

STUDI PERBANDINGAN PARAMETER KEKUATAN GESER TRIAXIAL (CU) *MULTISTAGE* DENGAN *SINGLESTAGE* UNTUK TANAH KLASIFIKASI MH ATAU A-7-5(25)

Agus Pronoto, Roesyanto, dan Rudi Iskandar

Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: agus.pronoto@students.usu.ac.id, roesyantos@yahoo.com dan sipil.s2.usu@gmail.com

INFO ARTIKEL

Diterima
28 Maret 2021
Direvisi
4 April 2021
Disetujui
5 April 2021

Keywords:

undisturbed, triaxial CU, hyperbolic, shear strength

ABSTRACT

This study aims to compare the results of deviatoric voltage values and pore water pressure and soil shear strength in testing between triaxial CU *multistage* and *singlestage* at two different pressures (σ_3). The research method used is by *singlestage* and *multistage* testing. *This study compares the results of multistage triaxial CU against conventional (singlestage) triaxial test by limiting the axial strain to 4% during deviatoric phase. The stress value of multistage method are predicted with Kondner hypothesis by using hyperbolic equation for certain strain values (∞ , 5%, 10%, 15%, 20%). Soil samples in this study were categorized as MH for the USCS classification or A-7-5(25) for to the AASHTO classification. It is possible to get result close to the singlestage test by limiting the axial strain to 4% during deviatoric phase. The stress value predicted by hyperbolic equations by inputting infinite strain tends to produce value greater than the experimental results. Several strain were inputted and evaluated (5%, 10%, 15%, and 20%), it was found using the input of 15% strain at hyperbolic equation, predicts stress value closer to experimental values. The predicted soil shear strength is quite accurate for c and ϕ under total stress conditions and adequate for c' and ϕ' under effective stress conditions.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil nilai tegangan deviatorik dan tekanan air pori dan kekuatan geser tanah pada pengujian antara triaksial CU *multistage* dengan *singlestage* pada dua tekanan pengekan (σ_3) yang berbeda. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan pengujian *singlestage* dan *multistage*. Hal ini

How to cite:

Pronoto, Agus et al., (2021) Studi Perbandingan Parameter Kekuatan Geser Triaxial (Cu) Multistage Dengan Singlestage Untuk Tanah Klasifikasi Mh Atau A-7-5(25). *Jurnal Syntax Admiration* 2(4). <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i4.210>

E-ISSN:

2723-6927

Published by:

Ridwan Institute

Kata Kunci:

undisturbed, triaksial CU, hiperbolik, kekuatan geser tanah

sering menyebabkan beberapa pengujian sampel di laboratorium ditiadakan akibat keterbatasan jumlah sampel, salah satunya adalah pengujian triaksial. Penelitian ini membandingkan hasil pengujian triaksial CU *multistage* dengan batasan regangan aksial 4% pada fase deviatorik terhadap pengujian triaksial CU konvensional (*singlestage*). Hasil pengujian metode *multistage* kemudian diprediksi nilai tegangannya dengan menggunakan persamaan hiperbolik hipotesa Kondner untuk beberapa nilai regangan tertentu (∞ , 5%, 10%, 15%, 20%). Sampel tanah penelitian dikategorikan sebagai MH menurut klasifikasi USCS atau A-7-5(25) menurut klasifikasi AASHTO. Pembatasan regangan aksial 4% pada fase deviatorik memungkinkan hasil akhir yang mendekati pengujian *singlestage*. Prediksi nilai tegangan menggunakan persamaan hiperbolik dengan input regangan tidak terhingga (∞) cenderung menghasilkan nilai yang lebih besar dari hasil eksperimental. Dari beberapa input nilai regangan yang dievaluasi yaitu 5%, 10%, 15%, dan 20%, diperoleh prediksi nilai dengan input regangan 15% pada persamaan hiperbola menghasilkan prediksi nilai lebih mendekati hasil eksperimental. Nilai parameter kekuatan geser tanah diperoleh hasil cukup akurat untuk c dan ϕ pada kondisi tegangan total dan diperoleh memadai untuk c' dan ϕ' pada kondisi tegangan efektif.

Pendahuluan

Pada kondisi tanah lunak pengambilan sampel tanah tidak terganggu tidak jarang mengalami kesulitan dan cenderung memperoleh sampel dengan *recovery rate* yang rendah. Pada kondisi tersebut kadang-kadang beberapa pengujian yang membutuhkan beberapa spesimen dalam satu jenis pengujian kerap kali dibatalkan akibat keterbatasan jumlah spesimen pengujian, salah satunya adalah pengujian triaksial (Sharma et al., 2014).

Pada umumnya pengujian triaksial membutuhkan sampel sebanyak tiga spesimen untuk dilaksanakan pengujiannya masing-masing di bawah kondisi tekanan pengeang (σ_3) yang berbeda (Effio et al., 2015). Metode *multistage* dapat menjawab permasalahan tersebut di mana jumlah spesimen yang diperlukan hanya satu, namun tetap mengikuti tahapan pengujian yang sama seperti pengujian triaksial pada umumnya (konvensional/*singlestage*) (Yawei et al., 2020).

Metode *multistage* ini pertama kali diperkenalkan oleh (Banerjee et al., 2018) sebagai metode alternatif pengujian triaksial konvensional. (Khosravi et al., 2012) melaporkan hasil penelitiannya bahwa nilai kohesi (c') dan sudut geser dalam (ϕ') pada kondisi tegangan efektif menghasilkan nilai yang logis dan dapat diterima pada pengujian triaksial CU *multistage*. Pada penelitiannya spesimen uji dikonsolidasi di

bawah tekanan pengekok tertentu kemudian dibebani hingga hampir mencapai regangan keruntuhan, spesimen uji kemudian dikonsolidasi kembali dengan tekanan pengekok (σ_3) yang lebih besar dan dibebani hingga hampir mencapai keruntuhan (Minaeian et al., 2020). Prosedur tersebut mungkin memberikan hasil yang logis untuk beberapa jenis tanah, dan regangan aksial yang terjadi pada kondisi tahap terakhir menghasilkan regangan aksial yang sangat besar hanya pada satu spesimen (Yang et al., 2019).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, (Ravi Sharma et al., 2011) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa hubungan tegangan regangan hiperbolik dapat digunakan untuk memprediksi nilai tegangan deviatorik dan tekanan air pori pada kondisi keruntuhan walaupun dengan pengujian pada kondisi regangan aksial rendah (2% hingga 4%) dengan menggunakan hipotesa (Alyousif, 2015). Tegangan deviatorik dan tekanan air pori dapat diprediksi menggunakan persamaan (1) dan (2).

$$\frac{\varepsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)} = a + b \cdot \varepsilon \quad (1)$$

$$\frac{\varepsilon}{(\Delta u)} = a_u + b_u \cdot \varepsilon \quad (2)$$

di mana:

$\sigma_1 - \sigma_3$ = tegangan deviatorik

ε = regangan aksial

a = perpotongan-y hubungan $\varepsilon/(\sigma_1 - \sigma_3)$ terhadap ε

b = *slope* hubungan $\varepsilon/(\sigma_1 - \sigma_3)$ terhadap ε

Δu = perubahan tekanan air pori

a_u = perpotongan-y hubungan $\varepsilon/(u)$ terhadap ε

b_u = *slope* hubungan $\varepsilon/(u)$ terhadap ε

dengan memplotkan hubungan $\varepsilon/(\sigma_1 - \sigma_3)$ terhadap ε dan hubungan $\varepsilon/(\Delta u)$ terhadap ε maka sama-sama akan membentuk suatu garis linear di mana a merupakan perpotongan terhadap sumbu-y dan b merupakan kemiringan/*slope* garis linear (Dexing et al., 2018).

Prediksi nilai menggunakan hipotesa Kondner (1) dan (2) dengan nilai regangan tidak terhingga (asimtotik) umumnya cenderung menghasilkan prediksi nilai yang lebih tinggi (Khosravi et al., 2012). (Ravi Sharma et al., 2011) dalam penelitiannya menyarankan bahwa prediksi nilai tegangan menggunakan hipotesa Kondner pada Persamaan (1) dan (2) akan menghasilkan prediksi nilai yang lebih baik apabila diekstrapolasi ke nilai regangan tertentu yaitu nilai regangan 15%.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil nilai tegangan deviatorik dan tekanan air pori dan kekuatan geser tanah pada pengujian antara triaksial CU *multistage* dengan *singlstage* pada dua tekanan pengekok (σ_3) yang berbeda.

Metode Penelitian

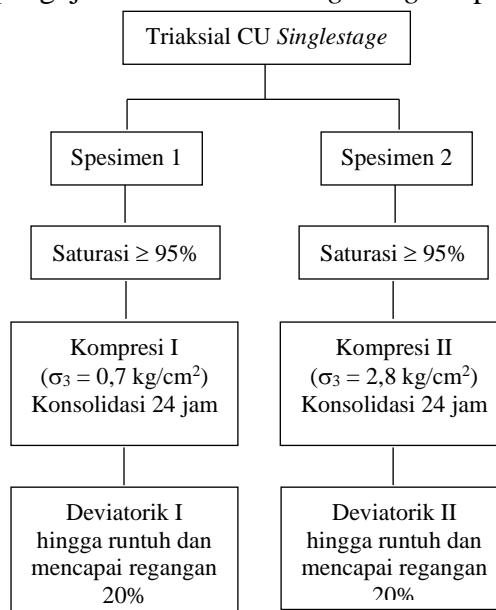
Sampel tanah tidak terganggu berasal dari daerah Terjun-marelan dan diambil pada kedalaman 11,00 m hingga 11,65m. Karakteristik dan indeks properti tanah dapat dilihat pada Tabel 1 (Hou et al., 2017).

Tabel 1
Karakteristik dan Indeks Properti Tanah

Keterangan	Tanah Terjun-Marelan
Berat isi tanah, γ_t	1,50 g/cm ³
Berat kering tanah, γ_d	0,79 g/cm ³
<i>Specific Gravity</i> , G_s	2,46
Batas cair, LL	52,41 %
Indeks Plastisitas, PI	21,85 %
Klasifikasi USCS	MH
Klasifikasi AASHTO	A-7-5(25)

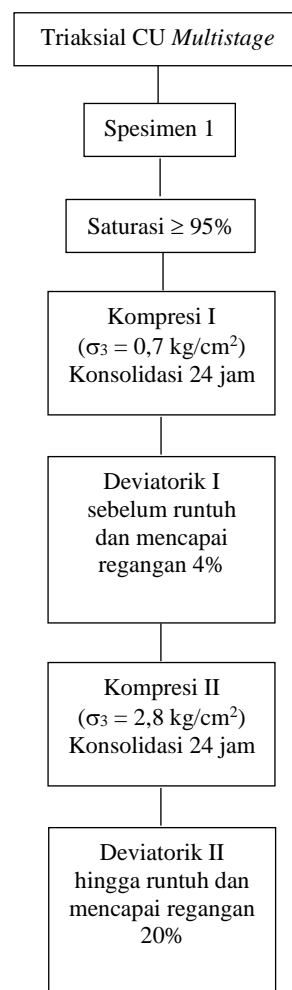
Sampel uji triaksial dipersiapkan sebanyak 2 spesimen untuk *singlestage* dan 1 spesimen untuk *multistage* dengan masing-masing ukuran diameter 38 mm dan tinggi 76 mm.

Pada pengujian triaksial CU *singlestage*, masing-masing spesimen akan melewati tiga fase, yaitu fase saturasi, fase kompresi dan fase deviatorik. Pada fase saturasi, spesimen dianggap jenuh apabila mencapai tingkat saturasi $\geq 95\%$. Kemudian pada fase kompresi, spesimen 1 diberi tekanan pengegang sebesar 0,7 kg/cm² dan dibiarkan terkonsolidasi selama 24 jam dan pada spesimen 2 diberi tekanan pengegang sebesar 2,8 kg/cm² dan dibiarkan terkonsolidasi selama 24 jam. Pada fase deviatorik spesimen dibebani dengan kecepatan pembebanan 0,014 mm/menit hingga mencapai regangan aksial 20%. Bagan alir pengujian triaksial CU *singlestage* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1
Bagan Alir Pengujian *Singlestage*

Pada pengujian triaksial CU *multistage*, spesimen akan melalui proses pengujian yang sama dengan pengujian *singlestage*, yang berbeda adalah pada pengujian *multistage* hanya menggunakan 1 spesimen pada fase saturasi hingga $\geq 95\%$. Spesimen kemudian dilanjutkan ke fase kompresi dengan pemberian tekanan pengekan 0,7 kg/cm² dan dibiarkan terkonsolidasi selama 24 jam. Pada fase deviatorik, spesimen dibebani namun tidak hingga mengalami keruntuhan, melainkan regangannya dibatasi hanya mencapai 4%. Spesimen kemudian diberikan tekanan pengekan tambahan hingga 2,8 kg/cm² dan dibiarkan terkonsolidasi selama 24 jam berikutnya. Kemudian dilanjutkan ke fase deviatorik selanjutnya hingga mencapai regangan aksial 20% (Prakash et al., 2018). Bagan alir pengujian triaksial CU *multistage* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2
Bagan Alir Pengujian *Multistage*

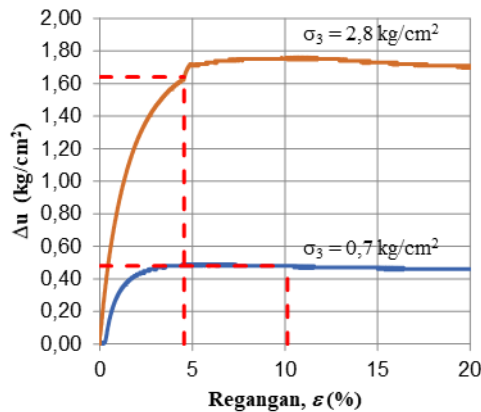
Hasil dan Pembahasan

A. Tegangan deviatorik dan tekanan air pori

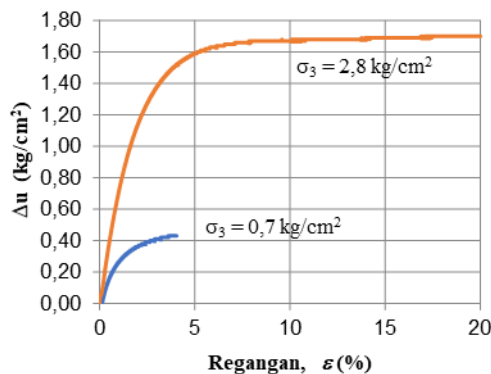
Hasil pengujian triaksial CU *singlestage* pada kondisi keruntuhan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2
Rangkuman Nilai Pengujian *Singlestage*

Tekanan pengegang, σ_3	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$	Δu_f
0,7 kg/cm ²	0,870 kg/cm ²	0,48 kg/cm ²
2,8 kg/cm ²	2,723 kg/cm ²	1,63 kg/cm ²



Gambar 3
Tegangan-Regangan Uji *Singlestage*

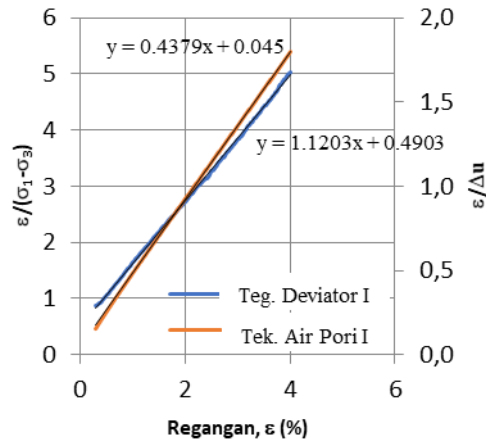


Gambar 4
Tegangan-Regangan Uji *Multistage*

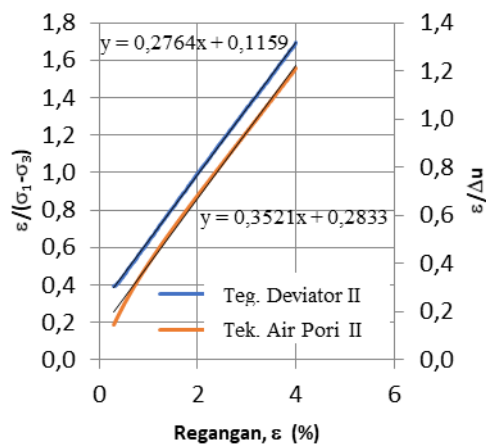
Hasil pengujian triaksial CU *multistage* pada Gambar 4 tidak dapat langsung ditentukan nilai keruntuhannya dan harus diolah terlebih dahulu dengan memplot hubungan $\varepsilon/(\sigma_1 - \sigma_3)$ terhadap ε yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan hubungan $\varepsilon/\Delta u$ terhadap ε yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Nilai a dan b serta au dan bu didapat dari persamaan regresi linear, untuk kondisi tekanan pengegang 0,7 kg/cm² dapat dilihat pada Gambar 5 dan untuk kondisi tekanan pengegang 2,8 kg/cm² dapat dilihat pada Gambar 6 (Wild et al., 2017). Prediksi nilai tegangan deviatorik dan perubahan tekanan air pori pada kondisi keruntuhan dapat dihitung menggunakan hipotesa Kondner pada Persamaan

(1) dan Persamaan (2) dengan *input* beberapa nilai regangan yaitu regangan ∞ , 5%, 10%, 15%, dan 20% (Nam et al., 2011). Hasil prediksi nilai dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 5
Grafik Regresi Linear Hubungan $\epsilon/(\sigma_1 - \sigma_3)$ Terhadap ϵ Tahap I, $\sigma_3 = 0,7 \text{ Kg/Cm}^2$ (Multistage)



Gambar 6
Grafik Regresi Linear Hubungan $\epsilon/(U)$ Terhadap ϵ Tahap I, $\sigma_3 = 0,7 \text{ Kg/Cm}^2$ (Multistage)

Tabel 3
Perbandingan Hasil Eksperimental *Singlestage* dengan Prediksi Nilai (σ_1 - σ_3) *Multistage*

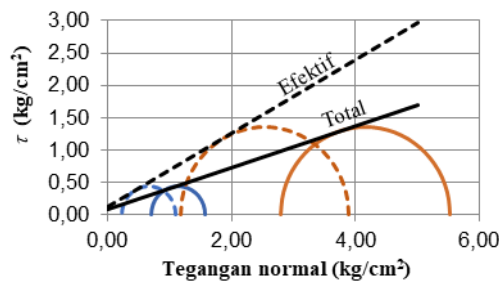
Singlestage	Asimtotik		Prediksi nilai (σ_1 - σ_3) menggunakan persamaan (1) untuk regangan aksial								
	$(\sigma_1 - \sigma_3) f$ kg/cm	$(\sigma_1 - \sigma_3) = 1/b$ kg/cm ²	Kesesuaian %	$\epsilon=5\%$	Kesesuaian %	$\epsilon=10\%$	Kesesuaian %	$\epsilon=15\%$	Kesesuaian %	$\epsilon=20\%$	Kesesuaian %
0,7	0,870	0,893	102,60	0,821	94,34	0,855	98,30	0,867	99,69	0,874	100,40
2,8	2,723	2,480	104,30	2,446	89,84	2,629	96,53	2,696	98,99	2,730	100,27
Persentase kesesuaian rata-rata			103,45		92,09		97,42		99,34		100,33

Tabel 4
Perbandingan Hasil Eksperimental *Singlestage* dengan Prediksi Nilai (ΔU) *Multistage*

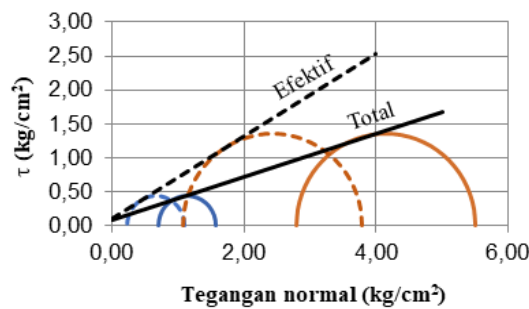
Singlestage	Asimtotik		Prediksi nilai (σ_1 - σ_3) menggunakan persamaan (1) untuk regangan aksial								
	$(\sigma_1 - \sigma_3) f$ kg/cm	$(\sigma_1 - \sigma_3) = 1/b$ kg/cm ²	Kesesuaian %	$\epsilon=5\%$	Kesesuaian %	$\epsilon=10\%$	Kesesuaian %	$\epsilon=15\%$	Kesesuaian %	$\epsilon=20\%$	Kesesuaian %
0,7	0,480	0,484	100,76	0,438	91,17	0,460	95,92	0,468	97,52	0,472	98,32
2,8	1,640	1,818	110,85	1,538	93,78	1,672	101,97	1,720	104,85	1,744	106,32
Persentase kesesuaian rata-rata			105,80		92,48		98,94		101,18		102,32

B. Kekuatan Geser Tanah

Keruntuhan Mohr-Coulomb pada pengujian *singlestage* dapat dilihat pada Gambar 7 (Xu et al., 2018). Untuk pengujian *multistage* diperoleh hasil yang mendekati hasil *singlestage* berada pada regangan 15%. Keruntuhan Mohr-Coulomb berdasarkan prediksi nilai pada regangan 15% dapat dilihat pada Gambar 8 (Alyousif, 2015). Perbandingan parameter kekuatan geser tanah pada kondisi tegangan total dan efektif dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 7
Keruntuhan Mohr-Coulomb Triaksial CU *Singlestage*



Gambar 8
Keruntuhan Mohr-Coulomb Triaksial CU Multistage

Tabel 5
Perbandingan Parameter Kekuatan Geser Tanah Triaksial CU (*Singlestage* Vs *Multistage*)

Tegangan total	<i>Singlestage</i>	<i>Multistage</i>	Persentase kesesuaian
c (kg/cm ²)	0,092	0,094	102,17 %
φ (°)	17,83	17,65	98,99 %
Tegangan efektif	<i>Singlestage</i>	<i>Multistage</i>	Persentase kesesuaian
c' (kg/cm ²)	0,125	0,103	82,40 %
φ' (°)	29,68	31,24	105,26 %

Kesimpulan

Penggunaan input regangan (∞) menggunakan persamaan hiperbolik Kondner dengan cenderung menghasilkan prediksi nilai tegangan yang lebih besar dari hasil eksperimental. Pada input regangan (5%, 10%, 15% dan 20%) yang dievaluasi, diperoleh pada regangan 15% prediksi nilai tegangan yang dihasilkan lebih mendekati nilai hasil eksperimental dengan kesesuaian rata-rata 99,34% untuk prediksi nilai ($\sigma_1 - \sigma_3$) dan 101,18% untuk prediksi nilai (Δu). Untuk kekuatan geser tanah yang dihasilkan menggunakan metode ini diperoleh hasil yang cukup akurat pada kondisi tegangan total dengan kesesuaian rata-rata 102,17% untuk c dan 98,99% untuk ϕ . Namun untuk kondisi tegangan efektif, kekuatan geser yang diperoleh memadai dengan kesesuaian rata-rata 82,40% untuk nilai c' dan 105,26% untuk nilai ϕ' . Dari hasil perbandingan prediksi nilai dan kekuatan geser tanah tersebut disimpulkan bahwa pembatasan regangan aksial 4% pada pengujian triaksial CU *multistage* dan prediksi nilai pada regangan 15% memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang mendekati hasil eksperimental.

BIBLIOGRAFI

- Alyousif, M. (2015). *Development Of Computer-Controlled Triaxial Test Setup And Study On Multistage Triaxial Test On Sand*. [Google Scholar](#)
- Banerjee, A., Puppala, A. J., Patil, U. D., Hoyos, L. R., & Bhaskar, P. (2018). A Simplified Approach To Determine The Response Of Unsaturated Soils Using Multistage Triaxial Test. In *IFCEE 2018* (Pp. 332–342). [Google Scholar](#)
- Dexing, L., Enyuan, W., Xiangguo, K., Xiaoran, W., Chong, Z., Haishan, J., Hao, W., & Jifa, Q. (2018). Fractal Characteristics Of Acoustic Emissions From Coal Under Multi-Stage True-Triaxial Compression. *Journal Of Geophysics And Engineering*, 15(5), 2021–2032. [Google Scholar](#)
- Effio, C. L., Wenger, L., Ötes, O., Oelmeier, S. A., Kneusel, R., & Hubbuch, J. (2015). Downstream Processing Of Virus-Like Particles: Single-Stage And Multi-Stage Aqueous Two-Phase Extraction. *Journal Of Chromatography A*, 1383, 35–46. [Google Scholar](#)
- Hou, B., Chen, M., Wan, C., & Sun, T. (2017). Laboratory Studies Of Fracture Geometry In Multistage Hydraulic Fracturing Under Triaxial Stresses. *Chemistry And Technology Of Fuels And Oils*, 53(2), 219–226. [Google Scholar](#)
- Khosravi, A., Alsherif, N., Lynch, C., & McCartney, J. (2012). Multistage Triaxial Testing To Estimate Effective Stress Relationships For Unsaturated Compacted Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 35(1), 128–134. [Google Scholar](#)
- Minaeian, V., Dewhurst, D. N., & Rasouli, V. (2020). An Investigation On Failure Behaviour Of A Porous Sandstone Using Single-Stage And Multi-Stage True Triaxial Stress Tests. *Rock Mechanics And Rock Engineering*, 53(8), 3543–3562. [Google Scholar](#)
- Nam, S., Gutierrez, M., Diplas, P., & Petrie, J. (2011). Determination Of The Shear Strength Of Unsaturated Soils Using The Multistage Direct Shear Test. *Engineering Geology*, 122(3–4), 272–280. [Google Scholar](#)
- Prakash, S., Myers, M. T., & Hathon, L. A. (2018). Analysis Of Damage Induced During A Multi-Stage Triaxial Test Using Acoustic Emissions. *52nd US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. [Google Scholar](#)
- Ravi Sharma, M. S., Baxter, C. D. P., Moran, K., Vaziri, H., & Narayanasamy, R. (2011). Strength Of Weakly Cemented Sands From Drained Multistage Triaxial Tests. *Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, 137(12), 1202–1210. [Google Scholar](#)
- Sharma, S., Dwivedi, V. K., & Pandit, S. N. (2014). Exergy Analysis Of Single - Stage And Multi Stage Thermoelectric Cooler. *International Journal Of Energy*

Research, 38(2), 213–222. [Google Scholar](#)

Wild, K. M., Barla, M., Turinetti, G., & Amann, F. (2017). A Multi-Stage Triaxial Testing Procedure For Low Permeable Geomaterials Applied To Opalinus Clay. *Journal Of Rock Mechanics And Geotechnical Engineering*, 9(3), 519–530. [Google Scholar](#)

Xu, Y., Wu, S., Williams, D. J., & Serati, M. (2018). Determination Of Peak And Ultimate Shear Strength Parameters Of Compacted Clay. *Engineering Geology*, 243, 160–167. [Google Scholar](#)

Yang, S.-Q., Tian, W.-L., Jing, H.-W., Huang, Y.-H., Yang, X.-X., & Meng, B. (2019). Deformation And Damage Failure Behavior Of Mudstone Specimens Under Single-Stage And Multi-Stage Triaxial Compression. *Rock Mechanics And Rock Engineering*, 52(3), 673–689. [Google Scholar](#)

Yawei, L., Ziyuan, W., & Ahmad, G. (2020). Single Stage And Multistage Confined Brazilian Test. *54th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. [Google Scholar](#)

Copyright holder:

Agus Pronoto, Roesyanto, dan Rudi Iskandar (2021)

First publication right:

Journal Syntax Admiration

This article is licensed under:

