

Pengaruh Airlaut terhadap Paramater Kuat Geser Endapan Aluvial di Kota Semarang dan Dampaknya terhadap Daya Dukung Wilayah Kota***The Effect of Seawater on the Shear Strength Parameters of the Alluvial Deposit in Semarang City and Its Impact to the Regional Bearing Capacity***

Dian Agus Widiarso, Tri Winarno dan Nurakhmi Qadaryati

Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

e-mail: dianagus@lecturer.undip.ac.id

Naskah diterima 7 Februari 2022, selesai direvisi 31 Maret 2022, dan disetujui 4 April 2022

ABSTRAK

Perencanaan kawasan perkotaan memerlukan pertimbangan kondisi geologi teknik, khususnya kestabilan tanah untuk mendukung bangunan dan infrastruktur penting di atasnya. Daerah penelitian berada pada endapan aluvial yang belum terkonsolidasi dan rawan amblesan. Daya dukung endapan aluvial dipengaruhi oleh kekuatan gesernya (kohesi dan sudut geser dalam) yang rentan mengalami penurunan kuat geser akibat pengaruh airlaut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai sudut geser dalam dan kohesi antara daerah yang terkena pengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian kuat geser dan metode statistik untuk uji beda dengan uji *Analysis of variance* (Anova) dan hasil uji metode *LSD* (*Least Significance Different*). Hasil uji Anova nilai sudut geser dalam diketahui nilai F_{hitung} sebesar 19,379 dengan signifikansi 0,000, dan hasil *LSD* diketahui selisih 11,1414 dengan signifikansi perbedaan 0,000. Terdapat perbedaan antara sudut geser dalam area terkena pengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut. Hasil uji Anova nilai kohesi diketahui nilai F_{hitung} sebesar 1,003 dengan signifikansi 0,381. Hasil metode *LSD* menunjukkan selisih 0,08986 dengan signifikansi perbedaan 0,246. Adanya signifikansi selisih yang lebih besar dari 0,025. Tidak terdapat perbedaan nilai kohesi antara area terkena pengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut. Perbedaan nilai sudut geser dalam dalam sebuah litologi di daerah terkena airlaut dan tidak terkena airlaut perlu mendapatkan perhatian dalam sebuah perencanaan infrastruktur bangunan karena berpengaruh dalam menentukan faktor daya dukung tanah di daerah tersebut.

Kata kunci: daya dukung tanah, infrastruktur, kohesi, sudut geser dalam**ABSTRACT**

Urban area plan is dependent to geotechnical aspects, particularly the soil stability that supports any buildings and important infrastructure on it. The research location took place on an area that is composed of alluvium in Semarang City, which is known to be unconsolidated, including soil, and prone to subsidence. Soil stability is affected by cohesion and internal friction angle that is susceptible to seawater intrusion that leads to the decrease of cohesion. The study was conducted to determine the difference in Internal Friction Angle and Cohesion values on both areas exposed to seawater and not exposed to seawater. The method used is the analysis of variance (Anova) test and the LSD (Least Significance Different) method. The result of the Anova test for the internal friction angle value shows an F_{count} of 19.379 with a significance of 0.000, and the result of LSD shows a difference of 11.1414 with a significant difference of 0.000. There is a difference between the Internal Friction Angle in areas exposed to seawater and not exposed to seawater. The result of the Anova test for the Cohesion value shows F_{count} value of 1.003 with a significance of 0.381. The LSD method shows a difference of 0.08986 with a significant difference of 0.246. There is a significant difference greater than 0.025. There is no difference in the values of cohesion between areas exposed to seawater and not exposed to seawater. There is a difference in the values of the internal friction angle in lithology in an area exposed to seawater and not exposed to seawater. This phenomenon needs a special attention for infrastructure planning and building because it affects the bearing capacity of the soil in the area.

Keywords: soil bearing capacity, infrastructure, cohesion, internal friction angle

PENDAHULUAN

Peristiwa masuknya airlaut ke daratan banyak terjadi di daerah kawasan pesisir pantai terutama yang memiliki topografi landai. Indikasi masuknya airlaut ke daratan adalah dengan naiknya kadar klorida di dalam airtanah. Penelitian yang dilakukan di Kota Semarang menunjukkan peningkatan kadar klorida cukup tinggi di Panggung Kidul, yang membuktikan adanya intrusi airlaut yang disebabkan oleh peningkatan jumlah sumur bor di daerah tersebut (Suhartono, dr., 2013). Hal lain yang menyebabkan masuknya airlaut adalah terjadinya banjir pasang (rob) di mana pasang yang tinggi menyebabkan airlaut masuk ke daratan (Oktavia dr., 2012). Kejadian intrusi airlaut dan banjir pasang menyebabkan penyebaran air payau di beberapa tempat pada litologi lempung yang terkonsolidasi normal (Widiarso dr., 2019). Kawasan pesisir pantai yang banyak dibangun infrastruktur penting dan kawasan pemukiman mengalami kerusakan akibat kejadian masuknya airlaut tersebut (Muslim dr., 2019; Marfai dan King, 2008). Kondisi tersebut menjadi rawan terhadap terjadinya peristiwa amblesnya jalan, keruntuhan bangunan dan lain sebagainya.

Perencanaan suatu kawasan perkotaan dilakukan dengan melakukan pemilihan lokasi yang tepat disesuaikan dengan kondisi tanah yang paling baik dan merupakan keputusan yang harus diambil ketika melakukan perencanaan konstruksi (Manimaran dr., 2019). Perhitungan kestabilan dinding penahan tanah untuk menahan geser tanah dan dimensi fondasi membutuhkan penyelidikan kuat geser tanah yaitu nilai sudut geser dalam dan kohesi. Nilai-nilai tersebut berguna sebagai masukan dalam studi kelayakan dan analisis daya dukung tanah untuk mengetahui gambaran aman atau tidaknya daerah bersangkutan bila dikembangkan menjadi sebuah kawasan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan nilai sudut geser dalam dan kohesi antara daerah terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut yang akan bermanfaat dalam perencanaan pembangunan di daerah tersebut.

Perencanaan struktur bangunan memerlukan data sifat fisik dan keteknikan tanah yang diperoleh berdasarkan beberapa uji geoteknik dalam perencanaan konstruksi (Veerasingam dr., 2014; Liu dr., 2011; Bo dr., 2015). Uji untuk mengetahui kondisi tanah adalah uji kekuatan geser, daya dukung tanah, dan kejadian penurunan tanah (Bowles, 2013). Salah satu data tanah yang diperlukan untuk menentukan daya dukung tanah adalah parameter kuat geser tanah yang terdiri atas nilai sudut geser dalam dan nilai kohesi (Nugraha, 2014). Nilai-nilai tersebut dapat diperoleh dari pengukuran sifat mekanika tanah melalui uji geser langsung (*direct shear test*).

Hasil uji laboratorium sudut geser dalam dan kohesi digunakan dalam penentuan daya dukung tanah sebagai kemampuan tanah dalam mendukung beban fondasi dan beban bangunan lainnya yang bekerja di atasnya (Ishibashi 2010, Hardiyatmo, 2003). Muda (2016) menyatakan bahwa daya dukung tanah yang baik mampu memikul beban struktur yang disalurkan oleh fondasi, sehingga fondasi mengalami penurunan yang masih berada dalam batas toleransi. Evaluasi terhadap daya dukung tanah harus dilakukan dalam penelitian geoteknik dan struktur bangunan dalam merancang fondasi (Das dan Sobhan, 2018). Daya dukung tanah dapat dihitung dengan data hasil uji laboratorium berdasarkan salah satu metode yang dikemukakan oleh Terzaghi dan Meyerhof (Chairullah, 2013). Terzaghi (1943) merumuskan daya dukung untuk fondasi dangkal dengan lebar fondasi (B) dan kedalaman (D_f) di bawah permukaan tanah dengan mempertimbangkan faktor nilai kohesi tanah, kedalaman tanah, dan berat tanah. Rumusnya dinyatakan sebagai berikut:

Alas fondasi berbentuk memanjang:

$$q_u = c N_c + \gamma D_f N_q + 0.5 B N_\gamma \dots\dots\dots (1)$$

Alas fondasi berbentuk segi empat:

$$q_u = 1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.4 B N_\gamma \dots\dots\dots (2)$$

Alas fondasi berbentuk lingkaran:

$$q_u = 1.3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0.3 B N_\gamma \dots\dots\dots (3)$$

Notasi q_u adalah daya dukung tanah dengan satuan kPa, kN/m², c adalah kohesi dengan satuan kPa, kN/m², γ adalah berat isi tanah dengan satuan kN/m³, D_f adalah kedalaman fondasi dengan satuan m, B adalah lebar fondasi atau timbunan dengan satuan m. N_c , N_q , N_γ adalah faktor daya dukung tanah dengan nilai bergantung pada besarnya sudut geser dalam (ϕ).

Proses intrusi airlaut ke dalam akuifer di daratan pada dasarnya terjadi akibat adanya proses terdesaknya air bawah tanah tawar oleh airlaut di dalam akuifer pada daerah pantai melalui sungai, kanal, saluran, rawa, ataupun cekungan lainnya yang dapat meresap dan masuk ke dalam sistem airtanah. Sebaran daerah yang sudah terdampak oleh intrusi airlaut dapat dilakukan dengan penyelidikan geolistrik pengukuran nilai daya hantar listrik (Nisa dr, 2012). Kelarutan garam pada air di dalam batuan, akan mengakibatkan meningkatnya kandungan ion dalam air, sehingga tahanan jenis suatu batuan menjadi rendah atau berfungsi sebagai konduktor (Suharyadi, 1984). Daya hantar listrik memiliki nilai yang semakin tinggi bila semakin banyak ion-ion terlarut yang dapat terionisasi. Klasifikasi kualitas airtanah yang ditetapkan oleh PAHIAA (Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin) Jakarta tahun 1986 tercantum pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Klasifikasi airtanah berdasarkan Daya Hantar Listrik (PAHIAA, 1986 dalam Widada., 2007)

DHL ($\mu\text{S/cm/cm}$)	Jenis Air
< 1.500	Tawar
1.500-5000	Tawar-Payau
5.000-15.000	Payau
15.000-50.000	Asin

Salah satu parameter penting untuk menilai kestabilan lereng dan tanah, yaitu sudut geser dalam (ϕ) (Hasan dan Rashid, 2017). Sudut geser dalam ialah sudut yang terbentuk antara

tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Semakin tahan suatu material dikenai tegangan dari luar, maka sudut geser dalamnya akan semakin besar (Haris dr., 2018). Sudut geser dalam (ϕ) memiliki besaran nilai yang terkait dengan nilai kepadatan tanah (Tabel 2).

Tabel 2. Besaran Sudut Geser Dalam Tanah (Bowles JE, 1989)

Tingkat Kepadatan	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Sangat lepas	< 30
Lepas	30 – 35
Agak padat	35 – 40
Padat	40 – 45
Sangat padat	> 45

Kohesi (c) ialah gaya tarik menarik antara partikel yang berada di dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas (Bowles, 2013). Kohesi adalah bagian yang sangat penting dari tanah yang koheren atau terikat dan terjadi di bawah pengaruh gaya elektrokimia antarpartikel (Suljić, 2013). Kohesi tanah merupakan hasil reaksi dari elemen-elemen penahan yang sangat besar dan tak terhitung jumlahnya, masing-masing dipertimbangkan dengan nilai resistansinya sendiri (Shahangian, 2011). Kohesi tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Sifat kuat geser tanah harus dipahami untuk menganalisis masalah stabilitas tanah, seperti daya dukung, stabilitas lereng, dan tekanan lateral pada struktur penahan tanah (Das dan Sobhan, 2018). Tanah yang mengalami peningkatan kadar air akan diikuti penurunan nilai kohesi tanah (Hakim dr., 2020). Kekuatan geser suatu tanah tergantung pada tahanan geser pada kontak antara partikel dan partikel yang saling terkait (Dieterich dan Kilgore, 1994). Dalam perencanaan sebuah struktur bangunan, faktor keamanan lereng semakin bertambah bila nilai kohesi dan sudut geser semakin bertambah.

METODE PENELITIAN

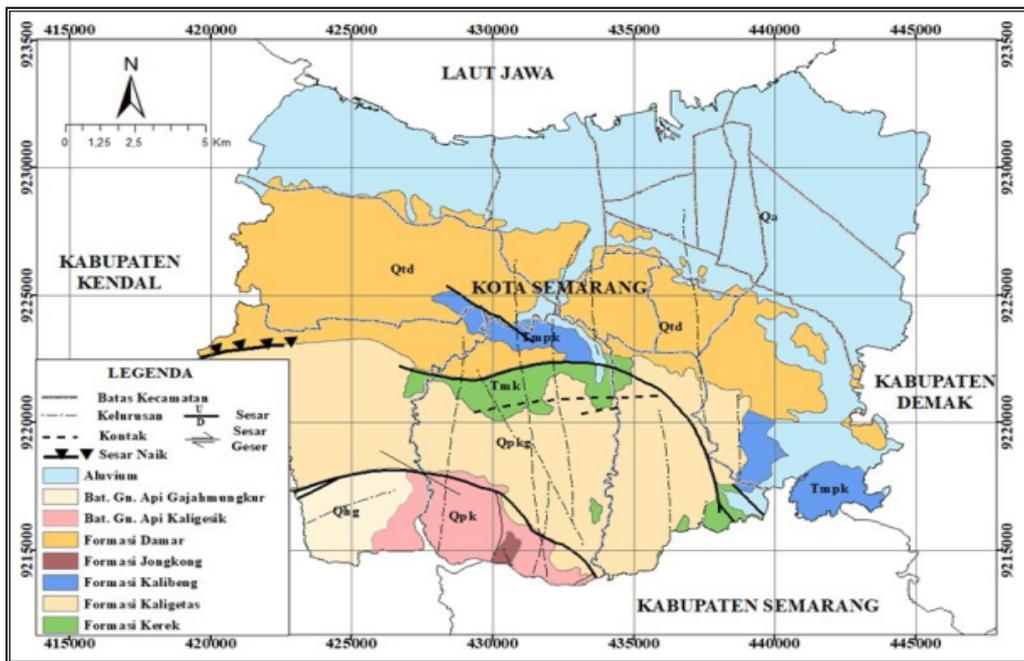
Penelitian ini dilaksanakan di Kota Semarang dengan mengacu kepada *Peta Geologi lembar*

Magelang dan Semarang (Thanden, dr. 1996) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Data yang tersedia dibagi dalam kelompok daerah terdampak pengaruh airlaut dan daerah tidak terdampak airlaut. Data yang digunakan adalah data pengukuran sudut geser dalam dan kohesi hasil *direct shear test* dengan pengujian c dan ϕ dalam kondisi *total stress* sesuai dengan ASTM D 3080. Pengujian perbedaan tiap parameter pada area intrusi dan rob dan tanpa intrusi dan rob dilakukan dengan Anova dan uji lanjutnya dengan metode *LSD (Least Significance Different)* serta perangkat lunak SPSS. Anova merupakan bagian dari metode analisis statistika yang biasanya digunakan untuk menguji perbandingan dua atau lebih rata-rata suatu data populasi atau sampel (Bustami dr.,2014). Uji Anova dilakukan untuk menguji perbedaan parameter dalam berbagai lokasi dengan dimulai tahapan penentuan hipotesis (Arifin, 2017). Dalam hal ini ada 4 kelompok, yaitu sudut geser dalam sampel dengan pengaruh airlaut (X_1); sudut geser dalam sampel tanpa pengaruh airlaut (X_2); kohesi dalam sampel dengan pengaruh airlaut (X_3); dan kohesi dalam sampel tanpa pengaruh airlaut (X_4).

Hipotesis (H_0) dalam penelitian ini adalah tidak ada perbedaan sudut geser dalam dan kohesi antara area yang terdampak airlaut dengan yang tidak terdampak airlaut ($H_0 : X_1=X_2$ dan $X_3=X_4$). Pengujian hipotesis dilakukan pada tingkat keyakinan 95% dan tingkat signifikansi (α) = 5% atau dapat dikatakan bahwa terdapat probabilitas sebesar 5% sehingga terjadi perbedaan signifikan di antara kelompok sampel ini. Perbedaan yang signifikan terjadi jika dari hasil uji Anova, nilai $F_{hitung} > F_{\alpha=0,05}$ dan menyebabkan H_0 ditolak.

Metode LSD atau uji perbedaan signifikan terkecil dimaksudkan untuk membandingkan nilai dari setiap pasangan-pasangan rata-rata (*pairs of mean*) di antara sampel yang memiliki perbedaan signifikan (Sudjana, 2009). Jika selisih rerata antara sampel tanpa pengaruh airlaut dengan yang terpengaruh airlaut nilainya lebih dari nilai LSD, maka rerata sampel dinyatakan berbeda secara signifikan. Nilai LSD untuk sampel penelitian dapat diperoleh dari persamaan:

$$LSD = t_{0,05} \sqrt{(2s^2/n)} \dots\dots\dots (4)$$



Gambar 1. Peta Geologi Regional Kota Semarang (Thanden dr., 1996).

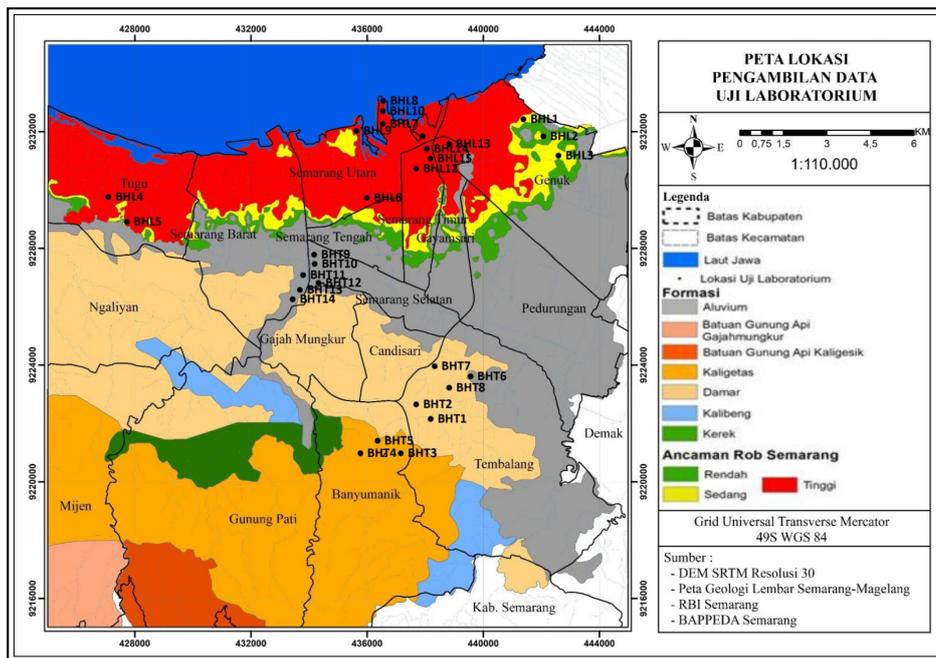
Pengumpulan data kuat geser diperoleh dari hasil penyelidikan geologi teknik ditunjukkan pada Gambar 2.

Data input untuk uji F untuk sudut geser dan kohesi ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Hasil uji laboratorium yang dibandingkan adalah nilai sudut geser dalam dan kohesi. Nilai tersebut dipisahkan antara data dari daerah terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut

berdasarkan data pengukuran daya hantar listrik (DHL) (Ardaneswari, 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sudut geser dalam pada area terpengaruh airlaut berkisar antara 1,15° sampai dengan 24,36° dengan rata-rata 8,36° seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Hasil peng-



Gambar 2. Peta Lokasi Pengambilan Data.

Tabel 3. Data Input Uji F Sudut Geser Dalam

Terpengaruh Airlaut			Tidak Terpengaruh Airlaut		
Kode	Kedalaman (m)	Nilai (°)	Kode	Kedalaman (m)	Nilai (°)
BHL1	15	6,23	BHT1	10	20,26
BHL2	15	5,43	BHT2	10	21,56
BHL3	15	6,83	BHT3	10	17,55
BHL4	15	12,14	BHT4	10	18,55
BHL5	15	14,55	BHT5	10	18,47
BHL6	15	16,22	BHT6	10	17,38
BHL7	15	1,15	BHT7	10	18,92
BHL8	15	4,71	BHT8	10	19,67
BHL9	15	1,38	BHT9	10	17,98
BHL10	15	7,12	BHT10	10	15,37
BHL11	15	24,36	BHT11	10	17,42
BHL12	15	5,73	BHT12	10	20,92
BHL13	15	6,03	BHT13	10	21,69
BHL14	15	6,92	BHT14	10	22,59

Tabel 4. Data Input Uji F Kohesi

Terpengaruh Airlaut			Tidak Terpengaruh Airlaut		
Kode	Kedalaman (m)	Nilai (kg/cm ²)	Kode	Kedalaman (m)	Nilai (kg/cm ²)
BHL1	15	0,11	BHT1	10	0,33
BHL2	15	0,13	BHT2	10	0,38
BHL3	15	0,10	BHT3	10	0,02
BHL4	15	0,19	BHT4	10	0,03
BHL5	15	0,21	BHT5	10	0,07
BHL6	15	0,11	BHT6	10	0,27
BHL7	15	0,12	BHT7	10	0,26
BHL8	15	0,26	BHT8	10	0,27
BHL9	15	0,12	BHT9	10	0,23
BHL10	15	0,65	BHT10	10	0,19
BHL11	15	0,07	BHT11	10	0,19
BHL12	15	0,07	BHT12	10	0,25
BHL13	15	0,06	BHT13	10	0,37
BHL14	15	0,06	BHT14	10	0,47

Tabel 5. Nilai Uji F Sudut Geser Dalam

Terpengaruh Airlaut (°)		Tidak Terpengaruh Airlaut (°)	
Rata-rata	8,362	Rata-rata	19,16
Minimal	1,15	Minimal	15,37
Maksimal	24,36	Maksimal	22,59

ukuran sudut geser dalam pada area tidak terpengaruh airlaut dengan 14 sampel berkisar antara 15,37° sampai dengan 15,37° dengan rata-rata 19,16°.

Hasil pengukuran kohesi pada area terpengaruh airlaut dengan 14 sampel berkisar antara 0,06 sampai dengan 0,65 dengan rata-rata 0,16 seperti ditunjukkan pada Tabel 6. Hasil pengukuran kohesi pada area tidak terpengaruh airlaut dengan 14 sampel berkisar antara 0,02 sampai dengan 0,47 dengan rata-rata 0,24.

Pengujian perbedaan sudut geser dalam dan kohesi pada area terpengaruh airlaut dan tidak

terpengaruh airlaut dilakukan dengan Anova dan uji lanjutnya dengan metode *LSD*. Hasil uji Anova dapat dilihat pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui nilai F_{hitung} sebesar 19,379 dengan signifikansi 0,000. Nilai $F_{\alpha=0,05}$ untuk df_1 (derajat kebebasan antara kondisi berbeda)=2 dan df_2 (derajat kebebasan sampel dalam kondisi sama)=26 adalah 3,396. Jadi $F_{hitung} > F_{\alpha=0,05}$ yang menyebabkan H_0 ditolak, serta menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara sudut geser pada sampel yang terpengaruh airlaut dengan sampel yang tidak terpengaruh airlaut.

Tabel 6. Nilai Uji F Kohesi

Terpengaruh Airlaut (kg/cm ²)		Tidak Terpengaruh Airlaut (kg/cm ²)	
Rata-rata	0,16	Rata-rata	0,24
Minimal	0,06	Minimal	0,02
Maksimal	0,65	Maksimal	0,47

Tabel 7. Nilai Uji F Kohesi

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	848,7	2	424,367	19,379	,000
<i>Within Groups</i>	569,4	26	21,898		
<i>Total</i>	1418,1	28			

Hasil uji beda nyata terkecil metode *LSD* pada Tabel 8 menunjukkan selisih 11,14 dengan signifikansi perbedaan 0,000 menunjukkan adanya perbedaan antara sudut geser dalam area terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut.

Pengujian perbedaan kohesi pada area terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut dilakukan dengan Anova seperti ditunjukkan pada Tabel 9 diketahui nilai F_{hitung} sebesar 1,003 dengan signifikansi 0,381. Nilai $F_{\alpha=0,05}$ untuk $df_1=2$ dan $df_2=25$ adalah 3,3852. Jadi $F_{hitung} < F_{\alpha=0,05}$ yang menyebabkan H_0 diterima, serta menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan antara kohesi pada area terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut.

Hasil uji beda nyata terkecil metode *LSD* kohesi pada Tabel 10 menunjukkan selisih antara kohesi area terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut dengan rata-rata selisih 0,69 dengan signifikansi perbedaan 0,277. Adanya signifikansi

selisih yang lebih besar dari 0,025 tersebut maka dapat disimpulkan tidak terdapat perbedaan kohesi antara area terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut.

Bila kita mengacu pada perhitungan nilai daya dukung tanah yang menggunakan persamaan Terzaghi maka akan ditemukan komponen c (kohesi) dan N_c , N_q , N_γ yang bergantung pada besarnya sudut geser dalam (ϕ). Perubahan nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam akan berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah di daerah tersebut. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan kohesi antara area terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut, serta dijumpai adanya perbedaan antara sudut geser dalam area terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut dan terpengaruh terhadap nilai sudut geser dalam. Perubahan tegangan dari luar akan menyebabkan perubahan terhadap sudut geser

Tabel 8. Metode *LSD (Least Significance Different)* Sudut Geser Dalam

<i>(I) Area</i>	<i>(J) Area</i>	<i>Mean Difference (I-J)</i>	<i>Sig.</i>
Terpengaruh Airlaut	Tidak Terpengaruh Airlaut	-11,14*	,000
Tidak Terpengaruh Airlaut	Terpengaruh Airlaut	11,14*	,000

Tabel 9. Metode *LSD (Least Significance Different)* Sudut Geser Dalam

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	,042	2	.021	1,003	.381
<i>Within Groups</i>	,527	25	.021		
<i>Total</i>	,569	27			

Tabel 10. Metode *LSD (Least Significance Different)* Kohesi

<i>(I) Area</i>	<i>(J) Area</i>	<i>Mean Difference (I-J)</i>	<i>Sig.</i>
Terpengaruh Airlaut	Tidak Terpengaruh Airlaut	-,069	,277
Tidak Terpengaruh Airlaut	Terpengaruh Airlaut	,069	,277

dalam. Bila airlaut mengisi pori-pori tanah maka hal ini akan mengubah perilaku tegangan pada tanah tersebut yang mengakibatkan perbedaan antara nilai sudut geser dalam di daerah terdampak intrusi airlaut dan daerah yang tidak terdampak airlaut. Sudut geser dalam di daerah yang terkena oleh airlaut cenderung semakin kecil. Hal ini dapat menyebabkan menurunnya nilai daya dukung pada daerah yang terkena airlaut. Banyak bangunan dan infrastruktur pada daerah yang terkena airlaut mengalami kerusakan seperti terjadinya amblesan pada daerah tersebut. Daya dukung tanah mengalami perubahan kekuatannya menjadi berkurang sehingga berakibat tidak kuat mendukung bangunan yang berada di atasnya.

KESIMPULAN

Hasil uji Anova nilai sudut geser dalam diketahui nilai F_{hitung} sebesar 19,38 dengan signifikansi 0,000, berada di daerah penolakan H_0 (Sig < 0,05). Dari hasil uji beda nyata terkecil metode *LSD* diketahui selisih 11,14 dengan signifikansi perbedaan 0,000. Hal tersebut menunjukkan adanya perbedaan antara sudut geser dalam area terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut. Hasil uji Anova nilai kohesi nilai F_{hitung} sebesar 1,003 dengan signifikansi 0,381, berada di daerah penerimaan H_0 (Sig < 0,05). Hasil uji beda nyata terkecil metode *LSD* menunjukkan selisih 0,069 dengan signifikansi perbedaan 0,277. Signifikansi selisih yang lebih besar dari 0,025 menunjukkan terdapat perbedaan kohesi antara terpengaruh airlaut dan tidak terpengaruh airlaut. Penelitian ini menunjukkan kejadian intrusi airlaut dan banjir pasang di Kota Semarang dapat mempengaruhi nilai parameter sudut geser dalam, tetapi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kohesi. Perbedaan nilai sudut geser di daerah yang terkena intrusi airlaut perlu mendapatkan perhatian dalam sebuah perencanaan infrastruktur bangunan karena berpengaruh terhadap parameter daya dukung tanah. Hal tersebut akan mempengaruhi jenis

pondasi dan infrastruktur yang diizinkan untuk dibangun di Kota Semarang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulisan ini merupakan bagian dari penelitian Riset Pengembangan dan Penerapan (RPP) Sumber Dana Selain APBN Universitas Diponegoro Tahun Anggaran 2021. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu selama proses penelitian dan selesainya penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardaneswari, T., A., 2016. *Analisis Intrusi Air Laut Menggunakan Data Resistivitas Dan Geokimia Airtanah Di Dataran Aluvial Kota Semarang*. Skripsi. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Arifin, J., 2017. *Spss 24 Untuk Penelitian dan Skripsi*. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Bo, M. W., Arulrajah, A., Sukmak, P., Horpibulsuk, S., 2015. *Mineralogy and Geotechnical Properties of Singapore Marine Clay at Changi*. *Soils and Foundation* 55, pp. 600 – 613.
- Bowles, J. E., 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J. E., 2013. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Bustami, Abdullah D., Fadlisyah, 2013. *Statistika: Terapannya Pada Bidang Informatika*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Chairullah, B., 2013. *Analisa Daya Dukung Pondasi Dengan Metoda SPT, CPT, dan Meyerhof pada Lokasi Rencana Konstruksi PLTU Nagan Raya Provinsi Aceh*. *Teras Jurnal* 3(1), 15–24.
- Das, B. M., & Sobhan, K., 2018. *Principles of Geotechnical Engineering - 9th Edition*, Cengage Learning, 1–845, Boston.
- Dieterich, J. H., & Kilgore, B. D., 1994. *Direct Observation of Frictional Contacts: New Insights for State-Dependent Properties*. Pure

- and Applied Geophysics 143 (1–3), 283–302.
- Hakim R. N., Santoso E, Prihatino G. T. J., 2020. *Studi Pengaruh Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah Pada Area Bekas Tambang di Kota Banjarbaru*. GEOSAPTA 6(1): 19-21.
- Hardiyatmo, H. C., 2003. *Mekanika Tanah II*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Haris, V. T., Lubis, F., & Winayati, W., 2018. *Nilai Kohesi Dan Sudut Geser Tanah Pada Akses Gerbang Selatan Universitas Lancang Kuning*. SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil 4(2), pp. 123–130.
- Hasan, M. M., & Rashid, A., 2017. *Determination of Friction Angle of Soil Using Double-Punch Test Approach: An experimental study*. Cogent Engineering 4(1), pp. 1–12.
- Ishibashi, I and Hazarika, H., 2010. *Soil Mechanics Fundamentals*. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York.
- Liu, S. Y., Shao, G. H., Du, Y. J., Cai, G. J., 2011. *Depositional and Geotechnical properties of Marine Clays in Lianyungang, China*. Engineering Geology 121, pp. 66 – 74.
- Manimaran, A., Seenu, S., Ravichandra, P. T., 2019. *Stimulation Behaviour Study on Clay Treated with Ground Granulated Blast Slag and Groundnutshell Ash*. International Journal of Engineering 32(5), pp. 673-678.
- Marfai, M A and King L., 2008. *Potential Vulnerability Implications If Coastal Inundation Due Sea Level Rise For The Coastal Zone Of Semarang City, Indonesia*. Jurnal Environmental Geology 54, 1235-1245.
- Muda, A., 2016. *Analisis Daya Dukung Tanah Fondasi Dangkal Berdasarkan Data Laboratorium*. Jurnal ITEKNA 16(1), 1–6.
- Muslim, D., Haerani E., Muslim F. N. and Muslim G. O., 2019. *Toward the Safe Liveable Built Environment around Ciletuh-Palabuhanratu Geopark Area in Sukabumi Regency, Indonesia*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 248.
- Nisa, K., Yulianto, T., dan Widada, S., 2012. *Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Menentukan Zona Intrusi Air Laut di Kecamatan Genuk Semarang*. Jurnal Fisika Berkala 15(1).
- Nugraha, F., 2014. *Studi Perbandingan Beberapa Rumus Empiris Parameter Kuat Geser (Cu Dan ϕ) dari Nilai N-SPT*. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil 2 (3), 498-505.
- Oktavia M. I., Parman S., Setyowati D. L., 2012. *Analisis Sebaran Genangan Pasang Air Laut (Rob) Berdasarkan High Water Level dan Dampaknya pada Penggunaan Lahan di Kecamatan Semarang Utara*. Jurnal Geo Image 1 (1), 13-20.
- Shahangian, S., 2011. *Variable Cohesion Model for Soil Shear Strength Evaluation*. Conference Proceedings: 2011 Pan-Am CGS Geotechnical 115 Conference, 64th Canadian Geotechnical Conference.
- Suhartono, E., Purwanto dan Suripin., 2013. *Model Intrusi Airlaut Terhadap Airtanah pada Akuifer di Kota Semarang*. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 2012.
- Sudjana, S. H., 1994. *Desain dan Analisa Eksperimen*. Edisi III, Tarsito, Bandung.
- Suharyadi. 1984. *Geohidrologi (Ilmu Airtanah)*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Suljić, N., 2013. *Importance of Soil Cohesion on the Stability of Retaining Reinforced Concrete Wall*. The 17th International Research/Expert Conference: "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology", 10–11.
- Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Thanden, R. E., Sumadirdja, H., Richards, P. W., dan Sutisna, K., 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa skala 1:100.000*. Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Veerasingam, S., Venkatachalapathy, R., Ramkumar, T., 2014. *Distribution of Clay Minerals in Marine Sediments Off Chennai, Bay of Bengal, India: Indicators of Sediment Sources and Transport Processes*. International Journal of Sediment Research 29 (1), 11-23.

Widada, S., 2007. *Gejala Intrusi Airlaut di Daerah Pantai Kota Pekalongan*. Ilmu Kelautan 12(1): 45-52.

Widiarso, D. A., Haryanto, W., Muslim, D., Zakaria, Z. and Iskandarsyah, T. Y., 2019. *Po-*

tential Consolidation Settlement due to Load Stresses of Building Structures. International Journal of GEOMATE. 17(60), 204-210.