

BAB 5 MONITORING PENURUNAN

5.1 Monitoring Penurunan

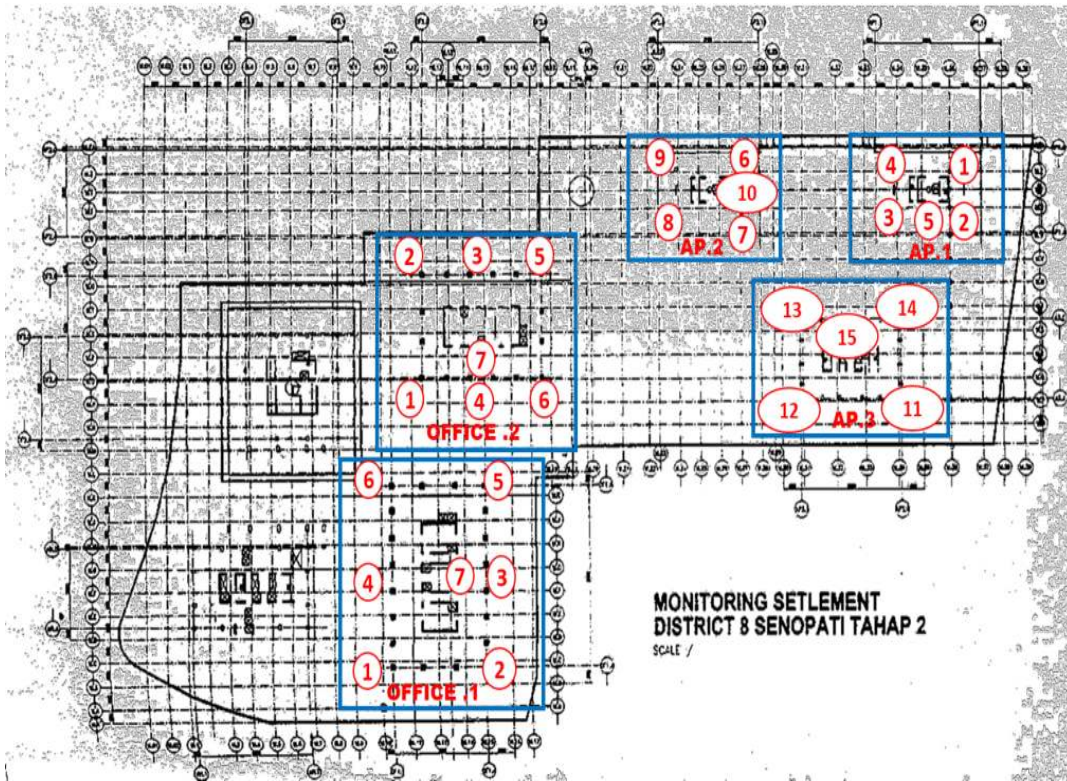
Dalam bab ini akan dibahas hasil pengamatan penurunan di lapangan yang kemudian diolah untuk mendapatkan perilaku penurunan pada lempung teguh yang dibebani bangunan tinggi.

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari lokasi proyek District 8, yang terdiri dari 5 tower, 3 tower untuk Apartemen (AP 1, AP 2 dan AP 3) sedangkan 2 tower untuk perkantoran (OF 1 dan OF 2). Jumlah lantai bervariasi 40 – 55 dengan 4 lantai basement. Tower tertinggi adalah tower OF 1 (55 lantai). Fondasi yang digunakan fondasi rakit dengan tebal 3.5 m, yang berada pada kedalaman 18 m, yang merupakan lapisan pasir kelanauan yang tersementasi.

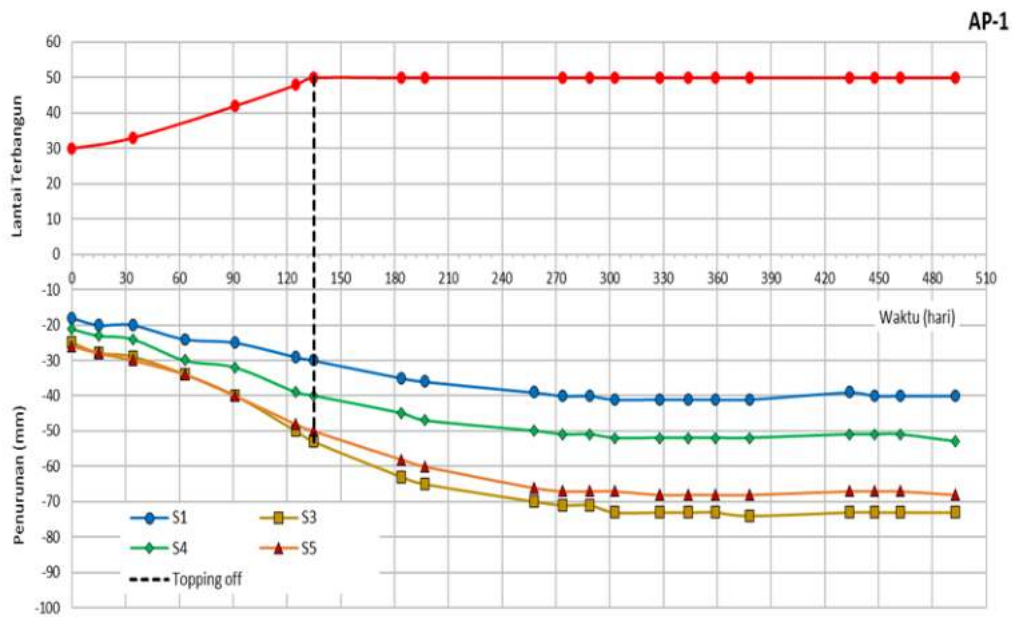
Data monitoring penurunan merupakan data sekunder. Monitoring dilakukan sebanyak 15 titik pada Tower Apartemen, yaitu 5 titik pada Tower Apartemen 1 (AP.1), 5 titik pada Tower Apartemen 2 (AP.2), 5 titik pada Tower Apartemen 3 (AP.3) dan 14 titik pada Tower Kantor, yaitu 7 titik pada Tower Kantor 1 (*Office 1*) dan 7 titik pada Tower Kantor 2 (*Office 2*), seperti pada **Gambar 5.1**.

Pengamatan dimulai pada tanggal 12 Agustus 2015 sampai dengan tanggal 10 Januari 2017.

Berdasarkan hasil pengamatan/monitoring penurunan, digambarkan kurva hubungan antara lantai terbangun dengan waktu dan antara besar penurunan terhadap waktu seperti terlihat pada **Gambar 5.2** sampai dengan **Gambar 5.6**

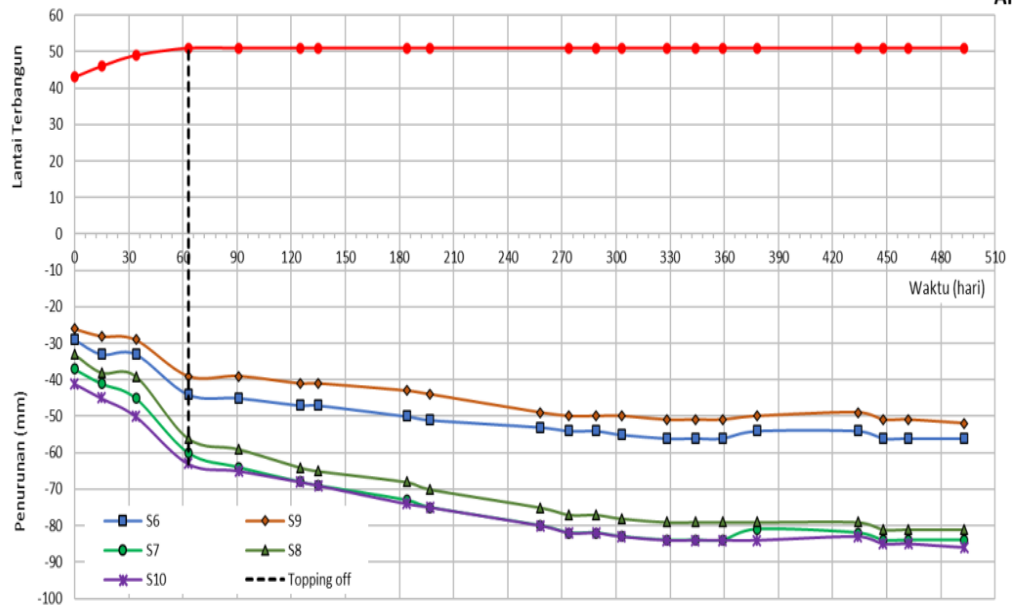


Gambar 5.1 Lokasi Titik Pengamatan Penurunan District 8



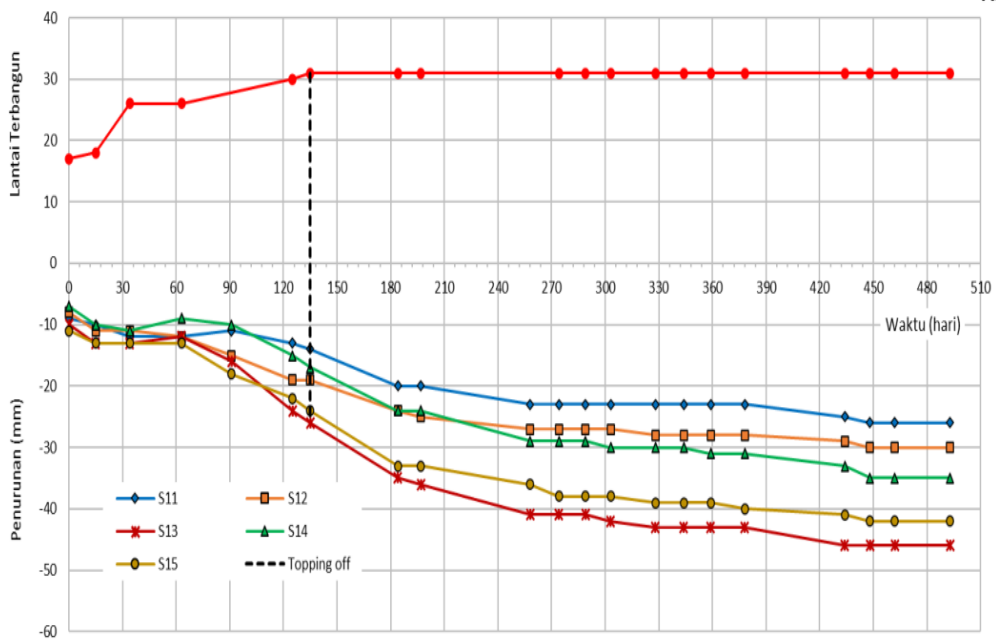
Gambar 5.2 Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower AP 1, District 8

AP-2

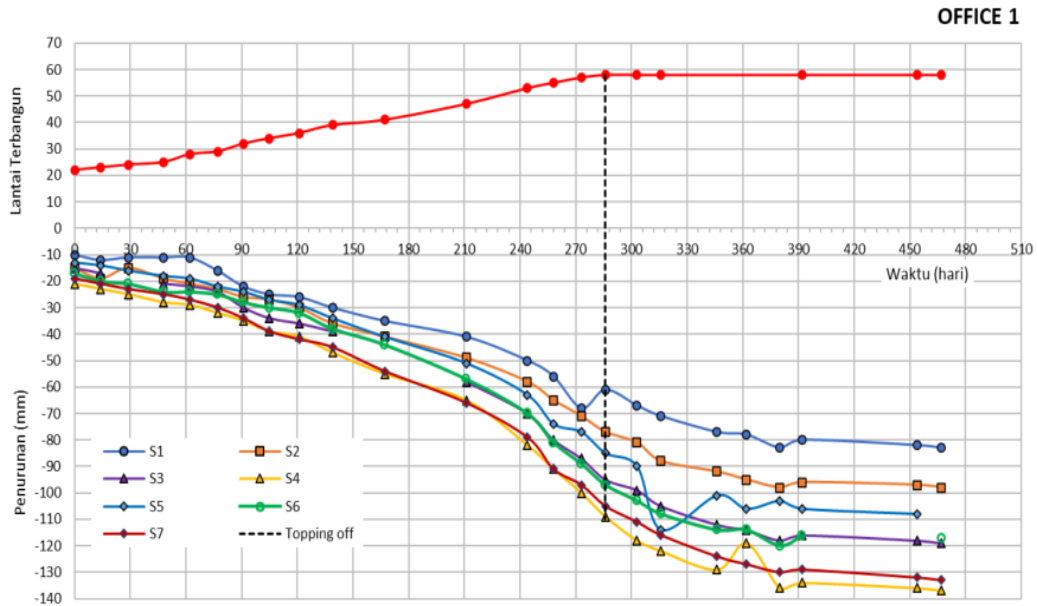


Gambar 5.3 Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower AP 2, District 8

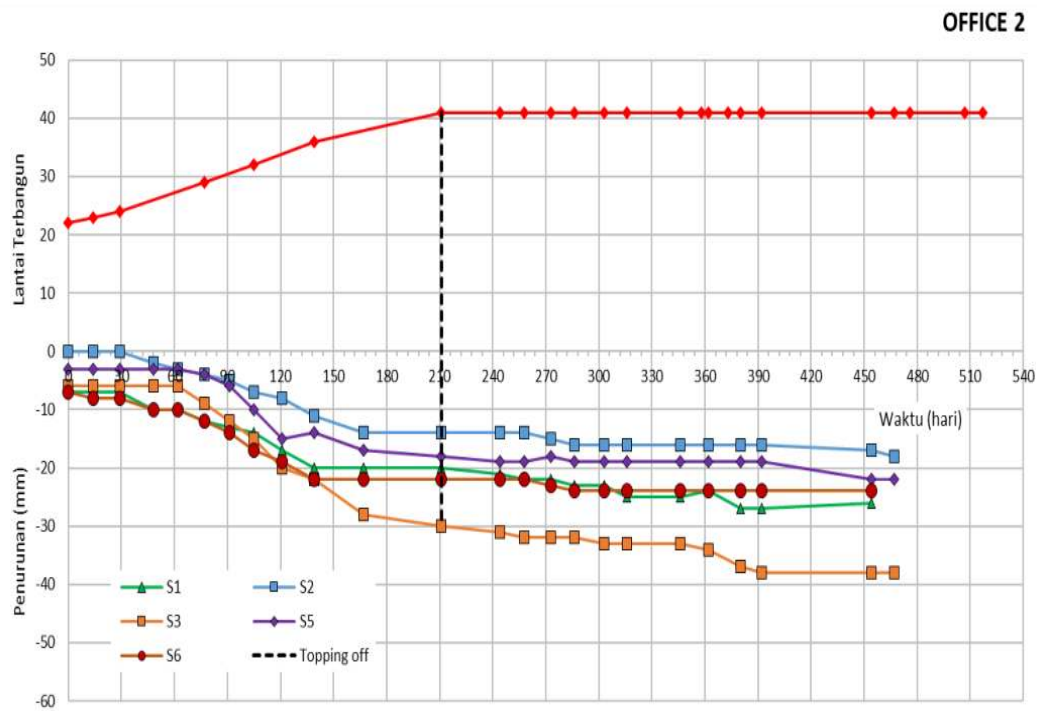
AP-3



Gambar 5.4 Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower AP 3, District 8



Gambar 5.5 Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower OF 1, District 8



Gambar 5.6 Lantai Terbangun vs Waktu dan Penurunan vs Waktu Tower OF 2, District 8

5.1.1 Perkiraan Penurunan Final

Berdasarkan data penurunan hasil monitoring dilakukan olah data untuk memperkirakan besar penurunan final dengan metode $1/t$, Asaoka dan Hiperbolik. Data lengkap terdapat pada Lampiran 7.

Besar perkiraan penurunan final dari ketiga metode tersebut disajikan pada **Tabel 5.1**.

5.1.2 Derajat Konsolidasi dan Laju Penurunan (*Rate Settlement*)

Berdasarkan data hasil pengamatan penurunan dan perkiraan besar penurunan final yang dihitung dengan metode Asaoka, maka diperoleh derajat konsolidasi,

$$U = \frac{S_t}{S_f} \quad (5.1)$$

Hubungan antara derajat konsolidasi dengan waktu disajikan pada **Gambar 5.7** sampai **Gambar 5.11**.

Kurva menunjukkan bahwa besar penurunan yang terjadi sampai dengan berakhirnya konstruksi (*topping off*), sudah mencapai 60% sampai dengan 80% dari penurunan total yang terjadi.

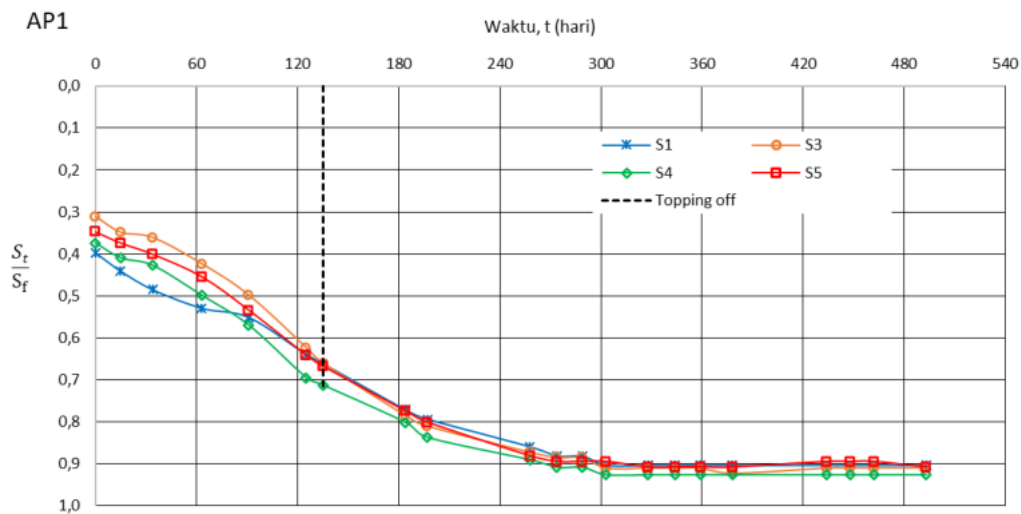
Rate settlement dihitung dengan persamaan berikut :

$$Rate = \frac{S_t/S_f}{t} \quad (5.2)$$

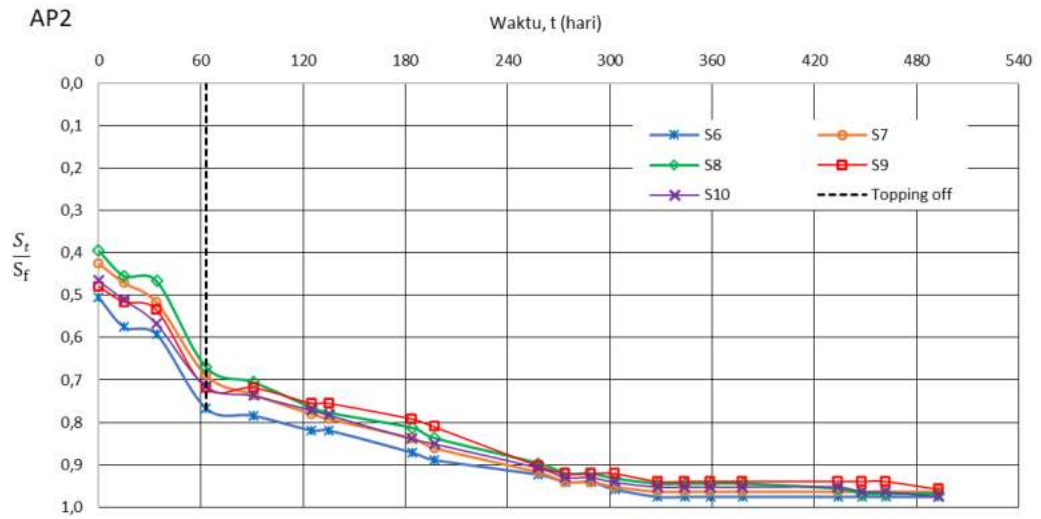
Hubungan antara *Rate* dengan waktu, diperlihatkan pada **Gambar 5.12** sampai **Gambar 5.16**. Nilai *rate settlement* untuk semua tower mempunyai pola yang sama. Sampai dengan berakhirnya konstruksi terjadi perubahan kurva yang cukup curam, tetapi setelahnya kurva melandai.

Tabel 5.1 Perkiraan Penurunan Final District 8

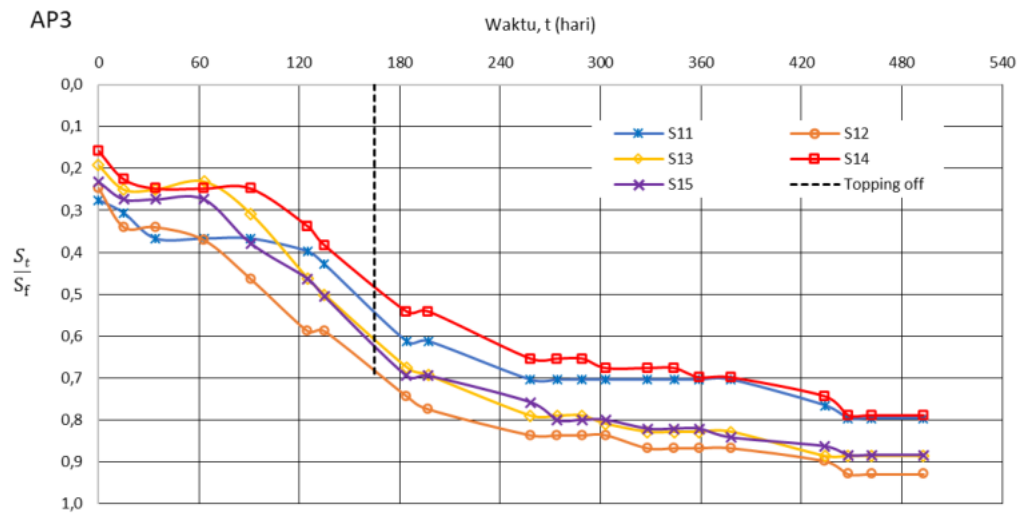
Titik pengamatan	Penurunan berdasarkan		
	1/t	Asaoka (mm)	Hiperbolik
OF1-S1	97.65	121.97	115.15
OF1-S2	117.66	144.33	119.79
OF1-S3	135.90	157.98	152.76
OF1-S4	170.78	208.59	209.95
OF1-S5	131.27	149.96	161.94
OF1-S6	138.08	167.12	170.60
OF1-S7	155.50	171.97	183.42
OF2-S1	30.94	28.62	34.35
OF2-S2	19.47	19.45	25.86
OF2-S3	40.37	38.98	47.03
OF2-S5	23.84	22.00	24.81
OF2-S6	29.69	26.08	26.75
AP1-S1	45.60	45.36	44.15
AP1-S3	81.44	80.22	82.41
AP1-S4	58.14	56.11	57.02
AP1-S5	76.84	74.86	75.00
AP2-S6	58.83	57.37	59.77
AP2-S7	89.78	87.09	91.55
AP2-S8	86.13	83.65	88.28
AP2-S9	54.71	54.29	55.14
AP2-S10	90.66	88.22	90.75
AP3-S11	28.77	32.67	31.35
AP3-S12	33.04	32.31	34.81
AP3-S13	52.81	51.92	55.26
AP3-S14	41.89	44.38	48.26
AP3-S15	47.57	47.52	50.73



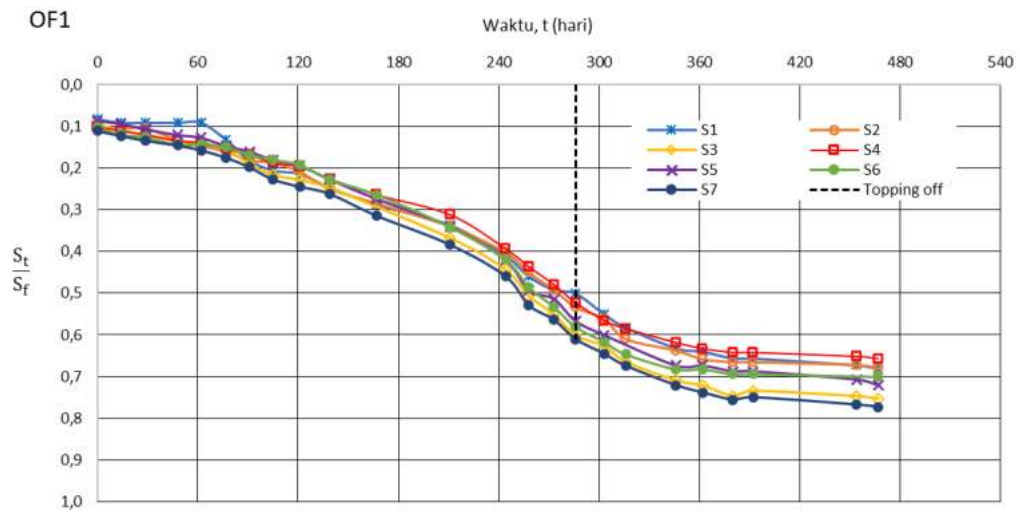
Gambar 5.7 Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower AP1), District 8



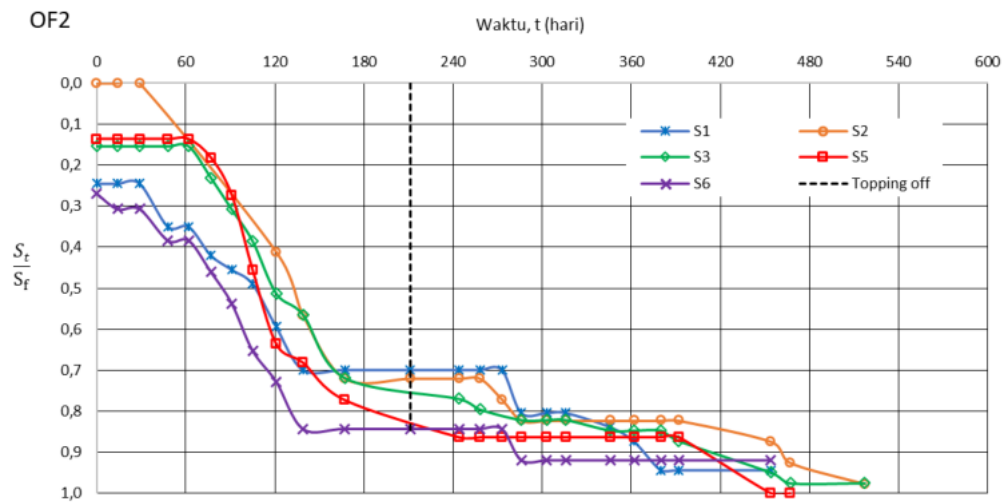
Gambar 5.8 Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower AP2), District 8



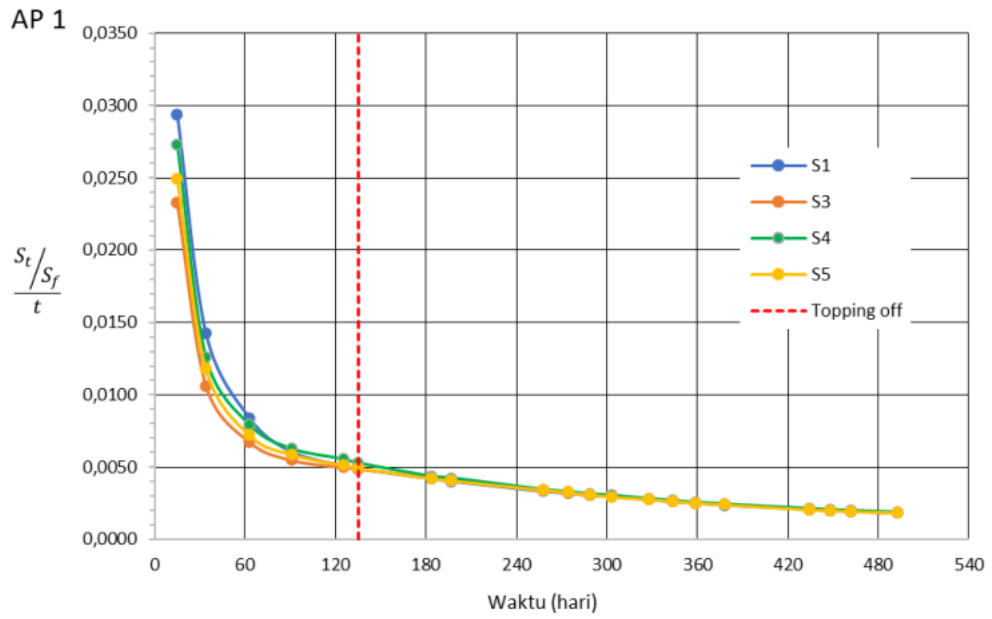
Gambar 5.9 Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower AP3), District 8



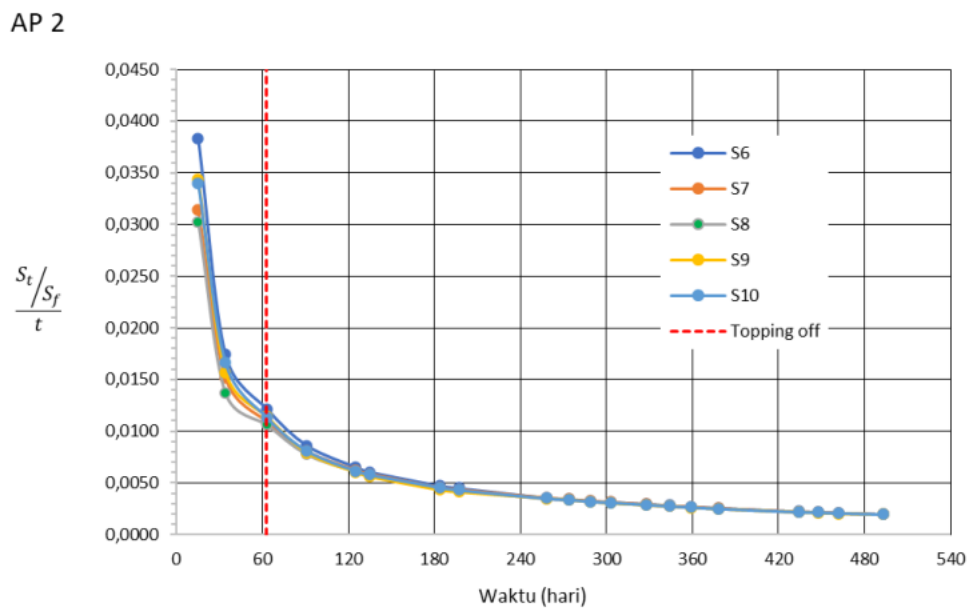
Gambar 5.10 Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower OF 1), District 8



Gambar 5.11 Derajat Konsolidasi vs Waktu (Tower OF 2), District 8

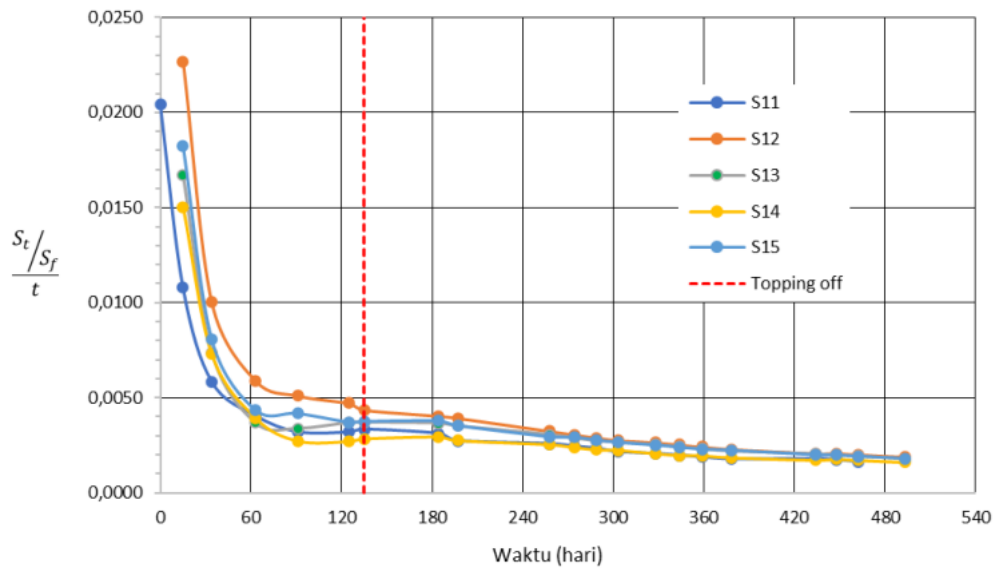


Gambar 5.12 Rate Settlement vs Waktu Tower AP 1 District 8



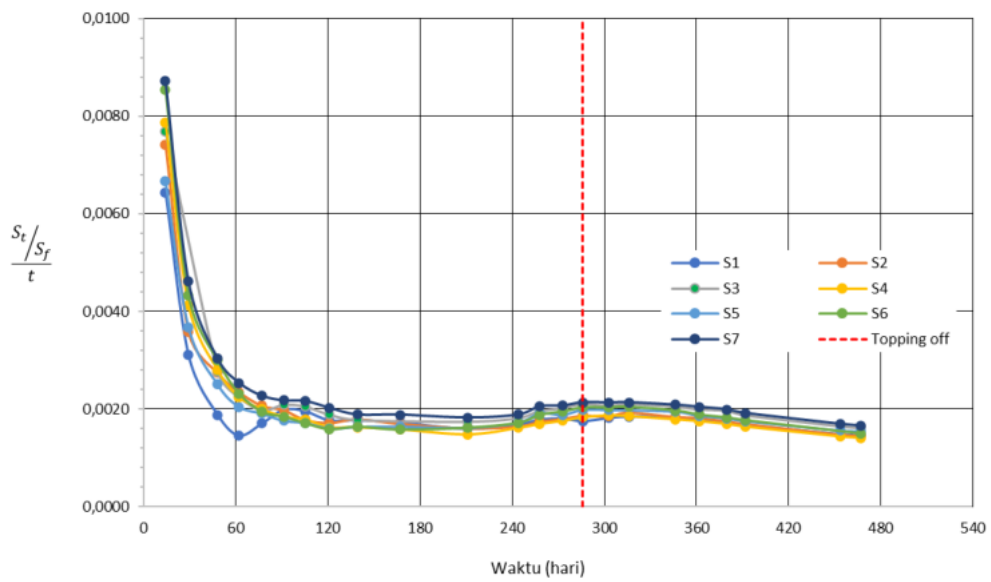
Gambar 5.13 Rate Settlement vs Waktu Tower AP 2 District 8

AP 3

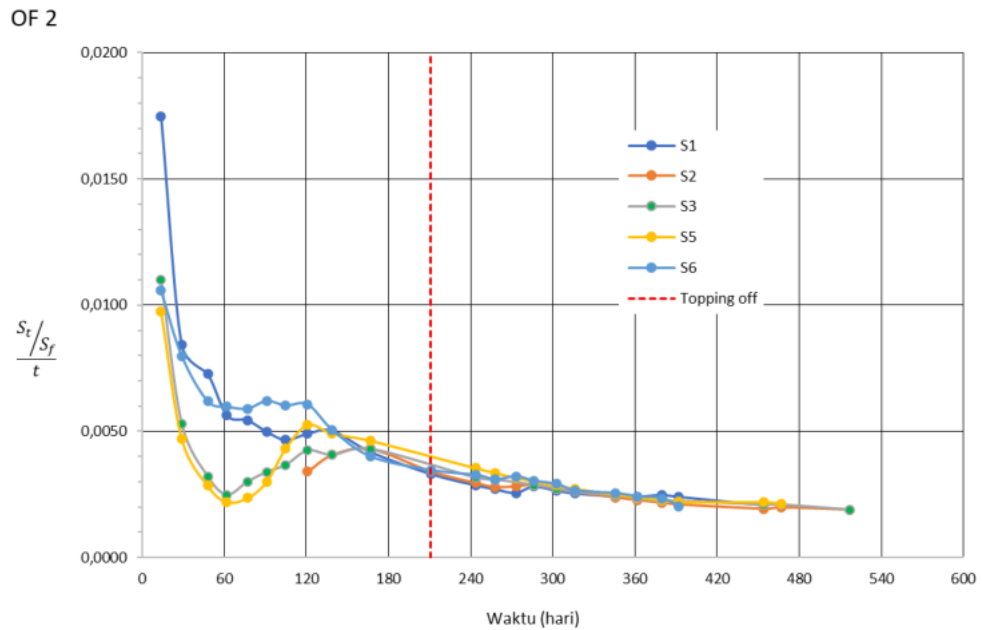


Gambar 5.14 Rate Settlement vs Waktu Tower AP 3 District 8

OF 1



Gambar 5.15 Rate Settlement vs Waktu Tower OF 1 District 8



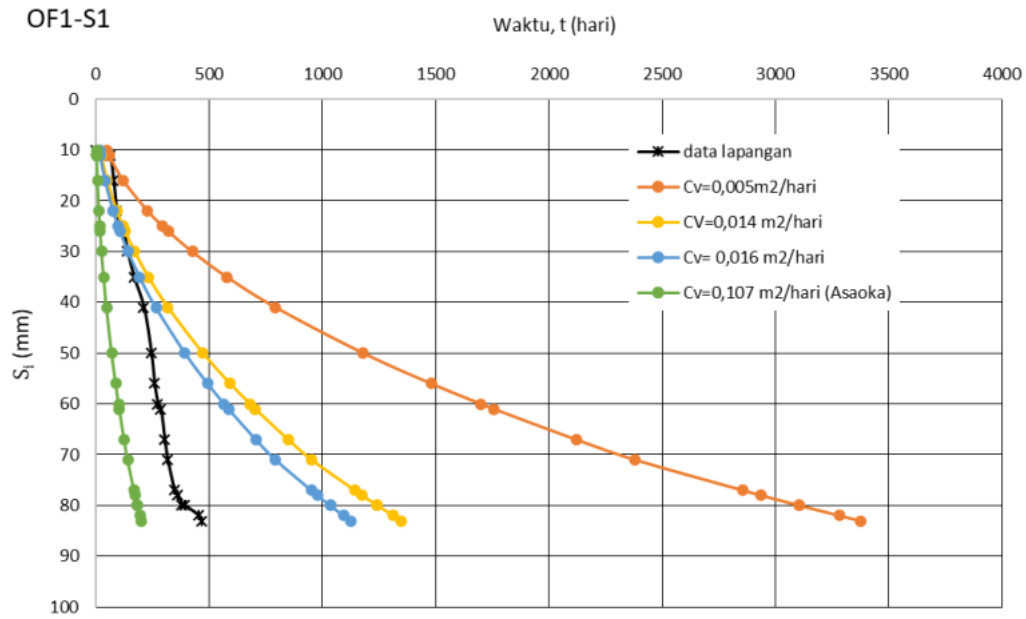
Gambar 5.16 Rate Settlement vs Waktu Tower OF 2 District 8

5.1.3 Kecepatan Penurunan Konsolidasi

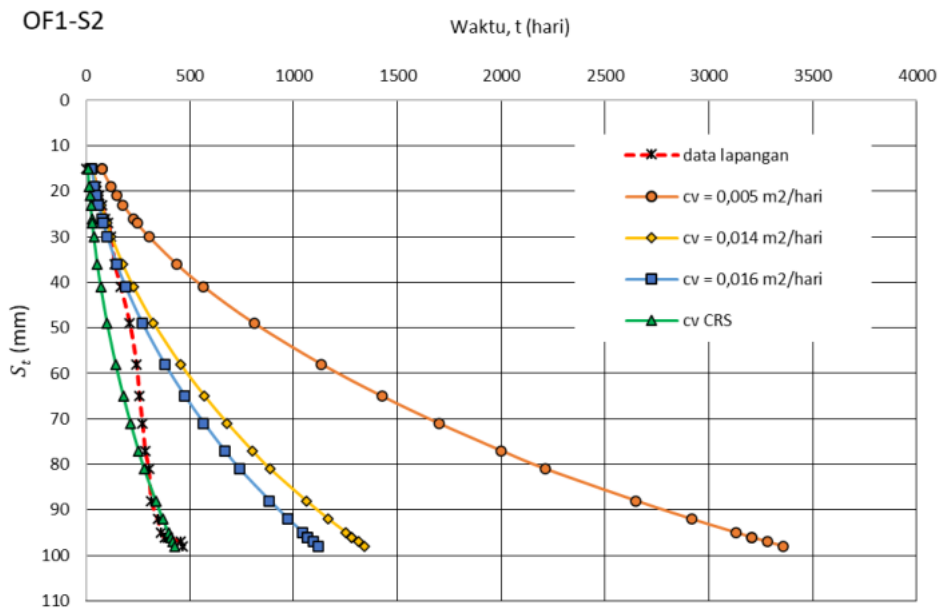
Parameter yang digunakan adalah kecepatan konsolidasi (c_v). Dalam bab ini akan dilakukan perbandingan kecepatan penurunan nyata yang diperoleh berdasarkan data lapangan, dengan kecepatan penurunan menggunakan beberapa parameter c_v yang diperoleh dari hasil uji laboratorium.

Contoh hasil yang diperoleh disajikan pada **Gambar 5.17** sampai **Gambar 5.19**.

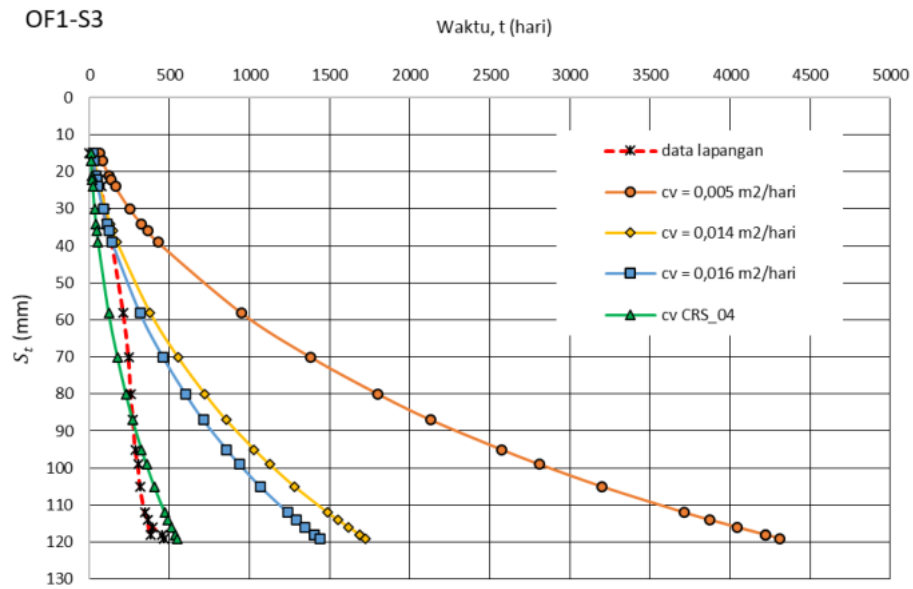
Hasil yang diperoleh menunjukkan tidak ada nilai c_v yang sesuai dengan data yang diperoleh berdasarkan pengamatan di lapangan. Penentuan nilai c_v hasil uji konsolidasi di laboratorium tergantung dari nilai *time factor* (T_v). Nilai T_v yang selama ini digunakan umumnya mengikuti persamaan yang diberikan oleh Casagrande dan Taylor.



Gambar 5.17 Penurunan vs Waktu dengan Berbagai Nilai C_v Titik OF1-S1



Gambar 5.18 Penurunan vs Waktu dengan Berbagai Nilai C_v Titik OF1-S2



Gambar 5.19 Penurunan vs Waktu dengan Berbagai Nilai C_v Titik OF1-S3

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data yang diperoleh baik dari dari uji lapangan (*in situ*) dan uji laboratorium dapat disimpulkan bahwa :

1. Perilaku lempung teguh Jakarta yang terkonsolidasi berlebih dalam mekanisme pemikulan beban berbeda dengan lempung yang terkonsolidasi normal. Pada tanah terkonsolidasi berlebih penambahan beban tidak sepenuhnya dipikul oleh air, tetapi sebagian besar dipikul oleh butiran tanah, sehingga penggunaan teori Terzaghi untuk perhitungan penurunan kurang tepat.
2. Pada lempung teguh Jakarta, penurunan yang paling besar adalah penurunan sampai dengan berakhirnya masa konstruksi (*initial settlement*), yang besarnya bisa mencapai 60% sampai dengan 80% dari penurunan total.
3. Nilai tegangan prakonsolidasi (p'_c) untuk lempung teguh Jakarta berkisar antara 5 kg/cm² sampai 12 kg/cm², dan menunjukkan peningkatan dengan semakin bertambahnya kedalaman.
4. Nilai tegangan leleh (P_y) yang diperoleh dari uji *pressuremeter* lebih tinggi 2,2 kali dari nilai tegangan prakonsolidasi (p'_c) yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium.
5. Nilai indeks kecairan (LI) untuk lempung teguh Jakarta umumnya berada di bawah 0,5, yaitu berkisar antara -0,1 sampai 0,5.
6. Perilaku tanah butir halus tidak ditentukan oleh komposisi ukuran butir. Lempung teguh Jakarta ukuran butirnya didominasi oleh lanau (*silt*), sekitar 60%

sampai 90%, tetapi mempunyai sifat lempung (*clay*), sesuai dengan klasifikasi bagan plastisitas Casagrande dan nilai indeks plastisitasnya dipengaruhi oleh keberadaan partikel lempung.

7. Pada daerah lokasi penelitian lapisan lempung yang berada pada kedalaman lebih dari 25 m umumnya mempunyai konsistensi teguh sampai sangat teguh.
8. Hasil uji *pressuremeter* memberikan korelasi antara N SPT dengan nilai modulus kekakuan (E_M), dimana E_M (MPa) berada pada rentang 0,4 N SPT sampai 1 N SPT.
9. Berdasarkan hasil pencatatan penurunan di lapangan, waktu penurunan yang terjadi tidak sesuai dengan hasil perhitungan teoritis menggunakan parameter koefisien konsolidasi yang diperoleh dari hasil uji konsolidasi di laboratorium dan diolah dengan metode Casagrande ataupun Taylor.

6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk melengkapi penelitian ini :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk menentukan parameter koefisien konsolidasi (c_v) untuk tanah lempung teguh.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk menentukan parameter tegangan prakonsolidasi (p'_c) berdasarkan metode yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvi, S. D., & Rahardjo, P. P. (2021). Consolidation Characteristics of Over Consolidated Clays in Jakarta. *Proceedings of the 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney 2021*.
- Asaoka, A. (1978). Observational Procedure of Settlement Prediction. *Soils and Foundations*, 18(4), 87–101. https://doi.org/10.3208/sandf1972.18.4_87
- Becker, & et al. (1987). Work as a Criterion for Determining In-Situ and Yield Stresses in Clays. *Canadian Geotechnical Journal*, 24(4), 549–564.
- Bishop, & Henkel. (1957). *The Measurement of Soil Properties in The Triaxial Test*. Edward Arnold, Ltd.
- Bjerrum, L. (1973). *Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays and Structural Unstable Soils (Collapsible, Expansive and Others)*.
- Briaud, J. L. (2013). *Geotechnical Engineering Unsaturated and Saturated Soils*. John Wiley & Sons, Inc.
- Brooker, E. W., & Ireland, H. O. (1965). Earth Pressures at Rest Related to Stress History. *Canadian Geotechnical Journal*, 2(1), 1–15. <https://doi.org/10.1139/t65-001>
- Burland, J. B., & Wroth, C. P. (1974). Settlement of Buildings and Associated Damage. *Settlement of Structures, Proceedings of the Conference of the British Geotechnical Society, April*, 611–654.
- Butterfield. (1979). A Natural Compression Law for Soils (An Advance on $e - \log p'$). *Geotechnique*, 29(4), 468–480.
- Casagrande. (1936). The Determination of The Preconsolidation Load and Its Practical Significance. *1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3, 60–64.
- Chen, B., & Mayne, P. (1994). *Profiling the Overconsolidation Ratio of Clays by Piezocone Tests*.
- Chen, X. (2011). Settlement Calculation on High-Rise Buildings. In *Settlement Calculation on High-Rise Buildings*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-15570-3>

- Cooke, R. ., Smith Bryden, D. ., Gooch, M. ., & Sillett, D. . (1981). *Some Observations of The Foundation Loading and Settlemenet of A Multi-Storey Building on A piled Raft Foundation in London Clay*. 433–460.
- Das, B.M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Das, Braja M. (2008). *Advanced Soil Mechanics* (Third edit). Taylor & Francis.
- Fachri, M. et al. (2002). Stratigrafi dan Hidrostratigrafi Cekungan Airtanah Jakarta. *Buletin Geologi Institut Teknologi Bandung*, 34, 169.
- Franke, E., El-Mossallamy, Y., & Wittmann, P. (2000). 12. Calculation Methods for Raft Foundations in Germany. In *Design applications of raft foundations* (pp. 283–322). <https://doi.org/10.1680/daorf.27657.0012>
- Frischmann, W., & Fleming, K. (1962). *The Use and Behaviour of Large Diameter Piles in London Clay*.
- Gasparre, A., Nishimura, S., Minh, N. A., Coop, M. R., & Jardine, R. J. (2007). The stiffness of natural London Clay. *Geotechnique*, 57(1), 33–47. <https://doi.org/10.1680/geot.2007.57.1.33>
- GEC, P. (2014). *01 Laporan Final_District 8*.
- Geo Slope, D. (2004). Guide to Geotechnical Instrumentation. In *Slope Indicator*. <https://durhamgeo.com>
- Gobara, W., & Pinto, C. . (2001). Effect of the Overconsolidation on the Consolidation of Clays. *International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - 15th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Istanbul)*, 95–98.
- Grozić, J. L. H., Lunne, T., & Pande, S. (2003). An Oedometer Test Study on the Preconsolidation Stress of Glaciomarine Clays. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(5), 857–872. <https://doi.org/10.1139/t03-043>
- Hanzawa, H., & Adachi, K. (1983). Overconsolidation of Alluvial Clays. *Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 23(4), 106–118.
- Hardiyatmo, H. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi I* (2nd ed.). Gadjah Mada University Press.

- Head. (1986). *Manual of Soil Laboratory Testing Volume 3 : Effective Stress Test* (First). Pentech Press.
- Holtz, Kovacs, & Sheahan. (2011). *An Introduction to Geotechnical Engineering* (2nd ed.). Pearson Education, Inc.
- Jamiolkowski, & Marchetti. (1969). The Determination of Preconsolidation Load from a Controlled Gradient Consolidometer Device. *Proceedings, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, 3*, 523–524.
- Katzenbach, R., Arslan, U., & Moormann, C. (2000). 13. Piled Raft Foundation Projects in Germany. In H. J.A (Ed.), *Design applications of raft foundations* (pp. 323–391). Thomas Telford. <https://doi.org/10.1680/daorf.27657.0013>
- Katzenbach, Rolf, Leppla, S., & Choudhury, D. (2016). Foundation Systems for High-Rise Structures. In *Foundation Systems for High-Rise Structures*. <https://doi.org/10.1201/9781315368870>
- Kim, S. K. (2008). Characterization of Deltaic Deposits in The Nakdong River Mouth, Busan. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization - Proceedings of the 3rd International Conference on Site Characterization, ISC'3, 2*, 75–88. <https://doi.org/10.1201/9780203883198.ch5>
- Kulhawy, F. H., & Mayne, P. W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. In *Ostigov*.
- Lambe, & Whitman. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Laurence, W. (2010). Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils. In *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470549056>
- Mitchel, J. K., & Soga, K. (2005). Fundamentals of Soil Behavior. In *Soil Science* (Third). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1097/00010694-199407000-00009>
- Mori, H., & Tajima, S. (1964). The Application of Pressiometre Method to The Design of Deep Foundations. *Soils and Foundations, 4*(2), 34–44. <https://doi.org/10.3208/sandf1960.4.2>
- Morton, & Au. (1974). Settlement Observations on Eight Structure in London.

Settlement of Structure in London.

- PT Testana Indoteknika. (2019). *Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Bari Tower Jakarta.*
- Rahardjo, P. . et al. (2009). *Design of Raft Foundation for High Rise Building Based on The Result of Pressuremeter Test and Monitoring of Settlement During Construction Using Extensometer.* Universitas Katolik Parahyangan.
- Rahardjo, P. ., Anggoro, B. ., & Wirawan, A. (2016). CPTu in Consolidating Soils. *Geotechnical and Geophysical Site Characterisation 5 – Lehane, Acosta-Martinez & Kelly (Eds).*
- Shukla, S. K., Sivakugan, N., & Das, B. M. (2009). Methods for determination of the coefficient of consolidation and field observations of time rate of settlement - An overview. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 3(1), 89–108. <https://doi.org/10.3328/IJGE.2009.03.01.89-108>
- Simons N E, & Som N. (1970). *Settlement of Structures on Clay: With Particular Emphasis on London Clay.* Construction Industry Research and Information Association (CIRIA).
- Skempton, A., & Bjerrum, L. (1957). A Contribution to The Settlement Analysis of Foundations on Clay. *Geotechnique*, 7, 168–178.
- Skempton, A., Peck, R. B., & MacDonald, D. H. (1956). “Settlement Analyses of Six Structures in Chicago and London.” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 5(2), 166–172. <https://doi.org/10.1680/iicep.1956.11477>
- Skempton, A. W. (1970). The Consolidation of Clays by Gravitational Compaction. *Geol.Soc London*, 125, 373–412.
- Sofoco. (2012). *Laporan Penyelidikan Tanah TLT by Sofoco.pdf.*
- Sommer, H., Wittmann, P., & Ripper, P. (1985). Piled raft foundation of a tall building in Frankfurt clay. *11th Int Conf Soil Mech Found Engng*, vol. 4, pp. 2253–2257.
- Surya, I. (2014). *Karakterisasi Tanah Lempung Jakarta Berdasarkan Uji Pressuremeter Menard dan Elastmeter Oyo.* Universitas Katolik Parahyangan.
- Tan, T. S., Inoue, T., & Lee, S. L. (1991). Hyperbolic Method for Consolidation Analysis. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(1).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1993\)119:1\(190\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1993)119:1(190))

Tjie Liong Gouw. (2020). *Interpretasi Kuat Geser Tanah Lempung Teguh Jakarta dari Data Pressuremeter Berdasarkan Pengembangan Teori Cavity Expansion*. Ringkasan Disertasi. March.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17448.93442>

Verbrugge, J.-C., & Schroeder, C. (2018). Geotechnical Correlations for Soils and Rocks. In *Geotechnical Correlations for Soils and Rocks*.
<https://doi.org/10.1002/9781119482819>

Wesley, L. D. (2010). *Fundamentals of Soil Mechanics For Sedimentary And residual Soils*. John Wiley & Sons, Inc.

Wong, I. ., Ooi, I. K., & Broms, B. B. (1996). Performance of Raft Foundation for High-Rise Buildings on The Bouldery Clay in Singapore. *Canadian Geotechnical Journal*.

Zhang, X. (2017). Different Monitoring Methods for Building Deformation of Practical Exploration. *Journal of Physics: Conference Series*, 910(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/910/1/012029>

