



PENURUNAN PERMUKAAN TANAH DI PESISIR PANTAI UTARA JAWA, DESA BANDARHARJO DAN SEKITARNYA, KOTA SEMARANG, JAWA TENGAH.

Irfan Sukma Ramadhan^{1*}, Dicky Muslim¹, Zufialdi Zakaria¹, Tulus Pramudyo²

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

²Badan Geologi, Kementerian ESDM

*Korespondensi : irfan17004@mail.unpad.ac.id

ABTRAK

Program pembangunan di masa mendatang terutama di kota – kota besar pantai utara Jawa akan menuju kearah kawasan industri, hal ini berkaitan dengan semakin padatnya penduduk yang ada di daerah tersebut. Beberapa kota besar yang terletak di dekat pantai pada umumnya memiliki kondisi tanah yang lunak salah satunya adalah Semarang bagian utara. Semarang merupakan salah satu kota besar di pantai utara Jawa dengan penduduk yang cukup padat. Penurunan muka tanah terjadi di kota Semarang ini terutama daerah yang tersebar endapan aluvial. Tujuan diadakan penelitian ini adalah mengetahui hubungan karakteristik dari sifat fisik tanah, serta mengetahui besar penurunan tanah yang terjadi berdasarkan perhitungan. Hasil dari perhitungan penurunan tanah menunjukkan bahwa besar nilai penurunan tanah pada daerah penelitian sebesar 0.2182 meter pada BM-04, 0.1432 meter pada BM-03 dan 0.1172 meter pada BM-01.

Kata Kunci : penurunan, aluvial, tanah, Semarang.

ABSTACT

Future development programs, especially in big cities on the north coast of Java, will move towards industrial areas, this is related to the increasingly dense population in the area. Several large cities located near the coast generally have soft soil conditions, one of which is the northern part of Semarang. Semarang is one of the big cities on the north coast of Java with a fairly dense population. Land subsidence occurs in the city of Semarang, especially in areas that

are scattered with alluvial deposits. The purpose of this study was to determine the relationship between the characteristics of the physical properties of the soil, and to determine the amount of land subsidence that occurred based on calculations. The results of the calculation of land subsidence show that the value of land subsidence in the research area is 0.2182 meters on BM-04, 0.1432 meters on BM-03 and 0.1172 meters on BM-01.

Keyword : subsidence, alluvial, soil, Semarang.

1. PENDAHULUAN

Beberapa kota besar yang terletak di dekat pantai pada umumnya memiliki kondisi tanah yang lunak salah satunya adalah Semarang bagian utara. Penurunan muka tanah terjadi di kota Semarang ini terutama daerah yang tersebar endapan alluvial. Amblesan (*subsidence*) adalah turunnya permukaan tanah akibat terjadinya perubahan volume pada lapisan di bawahnya. Pesatnya pembangunan dan perkembangan wilayah membutuhkan upaya untuk mitigasinya, dalam hal ini dibutuhkan informasi mengenai geologi teknik di daerah tersebut khususnya pengetahuan mengenai karakteristik sifat keteknikan.

Kota – kota besar di pesisir pantai utara Jawa mempunyai program pembangunan untuk masa mendatang ke arah kawasan industri, kendala kewilayahan akan muncul berkaitan dengan karakteristik wilayah. Semarang merupakan salah satu kota besar di pantai utara Jawa dengan penduduk yang cukup padat terutama

Semarang bagian Utara, hal ini perlu diperhatikan karena dengan adanya kondisi ini pembangunan lebih cenderung ke arah pantai.

Wilayah pesisir Kota Semarang merupakan paparan endapan Holosen yang dicirikan oleh endapan pasang surut, endapan sungai dan endapan pematang pantai, swamp dan alluvium yang terletak pada paparan dataran Kuarter (Thaden *et al.*, 1975). Hasil kajian tentang struktur geologi dan pola morfologi menunjukkan bahwa pola penurunan tanah di kota Semarang tidak berhubungan dengan aktivitas tektonik melainkan disebabkan oleh faktor endapan *alluvium* berumur muda yang berkonsolidasi secara ilmiah (Wardana *et al.*, 2014). Penurunan tanah yang cukup besar dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan di atasnya.

Penurunan tanah ini dapat mengakibatkan banjir di daerah Semarang Utara, akibat banjir pasang (*rob*), serta terjadi berbagai macam kerusakan

bangunan, infrastruktur, dampak sosial dan ekonomi yang dirasakan oleh masyarakat. Diperlukan kajian geoteknik berkelanjutan untuk mengevaluasi besar penurunan tanah yang terjadi pada daerah Semarang.

Menurut Whittaker and Reddish dalam Metasari 2010, secara umum faktor penyebab penurunan antara lain :

- a. Penurunan tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses – proses geologi seperti siklus geologi, sedimentasi daerah cekungan dan sebagainya, beberapa penyebab terjadinya penurunan alami ini digolongkan menjadi :
 - Siklus geologi penurunan muka tanah terkait dengan siklus geologi seperti proses – proses yang terlihat dalam siklus geologi.
 - Sedimentasi daerah cekungan, biasanya daerah cekungan terdapat di daerah – daerah tektonik lempeng terutama di dekat perbatasan lempeng. Sedimen yang terkumpul di cekungan semakin lama semakin banyak dan menimbulkan beban yang bekerja semakin

meningkat, kemudian proses kompaksi sedimen tersebut menyebabkan terjadinya penurunan permukaan tanah.

- b. Penurunan tanah akibat pengambilan air tanah (*groundwater extraction*). Pengambilan air tanah secara besar – besaran yang melebihi kemampuan pengambilannya akan mengakibatkan berkurangnya jumlah air tanah pada lapisan akuifer. Hilangnya airtanah ini menyebabkan terjadinya kekosongan pori–pori tanah sehingga tekanan hidrostatik di bawah permukaan tanah berkurang sebesar hilangnya airtanah tersebut. Selanjutnya akan terjadi pemampatan lapisan akuifer
- c. Penurunan akibat beban bangunan (*settlement*), Penambahan bangunan di atas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan di bawahnya mengalami pemampatan. Proses pemampatan ini pada akhirnya menyebabkan terjadinya penurunan permukaan tanah. Secara umum penurunan tanah akibat pembebanan dapat dibagi ke dalam dua jenis, yaitu :
 - Penurunan konsolidasi yang merupakan hasil dari

perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menenpati pori-pori air tanah.

- Penurunan segera yang merupakan akibat dari deforamasi elastik tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

PERMASALAHAN

Permasalahan yang dikemukakan pada daerah penelitian adalah sebagai berikut:

- Karakteristik sifat fisik hasil uji lab pada beberapa sampel di daerah penelitian seperti angka pori dan porositas beserta besar penurunan alami yang diakibatkan oleh pemadatan stratigrafi pada daerah penelitian.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang didapatkan dari hasil pemboran geoteknik oleh Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan pada daerah penelitian. Dari hasil pengambilan data bawah permukaan

maka dibuat korelasi log-bor untuk mengetahui persebaran setiap material pada daerah penelitian. Dari pengambilan sampel tanah yang diuji di laboratorium kemudian dianalisis untuk menentukan hubungan satu sama lain pada tiap variabel yang didapatkan dari sampel uji tersebut. Untuk mengetahui nilai penurunan alami yang didapatkan, digunakan metode penjumlahan bertingkat (*Editorial Board of Manual of Engineering Geology, EBMEG, 1982 dalam Zhang, et al., 2017*) untuk menghitung pemadatan yang terjadi pada model stratigrafi.

Klasifikasi Tanah

Prinsip klasifikasi tanah dalam geologi teknik adalah untuk mengelompokkan jenis tanah yang sama. Hal ini dilakukan untuk memudahkan prosedur pengujian karakteristik tanah. Dalam bidang keteknikan sistem klasifikasi tanah yang digunakan adalah sistem klasifikasi tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (AASHTO, 1929) dan sistem klasifikasi USCS (Das, 1988). Kedua klasifikasi tanah tersebut dibuat berdasarkan distribusi ukuran butir dan batas – batas Atterberg (sifat plastisitas tanah). Konsistensi dan plastisitas dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya dipengaruhi oleh kadar air dalam tanah.

Beberapa simbol yang sering digunakan dalam klasifikasi USCS :

1. Jenis Tanah

G : *Gravel* (kerikil)

S : *Sand* (pasir)

M : *silt* (lanau)

C : *clay* (lempung)

2. Jenis Gradasi

W : *Well graded* (bergradasi baik), untuk tanah berbutir kasar.

P : *Poorly graded* (bergradasi buruk), untuk tanah berbutir kasar.

3. Konsistensi Plasititas

H : *High Plasticity* (plastisitas tinggi), untuk tanah berbutir halus.

L : *Low Plasticity* (plastisitas rendah), untuk tanah berbutir halus.

Berikut adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS (ASTM D2487-11) yang membagi tanah menjadi :

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*) adalah tanah yang memiliki ukuran butir pasir dan kerikil, kurang dari 50% dari total

berat tanah yang lolos pada saringan no. 200 (mess 200).

Simbol yang digunakan untuk pemerian tanah jenis ini adalah G (*gravel*) atau S (*sand*).

- b. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*) adalah tanah yang 50% dari berat sampel tanah nya lolos saringan no. 200 simbol yang digunakan untuk pemerian jenis tanah ini adalah M (*silt*) untuk lanau anorganik, C (*clay*) untuk lempung anorganik, O (*organic*) untuk lanau dan lempung organik dan Pt (*peat*) untuk gambut.

Penurunan Tanah

Dalam studi terbaru, persamaan mekanika tanah telah sangat umum digunakan untuk menghitung dan memperkirakan konsolidasi dan pemadatan sedimen di the Yellow River Delta (Shi *et al.* 2007; Liu and Huang 2013; Tan, Huang, and Liu 2014; Zhang *et al.* 2017). Persamaan tersebut diturunkan dari prinsip menghitung pengendapan pondasi dalam teknik geologi. Tidak seperti penyelesaian

pondasi perhitungan ini mempertimbangkan konsolidasi berat yang didorong oleh gravitasi yang mengacu kepada pengurangan volume akibat penurunan jumlah pori – pori dan pembuangan cairan karena gravitasi beban overburden. Dalam perhitungan ini digunakan metode penjumlahan bertingkat (*Editorial Board of Manual of Engineering Geology, EBMEG, 1982 dalam Zhang, et al., 2017*) untuk menghitung pemadatan model stratigrafi :

$$S' = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i$$

S merupakan total kumulatif penurunan dalam mm, S' merupakan penurunan konsolidasi primer, berikut merupakan persamaannya:

$$S_i = (\alpha_i \cdot \Delta P_i \cdot h_i) / (1 + e_o)$$

S_i adalah pemadatan setiap lapisan dalam mm, i adalah jumlah total lapisan di setiap bagian stratigrafi, α_i adalah kompresibilitas lapisan ke i dalam MPa, ΔP

adalah tegangan pada antarmuka yang lebih rendah dari setiap lapisan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Angka Pori Dengan Porositas

Hasil penelitian yang didapatkan menjelaskan bahwa adanya pengaruh nilai angka pori terhadap porositas, pada diagram hubungan angka pori dengan porositas (Gambar 2, 3 dan 4) menunjukkan garis linier yang positif dengan nilai R² yang sangat besar mendekati nilai 1 (satu) yang artinya memiliki hubungan yang sangat kuat dari kedua variabel tersebut. Semakin besar nilai angka pori maka nilai porositasnya akan semakin besar. Angka Pori merupakan banyaknya volume ruang pori yaitu perbandingan antara volume pori dengan volume butiran tanah. Secara istilah porositas adalah kemampuan tanah untuk menyerap air dan menyalurkannya. Porositas merupakan perbandingan antara volume pori dengan volume keseluruhan

dalam hal ini porositas berkaitan dengan jumlah pori yang terdapat dalam suatu volume tanah.

Penurunan Tanah

Pada tabel perhitungan penurunan tanah (Tabel 1, 2 dan 3), besar penurunan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain angka pori, tegangan pada setiap lapisan, ketebalan lapisan itu sendiri, dan kompresibilitas pada lapisan tersebut. Jika dilihat dari fraksi ukuran butir pada perhitungan tersebut, semakin kecil ukuran butir tersebut maka nilai penurunan yang terjadi akan semakin besar, begitu juga sebaliknya, jika fraksi ukuran butir semakin besar maka nilai penurunan yang terjadi akan semakin kecil.

Pada tabel 1, dapat dilihat bahwa total kedalaman lapisan yang didapatkan dari hasil pemboran pada BM-04 sebesar 120 meter dibawah permukaan tanah, yang kemudian didapatkan hasil perhitungan dari total nilai penurunan tiap lapisan adalah sebesar 0.2182 meter.

Pada tabel 2, dapat dilihat bahwa total kedalaman lapisan yang didapatkan dari hasil pemboran pada BM-03 sebesar 106 meter dibawah permukaan tanah, yang kemudian didapatkan hasil perhitungan dari

total nilai penurunan tiap lapisan adalah sebesar 0.1432 meter.

Pada tabel 3, dapat dilihat bahwa total kedalaman lapisan yang didapatkan dari hasil pemboran pada BM-01 sebesar 96 meter dibawah permukaan tanah, yang kemudian didapatkan hasil perhitungan dari total nilai penurunan tiap lapisan adalah sebesar 0.1172 meter.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hubungan angka pori dengan porositas menunjukkan garis linier yang positif dengan nilai R^2 yang sangat besar mendekati nilai 1 (satu) yang artinya memiliki hubungan yang sangat kuat dari kedua variabel tersebut. Nilai angka pori mempengaruhi nilai porositasnya, Semakin besar nilai angka pori maka nilai porositasnya akan semakin besar.
2. Besar penurunan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain angka pori, tegangan pada setiap lapisan, ketebalan lapisan itu sendiri, dan kompresibilitas pada lapisan tersebut. Jika dilihat dari fraksi ukuran butir pada perhitungan besar

penurunan, semakin kecil ukuran butir tersebut maka nilai penurunan yang terjadi akan semakin besar, begitu juga sebaliknya, jika fraksi ukuran butir semakin besar maka nilai penurunan yang terjadi akan semakin kecil..

3. Berdasarkan dari perhitungan besar penurunan tanah, pada lokasi BM-03 memiliki penurunan sebesar 0.1432 meter, sedangkan lokasi pada BM-01 memiliki nilai penurunan sebesar 0.1172 meter dan pada BM-04 memiliki nilai penurunan sebesar 0.2182 meter. Secara vertikal litologi yang menyusun daerah tersebut didominasi oleh material lunak (aluvium) sehingga mempunyai kompresibilitas yang tinggi dan berpengaruh terhadap penurunan muka tanah,

Saran

1. Diperlukan tambahan perhitungan faktor getaran, dan jenis mineral lempung agar nilai penurunan tanah yang diperoleh mendekati kenyataan di lapangan.
2. Diperlukan tambahan perhitungan penurunan tanah pada jangka waktu tertentu agar diperoleh nilai

penurunan tanah pada waktu yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Whittaker D.N. and Reddish D.J., 1989, *Subsidence Occurrence, Prediction and Control*. DME University of Nottingham. Elsvier New York, p 359-376.
- Sophian, R.I., (2010), "Penurunan Muka Tanah di Kota-Kota Besar Pesisir Pantai Utara Jawa (Studi Kasus : Kota Semarang)", *Bulletin of Scientific Contribution*, 8(1), pp.41-60.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah 1*. Erlangga. Jakarta
- Thaden, Robert E., Sumardja. Harli, dan Richards. Paul W., 1996, *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa Tengah*, Direktorat Geologi Bandung.
- Tobing, Tigor, MHL dan Dodid Murdohardono, 2001. *Evaluasi Geologi Teknik Penurunan Muka Air Tanah (land subsidence) Daerah Semarang*

dan Sekitarnya, DGTL,
Bandung.

doi:10.3724/SP.J.1140.
2014.05033.

Zhang, Y., H. Huang, Y. Liu, and Y. Liu.
2017. Self-weight consolidation
and compaction of sediment in
the Yellow River Delta, China.
Physical Geography (1):1–15.
doi:10.1080/02723646.2017.134
7420.

EBMEG (Editorial Board of Manual of
Engineering Geology). 2006.
Manual of Engineering Geology.
4th ed. Beijing: Chinese
Architectural Industry Press. (in
Chinese)

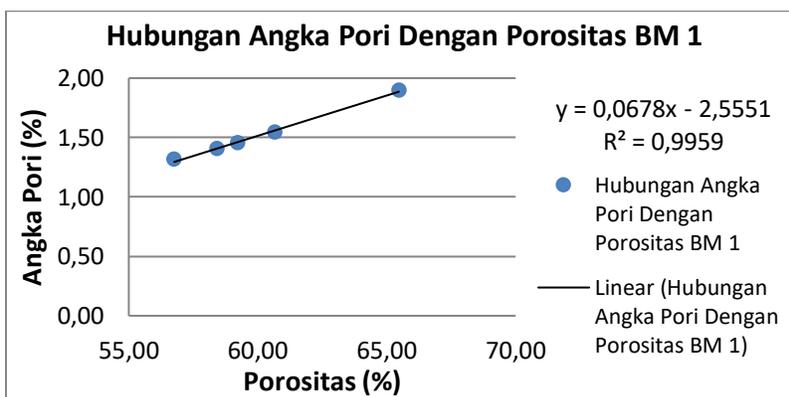
Shi, C. X., L. Y. You, B. Y. Li, Z. Zhang,
and O. Zhang. 2003. Natural
consolidation of deposits and its
consequences at the Yellow
River Delta. *Scientia
Geographica Sinica* 23 (2):173–
81.

Tan, J. Y., H. J. Huang, and Y. X. Liu. 2014
Estimation of Sediment
Compaction and Its Contribution
to Land Subsidence in the
Yellow River Delta. *Marine
Geology & Quaternary Geology*
34 (5):33–38 (in Chinese).

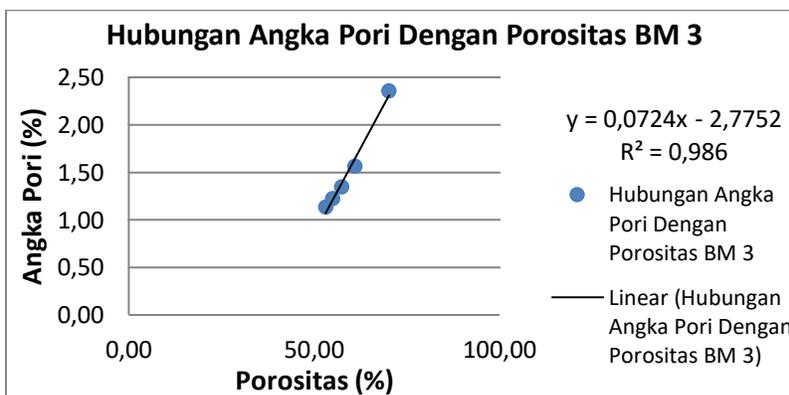
LAMPIRAN

Soils	Silty sand	Silt	Clay	Soft soil 0-5 m	Soft soil 5-10 m	Soft soil >10 m
$\Delta P, \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$	9.1	9.1	8	8.15	8.6	8.95
e_0	0.74	0.79	1.135	1.36	1.36	1.43
$\alpha, \text{ MPa}^{-1}$	0.17	0.16	0.67	0.78	0.805	0.875
$k, \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$	3×10^{-4}	3×10^{-4}	6×10^{-7}	1.03×10^{-7}	1.03×10^{-7}	1.03×10^{-7}
	3.8	3.8	5.3×10^{-4}	1.4×10^{-3}	1.4×10^{-3}	1.4×10^{-3}

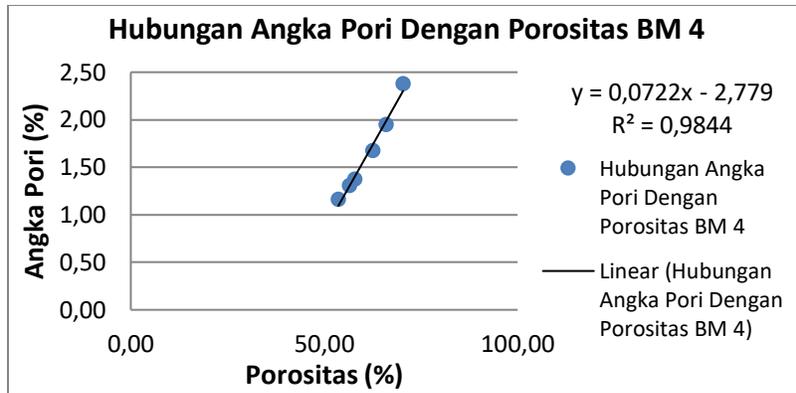
Gambar 1. Parameter geoteknik dalam sedimen 1987 (Tan *et al.*, 2014).



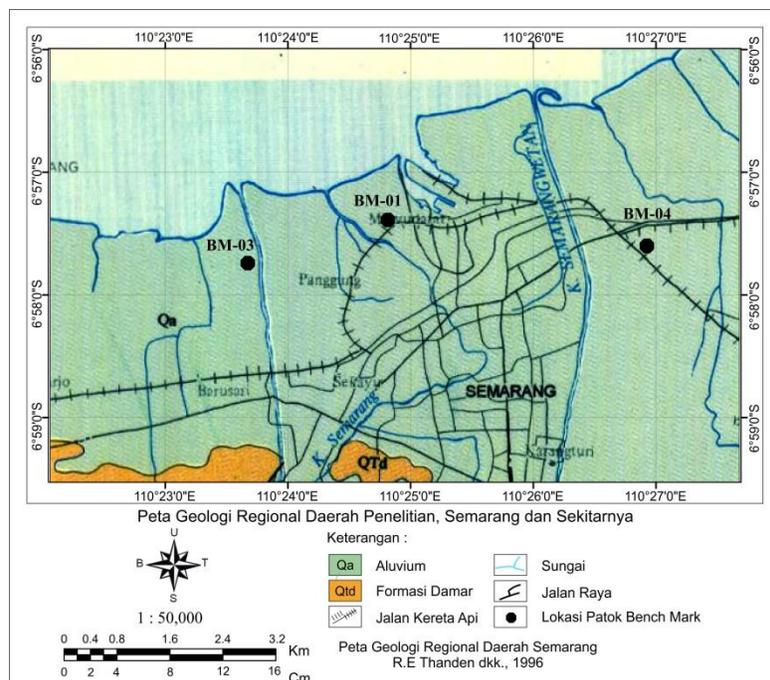
Gambar 2. Hubungan Angka Pori Dengan Porositas BM 1.



Gambar 3. Hubungan Angka Pori Dengan Porositas BM 3.



Gambar 4. Hubungan Angka Pori Dengan Porositas BM 4.



Gambar 5. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian, Semarang (Thaden *et al.*, 1996)

Tabel 1. Perhitungan penurunan tanah pada BM-04..

BM 4	h (m)	ΔP (kN/m ³)	α (1/Mpa)	α (Kn/m ³)	e_o (%)	S (m)
Clay	3	8	0.67	0.00067	1.135	0.007532
Clayey Sand	5.5	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.00489
Sandy Clay	17.6	8	0.67	0.00067	1.135	0.044185
Clay	41.9	8	0.67	0.00067	1.135	0.105192
Clay	2	8	0.67	0.00067	1.135	0.005021
Clay	10	8	0.67	0.00067	1.135	0.025105
Clayey Sand	11	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.00978
Sandstone	0.5					
Clayey Sand	3.5	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.003112
Sandstone	1					
Clayey Sand	10.5	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.009335
Sandstone	1					
Clayey Sand	4.5	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.004001
Siltstone	3					
Sandstone	0.7					
Conglomerate	1.3					
Sandstone	1					
Total Penurunan						0.218153

Tabel 2. Perhitungan penurunan tanah pada BM-03.

BM 3	h (m)	ΔP (kN/m ³)	α (1/MPa)	α (Kn/m ³)	e_o (%)	S (m)
Clay	19.7	8	0.67	0.00067	1.135	0.0495
Clay	4.1	8	0.67	0.00067	1.135	0.0103
Clay	2.4	8	0.67	0.00067	1.135	0.0060
Clayey Sand	4.3	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0038
Gravel Sand	7	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0062
Silt	1.15	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0009
Sand	4.85	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0043
Clay	1	8	0.67	0.00067	1.135	0.0025
Sand	3.1	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0028
Silt	4.9	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0040
Clay	9.3	8	0.67	0.00067	1.135	0.0233
Sandy Silt	5.7	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0046
Gravel Sand	4.4	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0039
Sand	5.8	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0052
Sandstone	0.8					
Clay	3.3	8	0.67	0.00067	1.135	0.0083
Sand	3.7	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0033
Sandstone	0.15					
Silt	2.25	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0018
Sand	2.7	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0024
Sandstone	2.2					
Siltstone	1.7					
Sandstone	2.1					
Total Penurunan						0.1432

Tabel 3. Perhitungan penurunan tanah pada BM-01.

BM 1	h (m)	ΔP (kN/m ³)	α (1/Mpa)	α (Kn/m ³)	e_o (%)	S (m)
Sand	6.75	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0060
Clay	10.75	8	0.67	0.00067	1.135	0.0270
Clay	1.3	8	0.67	0.00067	1.135	0.0033
Silt	2.6	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0021
Sand	0.5	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0004
Silt	0.6	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0005
Clay	1.2	8	0.67	0.00067	1.135	0.0030
Silt	0.8	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0007
Silt	1.1	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0009
Clay	1.9	8	0.67	0.00067	1.135	0.0048
Silt	1	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0008
Clay	1.3	8	0.67	0.00067	1.135	0.0033
Clay	1.7	8	0.67	0.00067	1.135	0.0043
Sand	3	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0027
Sand	3	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0027
Clay	1	8	0.67	0.00067	1.135	0.0025
Silt	2	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0016
Clay	2.4	8	0.67	0.00067	1.135	0.0060
Sand	1.6	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0014
Sand	2	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0018
Clay	2	8	0.67	0.00067	1.135	0.0050
Silt	2	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0016
Sandy Clay	4	8	0.67	0.00067	1.135	0.0100
Clay	3	8	0.67	0.00067	1.135	0.0075
Clay	5.6	8	0.67	0.00067	1.135	0.0141
Gravelly Sand	0.9	9.1	0.17	0.00017	0.74	0.0008
Sandstone	1					
Sandy Silt	0.8	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0007
Sandstone	1.4					
Silt	2.2	9.1	0.16	0.00016	0.79	0.0018
Conglomerate	4.5					
Sandstone	4.6					
Sandstone	0.9					
Siltstone	3.3					
Sandstone	2.3					
Siltstone	2.375					
Sandstone	2.375					
Siltstone	2.375					
Sandstone	2.375					
Total Penurunan						0.1172