

Original Research Article

Kesan Penggunaan Sisa Industri Concrete Slurry (CSW) Terhadap Penstabilan Tanah

Saiful Hazman Mokhtar*, Ernie Kulian@Abd Karim, Fatimah Jafri, Ainnur Hanis Hanisa Azamuddin, Nur Anisa Fatimah Osman

Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Sultan Haji Ahmad Shah, Kuantan Pahang, saiful@polisas.edu.my; ernie@polisas.edu.my; 020725060798@student.polisas.edu.my; 020710060672@student.polisas.edu.my; 020303110038@student.polisas.edu.my

*Corresponding author: Saiful Hazman Mokhtar, Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Sultan Haji Ahmad Shah, Kuantan Pahang; saiful@polisas.edu.my

Abstract: *This study was carried out to identify the potential use of industrial waste known as “concrete slurry” intended for soil stabilization for road subgrade layers. Road soil sedimentation can be caused by various factors including heavy rain, construction of new infrastructure, excessive vehicle load, changes in soil properties and others. To overcome this problem, soil stabilization needs to be implemented during the construction process to increase the bearing capacity. Industrial waste such as “concrete slurry” can potentially be used in the soil stabilization process due to its properties that are similar as cement. This industrial waste was obtained from Hume Concrete Sdn. Bhd. Construction factory in Semambu, Kuantan. In order to study the potential of the waste, a total of six samples were prepared at the mixture rate of 0%, 8%, 16%, 24%, 32%, and 40% to be tested on the soil sample. The tests involved were compaction tests, sieve analysis tests, Atterberg limit tests and California Bearing Ratio (CBR) tests. The sample which has been compacted in the mould, is preserved for five days before the CBR test was carried out. Through analysis, it was found that the soil sample used in this study was of good grade with a high plasticity rate. Through the CBR test, it was found that the concrete slurry waste mixture of 32% showed the highest bearing ratio of 69% compared to the control sample of 12.5%. The total increase in soil strength was 81.88%. This shows that the use of this industrial waste can increase the strength of the soil bearing during the stabilization process and has the potential to be used as a stabilizing agent instead of cement or lime.*

Abstrak: Kajian ini dilaksanakan bertujuan untuk melihat potensi penggunaan sisa industri iaitu “concrete slurry” terhadap penstabilan tanah bagi lapisan subgred jalan raya. Enanpan tanah jalan raya boleh disebabkan oleh pelbagai faktor antaranya hujan lebat, pembinaan infrastruktur baru, beban kenderaan berlebihan, perubahan sifat tanah dan lain-lain. Bagi mengatasi masalah ini, penstabilan tanah perlu dilaksanakan semasa proses pembinaan bagi meningkatkan keupayaan galas. Sisa industri seperti “concrete slurry” berpotensi diguna pakai dalam proses penstabilan tanah kerana sifatnya sama seperti simen. Sisa industri ini diperolehi daripada kilang pembinaan Hume Concrete Sdn. Bhd Semambu, Kuantan. Bagi mengkaji potensi sisa tersebut, sebanyak enam sampel kajian telah disediakan pada kadar campuran sisa tersebut sebanyak 0%, 8%, 16%, 24%, 32%, dan 40% ke atas sampel tanah. Ujikaji yang terlibat adalah ujian pepadatan, ujian analisis ayakan, ujian had Atterberg dan ujian *California Bearing Ratio* (CBR). Sampel yang telah dipadatkan dalam *mould*, diawet selama lima hari sebelum ujian CBR dilaksanakan. Melalui analisis didapati sampel tanah yang digunapakai dalam kajian ini adalah bergred baik dengan kadar keplastikan tinggi. Melalui ujian CBR didapati campuran concrete slurry waste sebanyak 32% menunjukkan

nisbah galas tertinggi iaitu 69% berbanding sampel kawalan 12.5%. Jumlah peningkatan kekuatan tanah adalah sebanyak 81.88%. Ini menunjukkan penggunaan sisa industri ini mampu meningkatkan kekuatan galas tanah semasa proses penstabilan dan berpotensi untuk dijadikan sebagai agen penstabilan menggantikan simen atau lime.

Keywords: *Concrete slurry waste*; penstabilan tanah; subgred jalan.

Received: 18th March 2024

Accepted: 25th July 2024

Available Online: 30th July 2024

Published: 3rd August 2024

Citation: Mokhtar, S. H., Abd Karim, E. K., Jafri, F., *et al.* Kesan Penggunaan Sisa Industri Concrete Slurry (CSW) Terhadap Penstabilan Tanah. *J Workforce Edu Res* 2024; 1(1): a0000524. <https://doi.org/10.36877/jwer.a0000524>

1. Pendahuluan

Isu kemampanan dan perlindungan terhadap alam sekitar antara yang menjadi isu penting di peringkat global pada masa kini. Di kebanyakan negara, industri pembinaan adalah sumber utama masalah alam sekitar dan menyumbang secara signifikan kepada pengurangan sumber asli (Hossain *et al.*, 2017). Perbadanan Pengurusan Sisa Pepejal dan Pembersihan Awam Malaysia mengesahkan bahawa kira-kira 8 juta tan sisa binaan setahun dihasilkan dari projek pembinaan (Taha, 2015). Walau bagaimanapun, projek pembinaan adalah penting dalam penyediaan infrastruktur yang diperlukan ke arah pembangunan negara.

Konkrit antara bahan utama digunapakai dalam industri pembinaan. Permintaan bahan ini dijangka akan terus meningkat disebabkan peningkatan projek-projek pembinaan seperti perumahan, perbandaran dan infrastruktur sosial di negara membangun. Oleh demikian, banyak kajian dan strategi telah dilaksanakan bagi menjayakan strategi neutraliti karbon 2050 di seluruh dunia termasuk industri pembinaan yang melibatkan penggunaan bahan semula jadi seperti simen. Sehubungan dengan itu, beberapa inisiatif telah dilaksanakan dalam industri pembinaan seperti penghasilan simen bagi mengurangkan pelepasan gas rumah hijau (GHG). Walau bagaimanapun, pelepasan karbon global terus meningkat setiap tahun (Sim & Ryu, 2023). Tanpa kawalan yang sepatutnya, sisa binaan ini akan menyebabkan masalah kepada alam sekitar yang berterusan dan secara tidak langsung menyumbang kepada pemanasan global (Nagapan, 2012).

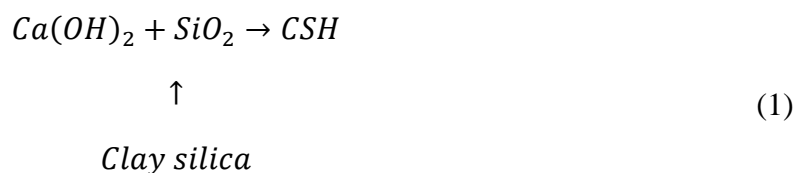
Kerap kali timbul masalah di mana tanah tidak dapat menampung struktur binaan di atasnya semasa kerja-kerja reka bentuk dan pembinaan seperti bangunan, jambatan, jalan raya dan empangan. Sebagai contoh, tanah berbutir berkemungkinan besar akan mengalami enapan. Dalam sesetengah keadaan, tanah tersebut perlu distabilkan samada dengan cara mekanikal atau kimia bertujuan untuk meningkatkan ketumpatan dan keupayaan galas (Das,

2011). Penstabilan tanah boleh digunakan untuk membaiki sifat tanah semula jadi melalui pelbagai cara seperti penstabilan mekanikal dengan mengenakan beban ke atas tanah atau menambah bahan khas, penstabilan kimia melalui penggunaan simen atau *lime* dan penggunaan bahan geosintetik. Dalam kejuruteraan awam, penstabilan tanah adalah teknik untuk membaiki sifat kejuruteraan tanah bagi menambah keupayaan galas, sudut geseran tanah dan mengurangkan nilai had cecair serta kebolehtelapan.

Tanah liat lembut mempunyai kecenderungan untuk mengembang apabila menyerap air. Keadaan ini akan menyebabkan masalah seperti mendapan tanah dan kegagalan cerun. Selain itu, tanah ini dianggap bermasalah kerana ia mudah termampat dan memiliki ciri daya ricih yang rendah (Al-Saeedi & Hameed, 2021) yang boleh mengakibatkan masalah serius dalam kejuruteraan geoteknik kerana tanah yang lemah boleh menyebabkan kerosakan pada struktur asas bangunan dan keretakan di sepanjang turapan jalan (Patel, 2019). Bagi mengatasi masalah ini, tanah tersebut perlu distabilkan terlebih dahulu bagi mengelak perkara buruk terjadi.

2. Sorotan Kajian

Pelbagai kaedah boleh dilaksanakan bagi membaiki sifat kejuruteraan tanah. Salah satu cara bagi meningkatkan kestabilan tanah adalah dengan menggunakan campuran kimia. Campuran kimia yang biasa digunakan adalah seperti simen, *lime* dan bitumen. Walaubagaimanapun lime seringkali diguna pakai kerana ia murah dan mudah diperolehi. Tindak balas *pozzolanic* antara tanah dan lime melibatkan tindak balas antara *lime*, silika dan alumina tanah untuk membentuk bahan pengikat (Das, 2011). Tindak balas tersebut adalah seperti berikut:



Dimana, C = CaO, S = SiO₂ dan H = H₂O

Selain *lime*, simen juga sering diguna pakai untuk penstabilan tanah jenis berbutir dan tanah liat dalam kerja-kerja pembinaan struktur subged jalan raya dan empangan tanah. Penggunaan simen membantu menurunkan had cecair, meningkatkan indeks keplastikan, meningkatkan keupayaan galas serta kebolehkerjaan tanah liat.

Penstabilan tanah secara mekanikal pula dilaksanakan dengan mencampurkan tanah dengan tanah lain yang berbeza grad. Melalui campuran tersebut, ketumpatan tanah yang

diperlukan boleh dicapai setelah melalui proses pemadatan (Patel, 2019). Peningkatan gelas tanah terjadi disebabkan oleh peningkatan sudut geseran dan kejelekitan butiran tanah (Liu & Evett, 2008).

Penggunaan bahan kitar semula dalam pembinaan jalan raya telah lama dikaji oleh para penyelidik bagi mengenal pasti potensinya. Antara bahan kitar semula yang diguna pakai dalam industri pembinaan bagi memperbaiki sifat kejuruteraan tanah adalah seperti abu terbang, serpihan tayar, kaca, plastik, relau bagas berbutir, sisa sulfat, sisa daripada bengkel melebur logam, sisa perlombongan dan sebagainya (Hamim & Md Yusoff, 2013).

Concrete slurry waste (CSW) terhasil daripada proses mencuci lori konkrit dan loji *batching*. Secara umum, kandungan sisa bahan tersebut terdiri daripada simen, pasir, air dan bahan tambah. Semasa operasi loji, CSW terkumpul di dalam kolam tadahan. Apabila kolam tadahan telah penuh, sisa tersebut dipindahkan ke tapak pelupusan. CSW mengandungi sisa hidrasi (*portlandite*, *calcite*, C-S-H dan fasa aluminat terhidrasi) serta partikel halus agregat. Jumlah CSW yang terhasil adalah sekitar 0.8% daripada penghasilan konkrit. Sisa pembinaan ini memerlukan kos yang tinggi bagi tujuan rawatan pelupusan (Keppert *et al.*, 2021).

Memandangkan CSW mengandungi sejumlah besar Ca^{2+} disebabkan oleh zarah simen yang tidak terhidrat, kajian untuk mengitar semula bahan ini semakin meningkat setiap tahun. Namun begitu, kebanyakan penyelidikan, hanya tertumpu kepada penggunaan CSW sebagai pengisi atau pengikat matriks simen. Selain daripada itu, penggunaan CSW sebagai bahan kitar semula secara maksimum, membantu mengurangkan pelepasan CO_2 (Sim & Ryu, 2023).

Reiterman *et al.* (2022) telah melaksanakan kajian penggunaan CSW terhadap penstabilan tanah. Beliau telah membuat perbandingan penggunaan CSW dan Simen Portland (OPC). Beliau mendapati CSW dapat meningkatkan kekuatan mampatan sebanyak 38% berbanding dos yang sama penggunaan OPC. Penggunaan sisa daripada industri pembinaan ini dapat membantu negara dari segi penjimatan ekonomi dan penjagaan alam sekitar. Jadual 1 menunjukkan komposisi kimia CSW.

Jadual 1. Komposisi kimia CSW dan simen OPC

Komposisi kimia (wt.%)	CSW
CaO	34.32
SiO ₂	26.24
Al ₂ O ₃	8.27
Fe ₂ O ₃	3.12
SO ₃	2.37
MgO	2.10
K ₂ O	1.05
TiO ₂	0.47
Na ₂ O ₃	0.37
P ₂ O ₅	0.23

Sumber: Sang & Dong, 2023

Salah satu bahan yang berpotensi boleh digunakan untuk menstabilkan tanah adalah CWS. Menurut Keppert *et al.* (2021), CSW ini sangat halus dan mengandungi sejumlah sisa *klinker* dan mengandungi *calcite* yang tinggi, dimana ia dapat memberi kesan sebagai pengikat simen tambahan. Sisa bahan buangan ini bukan sahaja dapat memberikan manfaat kepada kita terutama sekali dalam bidang kajian tanah, malah dapat menurunkan indeks pencemaran alam sekitar, mengurangkan penggunaan bahan semula jadi dan menjimatkan kos pembinaan (Zhang & Fujiwara, 2007).

Oleh demikian, kajian ini dilaksanakan bagi melihat potensi CSW yang diperolehi sekitar Kuantan terhadap penstabilan tanah. Antara objektif kajian ini adalah seperti berikut (i) Menenal pasti ciri-ciri asas fizikal tanah dengan melaksanakan ujian analisis ayakan dan ujian mampatan; (ii) Menentukan indeks keplastikan tanah dengan melaksanakan ujian penentuan had cecair dan had plastik; (iii) Mengkaji kekuatan galas dan ketumpatan sampel tanah yang dicampurkan dengan CSW pada peratusan tertentu melalui ujian Nisbah Galas California (CBR).

3. Metodologi Kajian

Bahan yang digunakan dalam kajian ini terdiri daripada tanah dan *concrete slurry waste* (CSW) dan air bagi tujuan pemadatan. Sampel tanah diperolehi daripada kawasan kegagalan cerun di Taman Bandar, Kuantan Pahang manakala CSW diperolehi daripada Hume Concrete Sdn Bhd. CSW akan dicampurkan ke atas sampel tanah bagi melihat kesan kekuatan galas. Jadual 2 menunjukkan peratusan campuran CSW terhadap sampel tanah. Peratusan sisa buangan yang digunakan adalah 0%, 8%, 16%, 24%, 32% dan 40%. Ujian *California Bearing Ratio* dilaksanakan bagi melihat kesan campuran sisa tersebut terhadap

kestabilan sampel tanah. Manakala ujian ayakan, ujian pemadatan, ujian Had Atterberg dilaksanakan bagi menentukan ciri asas tanah atau dikenali juga penyiasatan tapak.

Jadual 2. Nisbah campuran sampel kajian

Sampel	Sampel Tanah (g)	CSW (%)	Air (%)
Sampel 1	5000	0	23
Sampel 2	5000	8	23
Sampel 3	5000	16	23
Sampel 4	5000	24	23
Sampel 5	5000	32	23
Sampel 6	5000	40	23



Rajah 1. Sisa Industri “Concrete slurry waste” diguna dalam pemstabilan tanah kajian



Rajah 2. “Concrete slurry waste” setelah melalui proses ayakan

Rajah 1 menunjukkan CSW yang diambil dari loji pemprosesan konkrit. Rajah 2 pula, menunjukkan CSW setelah diayak melepasi saiz 1.18mm. Manakala Rajah 3 menunjukkan sampel tanah yang diguna pakai dalam kajian ini.



Rajah 3. Sampel tanah yang diperolehi dari runtuh cerun Taman Bandar Kuantan, Pahang.

Ujian makmal yang dilaksanakan bagi mengenal pasti potensi CSW dalam penstabilan tanah adalah seperti di Jadual 2.

Jadual 3. Ujian makmal bagi penentuan jenis tanah dan kekuatan gelas.

Ujian	Tujuan	Spesifikasi
i. Analisa ayakan (<i>Sieve analysis</i>)	Menentukan agihan saiz zarah (bijian) tanah samada (tanah liat, pasir dan kelikir). Paramater yang perlu ditentukan adalah: Pekali keseragaman, $C_u = D_{60}/D_{10}$ Pekali kelengkungan, $C_u = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}}$	BS1377: Part 2: 1990
ii. Ujian pepadatan (<i>Compaction test</i>)	Menentukan ketumpatan kering maksima dan nilai kandungan lembapan optima. Nilai kandungan air pada ketumpatan kering maksima yang diperolehi akan diguna semasa penyediaan sampel ujian CBR. Darjah pepadatan ditentukan melalui rumus berikut: $\rho_d = \frac{\rho}{1 + w}$ Dimana: $\rho_d = \text{ketumpatan kering}$ $\rho = \text{ketumpatan pukal}$ $w = \text{Kandungan air}$	BS1377: Part 2: 1990
iii. Had-had Atterberg	Menentukan had cecair (LL) dan had plastik (PL), seterusnya dua nilai ini akan diguna bagi penentuan indek keplastikan dan jenis tanah.	BS1377: Part 2: 1990

$$\text{Indeks keplastikan, } I_p = (LL) - (PL)$$

Ujian	Tujuan	Spesifikasi
iv Ujian <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	Menentukan kekuatan tanah melalui nilai <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) pada penusukan 2.5 mm dan 5.0 mm.	BS1377: Part 4: 1990
$\text{Nilai CBR}(\%) = P \times \frac{100}{13.2}$ <p>Dimana, P = Daya penekan pada penusukan 2.5 mm</p> $\text{Nilai CBR}(\%) = P \times \frac{100}{20}$ <p>Dimana, P = Daya penekan pada penusukan 5.0 mm</p> <p>* Nilai tertinggi antara dua nilai CBR ini diambil sebagai nilai CBR.</p>		

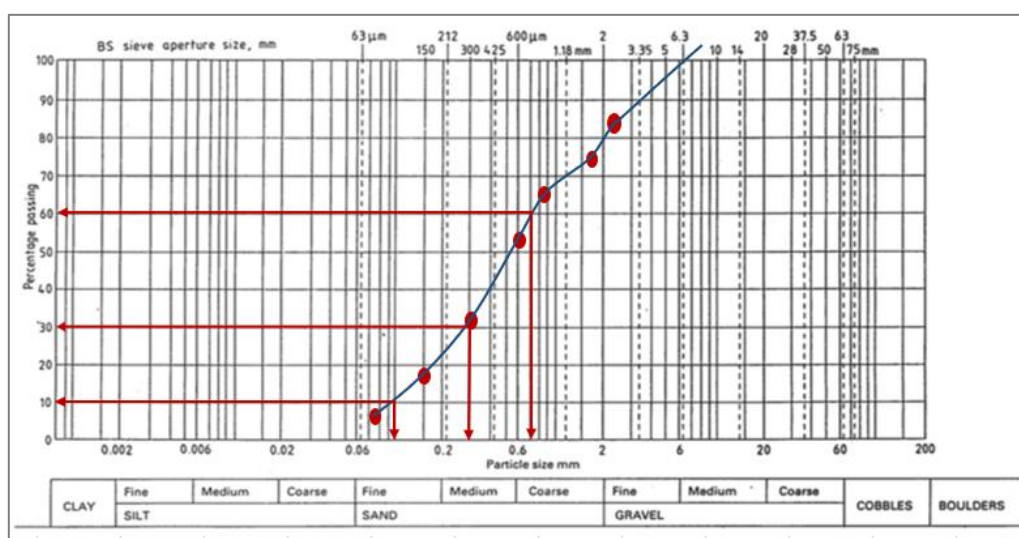
4. Analisis dan Dapatan Kajian

Bahagian ini akan membincangkan secara terperinci keputusan dan analisis daripada ujian makmal yang telah dilaksanakan. Tujuan utama kajian ini adalah untuk melihat kesan campuran “concrete slurry waste” terhadap tanah cerun. Setelah analisis dilakukan keputusan berikut diperolehi dan dibincangkan.

4.1 Analisis Sifat Fizikal Tanah

4.1.1 Analisis ayakan

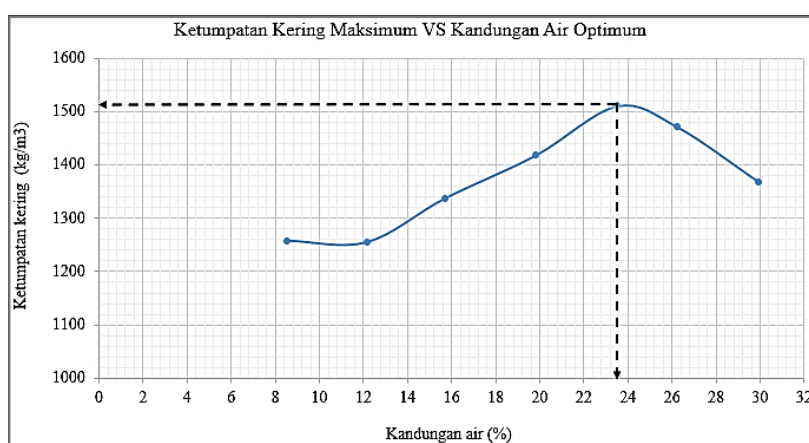
Melalui analisis daripada ujian ayakan (penggredan tanah) didapati pekali keseragaman (Cu) dan pekali kelengkungan (Cc) masing-masing adalah 7.28 dan 1.41. Oleh demikian, butiran tanah kajian adalah bergred baik. Melalui analisis ini didapati hampir 77% zarah berada pada zon pasir seperti ditunjukkan dalam Rajah 4.



Rajah 4. Lengkung agihan saiz zarah sampel tanah kajian

4.1.2 Analisis ujian pepadatan

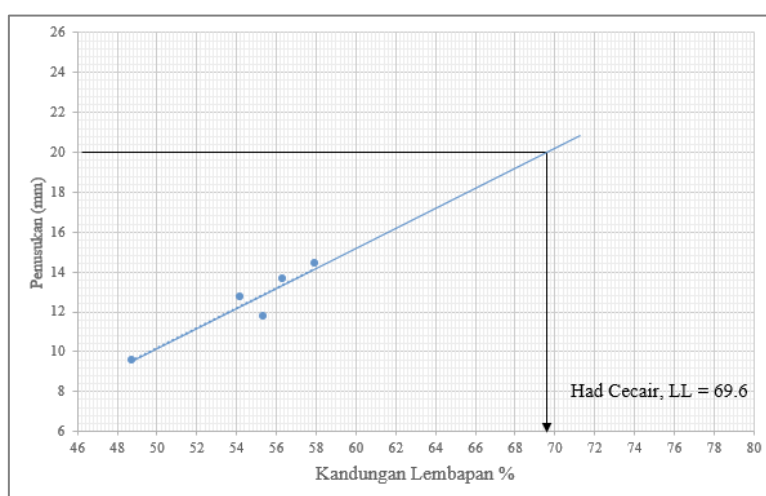
Rajah 5 menunjukkan graf hubungan antara ketumpatan kering dan kandungan air sampel tanah yang diguna dalam kajian. Didapati nilai ketumpatan kering tanah (P_d) adalah 1510.12 kg/m^3 pada kandungan air optimum (w) adalah 23.52% . Kandungan air ini diguna pakai bagi penyediaan sampel CBR.



Rajah 5. Graf ujian pepadatan tanah bagi menentukan kandungan air optimum dan ketumpatan kering maksimum.

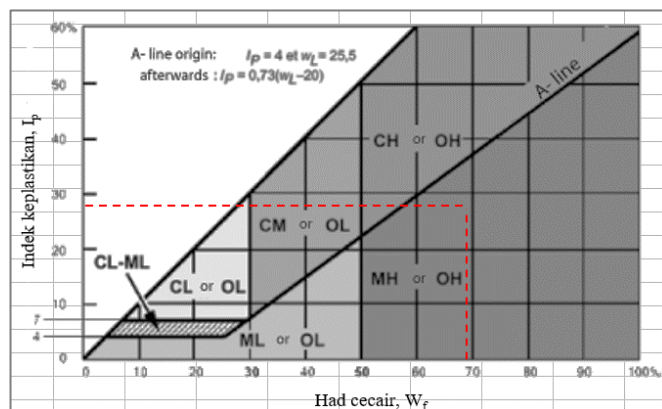
4.2 Analisis Ujian Had Atterberg

Rajah 6 menunjukkan graf kandungan lembapan melawan penusukan. Melalui analisis didapati nilai had cecair (LL) dan nilai had plastik (PL) masing-masing adalah 69.6% dan 40.92% . Melalui nilai LL dan PL tersebut, didapati indeks keplastikan sampel tanah yang diguna dalam kajian ini adalah $(69.6\% - 40.92\% = 28.68\%)$.



Rajah 6. Graf penusukan melawan kandungan lembapan bagi mendapatkan nilai had cecair sampel tanah.

Merujuk kepada Rajah 7 didapati sampel tanah dikategorikan sebagai kelodak atau tanah organik berkeplastikan tinggi (MH atau OH).



Rajah 7. Carta keplastikan bagi sampel tanah

4.3 Analisis Keseluruhan Ujian California Bearing Ratio (CBR)

Merujuk kepada Jadual 3 dan Rajah 10 didapati nilai peratusan *California Bearing Ratio* (CBR) pada bahagian atas *mould* setelah analisis dilaksanakan. Didapati nilai CBR tertinggi merujuk kepada sampel 5 pada kadar campuran “*concrete slurry waste*” sebanyak 32%. Nilai CBR pada penusukan 2.5mm dan 5.0mm masing-masing adalah 59.1% dan 69%. Berbanding sampel kawalan, nisbah gelas CBR untuk sampel 5 telah meningkat sebanyak 81.88%.



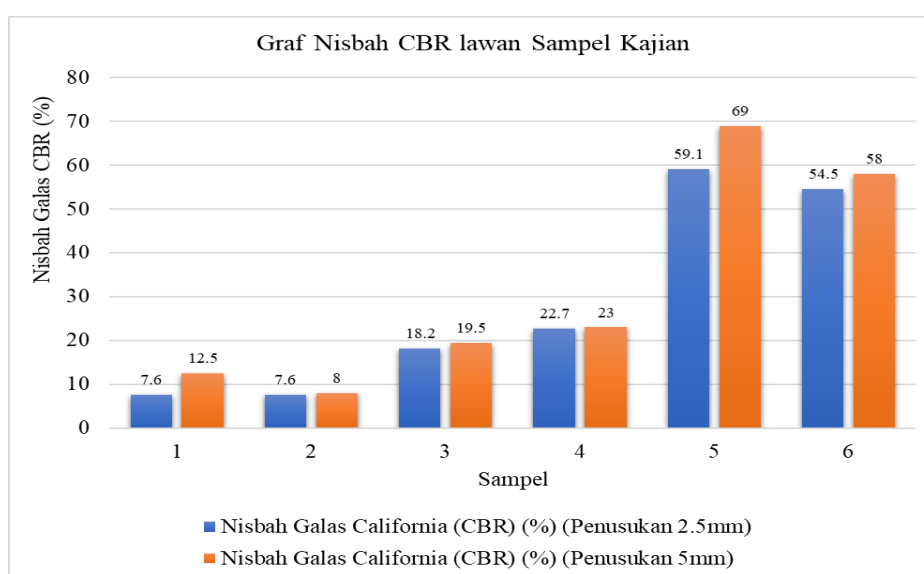
Rajah 8. Sampel kajian



Rajah 9. Ujian CBR

Jadual 4. Nilai CBR bagi penusukan 2.5 mm dan 5 mm pada bahagian atas *mould*

Sampel	CSW (%)	CBR (%) (Penusukan 2.5 mm)	CBR (%) (Penusukan 5 mm)
S1	0	7.6	12.5
S2	8	7.6	8.0
S3	16	18.2	19.5
S4	24	22.7	23.0
S5	32	59.1	69.0
S6	40	54.5	58.0

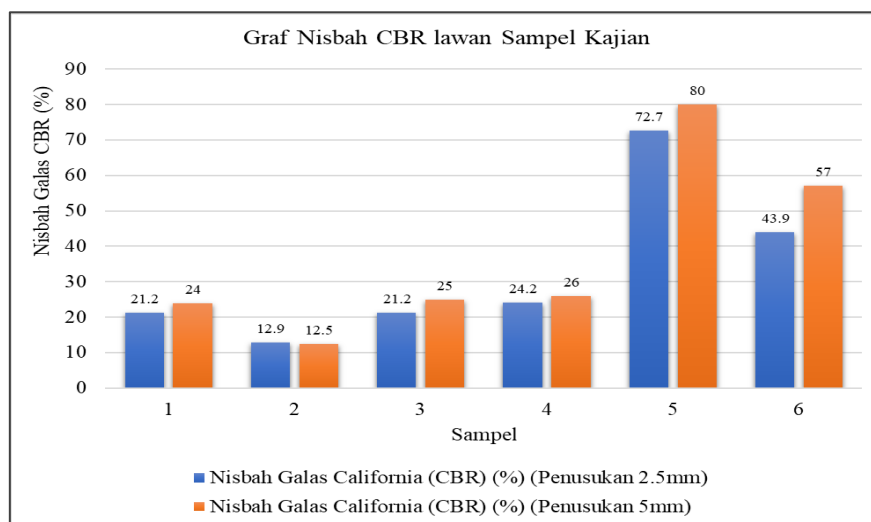


Rajah 10. Carta bar hubungan antara nisbah galas CBR dan sampel kajian bahagian atas *mould*

Manakala merujuk kepada Jadual 4 dan Rajah 11 pula, didapati nilai CBR tertinggi merujuk kepada sampel 5. Nilai CBR pada penusukan 2.5 mm dan 5.0 mm masing-masing adalah 72.7% dan 80%, berbanding sampel kawalan. Nilai CBR untuk sampel 5 telah meningkat sebanyak 70.0%. Peningkatan nilai CBR ini disebabkan ruang-ruang kosong antara zarah tanah telah dipenuhi oleh CSW kerana sifat semula jadi sisa industri tersebut adalah halus. Ini bertepatan dengan kajian yang telah dijalankan oleh Reiterman *et al.* (2022).

Jadual 4. Nilai CBR bagi penusukan 2.5 mm dan 5 mm pada bahagian bawah mould

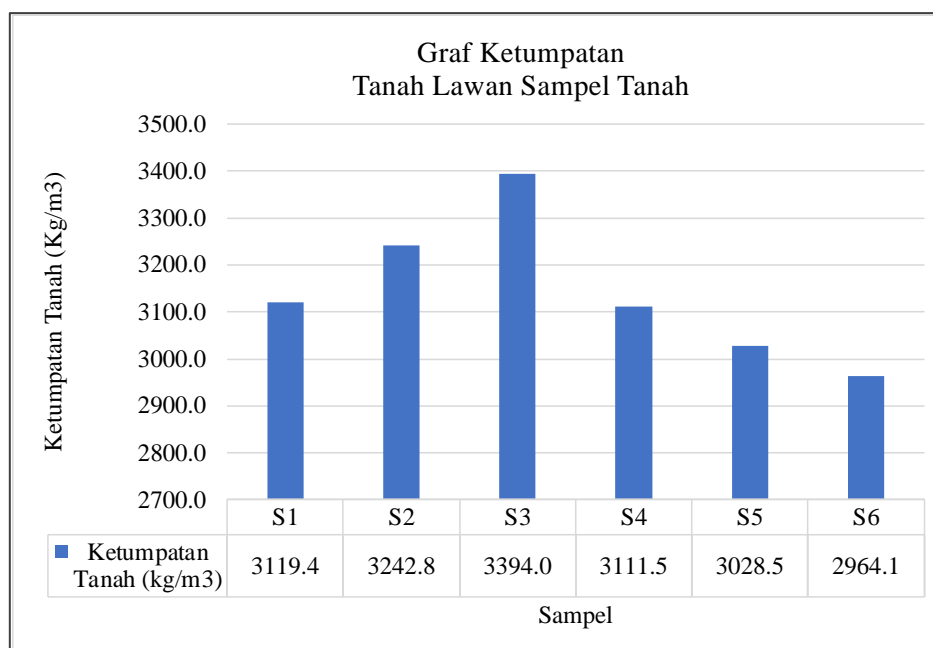
Sampel	CSW (%)	CBR (%) (Penusukan 2.5 mm)	CBR (%) (Penusukan 5 mm)
S1	0	21.2	24
S2	8	12.9	12.5
S3	16	21.2	25
S4	24	24.2	26
S5	32	72.7	80.0
S6	40	43.9	57.0



Rajah 11. Carta bar hubungan antara nisbah galas CBR dan sampel kajian bahagian bawah mould

4.4 Ketumpatan Tanah Kajian

Rajah 10 menunjukkan analisis terhadap ketumpatan tanah berbanding sampel kajian. Melalui analisis didapati nilai ketumpatan maksimum merujuk kepada sampel 3 iaitu 3394.01 kg/m³. Manakala sampel 6 menunjukkan nilai ketumpatan minimum iaitu 2964.13kg/m³.



Rajah 10. Graf ketumpatan pukal tanah lawan sampel kajian

5. Perbincangan dan Kesimpulan

Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk melihat potensi *concrete slurry waste* (CSW) terhadap penstabilan tanah. Seperti yang diketahui tanah liat mempunyai sifat kestabilan yang rendah pada kandungan air yang tinggi. Selain itu kadar pengembangan tanah ini turut tinggi. Justeru tanah bersifat seperti ini perlu distabilkan bagi mengurangkan kesan terhadap terhadap struktur lapisan *sub-base* dan subgred jalan. Hasil daripada ujian dan analisis yang telah dijalankan, dapat disimpulkan bahawa:

- i. Merujuk kepada analisis ujian pemadatan didapati sampel tanah kajian mempunyai nilai ketumpatan kering maksimum 1510.12 kg/m³ pada kandungan air optimum 23.52%.
- ii. Melalui ujian analisis ayakan, nilai pekali keseragaman dan pekali kelengkungan masing-masing adalah 7.61 dan 1.41. Ini menunjukkan taburan butiran tanah berada dalam keadaan bergred baik.
- iii. Ujian had Atterberg dijalankan bertujuan untuk menilai tahap keplastikan sampel tanah kajian. Nilai had cecair dan had plastik masing-masing adalah 69.60% dan 40.92%. Manakala indeks keplastikan adalah 28.68%. Merujuk kepada carta keplastikan, jenis tanah yang digunakan dalam kajian ini adalah berkeplastikan tinggi (MH atau OH). Nilai indeks keplastikan dan had cecair yang tinggi memerlukan tanah ini distabilkan bagi tujuan meningkatkan keupayaan galas.

Penggunaan bahan penstabilan tanah seperti simen membantu menurunkan had cecair, meningkatkan indeks keplastikan, meningkatkan keupayaan gelas tanah liat. Menurut Liu & Evett (2008), sebanyak 7% sehingga 14% simen diperlukan bagi penstabilan tanah liat. Manakala menurut Das (2011) pula, sebanyak 5% sehingga 10% *lime* diperlukan bagi tujuan penstabilan tanah. Melalui kajian ini sebanyak 32% *concrete slurry waste* diperlukan bagi mencapai keupayaan gelas maksimum. Walaupun peratusan penggunaannya tinggi, sisa industri pembinaan ini berpotensi digunakan sebagai bahan penstabil tanah.

- iv. Sampel (S3) tanah dengan campuran *concrete slurry waste* sebanyak 16% melihatkan nilai ketumpatan tertinggi berbanding sampel kawalan iaitu 3394.0 kg/m³. Peningkatan ketumpatan sebanyak 8.8% ini menunjukkan CWS telah mengisi ruang-ruang antara partikel tanah. Melalui campuran tersebut, ketumpatan tanah yang diperlukan boleh dicapai setelah melalui proses pemadatan (Patel, 2019). Peningkatan gelas tanah berlaku setelah tanah ditambah bahan penstabil dan melalui proses pemadatan. Proses ini meningkatkan sudut geseran dan kejelekitan butiran tanah (Liu & Evett, 2008).
- v. Melalui ujian gelas California didapati nisbah gelas tertinggi berlaku pada sampel 5 iaitu pada campuran CSW sebanyak 32%. Kekuatan nisbah gelas California telah bertambah sebanyak 70.0% berbanding sampel kawalan. Peningkatan nilai ini disebabkan bahan *concrete slurry waste* telah mengisi rongga-rongga halus dalam tanah tersebut. Ini menunjukkan sisa industri tersebut mampu menambah keupayaan gelas dan berpotensi menjadi agen penstabilan tanah. Dapatan ini bertepatan dengan hasil kajian yang telah dijalankan (Roslan *et al.*, 2015). Reiterman *et al.* (2022) turut melaksanakan kajian berkaitan penggunaan *concrete slurry waste* terhadap penstabilan tanah dan mendapati bahan ini mempunyai potensi yang baik sebagai bahan penstabilan dan jika diguna dalam industri pembinaan mampu mengurangkan kesan alam sekitar. Selain daripada itu, peningkatan nilai CBR juga disebabkan terdapat kandungan sisa penghidratan (*porlandite, calcite, C-S-H and hydration aluminate*) yang mengakibatkan tindakbalas pozzolanic dalam tanah (Keppert *et al.*, 2021). Aplikasi *concrete slurry waste* dalam bentuk agregat halus dilihat lebih berkesan dalam meningkatkan keupayaan gelas tanah pada peratusan tertentu.

Oleh demikian, dapat disimpulkan di sini bahawa *concrete slurry waste* yang terhasil daripada kolam takungan di loji konkrit campuran siap ini mampu dijadikan agen penstabilan tanah. Walau bagaimanapun, kajian lanjut kesan sisa industri ini terhadap alam sekitar perlu diteliti sebelum digunapakai dalam industri pembinaan dengan melaksanakan ujian komposisi kimia. Selain daripada itu, sisa industri ini mempunyai pelbagai saiz. Kajian perbezaan saiz zarah terhadap kekuatan galas tanah turut boleh dilaksanakan.

Penghargaan: Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak Politeknik Sultan Haji Ahmad Shah Kuantan, Hume Concrete Sdn. Bhd Kuantan dan Jabatan Kerja Raya kerana memberi peluang kepada kami untuk melaksanakan kajian ini sehingga jayanya.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan tiada konflik kepentingan.

Rujukan

- Al-Saeedi, A. A., Hameed, D. (2021). Use of construction material to improve the properties of clay soil. *Periodical of Engineering and Natural Sciences*, 9(2), 593–598.
- Das, M. D. (2011). *Principle of foundation engineering seventh edition*. Cengage Learning, Stanford, USA.
- Hamim, A. & Md Yusoff, N. I. (2013). Penggunaan bahan penstabil dalam kitar semula sejuk setempat turapan jalan raya boleh lentur. *Jurnal Kejuruteraan*, 25(2013), 1–9.
- Hossain, M. U., Xuan, D., Poon, C. S. (2017). Sustainable management and utilisation of concrete slurry waste: A case study in Hong Kong. *Waste Management*, 61, Pages 397–404.
- Keppert, M., Davidova, V., Dousova B., *et al.* (2021). Recycling of fresh concrete slurry waste as supplementary cementing material: Characterization, application and leaching of selected elements. *Construction and Building Materials Journal*, 300.
- Liu, C., & Evett, J.B. (2008). *Soils and foundation seventh edition*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Nagapan, S., Abdul Rahman, I., Hameed Memon, A., *et al.* (2012). Identifying causes of construction waste-case of central region of Peninsula Malaysia. *Internasional Journal of Integrated Engineering*, 4(2), 22–28.
- Patel, A. (2019). *Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions*. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering 2019, Page 19–27.
- Reiterman, P., Mondschein, P., Dousova, B., *et al.* (2022). Utilization of concrete slurry waste for soil stabilization. *Case Studies in Construction Materials*, Elsevier.
- Roslan, N. I., Naser Abdul Ghani, A., Abdul Hamid, A. H. (2015). Road subgrade strength under various flooding event. *Jurnal Teknologi, Universiti Teknologi Malaysia*, 75(2015), 39–43
- Sim, S. R., & Ryu, D. W. (2023). Effect of the concrete slurry waste ratio on supercritical CO₂ sequestration. *Materials*, 16(2), 742.
- Taha, M. P. (2015). *What a waste: Solid waste management and the Malaysian perspective on construction waste generation and management*. Kuala Lumpur: Solid Waste and Public Cleansing Management Corporation.

Zhang, J. & Fujiwara, T. (2007). Concrete sludge powder for soil stabilization. *Journal of the Transportation Research Board*, (2024), 54–59.



Copyright © 2024 by Mokhtar, S. H. *et al.* and HH Publisher. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC-BY-NC4.0)