keplastikan tinggi manakala sampel SA3, SA7 dan SA8 pula menunjukkan kandungan lodak pada tahap keplastikan tinggi. Secara keseluruhan, semua sampel tanah mempunyai had cecair dan indeks keplastikan yang tinggi.

Sebaliknya, tanah di Kampung Sungai Aur, Pelabuhan Klang mempunyai kandungan kelembapan yang ber julat daripada 57.07% hingga 130%. Hasil ujian graviti tentu piknometer menunjukkan nilai berada pada julat dari 1.89 hingga 2.43. Menurut Bowles (1979) nilai graviti tentu antara 1.00 hingga 2.60 menunjukkan jenis tanah organik. Pasir ber julat 92-96% manakala peratus lempung dan lodak menunjukkan nilai yang rendah. Keputusan yang diperoleh adalah seperti jadual di bawah yang menunjukkan had cecair di kawasan ini ber julat dari 58.82% sehingga 89.44% manakala had keplastikan adalah ber julat dari 25.39% sehingga 53.53%.

Sifat indeks kimia

Berdasarkan hasil kajian (Jadual 4), sampel tanah SA6 dan SA3 mempunyai bahan organik tertinggi berbanding tanah yang lain dengan nilai 38.23% dan 38.08% masing-masing, diikuti oleh sampel SA6 dan SA7 dengan nilai kandungan organik sebanyak 21.87% dan 21.01%. SA4 mempunyai bahan organik terendah iaitu 12.28%. Hasil analisis mendapati pH tanah di kawasan kajian adalah dalam julat 2.72 – 4.20 yang dapat dikategorikan sebagai

Jadual 2: Indikasi serakan tanah berdasarkan ujian lubang pin.

Tahap serakan	Tinggi hidraulik (mm)	Masa (minit)	Kadar aliran effluen (mL/s)	Darjah keruhan effluen		Saiz lubang spesimen (mm)
				Tepi	Atas	
Kaedah A						
D1	50	5	1.0 – 1.4	Gelap	Sangat gelap	≥ 2
D2	50	10	1.0 – 1.4	Sederhana gelap	Gelap	>1.5
ND4	50	10	0.8 – 1.0	Sedikit gelap	Sederhana gelap	≤1.5
ND3	180 380	5 5	1.4 – 2.7 1.8 – 3.2	Sedikit jernih	Sedikit gelap	≥1.5
ND2	1020	5	>3.0	Jernih	Sedikit jernih	<1.5
ND1	1020	5	≤3.0	Sangat jernih	Sangat jernih	1.0
Kaedah B						
D	50	10	-	Sedikit gelap hingga gelap	Sangat gelap hingga sederhana gelap	≥1.5
SD	180–380	5	-	Sedikit jernih	Sedikit gelap	≥1.5
ND	380	5	-	Jernih	Sedikit jernih	<1.5

D1, D2, D – Terserak; ND4, ND3, SD – Sederhana hingga sedikit terserak; ND2, ND1, ND – Tidak terserak.

Jadual 3: Keputusan sifat indeks fizikal tanah.

No. sampel		Graviti tentu, Gs	Kandungan kelembapan, %	Pasir (%)	Lodak (%)	Lempung (%)	Had cecair	Had plastik	Indeks keplastikan
Jalan Kebun, Shah Alam	SA3	2.49	204%	83.89	14.1	2.01	71.13	40	31.13
	SA4	2.26	163%	86.97	12.47	1.56	73.32	21.41	51.91
	SA6	1.79	178%	76.94	20.29	2.78	84	25	59
	SA7	1.96	257%	85.26	13.19	1.56	89.09	61.07	28.02
	SA8	2.34	208%	83.7	15.17	1.13	77.68	44.05	33.63
Kampung Sungai Aur, Pelabuhan Klang	KL3	1.89	130.65%	95.61	4.27	0.12	73.14	44.17	28.97
	KL5	1.98	103.65%	92.04	7.77	0.19	77.31	53.53	23.78
	KL7	2.03	101.51%	94.84	5.04	0.12	80.98	25.39	55.59
	KL9	2.42	71.04%	96.31	3.58	0.11	89.44	31.38	58.06
	KL10	2.43	57.07%	95.95	3.88	0.17	58.82	26.79	32.03

sangat berasid. Sampel SA8 menunjukkan nilai keupayaan pertukaran kation paling rendah iaitu 10.5 cmol/kg, diikuti SA4 sebanyak 12.4 cmol/kg dan SA6 sebanyak 14.0 cmol/kg. SA3 dan SA7 mempunyai nilai keupayaan pertukaran kation yang tinggi iaitu 17.8 cmol/kg dan 17.9 cmol/kg masing-masing.

Keputusan analisis XRD bagi sampel tanah Jalan Kebun, Shah Alam menunjukkan kehadiran mineral

utama iaitu kuarza diikuti oleh mineral lempung daripada kumpulan kaolinit serta illit. Kehadiran kuarza dikenal pasti melalui puncak intensiti yang jelas pada sekitar $26.6^\circ 2\theta$, manakala mineral kaolinit dicirikan pada intensiti 12.4 – $12.5^\circ 2\theta$ yang mewakili jarak antara lapisan kira-kira $7.1 \text{ \AA}$. Fasa illit pula dikenal pasti berdasarkan puncak pada sekitar 8.8 – $9.0^\circ 2\theta$ dengan puncak sokongan berhampiran 17 – $18^\circ 2\theta$. Bagi sampel SA3 dan SA4, corak XRD menunjukkan

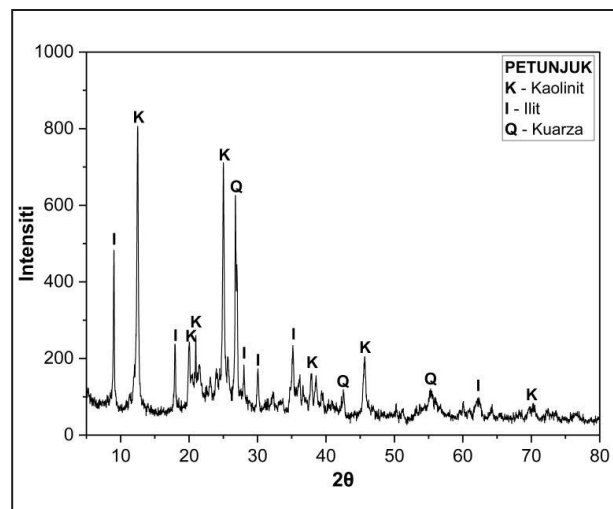
Jadual 4: Keputusan sifat indeks fizikal dan kimia tanah.

No. sampel		Peratus organik (%)	Nilai pH	Keupayaan pertukaran kation (cmol/kg)
Jalan Kebun, Shah Alam	SA3	38.08	3.98	17.8
	SA4	12.28	4.15	12.4
	SA6	38.23	2.98	13
	SA7	21.01	2.72	17.9
	SA8	21.87	4.2	10.5
Kampung Sungai Aur Pelabuhan, Klang	KLG3	6.8	6.98	9.9
	KLG5	8.8	6	9.8
	KLG7	7.2	6.75	2
	KLG9	4.8	6.99	6.7
	KLG10	4.1	7.15	2.9

dominasi mineral kuarza yang menunjukkan kandungan silika yang tinggi berbanding mineral lain. Sampel SA6 dan SA7 turut didominasi oleh kuarza dengan kehadiran mineral lempung pada keamatan yang lebih rendah. Sampel SA8 menunjukkan puncak mineral lempung yang lebih ketara berbanding sampel lain, namun puncak berintensiti rendah yang berpotensi mewakili mineral lempung lain tidak dapat dikenal pasti secara jelas. Oleh itu, pengecaman mineral lempung dalam kajian ini dibuat secara kuantitatif memandangkan analisis dijalankan menggunakan kaedah XRD serbuk pual (Rajah 2).

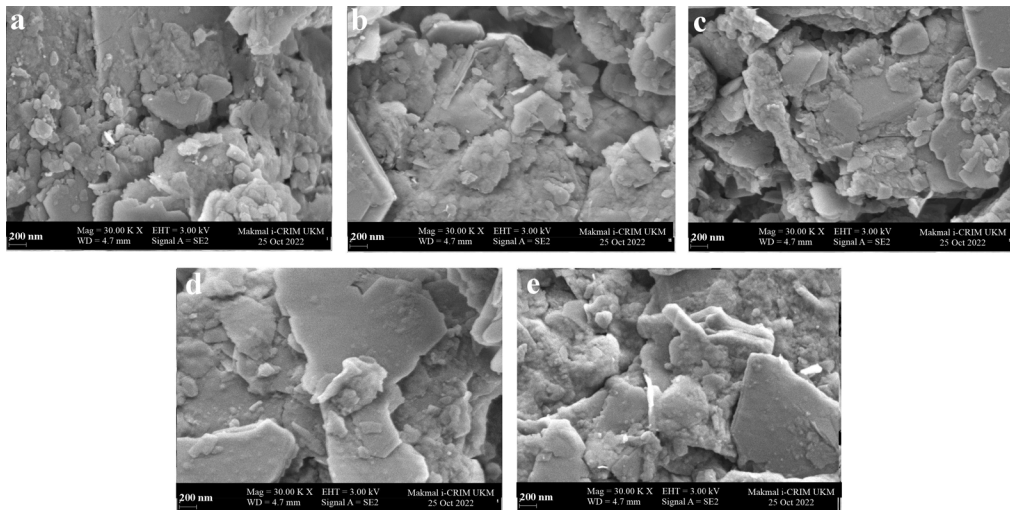
Rajah SEM bagi sampel tanah Jalan Kebun, Shah Alam menunjukkan morfologi mineral lempung adalah berkeping dan berlapis yang lazimnya menunjukkan mineral filosilikat khususnya kumpulan kaolinit. Struktur kepingan ini menunjukkan kehadiran mineral lempung bersaiz halus yang tersusun secara rawak. Selain itu, butiran yang lebih besar dan tidak berlapis turut diperhatikan dan berkemungkinan mewakili zarah kuarza. Walaupun analisis XRD bagi sampel tertentu menunjukkan kehadiran puncak berintensiti rendah yang berpotensi mewakili mineral lempung lain, ciri morfologi yang jelas bagi mineral lempung 2:1 tidak dapat diperhatikan melalui analisis SEM. Oleh itu, analisis SEM digunakan sebagai sokongan morfologi kepada keputusan XRD dan bukan sebagai kaedah pengecaman mineral secara spesifik (Rajah 3).

Bagi sampel Kampung Sungai Aur, Pelabuhan Klang, keputusan analisis XRD menunjukkan bahawa kuarza merupakan mineral dominan dalam semua sampel, selari dengan kandungan pasir yang tinggi berdasarkan analisis sifat indeks fizikal. Mineral lempung daripada kumpulan kaolinit serta ilit turut dikenal pasti, namun pada keamatan yang lebih rendah berbanding kuarza. Corak puncak mineral lempung yang diperoleh adalah hampir serupa dengan sampel dari Jalan Kebun, Shah Alam, menunjukkan kemungkinan asal usul sedimen aluvium yang sama.

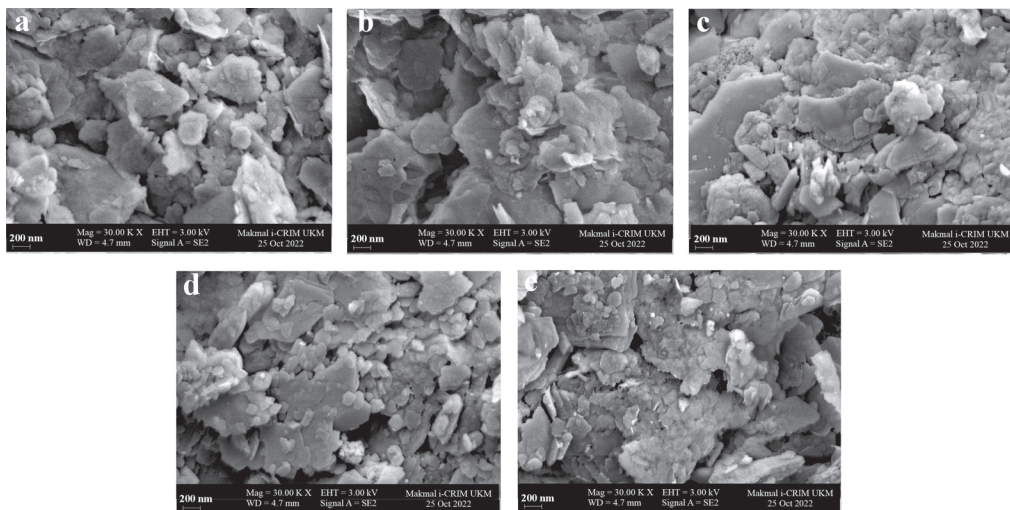
**Rajah 2:** Hasil keputusan analisis XRD bagi sampel tanah SA8.

Walaupun bagaimanapun, pengecaman mineral lempung dalam kajian ini dibuat secara kuantitatif memandangkan analisis XRD dijalankan menggunakan kaedah serbuk pual yang mempunyai keterbatasan dalam membezakan fasa mineral lempung secara terperinci. Imej SEM bagi sampel Kampung Sungai Aur, Pelabuhan Klang menunjukkan dominasi morfologi mineral lempung adalah berkeping yang konsisten dengan kumpulan kaolinit. Walaupun bagaimanapun, butiran kuarza yang lebih kasar dan jelas kelihatan berbanding sampel dari Jalan Kebun selari dengan kandungan pasir yang tinggi di kawasan ini.

Sampel Kampung Sungai Aur adalah sama seperti sampel Jalan Kebun di mana analisis SEM tidak membolehkan pengecaman spesifik polimorf mineral lempung dilakukan dan oleh itu digunakan sebagai sokongan morfologi kualitatif kepada keputusan XRD (Rajah 4).



Rajah 3: Keputusan SEM menunjukkan morfologi kaolinit yang berkeping. (a) SA3; (b) SA4; (c) SA6; (d) SA7; (e) SA8.



Rajah 4: Keputusan SEM menunjukkan morfologi kaolinit. (a) KLG 3; (b) KLG 5; (c) KLG 7; (d) KLG 9; (e) KLG 10.

Pengesanan tahap penyerakan Ujian *Crumb*

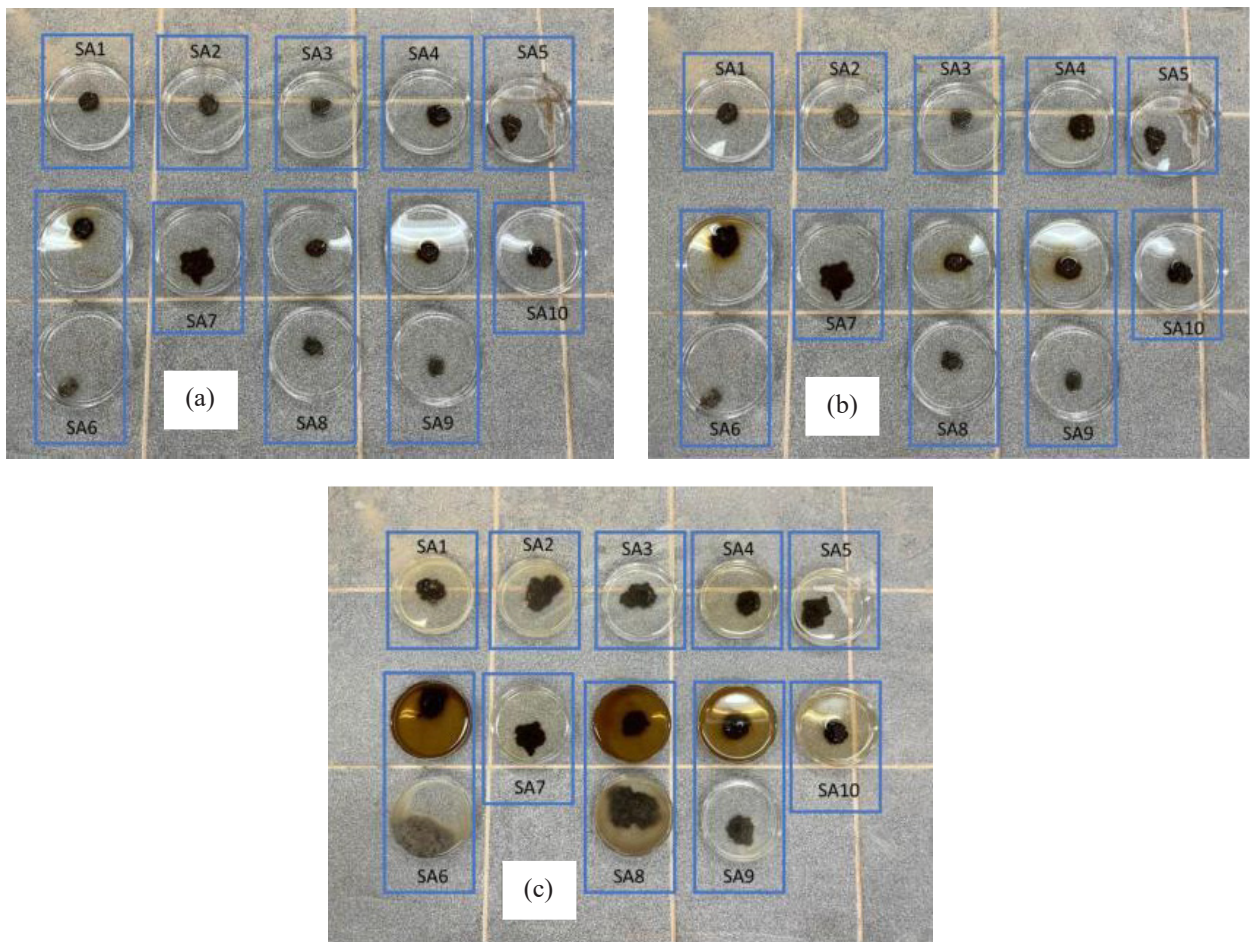
Ujian *Crumb* telah dilakukan sebanyak dua kali iaitu di kawasan lapangan dan juga di makmal (Rajah 5) di Jalan Kebun, Shah Alam. Berdasarkan ujian *Crumb* di lapangan iaitu selama 5 minit, SA3 tidak menunjukkan sebarang perubahan, manakala SA4 SA6, SA7 dan SA8 telah menunjukkan sifat serakan yang sedikit. Kemudian, selepas 24 jam di makmal, kesemua sampel kecuali SA3 menunjukkan darjah serakan tersendiri iaitu SA7 menunjukkan darjah serakan sedikit, SA4 menunjukkan darjah serakan sederhana manakala SA6 dan SA8 menunjukkan darjah serakan tinggi.

Rajah 6 iaitu keputusan ujian *Crumb* bagi kawasan Kampung Sungai Aur, Pelabuhan Klang menunjukkan serakan berlaku bagi sampel KLG9 dan KL10 berbanding

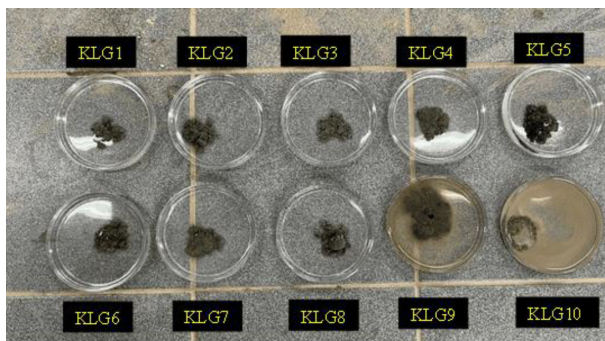
KLG3, KLG5 dan KLG7 tidak menunjukkan sebarang perubahan.

Ujian hidrometer berganda

Ujian hidrometer berganda hanya dijalankan pada beberapa sampel tanah iaitu SA3, SA4, SA6, SA7 dan SA8 (Rajah 7). Hasil analisis graf menunjukkan sampel SA3 dan SA6 adalah tidak terserak kerana nilai peratus partikel kurang 0.005mm adalah di bawah 30%, dengan nilai masing-masing adalah 15.58% dan 14.18%. Tahap serakan bagi SA4 dan SA7 pula adalah sederhana terserak kerana nilai peratus partikel kurang 0.005mm adalah di antara 30% - 50%, dengan nilai masing-masing adalah 39.15% dan 39.78%. Hasil analisis ujian hidrometer berganda bagi SA8 menunjukkan ianya adalah tanah terserak berdasarkan nilai peratus partikel



Rajah 5: Keadaan tanah terserak selepas (a) 5 minit; (b) 30 minit; (c) 24 jam.



Rajah 6: Hasil ujian *crumb* selepas 24 jam.

kurang 0.005 mm yang diperoleh adalah melebihi 50%, iaitu 65.45%.

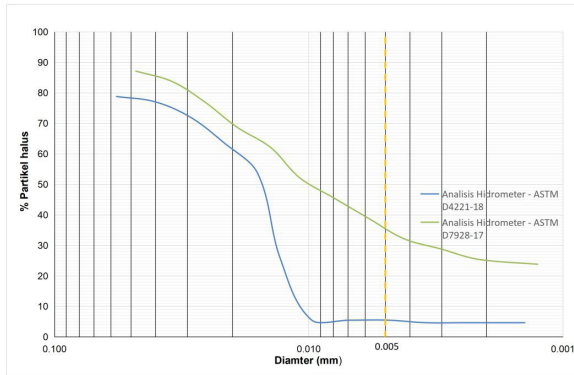
Keputusan graf ujian hidrometer berganda bagi tanah di Kampung Sungai Aur Pelabuhan Klang (Rajah 8) menunjukkan satu sampel terserak iaitu KLG7 (60%), diikuti sampel KLG3 (36%) sederhana terserak dan selebihnya menunjukkan peratusan tidak terserak KLG5(29%), KLG 9 (28%), KLG 10 (24%).

Ujian serakan lubang pin menunjukkan KLG3, KLG7, KLG9, KLG10 adalah ND3 iaitu sedikit terserak. Manakala KLG5 adalah tanah yang terserak. Efluen akhir menunjukkan warna yang keruh lebih jelas mengikut darjah serakan. Seterusnya, saiz lubang pin akhir bagi tanah terserak menjadi lebih besar berbanding tanah tidak terserak (Rajah 9).

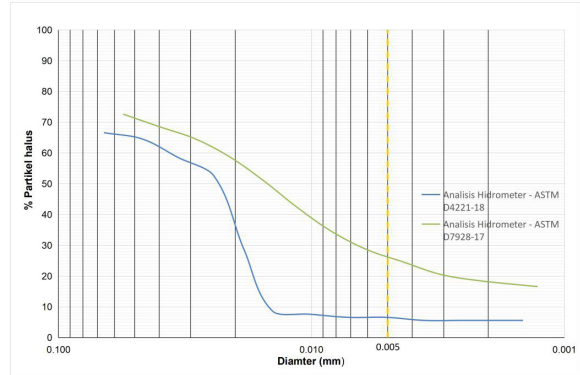
Ujian serakan lubang pin (Rajah 10) menunjukkan sampel SA3, SA4, SA7 dan SA8 adalah bergred ND3 iaitu sedikit terserak manakala SA6 adalah bergred ND2 iaitu tidak terserak. sampel SA6 tidak menunjukkan serakan (ND2) apabila efluen yang keluar dari lubang spesimen adalah adalah jelas dan tidak keruh. Saiz lubang pin akhir bagi tanah sedikit terserak menjadi lebih lebar berbanding tanah tidak terserak yang kekal pada saiz asalnya. Selain itu, efluen akhir juga akan menunjukkan darjah keruhan warna yang lebih nyata mengikut darjah serakan.

Analisis sifat fizikal tanah aluvium di kawasan kajian menunjukkan bahawa sampel Jalan Kebun, Shah Alam mempunyai kandungan kelembapan sangat tinggi (melebihi 100 %) dan julat graviti tentu 1.79 hingga 2.49. Keadaan ini menggambarkan bahawa tanah tersebut

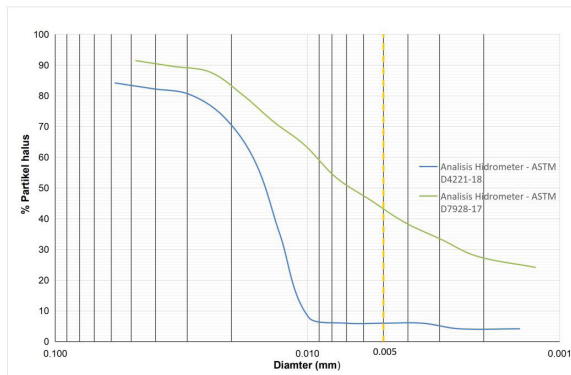
SA3



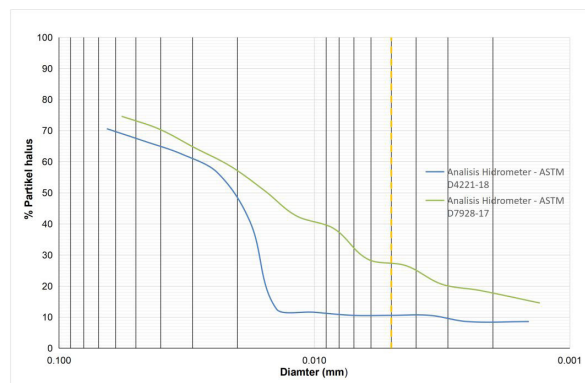
SA4



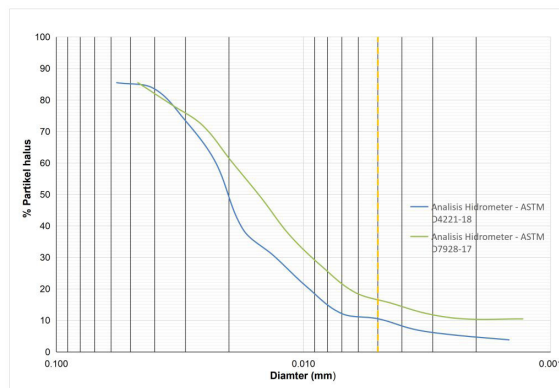
SA6



SA7



SA8



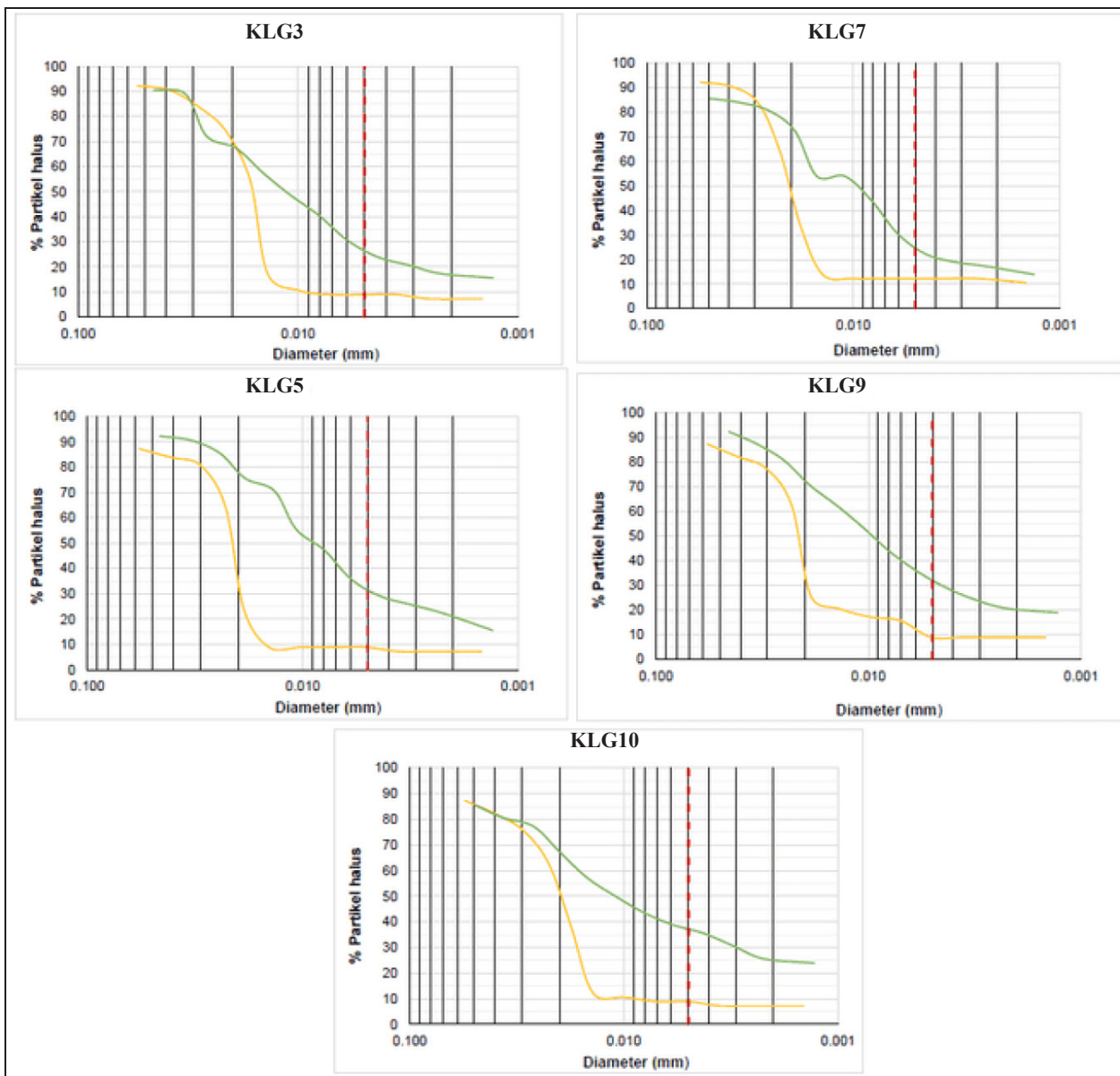
Rajah 7: Graf ujian hidrometer berganda bagi tanah di Jalan Kebun, Shah Alam.

mengandungi jumlah bahan organik yang besar dan mempunyai struktur agregat yang longgar yang seterusnya menjadikan butiran halus lebih mudah terpisah apabila dikenakan pengaliran air merujuk kepada fenomena yang biasa dikaitkan dengan tanah terserak (Luo *et al.*, 2024).

Dari aspek kimia, nilai pH yang rendah (2.72–4.20) serta nilai CEC yang sederhana hingga tinggi (10.5–17.9 cmol/kg) menunjukkan bahawa tanah berada dalam keadaan kimia yang mudah untuk berlaku pertukaran

kation terutamanya daripada $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ke Na^{+} yang mampu melemahkan kestabilan agregat (NACOE Project O21, 2023). Kajian terkini menunjukkan bahawa ion natrium yang tinggi dalam pertukaran kation (ESP) dan kekurangan kation multivalen adalah faktor utama yang menyumbang kepada sifat serakan tanah (Luo *et al.*, 2024).

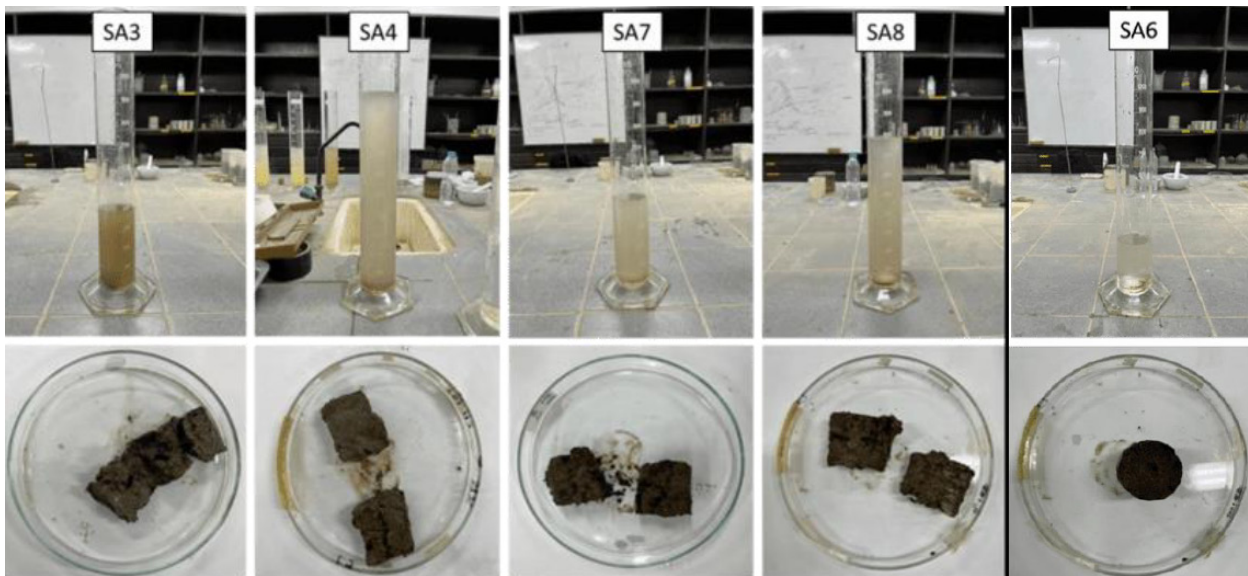
Dari sudut mineralogi, analisis XRD dan SEM menunjukkan bahawa tanah aluvium di kawasan kajian didominasi oleh kuarza dengan kehadiran mineral lempung



Rajah 8: Graf ujian hidrometer berganda bagi tanah di Kampung Sungai Aur, Pelabuhan Klang.



Rajah 9: Efluen spesimen selepas ujian yang menunjukkan perbezaan warna terhadap tahap serakan dan spesimen tanah selepas ujian dijalankan menunjukkan perbezaan lubang jarum bagi tanah tidak terserak dan sederhana terserak.



Rajah 10: Efluen spesimen selepas uji kaji yang menunjukkan perubahan warna air dan saiz tebusan spesimen bagi tanah terserak.

daripada kumpulan kaolinit dan ilit. Kehadiran mineral lempung ini dikenal pasti secara kuantitatif berdasarkan puncak intensiti dan corak pembelauan piawai dalam analisis XRD manakala analisis SEM menyokong dapatan tersebut melalui pemerhatian morfologi mineral lempung berbentuk berkeping. Secara umumnya, jenis mineral lempung yang dikenal pasti memainkan peranan penting terhadap kestabilan struktur tanah, khususnya apabila digabungkan dengan keadaan kimia yang menggalakkan pertukaran kation (Gupta, 2021). Kehadiran mineral lempung 2:1 seperti ilit meningkatkan keupayaan pertukaran kation lebih tinggi berikutan sifat pengembangannya yang lebih aktif berbanding mineral lempung 1:1 (kaolinit) (Kumari & Mohan, 2021). Oleh sebab itu, tanah dengan kehadiran mineral lempung ini bersifat lebih sensitif terhadap serakan yang mempengaruhi kebolehan tanah (Vakili *et al.*, 2024; Shah *et al.*, 2025; 2026).

Ujian serakan seperti *crumb test* dan hidrometer berganda menunjukkan bahawa sampel dengan nilai tekstur halus dan indeks keplastikan tinggi menunjukkan tahap serakan yang lebih tinggi (contohnya SA8 mencatat > 50 % partikel <0.005 mm). Ini selari dengan penemuan bahawa struktur agregat yang kurang stabil akan memudahkan hakisan dalaman apabila sistem saliran berfungsi atau apabila hujan lebat berlaku (Shah *et al.*, 2025).

Secara keseluruhannya, keputusan kajian ini menegaskan bahawa kombinasi tekstur, mineralogi dan sifat kimia termasuk kadar pertukaran kation, pH dan kandungan bahan organik adalah faktor utama dalam menentukan ciri serakan tanah aluvium di Shah Alam. Pemahaman mengenai mekanisme ini adalah penting untuk penilaian risiko geoteknikal, terutama bagi pembinaan di kawasan tanah aluvium dimana sifat serakan boleh menjejaskan kestabilan jangka panjang struktur binaan.

KESIMPULAN

Pengesanan tahap serakan dalam tanah aluvium adalah penting bagi memastikan sifat kejuruteraan tanah diambil kira dalam sebarang pembinaan di kawasan ini. Hasil kajian menunjukkan bahawa serakan tanah dipengaruhi oleh faktor mineralogi, terutamanya kehadiran natrium pertukarganti tinggi, pH, saliniti, serta intensiti hujan dan kadar aliran air yang tinggi. Gabungan faktor ini menyebabkan peleraian agregat dan hakisan dalaman yang meningkatkan keporosan tanah. Apabila zarah halus terserak, berlaku peningkatan isipadu dan dilatansi semasa pemampatan, lalu mengakibatkan mampatan tidak sekata serta potensi kerosakan struktur seperti retakan asas bangunan. Bagi mengurangkan risiko tersebut, disarankan penggunaan rawatan ameliorasi kimia seperti penambahan gipsium atau kapur untuk menstabilkan agregat tanah, di samping pengurusan air permukaan melalui sistem saliran dan penanaman vegetasi penutup bumi. Pemantauan berkala terhadap parameter kimia tanah serta pembangunan model ramalan berasaskan dimensi fraktal juga penting bagi menilai kecenderungan serakan secara kuantitatif. Secara keseluruhannya, kajian ini memberikan sumbangan penting dalam memahami mekanisme serakan tanah aluvium di Shah Alam serta implikasinya terhadap kestabilan struktur binaan. Penemuan ini dapat dijadikan asas saintifik bagi penilaian risiko geoteknikal dan pembangunan strategi mitigasi yang lebih berkesan di kawasan tanah aluvium.

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas peluang yang diberikan serta sokongan kewangan melalui Geran Penyelidikan Universiti berkod

GGPM-2019-003. Penulis juga merakamkan penghargaan dan terima kasih kepada para penilai atas komen membina, cadangan bernas dan maklum balas yang sangat membantu dalam meningkatkan kualiti manuskrip ini.

SUMBANGAN PENULIS

Semua penulis memberikan sumbangan yang jitu dalam menyiapkan penyelidikan ini seperti berikut: konsep dan reka bentuk kajian dipimpin oleh NSMN dan ASNS; pengumpulan data dilakukan oleh ZNAP, NN & ASJ; analisis serta interpretasi keputusan dijalankan oleh ZNAP, NN dan ASJ; penyediaan draf manuskrip dilakukan oleh ZNAP; manakala NSMN dan ASNS telah menyumbang idea berkaitan reka bentuk eksperimen. Pernyataan pembahagian sumbangan ini menekankan usaha kolaboratif serta memastikan ketelusan mengenai penglibatan setiap penulis dalam keseluruhan proses penyelidikan.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis mengisytiharkan bahawa tiada sebarang konflik kepentingan yang berkaitan dengan artikel ini.

RUJUKAN / REFERENCES

- ASTM, 2005. ASTM D4221-99-Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2007. ASTM D422, Standard test method for particle-size analysis of soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2014. ASTM D854-14. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2017. ASTM D4318-17, Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2019. ASTM D2216-19, Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2020. ASTM D4647M-13, Standard test methods for identification and classification of dispersive clay soils by the pinhole test. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2021. ASTM D7928-18, Standard test methods for particle size distribution (Gradation) of fine-grained soils using the sedimentation (Hydrometer) analysis. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bowles, J.E., 1979. Physical and geotechnical properties of soils. McGraw-Hill, New York. 478 p.
- Davies, T.G., & Lacey, G.C., 2009. Identification of dispersive soils by the crumb test. Australian Geomechanics, 44(3), 23–30.
- Fadlee, B., 1997. Geologi Kuaterner Kawasan Telok Datuk, Selangor. Laporan Bahagian Geologi Kuaterner, Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia. 48 p.
- Fan, C., & Kong, L., 2013. Study on dispersive soils and its engineering characteristics. Journal of Engineering Geology, 21(2), 157–164.
- Gobbett, D.J., & Hutchison, C.S., 1973. Geology of the Malay Peninsula. Wiley-Interscience, New York. 438 p.
- Goodarzi, M., & Salimi, M., 2015. Effect of sodium and calcium ions on the dispersion potential of clayey soils. Applied Clay Science, 107, 1–8.
- Gupta, A., 2021. Role of clay mineralogy in dispersive soil behavior: A review. Environmental Geotechnics, 8(8), 541–556.
- Jabatan Perangkaan Malaysia, 2024. Laporan populasi negeri Selangor. DOSM, Putrajaya, 15-16.
- Kamal Roslan, M., 1999. Geologi Semenanjung Malaysia: Stratigrafi Johor Barat. Jabatan Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi. 28 p.
- Kumari, N., & Mohan, C., 2021. Basics of clay minerals and their characteristic properties. Dalam: Do Nascimento, G.M., (Ed.), Clay and clay minerals. IntechOpen, London. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97672>.
- Luo, X.J., Zhang, X., & Li, J., 2024. Characteristics of clay dispersion and its influencing factors. Applied Clay Science, 247, 107009.
- Mitchell, J.K., & Soga, K., 2005. Fundamentals of Soil Behavior. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York. 577 p. ISBN 0-471-46302-7.
- NACOE Project O21, 2023. Dispersive soils review and management in Australia. National Asset Centre of Excellence. Queensland Department of Transport and Main Roads, Australia. 34 p.
- Norhafizah, B.M., 2002. Pemetaan geologi kejuruteraan profil luluhawa kawasan Serdang–Sg Besi. Tesis Sarjana Muda, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Shah, A.S.N., Mohd Nazer, N.S., & Arifin, M.H., 2025. Surface and internal erosion in dispersive soils: mechanisms and implications for landslide initiation in tropical climates in Malaysia. Catena, 259, 109398.
- Shah, A.S.N., Mohd Nazer, N.S., & Arifin, M.H., 2026. Understanding dispersion effects on soil detachment by overland flow: Insights from desiccated cracks flume simulations. International Soil and Water Conservation Research, 14(1), 100559.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., & Decker, R.S., 1976. Identification and nature of dispersive soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 102(4), 287–301.
- Stauffer, P.H., 1973. Kenny Hill Formation. Dalam: Gobbett, D.J., & Hutchison, C.S. (Eds.), Geology of the Malay Peninsula. Wiley-Interscience, New York. 438 p.
- Suntharalingam, T., & Teoh, L.H., 1985. Quaternary geology of the coastal plain of Taiping, Perak. Geological Survey of Malaysia, Quaternary Geology Bulletin 1. 64 p.
- Vakili, A.H., Salimi, M., Keskin, I., & Jamalimoghadam, M., 2024. A systematic review of strategies for identifying and stabilizing dispersive clay soils for sustainable infrastructure. Soil and Tillage Research, 239, 106036.

*Manuscript received 5 August 2025;
Received in revised form 20 October 2025;
Accepted 1 April 2026
Available online 30 August 2026*