

ANALISIS PENGARUH VARIASI KADAR AIR TERHADAP SWELLING VOLUMETRIK TANAH LEMPUNG EKSPANSIF (Studi Kasus KM 51 Ruas Jalan Tirtoyudo Kabupaten Malang)

Nur Asri Ainun Uba^{1*}, Agus Tugas Sudjianto¹, Aji Suraji¹

¹) Program Studi Teknik Sipil, Universitas Widyagama Malang, Kota Malang

*Email Korespondensi: ainunuba594@gmail.com

ABSTRAK

Negara Indonesia memiliki dua musim yaitu musim hujan dan kemarau (panas), pada musim panas tanah mengalami penyusutan dan pada musim hujan tanah mengalami pengembangan (swelling), hal tersebut merupakan ciri dari tanah ekspansif, Tirtoyudo ialah salah satu kecamatan di kabupaten Malang yang memiliki jenis tanah lempung ekspansif, perilaku potensi swelling sangat dipengaruhi oleh variasi kadar air, maka dari itu tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui perilaku potensi swelling volumetrik terhadap variasi kadar air tanah lempung ekspansif di KM 51 ruas jalan Tirtoyudo. Metode yang digunakan yaitu pengukuran tanpa beban dengan jangka sorong digital, tanah di cetak lalu di ukur ke arah vertikal dan horizontal. Hasil dari uji pemadatan dijadikan nilai acuan untuk menentukan rancangan penelitian dengan berat volume kering tanah yang sama 1,227 gr/cm³ namun variasi kadar air yang berbeda yaitu menggunakan kadar air optimum 43,30 % diambil 2 variasi dari bawah 20,00 %, 30,00% dan 2 variasi dari atas 50,00 % dan 60,00%, maka total variasi dalam penelitian ini yaitu 5 variasi kadar air. Hasil dari penelitian menunjukkan swelling tertinggi ialah 13,39 % pada variasi kadar air 20,00 % dan swelling terendah ialah 1,10 % pada variasi kadar air 60,00 %.

Kata kunci : Variasi Kadar Air, Swelling Volumetrik, Kepadatan Tanah, Tanah Ekspansif, Pengukuran Jangka Sorong Digital.

ABSTRACT

Indonesia has two seasons summer and rainy, in summer, the soil was shrinking while in the rainy season the soil was swelling. These are the characteristics of the expansive soil. Tirtoyudo is the one of the sub-districts in Malang that has the expansive clay. The swelling potential behavior is strongly influenced by the variations of water content. Therefore, the purpose of this study is to determine the volumetric swelling potential behavior to the variations of water content in the expansive clay at KM 51 on the Tirtoyudo road section. The method used is a no-load measurement with a digital caliper, the soil is printed and measured in the vertical and horizontal directions. The results of the compaction test were used as the references value to determine the research design with the same dry volume weight of the soil, namely 1,227 gr/cm³ but in the different water variations, namely using an optimum water content of 43.30%, 2 variations were taken from below 20.00%, 30, 00% and 2 variations above 50.00% and 60.00%. The results of the study showed that the highest swelling was 13.39% at 20.00% water content variation and the lowest swelling was 1.10% at 60.00%.

Key words : Variation of Moisture Content, Volumetric Swelling, soil density, Expansive Clay, digital caliper measurement.

PENDAHULUAN

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan - endapan yang *relative* lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*), [1]

Jika diketahui jenis mineralnya, tanah lempung dapat dibagi menjadi dua yaitu lempung ekspansif dan lempung non ekspansif, pada mineral tanah ekspansif mengandung sifat kembang susut yang sangat tinggi ketika mengalami perubahan pada kadar air. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan tanah ekspansif mengandung kandungan jenis mineral tertentu yang mana nantinya dapat menyebabkan tanah ekspansif memiliki luas permukaan cukup besar dan mudah menyerap air pada tanah dalam jumlah yang banyak, [2].

(Gunarso dan Arbino, 2020) menjelaskan bahwa tanah ekspansif ialah tanah yang apabila terkena air maka tanah akan mengalami *swelling* begitu juga sebaliknya tanah yang mulanya basah jika mengering atau kekurangan kadar air maka tanah akan mengalami penyusutan. Tanah tersebut mengandung kadar lempung yang cukup tinggi dengan mineral *montmorillonite* yang berpotensi *swelling* tinggi. Tanah ekspansif umumnya berjenis lempung dengan plastisitas tinggi (CH) yang memiliki rentang batas cair dengan batas plastis yang besar (indeks plastisitas yang tinggi >30%). [3]

Banyak faktor yang diakibatkan oleh terjadinya kembang susut tanah ekspansif, menurut Nelson dan Milar, (1992) dalam Sudjianto (2015) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kembang susut tanah ekspansif yaitu jenis mineral, kimia air tanah, plastisitas, kadar air awal, cuaca dan berat volume kering atau kepadatan tanah. [4]

Retakan pada dinding rumah, kenaikan pondasi dan jalan yang bergelombang maupun mengalami retak-retak sepanjang jalan raya hal tersebut tidak lain merupakan kondisi yang disebabkan oleh tanah ekspansif, [5]. Berdasarkan buku pedoman departemen pekerjaan umum, ciri-ciri kerusakan jalan raya pada bangunan yang dibangun di atas tanah ekspansif ialah sebagai berikut :

1. Retakan

Retak pada perkerasan terjadi akibat penyusutan maupun pengembangan tanah. Retak ini merupakan retak memanjang yang dimulai dari tepi bahu jalan menuju ke tengah perkerasan.

2. Kenaikan tanah

Kenaikan tanah atau cembungan perkerasan jalan dapat diakibatkan oleh pengembangannya tanah ekspansif yang berada di bawah perkerasan.

3. Penurunan

Penurunan permukaan perkerasan jalan dapat terjadi akibat berubahnya sifat tanah dasar menjadi tanah lunak atau terjadinya pengecilan volume akibat proses penyusutan

4. Longsor

Air permukaan yang berada di atas perkerasan dapat masuk ke dalam celah yang besar, sehingga tanah menjadi jenuh air dan kadar air di dalamnya meningkat. Adanya peningkatan kadar air pada tanah ekspansif, maka kuat geser tanah semakin berkurang dan akan mencapai kuat geser kritis. Semakin berkurang kuat geser tanah akan berakibat semakin berkurang pula daya dukung, Sehingga pada saat faktor keamanan mendekati satu, tanah dasar tidak mampu lagi menahan beban di atas dan longsor pun tidak dapat dihindari, [6]

Salah satu kerusakan jalan yang terjadi akibat tanah ekspansif di pulau Jawa yaitu pada ruas jalan Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Kerusakan yang dialami ialah tanah mengali retak-retak pada permukaan jalan. kerusakan jalan di lokasi Tirtoyudo dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerusakan di lokasi KM 51 Ruas Jalan Nasional Tirtouido

Pengembangan (*swelling*) pada tanah yang bersifat ekspansif merupakan pembesaran volume akibat penambahan kadar air. Potensi pembesaran volume tergantung dari peningkatan kadar air, indeks plastisitas, gradasi dan tekanan overburden, [7]. Model kembang satu dimensi (arah vertikal) tentunya tidak akan cocok bila permukaan tanah lempung ekspansif miring, bila tanah lempung berada di lapangan dinding penahan tanah, atau di tepi dinding satu terowongan. Pada kasus tersebut, *swelling* arah horizontal sangat menonjol akibat gerakan dinding [8].

Mekanisme kembang pada tanah ekspansif di lapangan terjadi pada tiga dimensi atau yang dikenal dengan kembang volumetrik. Taboada, (2003) dalam Sudjianto, (2015) menyatakan ketika tanah dalam keadaan kering menjadi basah, tanah akan mengalami kembang volumetrik. Pada tahap selanjutnya, akibat pembasahan atau meningkatnya kadar air dalam tanah lempung, maka kembang volumetrik tanah lempung hanya satu dimensi, menyebabkan naiknya permukaan tanah lempung [4].

Perhitungan besarnya *swelling* bebas untuk masing-masing arah dihitung dengan persamaan berikut:

Perhitungan hasil uji *swelling* vertikal :

$$Swelling \text{ vertikal} = \frac{\text{tinggi akhir} - \text{tinggi awal}}{\text{tinggi awal}} \times 100\% \quad (1.a)$$

Perhitungan hasil uji *swelling* horizontal

$$Swelling \text{ horizontal} = \frac{\text{diameter akhir} - \text{diameter awal}}{\text{diameter awal}} \times 100\% \quad (1.b)$$

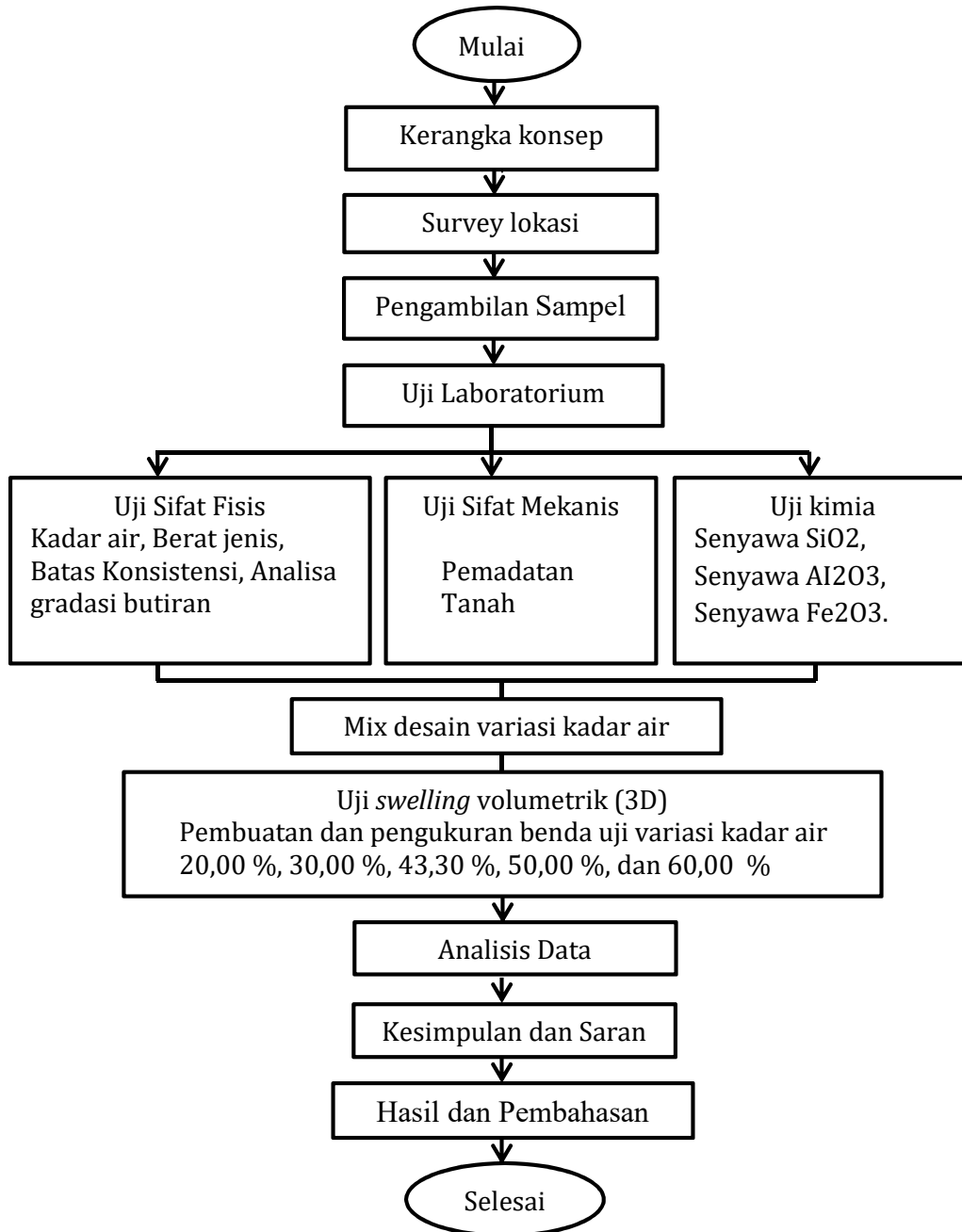
Perhitungan uji *swelling* volumetrik :

$$Swelling \text{ volumetrik} = \frac{\text{volumetrik akhir} - \text{volumetrik awal}}{\text{volumetrik awal}} \times 100\% \quad (1.c)$$

METODE PENELITIAN

Rancangan kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi ; membuat kerangka konsep, survey lokasi, pengambilan sampel, uji laboraterium yang terdiri dari 3 jenis pengujian yaitu ; uji sifat fisis dan mekanis, uji kimia dan uji *swelling* volumetrik. Uji sifat fisis dan mekanis tanah sebagai berikut ; Uji kadar air (*Natural water content*) dengan metode ASTM D.2216-90, Uji berat jenis (*Specific gravity*) dengan metode ASTM D.854-58

Uji batas konsistensi tanah (*Atterberg limit*) dengan metode ASTM D.4318-00, Uji gradasi butiran (*Grain size analysis*) dengan metode ASTM D.422-72, Uji kepadatan (*Proctor*) dengan metode ASTM D.698-91. Uji kimia tanah lempung ekspansif dilakukan di Laboratorium Sentral (FMIPA) Universitas Negeri Malang. Uji kimia menggunakan metode *sinar-x flourosence*. Uji *swelling* volumetrik (3D) ialah uji utama dalam penelitian ini dimana pengukuran tanah lempung ekspansif menggunakan metode kembang volumetrik tanpa beban dengan jangka sorong digital. Penelitian uji *swelling* dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang. Secara singkat diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah lempung yang diambil dari lokasi KM 51 ruas jalan Tirtoyudo kabupaten Malang, provinsi Jawa Timur dapat dirangkum dalam Tabel 1

Tabel 1. Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif Tirtoyudo

Pemeriksaan			Hasil
Kadar air tanah asli		%	58.13
Berat jenis tanah		Gs	2.560
Batas konsistensi tanah	Batas cair (LL)	%	79.01
	Batas plastis (PL)	%	44.73
	Indeks Plastisitas (IP)	%	34.28
Analisa ukuran butiran	kandungan <i>Gravel</i>	%	0.00
	kandungan <i>Sand</i>	%	2.75
	kandungan <i>Silt</i>	%	72.59
	kandungan <i>Clay</i>	%	24.84
	Lolos 2.00 mm	%	100.00
	Lolos 0.42 mm	%	99.58
	Lolos 0.074 mm	%	97.43
Pemadatan	Berat kering maksimum	gr/cm ³	1.227
	kadar air optimum	%	43.30
Klasifikasi tanah	Sistim (AASHTO)		A-7-5
	Sistim <i>unified</i>		CH

Dari tabel 1 diatas menunjukkan hasil uji sifat fisis dan mekanis pada tanah lempung ekspansif Tirtoyudo dapat dilihat bahwa tanah di lokasi Tirtoyudo merupakan tanah lempung ekspansif yang sangat tinggi dengan indeks plastisitas = 34,28 % > 30 %. Hasil Uji kimia dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Kandungan Kimia Tanah Ekspansif Tirtoyudo

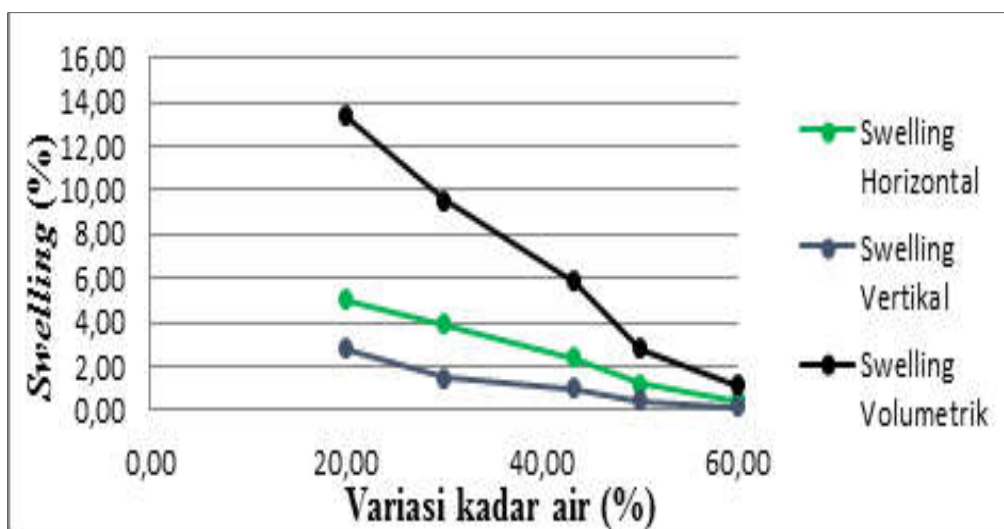
No	Kandungan Kimia	Hail (%)
1	SiO ₂	29,1
2	Al ₂ O ₃	20
3	Fe ₂ O ₃	46,48
4	CaO	0,76
5	TiO ₂	2,19
6	V ₂ O ₅	0,081

Kandungan kimia pada Tabel 2 dalam beberapa struktur mineral, di mana oksida SiO₂ berada dalam struktur mineral *kaolinite* dan *illite*, dan *montmorilonite*, yang memiliki nilai oksida 29,1 %, oksida Al₂O₃ berada dalam struktur mineral *kaolinite*, *illite* dan *montmorilonite* dengan nilai oksida 20 %, oksida Fe₂O₃ berada dalam struktur mineral *illite* dengan nilai oksida yang dihasilkan sebesar 46,48 % dari hasil analisa kandungan kimia maka tanah lempung ekspansif di lokasi KM 51 pada ruas jalan Tirtoyudo merupakan tanah yang mengandung kandungan mineral - mineral yang dapat menyebabkan tanah mengalami kembang susut.

Hasil dari uji *swelling* pada tiap-tiap benda uji diambil nilai rata-rata sebagai kesimpulan dalam penelitian ini, hasil dari uji *swelling* dapat dilihat pada Tabel 3. dan Gambar 4.

Tabel 3. Hasil Rata-Rata Variasi Kadar Air

No	Variasi kadar air (%)	Swelling Horizontal (%)	Swelling Vertikal (%)	Swelling Volumetrik (%)
1	20.00	5.03	2.79	13.39
2	30.00	3.88	1.48	9.51
3	43.30	2.40	0.98	5.88
4	50.00	1.18	0.44	2.83
5	60.00	0.45	0.19	1.10



Gambar 4. Grafik Hasil Rata-Rata Variasi Kadar Air

Pada hasil penelitian uji swelling volumetrik terlihat bahwa daerah pada kadar air yang paling sedikit mengalami nilai *swelling* yang sangat tajam, hal ini dapat disimpulkan bahwa daerah kritis atau daerah yang mengalami perubahan volume yang akan menimbulkan kerusakan pada ruas jalan dan bangunan ringan adalah tanah pada daerah yang kadar air yang paling rendah. Nilai *swelling* volumetrik terbesar yaitu 13,39 % pada kadar air 20,00 % di mana tanah dalam kondisi kadar air terendah, dan nilai *swelling* volumetrik terkecil yaitu 1,10 % pada kadar air 60,00 %.

Hasil uji analisis anova satu faktor pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil Anova Satu Arah

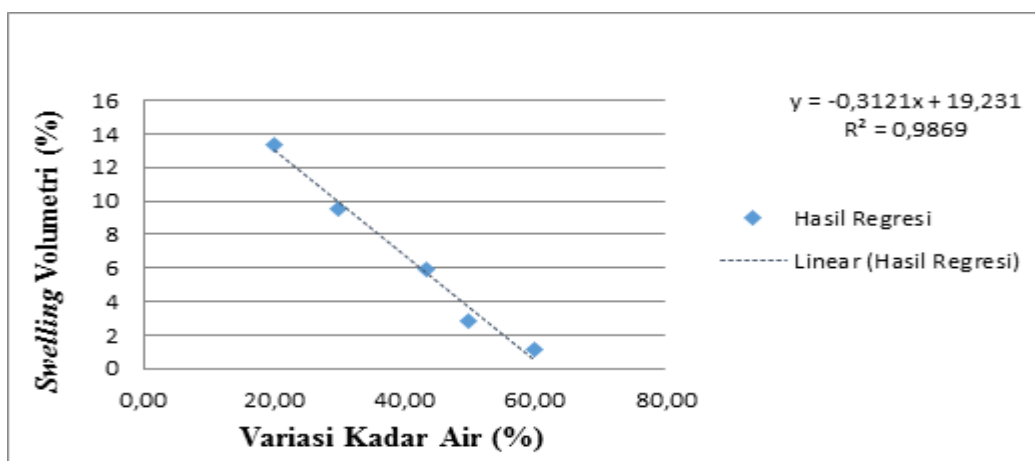
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	2910.095	1	2910.095	21.0068	0.001794	5.317655
Within Groups	1108.249	8	138.5311			
Total	4018.343	9				

Pada tabel 4 dapat dilihat bagian *p value* $0,001794 \leq 0,05 = H_0$ ditolak dan H_1 diterima, maka pada rancangan penelitian ini yaitu pengaruh variasi kadar air terhadap nilai *swelling* volumetrik terjadi perbedaan yang signifikan.

Hasil uji analisis regresi sederhana pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 5

Tabel 5. Hasil Anova Regresi Linier Sederhana

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
<i>Intercept</i>	19.23059 876	0.893761 665	21.51 647	0.000 22	16.38625 025	22.07494 727	16.38625 025	22.07494 727
<i>X Variable 1</i>	- 0.312065 882	0.020751 636	- 15.03 81	0.000 638	- 0.378106 849	- 0.246024 915	- 0.378106 849	- 0.246024 915



Gambar 5 Grafik Hasil Uji Regresi Linier Sederhana

Dari Gambar Tabel 6 dan Gambar 5 diatas menunjukkan bahwa persamaan regresi yang didapat dari hasil perhitungan ialah sebagai berikut : $Y = -0,3121 X + 19,231 + e$ dan nilai $R = 0,9869 = 98,69 \%$

KESIMPULAN

Dari penelitian sifat fisis tanah diperoleh batas cair (LL) = 79,01 %, batas plastis (PL) = 34,28 % dan indeks plastisitas (IP) = 44,73 %. Menurut sistem klasifikasi AASHTO yaitu termasuk kelompok A-7-5 (45). Sedangkan menurut sistim klasifikasi *Unified* termasuk golongan CH sehingga tanah tergolong ke dalam sistim klasifikasi *swelling* tingkat tinggi. Dari penelitian uji sifat mekanis tanah yaitu uji pemadatan diperoleh berat kadar air optimum ($W_{optimum}$) = 43,30 % dan berat volume kering maksimum (*dry density*) = 1,227 gr/cm³. Hasil uji kimia pada penelitian ini menunjukkan sampel tanah mengandung nilai oksida SiO₂ = 29,1 %, Al₂O₃ = 20 % dan Fe₂O₃ = 46,48 % dari rumus mineral *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite* yang ada, maka kandungan kimia tersebut menunjukkan tanah tersebut ialah jenis tanah ekspansif yang dapat menyebabkan tanah mengalami kembang susut. *swelling* tertinggi ialah 13,39 % pada kadar air 20,00 % dan *swelling* terendah ialah 1,10 % pada kadar air 60,00 %. Berdasarkan hasil penelitian rancangan percobaan dengan analisis anova *single* faktor, maka variasi kadar terjadi perbedaan signifikan terhadap nilai *swelling* volumetrik dengan nilai $p\text{ value } 0,001794 \leq 0,05$. Pada penelitian regresi linier sederhana dapat disimpulkan bahwa variabel variasi kadar air berpengaruh negatif terhadap *swelling* volumetrik dengan nilai koefisien sebesar -0,3121 (-31 %) tetapi berpengaruh signifikan dengan nilai $P\text{ value } 0,0063 \leq 0,05$ dan pada nilai koefisien (R) = 0,098 (98%) hal ini menunjukkan pengaruh variasi kadar terhadap *swelling* volumetrik berpengaruh sebesar 98 %.

REFERENSI

- [1] A. T. Sudjianto, in *Mekanika Tanah 1*, Cetakan pertama., Malang: PT Cita Intrans Selaras (Citila), 2020, p. 142.
- [2] A. Gunarso, R. Nuprayogi, and B. Pardoyo, "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Campuran Larutan NaOH 7,5 %," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 6 No 2, p. 8, 2017.
- [3] Gunarso and R. Arbiano, "Prediksi Potensi Mengembang Tanah dengan Parameter Kadar Lempung," *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, vol. 25 No. 2, p. 11, Jul. 2020.
- [4] A. T. Sudjianto, *Karakteristik dan pengukuran perubahan volume*, vol. 162. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2015.
- [5] I. G. A. A. I. Lestari, "Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif," *GaneÇ Swara*, vol. 8 No. 2, p. 4, Sep. 2014.
- [6] F. Chasanah, "Kerusakan Peningkatan Jalan Akibat Kerusakan Struktur Perkerasan di Atas Tanah Ekspansif," *Jurnal Teknisia*, vol. xx No. 1, p. 10, Mei 2015.
- [7] W. I. Retnoningtyas, Z. Zakaria, and E. Sukiyah, "Potensi Mengembang Tanah Lempung di Wilayah Kampung Cigantung, Desa Cimuncang, Kecamatan Malausma, Kabupaten Majalangka, Provisinsi Jawa Barat.," *Bulletin of Scientific Contribution*, vol. 15 No. 2, Agustus 2017.
- [8] A. T. Sudjianto, "Pemodelan Perilaku Kembang Tiga Dimensi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Oedometer Modifikasi," p. 34, 2012.