

ABSTRAK

KOMPAKSI ALAMIAH ENDAPAN ALUVIAL SEMARANG DEMAK

Oleh

Dwi Sarah

NIM: 32014001

(Program Studi Doktor Teknik Geologi)

Amblesan tanah (*land subsidence*) telah menjadi masalah global yang dialami kota-kota besar di dunia, tak terkecuali di Indonesia. Kerugian fisik yang disebabkan oleh amblesan tanah mengakibatkan biaya ekonomi tinggi dan menghambat pembangunan wilayah berkelanjutan. Dataran Semarang Demak dilaporkan telah mengalami masalah amblesan tanah sejak tahun 1980an hingga saat ini. Amblesan tanah terjadi disebabkan oleh kombinasi faktor kompaksi alamiah dan antropogenik (pengambilan airtanah dan beban bangunan). Dataran Semarang Demak terbentuk oleh sedimentasi endapan aluvial Resen yang menghasilkan endapan yang belum terkompaksi seluruhnya. Pengetahuan mengenai faktor kompaksi alamiah ini penting diketahui untuk memahami mekanisme amblesan tanah pada endapan berumur muda. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan terjadinya kompaksi alamiah di dataran aluvial Semarang Demak, menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhinya, dan mengetahui laju kompaksi alamiah.

Kompaksi alamiah terjadi pada lapisan lempung yang mengalami *overpressure* (kondisi tekanan melebihi hidrostatik). *Overpressure* terjadi sebagai akibat dari pengendapan yang berlangsung cepat, dimana tekanan pori belum mencapai kondisi ekuilibrium sementara beban di atasnya masih bertambah. Kondisi *overpressure* ini tidak bertahan lama dan akan mengalir menuju tekanan yang lebih rendah sehingga menyebabkan kompaksi secara alami. Proses disipasi tekanan *overpressure* terus berjalan meskipun sedimentasi telah usai. Pendekatan pengukuran CPTu (*Cone Penetration Test with pore water measurement*) dan pengujian konsolidasi laboratorium membuktikan keberadaan *overpressure* pada endapan dangkal (maksimal kedalaman 35 meter) di daerah studi. Metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi integrasi data bawah permukaan (data bor, CPTu), pengujian sifat fisik dan konsolidasi lempung, mineralogi lempung, pengujian kualitas airtanah, dan pemodelan laju kompaksi alamiah.

Mekanisme kompaksi alamiah dipengaruhi oleh perilaku lempung sebagai litologi yang sangat kompresibel. Perilaku kompresibilitas lempung dipengaruhi oleh jenis mineral lempung, jenis kation dan kapasitas tukarnya, kemas lempung, dan salinitas air pori lempung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lempung Semarang Demak diklasifikasikan sebagai lempung dengan aktivitas tinggi yang

didominasi oleh fraksi Na-monmorilonit dengan kapasitas tukar kation tinggi. Genang dan susut laut akibat fluktuasi muka airlaut global pada saat sedimentasi dataran aluvial Semarang Demak menghasilkan variasi kualitas airtanah dari tawar hingga payau sebagai hasil proses pengendapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kondisi airtanah ini mempengaruhi perilaku kompresibilitas lempung. Lempung dengan air pori payau lebih cepat dan mudah terkompresi, disebabkan oleh kemas lempung payau yang cenderung paralel. Kemas paralel memudahkan proses disipasi air pori dan secara mekanis lebih kompresibel.

Profil bawah permukaan dataran Semarang Demak memperlihatkan endapan delta dan pasang surut yang saling menjari di bagian atas, yang menumpang tidak selaras di atas Formasi Damar. Endapan tersebut tersusun oleh perselingan antara lapisan pasir, lanau dan lempung lunak, dengan sisipan lensa-lensa pasir dan kerikil. Terdapat endapan lempung tebal di bagian atas, dengan ketebalan bervariasi dari 5 hingga 60 m, menebal ke arah utara dan timur. Hasil pemodelan kompaksi alamiah menunjukkan bahwa laju kompaksi alamiah bervariasi secara spasial, berkisar antara 0,0 - 2,2 cm/tahun. Laju kompaksi alamiah di dataran kota Semarang relatif rendah ($< 1,1$ cm/tahun), diduga disebabkan oleh tekanan pori yang sudah terkuras oleh penurunan tekanan piezometrik yang cepat akibat eksploitasi airtanah pada akuifer Formasi Damar. Laju kompaksi alamiah lebih tinggi di bagian timur (0,9 - 2,2 cm/tahun), disebabkan oleh lempung *overpressure* yang menebal ke arah timur dan tekanan antropogenik yang rendah di daerah ini.

Kebaruan yang dihasilkan dari penelitian ini yaitu identifikasi tekanan *overpressure* pada endapan dangkal, kuantifikasi laju kompaksi alamiah, dan interaksi kimia-hidromekanika lempung Semarang Demak. Kontribusi penelitian ini terhadap khazanah ilmu pengetahuan antara lain berupa pengetahuan karakteristik hidro-kimia-mekanika lempung Semarang Demak dan potensi kompaksi alamiahnya. Penelitian ini bermanfaat bagi pemangku kepentingan di Semarang Demak sebagai masukan dalam pengelolaan wilayah amblesan tanah, dan dapat menjadi rujukan bagi wilayah pesisir lain yang mengalami permasalahan serupa.

Kata kunci: kompaksi alamiah, laju, perilaku lempung, *overpressure*, Semarang Demak, amblesan

ABSTRACT

NATURAL COMPACTION OF SEMARANG DEMAK ALLUVIAL DEPOSIT

By

Dwi Sarah

NIM: 32014001

(Doctoral Program in Geological Engineering)

Land subsidence has become a global problem threatening the development of large cities across the world, including cities in Indonesia. Physical damages due to land subsidence have caused enormous economic costs and hindering the sustainable development of the area. Semarang Demak plain has been reported to experience land subsidence since the 1980s until now. The land subsidence is caused by the combination of natural compaction and anthropogenic factor (groundwater extraction and building loads). The Recent sedimentation of the alluvial deposit forming the Semarang Demak plain resulted in some near surface sediment that has not been fully compacted yet. Understanding of the natural compaction factor is important to comprehend the land subsidence mechanism in Recent sediment. This study aims to prove the occurrence of natural compaction in the Semarang Demak alluvial plain, to explain the factors influencing the natural compaction, and to obtain the rate of natural compaction.

Natural compaction takes place in clays with pore pressure in excess of hydrostatic (overpressure). Overpressure can be developed in clays which are deposited very rapidly, where the pore pressure has not yet attained equilibrium state while the overlying overburden keeps increasing. Overpressure condition has transient nature and will dissipate towards lower pressure, causing the sediment to compact naturally. The dissipation of overpressure would still occur even after the sedimentation has ceased. Combination of Cone Penetration Test with pore water measurement (CPTu) and laboratory consolidation test has proved the occurrence of overpressure at shallow deposit (maximum of 35 m depth) in the study area. Methods employed in this research included the integration of subsurface data (borehole and CPTu logs), physical properties and consolidation tests of clay, clay mineralogy, groundwater quality testing, and modeling of natural compaction rate.

Clay as a very compressible stratum determines the mechanism of natural compaction. The compressibility of clay is influenced by the clay mineralogy, cation type and exchange capacity, fabric, and salinity of the porewater. Result shows that the Semarang Demak clay is classified into high activity clay, dominated by Na-montmorillonite that has high cation exchange capacity. The transgression and regression of the sea due to the global sea level fluctuation

during the sedimentation of Semarang Demak plain causes the occurrence of fresh and brackish groundwater as the result of deposition. Study result shows that the variety of groundwater condition affects the compressive behavior of clay. Clay with brackish porewater tends to compress faster and easier due to its parallel fabric. The parallel fabric facilitates the faster dissipation of porewater and is mechanically more compressible.

Subsurface profile of Semarang Demak plain reveals the interfingering between deltaic and tidal deposit on the upper part that lies unconformably on top of the Damar Formation. The deposit consists of sand, silt and clay layers intercalated with lenses of sand and gravels. The clay layer occupies the upper part with thickness varying from 5 to 60 meter that is getting thicker towards the north and east. Modeling results shows that the rate of natural compaction varies spatially, ranging from 0.0 - 2.2 cm/year. The natural compaction in Semarang city is relatively lower (<1.1 cm/year), probably due to depletion of the pore pressure by the rapidly declining piezometric pressure of the heavily exploited Damar Formation aquifer. The natural compaction rate is higher in the east (0.9 - 2.2 cm/year) due to the less anthropogenic force in this area.

The novelties of this research include the identification of overpressure in shallow deposit, quantification of natural compaction rate, and the interaction of chemo-hydro-mechanics of Semarang Demak clay. The scientific contribution is related to the knowledge of the chemo-hydro-mechanical properties of the Semarang Demak clay and its susceptibility to natural compaction. The output of this research is advantageous for the Semarang Demak stakeholders as the basis of regional management plan in the subsidence prone area, and could be used as a reference for other coastal areas experiencing similar problem.

Keywords: natural compaction, rate, clay behavior, overpressure, Semarang Demak, subsidence