



**FENOMENA AMBLESAN LAHAN AKIBAT BEBAN INFRASTRUKTUR
(STUDI KASUS DESA KALIGAWA DAN SEKITARNYA, KECAMATAN GAYAMSARI, KOTA
SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH)**

Muhammad Nur Wahid Fakhruddin^{1*}, Dicky Muslim¹, Zufialdi Zakaria¹, Tulus Pramudyo²

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

²Badan Geologi, Kementerian ESDM

*Korespondensi: muhammad17311@mail.unpad.ac.id

ABSTRACT

The problem of settlement in Semarang City has caused various damages. One of these phenomena is influenced by the infrastructure loads. This research was conducted to calculate settlement and identify associations of geological conditions and the relationship of engineering geological conditions and the influence of infrastructure load on settlement. Settlement analysis was carried out at two borehole (BM-01 and BM-04). The calculation method is carried out using the Terzaghi one-dimensional primary consolidation equation with the assumption of additional effective pressure from the load of residential houses, apartments, and aircraft runways. The calculation results show that the largest total settlement occurred in BM-04 (aircraft runway load) of 91.1 cm. The fastest settlement time was on BM-01 of 121.1 years. The fastest settlement rate is on BM-01 (aircraft runway load) of 6.7 cm/year. The research area is composed of alluvium of holocene age and is located in silty clay-silty sand units (mc-ms) so that settlement tends to be influenced by sedimentary material and is not directly related to tectonic activity. The compression index (Cc) and the coefficient of consolidation (Cv) are closely related to settlement. The infrastructure burden is also very influential on the amount of settlement.

Keyword: settlement, infrastructure loads, engineering geology, primary consolidation, semarang

SARI

Permasalahan amblesan lahan di Kota Semarang telah menimbulkan berbagai kerusakan. Fenomena tersebut salah satunya dipengaruhi oleh beban infrastruktur. Penelitian ini dilakukan untuk menghitung amblesan lahan serta mengidentifikasi asosiasi kondisi geologi dan hubungan kondisi geologi teknik serta pengaruh beban infrastruktur terhadap amblesan lahan. Analisis amblesan lahan dilakukan pada dua titik bor (BM-01 dan BM-04). Metode perhitungan dilakukan menggunakan persamaan konsolidasi primer satu dimensi Terzaghi dengan asumsi tambahan tekanan efektif dari beban rumah tinggal, apartemen, dan landasan pesawat. Hasil perhitungan menunjukkan amblesan total terbesar yaitu terjadi pada BM-04 (beban landasan pesawat) sebesar 91,1 cm. Waktu amblesan tercepat yaitu pada BM-01 sebesar 121,1 tahun. Laju amblesan lahan tercepat yaitu pada BM-01 (beban landasan pesawat) sebesar 6,7 cm/tahun. Daerah penelitian tersusun atas alluvium berumur holosen dan terletak pada satuan lanau lempungan-lanau pasir (mc-ms) sehingga amblesan cenderung dipengaruhi oleh material sedimen dan tidak berkaitan langsung dengan aktivitas tektonik. Indeks pemampatan (Cc) dan koefisien konsolidasi (Cv) sangat berhubungan dengan amblesan lahan. Beban infrastruktur juga sangat berpengaruh terhadap besar amblesan lahan.

Kata Kunci: amblesan lahan, beban infrastruktur, geologi teknik, konsolidasi primer, semarang

1. PENDAHULUAN

Permasalahan amblesan lahan di kota Semarang telah menimbulkan kerusakan infrastruktur dan masalah lingkungan seperti banjir rob. Fenomena alami tersebut dipengaruhi oleh faktor kondisi geologi berupa dataran alluvial berumur kuartar (Thaden, dkk., 1975) serta faktor lain akibat pemanfaatan airtanah berlebih dan perkembangan infrastruktur.

Berdasarkan perkembangan tata guna lahan daerah Semarang tahun 1972-2005 (Murdohardono, 2007; dalam Sarah, dkk., 2012) terlihat pembangunan infrastruktur yang semakin pesat sehingga dapat mengakibatkan lapisan tanah yang kompresibel akan mengalami penambahan tekanan. Ketika tanah diberi beban pada bagian atasnya maka lapisan yang berada di bawahnya mengalami pemampatan dan menyebabkan terdisipasinya air pori dalam tanah seiring dengan peningkatan beban di atasnya sehingga permukaan tanah terus mengalami amblesan lahan.

Jenis tanah di daerah Semarang adalah tanah lunak yang mudah mampat sehingga dimungkinkan akan mengalami amblesan lahan. Tanah lunak bersifat kompresibel, memiliki angka pori (e) yang besar, dan permeabilitas yang kecil, sehingga penambahan beban akan menyebabkan amblesan lahan yang besar dan membutuhkan waktu yang sangat lama.

Seiring dengan pembangunan infrastruktur yang sangat pesat di Daerah Semarang khususnya di Desa Bandarharjo dan Desa Kaligawe, maka daerah ini menjadi daerah yang sangat menarik untuk dilakukan penelitian mengenai potensi amblesan lahan akibat beban infrastruktur.

2. BAHAN & METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data-data meliputi kondisi geologi, kondisi geologi teknik, dan hasil uji laboratorium sifat fisik dan mekanik sampel tanah tak terganggu (UDS) dari pemboran geoteknik di dua titik bor, yakni BM-01 dan BM-04 (PATGTL, 2010); (Gambar 1). Data beban bangunan diperoleh dari perhitungan *live load* dan *dead load* dari asumsi beberapa infrastruktur seperti rumah tinggal, apartemen, dan landasan pesawat yang digunakan sebagai tambahan tekanan efektif. Lalu dihitung amblesan lahannya dengan menggunakan Teori Konsolidasi Primer Satu Dimensi Terzaghi.



Gambar 1. Lokasi penelitian Desa Bandarharjo dan Kaligawe

Geologi dan Geologi Teknik Regional

Tatanan fisiografi daerah Semarang dan sekitarnya termasuk ke dalam Zona Dataran Aluvial Jawa Bagian Utara (*Alluvial Plains of Northern Java*). Zona tersebut merupakan zona transisi dari Zona Rembang-Zona Kendeng (Soebowo, dkk., 2014).

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang (Thaden, dkk., 1975), batuan penyusun daerah Semarang dan sekitarnya pada umumnya dibentuk oleh endapan kuartar berupa rombakan endapan gunungapi muda, endapan sungai, dan endapan pantai, yang terletak secara tidak selaras di atas batuan-batuan Tersier. Adapun urutan stratigrafi yang terdapat di daerah penelitian dari tertua hingga termuda yaitu: Formasi Kalibeng (Tm), Formasi Kaligetas (Qb), Formasi Damar (QTd), dan Aluvium (Qa).

Berdasarkan peta struktur geologi daerah Semarang dan sekitarnya (Marsudi, 2000), struktur geologi regional yang terdapat di daerah Semarang umumnya berupa sesar yang terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik yang terletak di Semarang bagian selatan.

Berdasarkan Peta Geologi Teknik daerah Semarang dan sekitarnya (Tobing dkk., 2001) daerah Semarang terbagi menjadi lima satuan yaitu empat satuan tanah hasil transportasi dan satu satuan batuan dasar, yaitu: pasir-pasir lanauan (s-sm), lanau lempungan-lanau pasiran (mc-mc), lanau pasiran-lempung lanauan (ms-cm), lempung lanauan-lanau lempungan (cm-mc), dan satuan batuan dasar.

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan cara yang digunakan dalam menentukan jenis tanah agar dapat memperoleh gambaran sepiintas tentang sifat-sifat tanah. Klasifikasi tanah berdasarkan USCS (*Unified Soil Classification System*) membagi jenis tanah berdasarkan ukuran butir yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung).

Amblesan Lahan (*settlement*)

Penurunan (*settlement*) akan terjadi jika suatu lapisan tanah mengalami pembebanan. Penurunan juga dipengaruhi oleh sebaran tanah lunak atau lempung yang terdapat di bawah permukaan pada dataran aluvial. Bilamana tanah terdiri dari lempung maka penurunan akan agak besar sedangkan jika tanah terdiri dari pasir, penurunan akan kecil.

Konsolidasi Primer

Konsolidasi primer terjadi bersamaan dengan terdisipasinya air pori. Akibat penurunan yang terjadi disertai dengan perubahan volume. Tekanan air pori diteruskan ke partikel tanah menjadi tekanan efektif tanah. Kecepatan terjadinya konsolidasi tergantung kecepatan keluarnya air pori, yang merupakan fungsi permeabilitas tanah dan batas-batas drainase.

Indeks Pemampatan (Cc)

Indeks pemampatan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium.

Koefisien Konsolidasi (Cv)

Koefisien konsolidasi (Cv) biasanya akan berkurang dengan bertambahnya batas cair (LL) dari tanah. Rentang (range) dari variasi harga Cv untuk suatu batas cair tanah tertentu adalah agak lebar.

Tekanan Pra-Konsolidasi

Tekanan prakonsolidasi (p_c) adalah tekanan efektif *overburden* maksimum yang mana telah dialami sebelumnya. Tekanan prakonsolidasi ini digunakan untuk mengetahui tanah terkonsolidasi normal (*normal consolidation*) atau terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*).

Tekanan Overburden

Tekanan overburden efektif adalah tekanan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau. Berdasarkan Sophian, 2010, jika tanah berlapis dengan berat isi tanah yang bervariasi untuk setiap stratum, maka tekanannya dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_v = \sum \gamma \cdot \Delta h$$

Beban Infrastruktur

Beban infrastruktur digunakan untuk memprediksi potensi penurunan konsolidasi. Dalam penelitian ini, digunakan perhitungan beban mati (*dead load*) dan beban hidup (*live load*) dari desain strukturalnya berdasarkan pada SNI 1727-2018. *Dead load* didefinisikan sebagai berat material konstruksi yang tergabung dalam bangunan. Sementara *live load* didefinisikan sebagai beban yang dihasilkan dari penggunaan dan kepemilikan bangunan dan tidak termasuk konstruksi atau beban lingkungan.

Untuk keperluan keteknikan, *dead load* harus dihitung tersendiri pada masing-masing struktur karena variabilitasnya yang tinggi dalam hal spesifikasi material yang digunakan, dimensi, dan lain-lain. Namun untuk estimasi kasar, *dead load* diasumsikan sebesar 15 kPa untuk struktur ringan, 45 kPa untuk struktur sedang, dan 60 kPa untuk struktur berat (Widiarso, dkk., 2019).

Teori Konsolidasi Primer Satu Dimensi Terzaghi

Dari Teori Konsolidasi Satu Dimensi Terzaghi ini dapat diketahui besar dan waktu amblesan lahan konsolidasi primer. Pada umumnya, konsolidasi ini akan berlangsung dalam satu arah saja yaitu arah vertikal karena lapisan yang terkena tambahan beban itu tidak dapat bergerak dalam arah horizontal. Dalam keadaan

seperti ini, aliran air juga akan berjalan terutama dalam arah vertikal saja. Ini disebut "*one dimensional consolidation*".

- Besar amblesan lahan
Berdasarkan Das & Sobhan (2018) Untuk menghitung amblesan total seluruh lapisan tersebut digunakan persamaan berikut:

$$S = \sum \left[\frac{Cc \cdot H_i}{1 + e_o} \log \left(\frac{p_{o(i)} + \Delta p(i)}{p_{o(i)}} \right) \right]$$

- Waktu amblesan lahan
Berdasarkan Das & Sobhan (2018), waktu yang diperlukan untuk konsolidasi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2}$$

Dimana:

- S = besar penurunan
- H_i = tebal sub-lapisan i
- P_o(i) = tekanan efektif *overburden* untuk sub-lapisan i
- Δp(i) = penambahan tekanan vertikal untuk sub-lapisan i
- e_o = angka pori
- Cc = indeks pemampatan
- T_v = faktor waktu
- Cv = koefisien konsolidasi
- T = waktu tertentu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

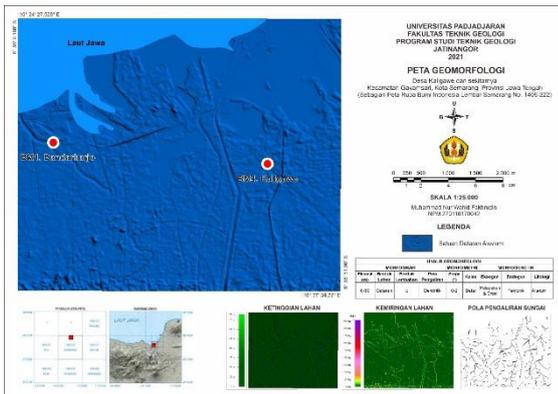
Kondisi Geologi dan Geologi Teknik Daerah Penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Daerah Penelitian (Gambar 2) hasil modifikasi dari Peta Geologi Lembar Magelang–Semarang (Thaden, dkk., 1975), daerah penelitian baik titik bor BM-01 dan BM-04 tersusun atas endapan permukaan (*surficial deposits*) berumur holosen berupa aluvium pantai, sungai, dan danau. Endapan pantai litologinya terdiri dari lempung, lanau, pasir. Endapan sungai dan danau terdiri dari kerikil, kerakal, pasir, dan lanau. Berdasarkan peta struktur geologi daerah semarang dan sekitarnya (Marsudi, 2000), di daerah penelitian tidak ditemukan kontrol struktur geologi yang berarti.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian

Berdasarkan aspek geomorfologi (Gambar 3), daerah penelitian menjadi satu satuan geomorfologi yaitu satuan dataran aluvial



Gambar 3. Peta geomorfologi daerah penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Teknik Daerah Penelitian (Gambar 4) hasil modifikasi Peta Geologi Teknik daerah Semarang dan Sekitarnya (Tobing, dkk., 2001), Titik bor BM-01 dan BM-04 terletak pada satuan lanau lempungan-lanau pasir (mc-ms).



Gambar 4. Peta geologi teknik daerah penelitian

Berikut penjabaran hasil pengambilan sampel pada kedua titik bor:

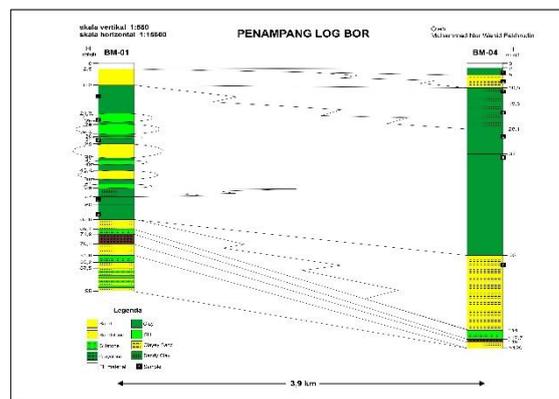
- a. Titik Bor BM-01

Total kedalaman pemboran 96 meter. Lapisan pada titik bor ini didominasi oleh lapisan lempung dengan ketebalan total lapisan lempung 35,95 m. Titik bor ini terdiri dari aluvium endapan pantai, endapan sungai, dan terdiri dari formasi damar. Endapan pantai dicirikan dengan adanya lapisan lempung yang cukup tebal. Endapan sungai dicirikan dengan adanya lapisan pasir dan lanau yang menyisip pada lapisan lempung. Arah sedimentasi dari selatan. Formasi damar dicirikan dengan adanya batupasir, batulanau, dan konglomerat.
- b. Titik Bor BM-04

Total kedalaman pemboran 120 meter. Lapisan pada titik bor ini didominasi oleh lapisan lempung dengan ketebalan total lapisan lempung 74,5 m. Titik bor ini terdiri dari aluvium endapan pantai dan Formasi Damar. Endapan pantai dicirikan

dengan adanya lapisan lempung yang cukup tebal. Formasi Damar dicirikan dengan adanya batupasir, batulanau, dan konglomerat.

Gambaran profil tanah di daerah penelitian dapat tergambarkan oleh penampang kedua log bor (Gambar 5). Lapisan lempung umumnya memiliki warna abu kehijauan, ukuran partikelnya lempung, plastisitasnya sangat plastis dengan kekerasan kaku sampai sangat kaku. Menurut klasifikasi USCS, tanah berjenis CH (*Clay High Plasticity*).



Gambar 5. Profil tanah daerah penelitian berdasarkan penampang log bor

Perhitungan Nilai Overburden Ratio (OCR)

Berdasarkan perhitungan nilai OCR, didapat nilai OCR rata-rata <1 sehingga diketahui bahwa tanah lempung di daerah penelitian terkonsolidasi normal (*normal consolidated*) dimana tekanan efektif overburden pada saat ini (p_o) adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami (p_c) oleh tanah itu.

Tabel 1. Nilai Overconsolidated Ratio

Log Bor	Kedalaman (mbgl)	P_o (kN/m ²)	P_c (kN/m ²)	OCR
BM-01	9,25 - 21,3	160,93246	33	0,2051
	25 - 26	273,81114	125	0,4565
	28,1 - 30	317,52115	150	0,4724
	31 - 34	357,71698	150	0,4193
	40 - 41	471,01969	150	0,3185
	43 - 45,4	515,527	150	0,291
	49 - 51	595,04153	150	0,2521
	53 - 57	652,70605	150	0,2298
BM-04	60 - 65,6	741,24383	150	0,2024
	2 - 5	12,45975	100	8,0258
	10,5 - 19,3	144,41708	75	0,5193
	19,3 - 28,1	232,58949	40	0,172
	28,1 - 37	420,60439	100	0,2378
	37 - 82	725,95719	100	0,1377

Perhitungan Tambahan Tekanan Efektif dari Beban Bangunan

Tambahan tekanan efektif diasumsikan dari struktur ringan (rumah tinggal), struktur sedang (apartemen), dan struktur berat (landasan pesawat).

Tabel 2. Perhitungan tambahan tekanan efektif untuk bangunan rumah tinggal

Dead Load	
Struktur ringan (Widiarso, dkk., 2019)	15,00 kN/m ²
Live Load	
Rumah tinggal (hunian satu atau dua keluarga), (SNI 1727-2018)	
~ Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	1,44 kN/m ²
~ semua ruangan kecuali tangga	1,92 kN/m ²
Total	18,4 kN/m²

Tabel 3. Perhitungan tambahan tekanan efektif untuk bangunan apartemen

Dead Load	
Struktur sedang (Widiarso, dkk., 2019)	45,00 kN/m ²
Live Load	
Apartemen (Semua hunian rumah tinggal lainnya), (SNI 1727-2018)	
~ Ruang pribadi dan koridornya	1,92 kN/m ²
~ Ruang publik	4,79 kN/m ²
Total	51,7 kN/m²

Tabel 4. Perhitungan tambahan tekanan efektif untuk bangunan landasan pesawat

Dead Load	
Struktur berat (Widiarso, dkk., 2019)	60,00 kN/m ²
Live Load	
Landasan Pesawat	
~ Maximum taxi weight pesawat Boeing 737-900 ER dan main gear pressure (roda belakang), (Okpatiasari, dkk., 2018)	15,00 kN/m ²
Total	75,0 kN/m²

Analisis Besar, Waktu, dan Laju Amblesan Lahan

Amblesan total yang terjadi pada titik bor BM-01 yakni 15,6 cm (rumah tinggal), 40,8 cm (apartemen), dan 56,5 cm (landasan pesawat). Sedangkan pada BM-04 amblesan total yang terjadi yaitu 28,1 cm (rumah tinggal), 67,5 cm (apartemen), dan 91,1 cm (landasan pesawat) (Tabel 7 dan Tabel 8). Dari keseluruhan perhitungan, besar amblesan pada BM-04 lebih besar dibanding BM-01.

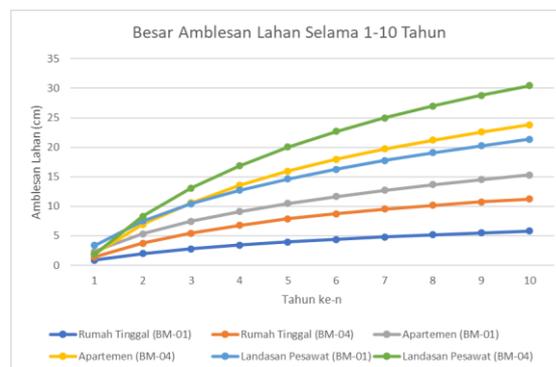
Perhitungan perkiraan waktu amblesan lahan akibat konsolidasi primer dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan untuk tanah mengalami amblesan total. Menurut Rajapakse (2015), pada kenyataannya konsolidasi primer tidak pernah berakhir dan untuk semua tujuan praktis 90% konsolidasi dilakukan sebagai akhir dari proses. Oleh karenanya digunakan asumsi derajat konsolidasi rata-rata (U_v) yang digunakan bernilai 90% sehingga diperoleh nilai faktor waktu tak berdimensi (T_v) sebesar 0,848.

Waktu yang diperlukan untuk lapisan lempung pada daerah penelitian mengalami amblesan sebesar 90% yaitu 121,18 tahun pada BM-01 dan 1879,6 tahun pada BM-04 (Tabel 9). Waktu amblesan pada BM-01 lebih cepat dibanding pada BM-04.

Laju amblesan lahan total pada BM-01 yaitu sebesar 1,7 cm/tahun (rumah tinggal), 4,7 cm/tahun (apartemen), dan 6,7 cm/tahun (landasan pesawat). Pada BM-04, laju amblesan lahan total sebesar 1,5 cm/tahun (rumah tinggal), 2,98 cm/tahun (apartemen), dan 3,7 cm/tahun (landasan pesawat); (Tabel 10 dan Tabel 11). Laju amblesan pada BM-01 lebih cepat dibanding amblesan pada BM-04.

Perhitungan amblesan lahan akibat beban infrastruktur dari tahun ke-1 hingga ke-10 setelah bangunan didirikan digunakan untuk mengetahui perubahan besar amblesan lahan di daerah penelitian. Hasil total amblesan selama jangka waktu tersebut dikurangi sebesar 10-15% dari total amblesan yang terjadi sebagai koreksi untuk keterandalan perhitungan penurunan tanah (Joseph E. Bowles, 1986; dalam Sophian, 2010).

Ditinjau dari besar amblesan lahan selama 1 sampai 10 tahun di daerah penelitian, pada BM-01 amblesan lahan yang terjadi pada tahun ke-10 yaitu sebesar 5,7 cm (rumah tinggal), 15,3 cm (apartemen), dan 21,3 cm (landasan pesawat). Pada BM-04 amblesan lahan yang terjadi pada tahun ke-10 yaitu sebesar 11,2 cm (rumah tinggal), 23,7 cm (apartemen), dan 30,4 cm (landasan pesawat); (Tabel 12). Besar amblesan lahan dari tahun ke-tahun memiliki laju yang tidak konstan. Dilihat dari besar penurunan yang terjadi setelah 10 tahun mendatang, amblesan yang terjadi belum mencapai amblesan totalnya.



Gambar 6. Besar amblesan lahan selama 1-10 tahun

Asosiasi Kondisi Geologi Terhadap Amblesan Lahan

Berdasarkan Tobing, dkk., (2001), garis pantai kota Semarang semakin maju ke arah darat dari tahun ke tahun menandakan di daerah penelitian proses sedimentasi yang berumur resen sangat dominan. Oleh karena itu, tanah lempung di daerah penelitian mengalami amblesan lahan konsolidasi primer cenderung dipengaruhi oleh material sedimen yang masih berada dalam keadaan belum terkonsolidasi hingga terkonsolidasi normal dan tidak berkaitan

langsung dengan aktivitas tektonik (Wardhana, dkk., 2014).

Hubungan Kondisi Geologi Teknik Terhadap Amblesan Lahan

Setelah dilakukan uji analisis regresi linear sederhana dan uji korelasi hubungan indeks pemampatan dengan amblesan lahan menggunakan *software* IBM SPSS Statistics 25, diperoleh nilai seperti tercantum pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis uji regresi linear sederhana dan uji korelasi hubungan indeks pemampatan (Cc) dengan amblesan lahan per-ketebalan lempung asalnya (beban rumah tinggal)

Uji Regresi Linear Sederhana & Uji Korelasi	Hasil
Signifikansi	0,004
Pearson Correlation	0,783
R Square	0,613
Bentuk hubungan	+

Dari hasil analisis tersebut diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,004. Karena nilai signifikansi yang diperoleh <0,05, artinya indeks pemampatan berpengaruh terhadap besar amblesan lahan. Diperoleh pula nilai *pearson correlation* dan *R Square* sebesar 0,783 dan 0,613. Artinya, indeks pemampatan dan besar amblesan lahan memiliki derajat hubungan korelasi kuat sebesar 61%. Bentuk hubungan kedua variabel ini yaitu bentuk hubungan positif yang artinya semakin besar nilai indeks pemampatan, maka semakin besar pula besar amblesan lahannya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan indeks pemampatan (Cc) dan besar amblesan lahan per-ketebalan lempung asal (beban rumah tinggal)

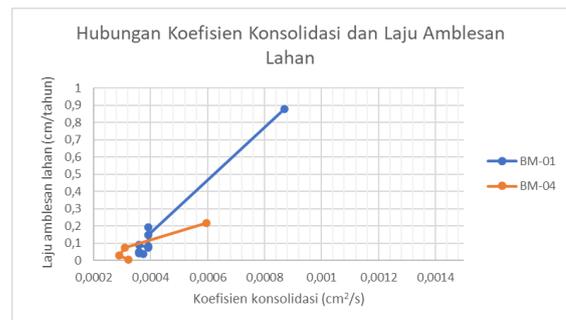
Hal ini menunjukkan bahwa BM-04 memiliki nilai amblesan yang lebih besar dibanding BM-01 karena BM-04 memiliki nilai indeks pemampatan (Cc) rata-rata yang lebih besar yakni 0,35 dibanding BM-01 dengan nilai indeks pemampatan (Cc) rata-rata sebesar 0,27.

Selanjutnya dilakukan analisis hubungan antara koefisien konsolidasi (Cv) dengan laju amblesan lahan. Setelah dilakukan uji analisis regresi linear sederhana dan uji korelasi menggunakan *software* IBM SPSS Statistics 25, diperoleh nilai seperti tercantum pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji regresi linear sederhana dan uji korelasi hubungan koefisien konsolidasi (Cv) dengan laju amblesan lahan (beban rumah tinggal)

Uji Regresi Linear Sederhana & Uji Korelasi	Hasil
Signifikansi	0
Pearson Correlation	0,946
R Square	0,895
Bentuk hubungan	+

Dari hasil analisis tersebut diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000. Karena nilai signifikansi yang diperoleh <0,05, artinya koefisien konsolidasi (Cv) berpengaruh terhadap laju amblesan lahan. Diperoleh pula nilai *pearson correlation* dan *R Square* sebesar 0,946 dan 0,895. Artinya, koefisien konsolidasi dan laju amblesan lahan memiliki derajat hubungan korelasi sempurna sebesar 89%. Bentuk hubungan kedua variabel ini yaitu bentuk hubungan positif yang artinya semakin besar nilai koefisien konsolidasi (Cv), maka semakin cepat pula laju amblesan lahannya sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.7.

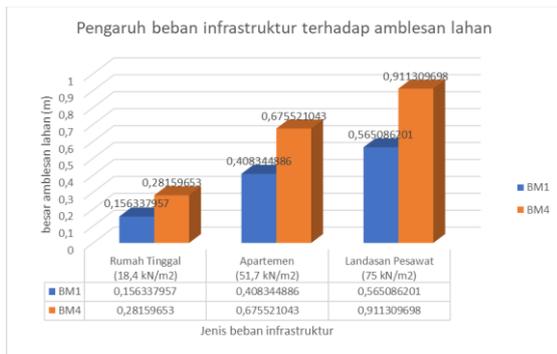


Gambar 8. Hubungan koefisien konsolidasi (Cv) dan laju amblesan lahan (beban rumah tinggal)

Hal ini menunjukkan bahwa BM-01 memiliki laju amblesan yang lebih cepat dibanding BM-04 karena BM-01 memiliki nilai koefisien konsolidasi (Cv) rata-rata lebih besar yakni 0,000451 cm²/det sedangkan BM-04 memiliki koefisien konsolidasi (Cv) rata-rata sebesar 0,000372 cm²/det.

Pengaruh Beban Infrastruktur Terhadap Amblesan Lahan

Amblesan lahan total akibat beban landasan pesawat (75 kN/m²) memiliki nilai yang lebih besar dibanding beban bangunan yang lain yaitu 56,5 cm (BM-01) dan 91 cm (BM-04). Sedangkan amblesan lahan untuk beban rumah tinggal (18,4 kN/m²) sebesar 15 cm (BM-01) dan 28 cm (BM-04) dan amblesan lahan untuk beban apartemen (51,7 kN/m²) sebesar 40 cm (BM-01) dan 67 cm (BM-04); (Tabel 12). Hal ini karena semakin besar beban bangunannya, maka tambahan tekanan efektifnya akan semakin besar yang mengakibatkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan (Gambar 9).



Gambar 9. Pengaruh beban infrastruktur terhadap amblesan lahan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Berdasarkan hasil perhitungan konsolidasi primer satu dimensi Terzaghi:
 - Amblesan lahan total pada BM-04 lebih besar dibanding BM-01.
 - Waktu amblesan lahan pada BM-04 lebih lama dibanding BM-01.
 - Laju amblesan lahan pada BM-01 lebih cepat dibanding BM-04.
 - Besar amblesan lahan dari tahun ke-1 hingga ke-10 memiliki laju yang tidak konstan serta belum mencapai amblesan totalnya.
- Amblesan lahan di daerah penelitian cenderung dipengaruhi oleh aluvium berumur holosen dan tidak berkaitan langsung dengan aktivitas tektonik (Wardhana, dkk., 2014).
- Berdasarkan kondisi geologi teknik, amblesan lahan di daerah penelitian memiliki hubungan dengan indeks pemampatan (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v).
 - Semakin besar nilai indeks pemampatan (C_c) maka akan semakin besar pula amblesan lahannya.
 - Semakin besar nilai koefisien konsolidasi (C_v) maka akan semakin cepat pula laju amblesan lahannya.
- Beban infrastruktur sebagai tambahan tekanan efektif sangat berpengaruh terhadap amblesan lahan. Semakin besar beban bangunannya, maka akan semakin besar pula amblesan lahannya.

Saran

- Menghitung *dead load* sesuai dengan struktur bangunan secara faktual supaya perhitungan amblesan lahan lebih representatif.
- Melakukan pemboran geoteknik di antara BM-01 dan BM-04 sehingga dapat dilakukan korelasi persebaran litologi dengan lebih akurat.
- Melakukan kajian dengan melibatkan data muka air tanah (MAT).
- Melakukan kajian yang melibatkan data geolistrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional Indonesia. (2020). Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain 1727:2020. *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*, 8, 1–336.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering -9th Edition*. 1–845.
- Marsudi, M. (2000). Prediksi Laju Amblesan Tanah di Dataran Alluvial Semarang Propinsi Jawa Tengah. *Disertasi Program Pascasarjana ITB*.
- Rajapakse, R. A. (2015). *Geotechnical engineering calculations and rules of thumb*. Butterworth-Heinemann.
- Soebowo, E., Sarah, D., & Murdohardono, D. (2014). *Geologi Bawah Permukaan Wilayah Amblesan Tanah*. 57–63.
- 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), 41–60.
- Sugalang, T. W. B. (2017). *Buku Seri Geologi Teknik "Penyelidikan Geologi Teknik untuk Ketekniksipilan dan Lingkungan"*. Badan Geologi, Kementerian ESDM.
- Thaden, R. E., Sumadirdja, H., & Richards, P. W. (1975). *Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang*. Badan Geologi.
- Tobing, M. H. L., Syarief, E. A., & Murdohardono, D. (2001). Penyelidikan Geologi Teknik Amblesan Daerah Semarang dan Sekitarnya, Propinsi Jawa Tengah. *Laporan Penelitian. Direktorat Geologi Tata Lingkungan*.
- Wardhana, D. D., Harjono, H., & Sudaryanto, S. (2014). Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Gayaberat. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*, 24(1), 53.
- Widiarso, D. A., Haryanto, W., Muslim, D., Zakaria, Z., & Iskandarsyah, T. Y. (2019). Potential consolidation settlement due to load stresses of building structures. *International Journal of GEOMATE*, 17(60), 204–210.

Tabel 7. Besar amblesan lahan pada BM-01

Kedalaman (mbgl)	H _i (m)	C _c	e ₀	P _o (kN/m ²)	S _c (cm)		
					Rumah Tinggal	Apartemen	Landasan Pesawat
9,25 -21,3	12,1	0,62	1,9	160,93246	12,16074045	31,3635464	43,06275684
25 - 26	1	0,22	1,31	273,81114	0,271534351	0,72375327	1,012868416
28,1 - 30	1,9	0,19	1,41	317,52115	0,365955353	0,98224299	1,380453611
31 - 34	3	0,19	1,41	357,71698	0,51449197	1,38786147	1,956561576
40 - 41	1	0,19	1,41	471,01969	0,131021288	0,35690961	0,506268313
43 - 45,4	2,4	0,19	1,41	515,527	0,287772658	0,78605081	1,116943695
49 - 51	2	0,25	1,45	595,04153	0,265240483	0,72733825	1,036123934
53 - 57	4	0,25	1,45	652,70605	0,484258451	1,33093187	1,898760961
57 - 60	3	0,25	1,45	591,81962	0,342315902	0,94210583	1,345249008
60 - 65,6	5,6	0,35	1,54	741,24383	0,810464785	2,23374801	3,192633709
Total:					15,63379569	40,8344886	56,50862006

Tabel 8. Besar amblesan lahan pada BM-04

Kedalaman (mbgl)	H _i (m)	C _c	e ₀	P _o (kN/m ²)	S _c (cm)		
					Rumah Tinggal	Apartemen	Landasan Pesawat
2 - 5	3	0,24	2,38	12,45975	8,329447677	15,0744412	17,92231857
10,5 - 19,3	8,8	0,44	1,68	144,41708	7,558888233	19,3309438	26,41836039
19,3 - 28,1	8,8	0,51	1,95	232,58949	5,064033171	13,380703	18,62877805
28,1 - 37	8,9	0,31	1,37	420,60439	2,180669124	5,91807491	8,374740719
37 - 82	45	0,22	1,16	725,95719	5,026614774	13,8479415	19,78677204
Total:					28,15965298	67,5521043	91,13096976

Tabel 9. Waktu Penurunan 90% Lapisan Lempung Pada Log Bor BM-01 dan BM-04

BM-01					BM-04				
Kedalaman (mbgl)	H _i (cm)	C _v (cm ² /s)	T _v	t (tahun)	Kedalaman (mbgl)	H _i (cm)	C _v (cm ² /s)	T _v	t (tahun)
9,25 -21,2	1205	0,000616	0,848	63,42167	2 - 5	300	0,000345	0,848	7,016284
25 - 26	100	0,000871	0,848	0,308895	10,5 - 19,3	880	0,000595	0,848	34,98019
28,1 - 30	190	0,000392	0,848	2,476859	19,3 - 28,1	880	0,000309	0,848	67,3565
31 - 34	300	0,000392	0,848	6,174994	28,1 - 37	890	0,00029	0,848	73,47695
40 - 41	100	0,000392	0,848	0,68611	37 - 82	4500	0,000321	0,848	1696,769
43 - 45,4	240	0,000392	0,848	3,951996	Total:				1879,6
49 - 51	200	0,00036	0,848	2,988706					
53 - 57	400	0,00036	0,848	11,95482					
57 - 60	300	0,00036	0,848	6,724588					
60 - 65,6	560	0,000375	0,848	22,4975					
Total:					121,186				

Tabel 10. Laju amblesan lahan pada BM-01

Kedalaman (mbgl)	Laju (cm/tahun)		
	Rumah Tinggal	Apartemen	Landasan Pesawat
9,25 - 21,3	0,191744247	0,4945241	0,678991211
25 - 26	0,879049802	2,3430375	3,279002371
28,1 - 30	0,147749781	0,396568	0,557340445
31 - 34	0,083318614	0,2247551	0,316852367
40 - 41	0,190962376	0,5201926	0,737881616
43 - 45,4	0,072817035	0,1988997	0,282627712
49 - 51	0,088747601	0,2433623	0,346679784
53 - 57	0,040507368	0,1113301	0,158828017
57 - 60	0,050905108	0,1400987	0,200049271
60 - 65,6	0,036024652	0,0992887	0,14191057
Laju total	1,781826586	4,7720568	6,700163364

Tabel 11. Laju amblesan lahan pada BM-04

Kedalaman (mbgl)	Laju (cm/tahun)		
	Rumah Tinggal	Apartemen	Landasan Pesawat
2 - 5	1,187159376	2,1484935	2,554388881
10,5 - 19,3	0,216090534	0,5526254	0,755237731
19,3 - 28,1	0,075182542	0,198655	0,27656985
28,1 - 37	0,029678277	0,0805433	0,113977801
37 - 82	0,002962463	0,0081614	0,011661443
Laju total	1,511073192	2,9884785	3,711835706

Tabel 12. Amblesan lahan daerah penelitian selama 1-10 tahun

Tahun ke-n	$S_{c_n \text{ tahun}} - 15\% \times S_c \text{ (cm)}$					
	BM-01			BM-04		
	Rumah Tinggal	Apartemen	Landasan Pesawat	Rumah Tinggal	Apartemen	Landasan Pesawat
1	0,863705282	2,37154182	3,378626153	1,405633702	1,941498962	1,880178939
2	1,987609864	5,339362681	7,512988153	3,736851689	6,941490286	8,319383944
3	2,78449192	7,438922109	10,43393435	5,43491198	10,61408926	13,06546916
4	3,414317254	9,095025597	12,73519961	6,777528321	13,54856049	16,87390825
5	3,937672081	10,46806615	14,64053705	7,865372186	15,96344305	20,02754488
6	4,392132254	11,65863697	16,29122144	8,760185536	17,98488672	22,68548736
7	4,795707074	12,71440212	17,75375366	9,515902122	19,72343423	24,9873538
8	5,158083095	13,66100034	19,0638825	10,16221829	21,23721656	27,00503575
9	5,486735097	14,51795782	20,24861614	10,72684444	22,58226858	28,80888133
10	5,793402936	15,31703102	21,35285751	11,229851	23,79925647	30,44998996