

## **PENURUNAN MUKA TANAH DI KOTA-KOTA BESAR PESISIR PANTAI UTARA JAWA (STUDI KASUS : KOTA SEMARANG)**

**R. Irvan Sophian**

Laboratorium Geologi Teknik, Fakultas Teknik Geologi, UNPAD

### **ABSTRACT**

*Major cities in the north coast of Java developed in estuarine watersheds. Genetically, sediment material scattered in the region. Sediments of weathering and erosion result, is carried by a river sediment in the river estuaries. Characteristics of the material-forming region, is dependent upon the crushed rock by river. Phenomenon of subsidence / land subsidence occurred in this many areas. Naturally, these regions experiencing land subsidence resulting from sediment material properties. This subsidence can be caused by various factors, for example due to soil load itself, so there is a decrease naturally. Consolidation is included in the normal consolidation. Factors considered in knowing subsidence, is a load of soil itself on each layer of fine-clastic, so that can be known susidence due to overburden load. Within a certain timeframe land subsidence is still going to happen, especially in the northern part of Semarang city (old city) which can be resulted in a tide flood so that it must consider its handling.*

**Keywords:** *alluvial, land subsidence, consolidation, overburden, tide flood*

### **ABSTRAK**

Kota-kota besar di pesisir pantai utara Jawa banyak berkembang di daerah muara aliran sungai. Secara genetik, di wilayah tersebut tersebar material endapan aluvial. Endapan-endapan hasil pelapukan dan erosi terbawa oleh air sungai yang mengendap di muara sungai. Karakteristik material penyusun wilayah sangat tergantung oleh batuan yang digerus oleh sungai tersebut. Fenomena amblesan/ penurunan muka tanah banyak terjadi di wilayah ini. Secara alami, daerah tersebut mengalami penurunan muka tanah akibat dari sifat material endapan aluvial. Penyebab terjadinya penurunan ini dapat diakibatkan oleh berbagai faktor, salah satunya akibat beban tanah itu sendiri, sehingga terjadi penurunan secara alami. Konsolidasi yang terjadi termasuk ke dalam normal konsolidasi. Faktor yang diperhitungkan untuk mengetahui penurunan yang terjadi, adalah beban tanah itu sendiri pada setiap lapisan klastika halus, sehingga dapat diketahui penurunan akibat beban overburden. Dalam jangka waktu tertentu penurunan muka tanah masih akan terjadi, terutama di kota Semarang bagian utara (kota lama) yang dapat mengakibatkan terjadinya banjir laut pasang sehingga perlu dipikirkan penanggulangannya.

**Kata kunci:** *aluvial, land subsidence, konsolidasi, overburden, banjir rob*

### **PENDAHULUAN**

Pesatnya perkembangan pembangunan di segala bidang akan diikuti oleh kebutuhan terhadap sumber daya manusia. Perencanaan pembangunan sangat dipengaruhi oleh berbagai aspek yang masing-masing memiliki peranan yang tidak dapat diabaikan. Aspek geologi sangat penting karena akan menentukan kelayakan lahan yang mempunyai batas-batas keteknikan tertentu untuk diperlakukan.

Kota-kota besar di pesisir pantai utara Jawa banyak berkembang di daerah muara aliran sungai. Secara

genetik, di wilayah tersebut tersebar material endapan aluvial. Endapan-endapan hasil pelapukan dan erosi terbawa oleh air sungai yang mengendap di muara sungai. Karakteristik material penyusun wilayah sangat tergantung oleh batuan yang digerus oleh air sungai tersebut.

Kota-kota besar di pesisir pantai utara Jawa mempunyai program pembangunan untuk masa mendatang ke arah kawasan industri. Seiring dengan pengembangan daerah pantai utara Jawa tersebut, kendala kewilayahan akan muncul salah satunya berkaitan dengan karakteristik wilayah.

Aluvium merupakan material yang banyak tersebar di daerah kota-kota besar pesisir pantai utara Jawa seperti di kota Jakarta, kota Semarang, dan kota Surabaya. Endapan aluvial ini merupakan endapan yang belum terlitifikasi sehingga masih dalam proses konsolidasi dan kompaksi.

Semarang merupakan salah satu kota besar di pantai utara Jawa, mempunyai penduduk yang cukup padat terutama bagian Semarang Utara, hal ini perlu diperhatikan karena dengan adanya kondisi ini maka pembangunan lebih cenderung ke arah pantai.

Dilihat dari perkembangan garis pantai, Semarang mengalami perubahan garis pantai yang cukup signifikan terlihat dari Gambar 1 yang mencirikan proses pengendapan yang terus berlangsung hingga kini dan menunjukkan bahwa endapan yang terbentuk belum mengalami kompaksi dan berumur relatif muda dibanding dengan batuan dasar sehingga dapat dikatakan sebagai endapan aluvium (Robert. E. Thaden, dkk, 1975).

Penurunan muka tanah/ amblesan (*subsidence*) banyak terjadi di kota Semarang ini terutama daerah yang tersebar endapan aluvial (Kota Lama). Amblesan (*subsidence*) adalah turunnya permukaan tanah akibat terjadinya perubahan volume pada lapisan-lapisan batuan di bawahnya. Penurunan tanah ini dapat mengakibatkan banjir di daerah Semarang utara akibat banjir pasang (*rob*), serta terjadi kerusakan pada bangunan-bangunan. Amblesan atau penurunan tanah ini dapat diakibatkan oleh :

- beban yang berat di atasnya (*overburden*, bangunan, dll),
- bukaan bawah tanah (tambang, terowongan, galian, dll),

- pemompaan air tanah dan pengambilan gas alam yang berlebihan,
- aktivitas tektonik.

Dalam bahasan ini pengaruh *overburden* yang penulis akan ungkapkan karena untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap penurunan muka tanah di kota Semarang.

## BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan jalan melaksanakan pemboran inti untuk mendapatkan contoh tanah terganggu (*disturb sample*) dan tanah tidak terganggu (*undisturb sample*) yang diambil di daerah penelitian. Korelasi log-bor dilakukan untuk mengetahui penyebaran setiap material klastika halus. Analisis hasil pengujian laboratorium contoh tanah untuk menghasilkan variabel-variabel yang dapat dihubungkan satu sama lain di dalam analisis kemampuan pemampatan tanah (*soil consolidated*) di daerah penelitian. Analisis penurunan muka tanah akibat beban *overburden* dilakukan pada setiap lapisan tanah lempung.

## Permasalahan

Permasalahan yang akan dikemukakan di daerah penelitian adalah sebagai berikut :

1. Kondisi geologi daerah penelitian dan sekitarnya yang mempengaruhi karakteristik fisik dan mekanika tanah sebagai pendukung struktur.
2. Penyebaran tanah yang memiliki karakteristik keteknikan tertentu.
3. Salah satu penyebab amblesan di daerah Semarang adalah pengaruh beban *overburden* sehingga

menyebabkan naiknya tegangan efektif tanah.

4. Hubungan antara pengaruh *overburden* dengan amblesan yang terjadi.
5. Dengan menggunakan data tiga log bor dari tiga lokasi yang berbeda (DH1, DH2, BM1) dapat diketahui sifat keteknikan tanah/batuan tiap lapisan dari hasil uji laboratorium sampai kedalaman 50 meter.

### Klasifikasi Tanah

Prinsip klasifikasi tanah dalam geologi teknik adalah untuk mengelompokkan jenis tanah yang sama. Hal ini dilakukan untuk memudahkan prosedur pengujian karakteristik tanah. Ada beberapa sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan, tetapi sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan dalam bidang keteknikan adalah Sistem Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (AASHTO, 1929) dan Sistem Klasifikasi Unified/ USCS (Braja M Das, 1988). Kedua klasifikasi tanah ini dibuat berdasarkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg (sifat plastisitas tanah).

Konsistensi dan plastisitas dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air dalam tanah. Apabila suatu bubuk lempung secara pelan dikeringkan akan melalui tahapan dari keadaan cair ke keadaan plastis dan akhirnya memasuki keadaan semi padat dan padat. Kadar air pada saat tanah mengalami perubahan dari satu keadaan ke keadaan lain, tidak sama bagi tanah-tanah yang berlainan dan dapat dipergunakan secara kuantitatif untuk membedakan atau meng-

klasifikasikan jenis-jenis tanah berbutir halus yang berlainan.

### Beban Tanah Penutup (Overburden Pressure)

Besarnya tekanan tanah penutup suatu tanah horizontal dan kedalaman tertentu dihitung dengan mengetahui berat isi tanah dan ketebalan tanah di atasnya dengan ketentuan:

- Jika berat isi tanah konstan terhadap kedalaman maka tekanan :

$$\sigma_v = \gamma \cdot h$$

- Jika berat isi bervariasi terhadap kedalamannya maka :

$$\sigma_v = \int_0^h \gamma dh$$

- Jika tanah berlapis dengan berat isi tanah yang bervariasi untuk setiap stratum

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

$h$  = ketebalan lapisan

$\gamma$  = berat volume tanah kering

### Tekanan Efektif

Tekanan efektif adalah tekanan kontak antar butir yang mengimbangi beban vertikal yang bekerja pada suatu bidang. Jika suatu gaya luar bekerja pada tanah jenuh, maka pada awalnya air yang terdapat di antara pori-pori tanah akan memikul tekanan normal yang bekerja. Setelah air pori mengalir keluar akibat tekanan tersebut, maka kemudian tekanan itu berangsur-angsur dipikul oleh butir-butir tanah. Tekanan yang bekerja pada butir-butir tanah disebut dengan tekanan/tegangan efektif.

## Konsolidasi

Proses kompresi atas tanah/ stratum tanah oleh beban struktur sehingga terjadi pengecilan angka pori (*void ratio* ( $e$ )) diikuti dengan keluarnya air dengan menampakkan pemadatan (wujud penurunan, *settlement* struktur tanah) dapat dikatakan sebagai konsolidasi.

Pengamatan tanah kohesif jenuh air menerima beban penurunan yang terjadi dapat disederhanakan menjadi tiga bagian yaitu :

1. penurunan seketika (penurunan elastis) terjadi pada saat beban diberikan dan diterima oleh air pori sehingga timbul tegangan air pori pada tanah berpermeabilitas rendah untuk sementara tidak ada air pori yang terdisipasikan (tanah dalam kondisi undrained) tanah akan terdeformasi tanpa mengalami perubahan volume, sehingga deformasi vertikal (penurunan) akan diikuti pengembangan ke arah lateral
2. penurunan konsolidasi (primer) terjadi bersamaan dengan terdisipasinya air pori. Akibat penurunan yang terjadi disertai dengan perubahan volume. Tegangan air pori diteruskan ke partikel tanah menjadi tegangan efektif tanah. Kecepatan terjadinya konsolidasi tergantung kecepatan keluarnya air pori, yang merupakan fungsi permeabilitas tanah dan batas-batas drainase.
3. Penurunan sekunder dan penurunan jangka panjang yang terjadi setelah seluruh tegangan air pori terdisipasi dan tegangan efektif tanah konstan. Deformasi ini terjadi akibat efek rangkak (*drained creep*).

Besarnya ketiga macam penurunan tergantung pada jenis tanah, kompresibilitas tanah, sejarah tegangan (*stress history*), besar dan kecepatan pembebanan dan perbandingan luas bidang pembebanan terhadap ketebalan tanah kompresif (Bergado, 1994).

## Indeks Pemampatan (*Compression Index Cc*)

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

Untuk tanah *normally consolidated*, berdasarkan pembulatan empiris yang dilakukan oleh Terzaghi dan Peck (1967) untuk lempung yang struktur tanahnya tak terganggu/ belum rusak (*undisturbed*) digunakan  $C_c = 0,009(LL - 10)$  sedangkan untuk lempung yang terbentuk kembali (*remolded*)  $C_c = 0,007(LL - 10)$ , dimana  $LL$  = batas cair dalam persen. Jika data konsolidasi hasil percobaan di laboratorium tidak ada, maka persamaan  $C_c = 0,30(e_o - 0,27)(Hough)$  untuk tanah kohesif anorganik : lanau, lempung berlanau, lempung.

## Koefisien Konsolidasi Coefisien of Consolidation ( $C_v$ )

Koefisien konsolidasi digunakan untuk menghitung kecepatan penurunan. Kecepatan penurunan perlu diperhatikan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada suatu struktur diperkirakan sangat besar. Koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) akan berkurang dengan bertambahnya batas cair ( $LL$ )

dari tanah. Rentang (*range*) dari variasi harga  $C_v$ , untuk suatu batas cair tanah tertentu adalah agak lebar.

### Tekanan Prakonsolidasi *Pre-Consolidation Pressure ( $p_c$ )*

Tekanan prakonsolidasi adalah tekanan efektif *overburden* maksimum yang mana telah dialami sebelumnya. Terdapat beberapa cara di dalam menentukan nilai tekanan prakonsolidasi ( $p_c$ ). Cara yang paling banyak digunakan adalah cara Casagrande (1936), yaitu dengan menggunakan gambar grafik hubungan  $e$ - $\log p$ .

Tekanan prakonsolidasi ini digunakan untuk mengetahui konsolidasi normal (*normal consolidation*) atau terlalu terkonsolidasi (*over consolidated*). Terkonsolidasi secara normal, dimana tekanan efektif *overburden* pada saat ini ( $p_o$ ) adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami ( $p_c$ ) oleh tanah itu, sedangkan terlalu terkonsolidasi, dimana tekanan efektif *overburden* ( $p_o$ ) pada saat ini adalah lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya ( $p_c$ ).

### Penurunan

Untuk mengetahui besar penurunan tiap lapisan digunakan persamaan rumus penurunan setiap sub-lapisan ( $S_i$ ) dan perhitungan penurunan dilakukan secara terpisah untuk tiap-tiap sub-lapisan. Jadi, penurunan total dari seluruh lapisan tersebut adalah :

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

$S$  = besar penurunan  
 $H_i$  = tebal sub-lapisan  $i$   
 $p_{o(i)}$  = tekanan efektif *overburden* untuk sub-lapisan  $i$   
 $\Delta p_i$  = penambahan tekanan vertical untuk sub-lapisan  $i$   
 $e_o$  = angka pori  
 $C_c$  = indeks pemampatan (*compression indeks*)

### Waktu Penurunan ( $T_v$ )

Waktu yang diperlukan untuk konsolidasi/amblesan dihitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

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

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

$T_v$  = faktor waktu yang dipengaruhi derajat konsolidasi  
 $C_v$  = koefisien konsolidasi  
 $t$  = waktu tertentu  
 $H$  = ketebalan lapisan

Variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu yang tak berdimensi,  $T_v$ , diberikan dan berlaku untuk keadaan dimana  $U_o$  adalah sama untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi. Untuk  $U = 0$  s.d. dengan 60 %,

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left( \frac{U\%}{100} \right)^2$$

Untuk  $U > 60$  %,

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penurunan Muka Tanah

Morfologi daerah penelitian (Semarang) di sebelah utara merupakan dataran dan di daerah selatan merupakan daerah perbukitan. Sehingga daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi satuan geomorfologi pedataran aluvium untuk Semarang Utara, hal ini atas dasar hasil pengamatan di lapangan serta analisa peta topografi. Kemiringan lereng di daerah penelitian berkisar  $0^{\circ}$  -  $4^{\circ}$ , dengan elevasi antara 0 - 18 meter di atas permukaan laut. Endapan aluvial dominan tersebar di daerah penelitian berupa endapan pantai, endapan rawa, endapan sungai dan limbah banjir. Satuan ini menyebar di sepanjang pantai utara. Tata guna lahan pada satuan ini umumnya berupa lahan pemukiman (kota dan desa), pesawahan, tambak ikan, semak belukar dan kawasan industri.

Dilihat dari pola aliran yang berkembang, semua aliran sungai bermuara ke arah utara kota Semarang. Berdasarkan pemetaan geologi teknik, daerah penelitian terbagi menjadi 5 (lima) satuan geologi teknik, yaitu 4 (empat) satuan tanah transportasi, 1 satuan batuan dasar, yaitu:

- a. Pasir – pasir lanauan (SM)
- b. Lanau lempungan – lanau pasiran (MH)
- c. Lanau pasiran – lempung lanauan (ML-CL)
- d. Lempung lanauan – lanau lempungan (CL-OH)
- e. Satuan batupasir tufaan dan satuan batulempung

### Amblesan Tanah

Amblesan tanah/ penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan

suatu permasalahan geologi teknik yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisik keteknikan lapisan batuan/ tanah penyusunnya. Amblesan tanah dapat diakibatkan oleh bertambahnya beban atau berkurangnya tekanan hidrolik pada lapisan tanah. Penambahan beban dapat terjadi akibat beban bangunan di atasnya maupun beban tanah itu sendiri atau hilangnya buayansi tanah akibat hilangnya air dalam ruang antar pori sehingga tekanan efektif menjadi bertambah. Sedangkan berkurangnya tekanan hidrolik dapat diakibatkan oleh hilangnya air tanah akibat pemompaan. lapisan lempung bersifat terkonsolidasi normal dengan kompresibilitas tinggi, penambahan beban bagian atasnya dapat menyebabkan air dalam pori akan terperas keluar dan menyebabkan terjadinya konsolidasi yang menerus dan menyebabkan terjadinya penurunan permukaan tanah.

Berdasarkan data geologi hasil penelitian lapangan, daerah Semarang terdapat satuan lempung yang merupakan Endapan Marin (Robert. E. Thaden, dkk, 1975) yang merupakan salah satu material yang mudah tererosi dan menjadi material utama pada endapan aluvium daerah Semarang Utara. Satuan lempung ini terletak di daerah Semarang Atas (Selatan), bagian hulu sungai Kali Garang dekat daerah Manyaran.

Dari hasil pengamatan lapangan dan evaluasi data yang didapat, sebaran tanah lunak ini semakin tebal ke arah Timur laut – Timur daerah penelitian dan menipis ke arah Timur – Selatan. Secara setempat pada satuan tanah lunak ini dijumpai lensa-lensa pasir yang merupakan endapan pematang pantai lama berkisar pada kedalaman antara 0 - 2,5 meter dan

- 4 m dari muka tanah setempat. Sebaran tanah lunak dengan ketebalan antara 20 – 25 cm merupakan zona lempung lunak yang sangat dominan di daerah penelitian dengan arah penyebaran berarah Barat laut – Tenggara.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan bahwa penurunan yang terjadi di daerah Semarang lebih banyak dipengaruhi oleh sebaran tanah lunak atau lempung yang terdapat di bawah permukaan pada dataran aluvium Semarang. Lempung ini mempunyai konsistensi sangat lunak – lunak, nilai  $C_c$  berkisar antara 0,116 – 0,772 dan  $C_v$  antara 0,00022 – 0,00200  $\text{cm}^2/\text{detik}$ .

Dari hasil korelasi ketiga log bor yang berarah Barat Timur (Lampiran 1) terlihat bahwa sebagian besar litologi penyusun secara vertikal dominan lempung yang mempunyai plastisitas relatif sedang – rendah serta relatif lunak.

Amblesan atau penurunan muka tanah lebih banyak terjadi di daerah Semarang bawah (Semarang Utara), terlihat di daerah perumahan Tanah Mas yang sering terjadi banjir (*rob*) akibat air laut mengalami pasang dan banyak struktur bangunan yang mengalami kerusakan.

Amblesan berkaitan dengan tegangan tanah sehingga berhubungan erat dengan kondisi konsolidasi normal (*normally consolidated*), konsolidasi berlebih (*over-consolidated*), atau kurang konsolidasi (*under-consolidated*). Konsolidasi normal (*normally consolidated*) pada daerah penelitian yang berarti tanah belum pernah mengalami pembebanan yang lebih besar dari tekanan *overburden*.

Bagaimanapun juga di pantai banyak lapisan tebal terendapkan (seperti daerah Semarang Utara).

Konsolidasi normal mungkin tidak perlu jika kondisi tanah lepas karena berat jenis tanah relatif lebih besar dalam beberapa tipe endapan (*dunes*, pantai, endapan aluvium sungai, dll). Lapisan tanah yang terdapat di daerah penelitian (Semarang) sebagian besar relatif dapat dikatakan belum mengalami penurunan/konsolidasi maksimum (*over-consolidated*), hal ini terlihat dari hasil uji lab yang menghasilkan nilai tekanan pra-konsolidasi.

Hasil lab ini berupa tekanan pra-konsolidasi dibandingkan dengan tekanan *overburden* yang terjadi sehingga memberikan perbandingan yang menyatakan lapisan lempung dalam kondisi *normally consolidated*.

Terlalu terkonsolidasi (*over-consolidated*), yaitu tekanan efektif *overburden* pada saat ini adalah lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya (tekanan prakonsolidasi / *pre-consolidation pressure*) Sedangkan kurang terkonsolidasi (*under-consolidated*) pada daerah penelitian yaitu tanah mengalami tekanan efektif lebih kecil dari tekanan efektif *overburden*, kondisi ini biasa terdapat ketika lapisan tanah mengalami tekanan hidrostatik berlebihan yang tidak mengijinkan tanah mengalami konsolidasi atau pemampatan akibat tekanan *overburden*.

Kondisi yang dapat ditemukan pada formasi lembah (antara Semarang Atas dan Bawah) dimana air tanah memperlihatkan sebagai akuifer yang tertekan. Kondisi ini mengakibatkan tanah kurang mengalami konsolidasi karena adanya tekanan hidrostatik.

Penurunan muka air tanah berdasarkan data hasil penelitian telah

mengalami penurunan sampai kedalaman berkisar -20 meter .

### **Analisis Penurunan Muka Tanah**

Perhitungan penurunan muka tanah dengan mempergunakan data log bor dari 3 (tiga lokasi) dilakukan dengan menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck, dengan korelasi data empirik hasil pengujian contoh tanah di laboratorium, analisa perhitungan penurunan yang terjadi dilakukan sampai kedalaman 20 meter berdasarkan data yang didapat bahwa secara umum penurunan muka air tanah di Semarang bawah telah mencapai kedalaman 20 meter sehingga konsolidasi yang berpengaruh terhadap penurunan yang terjadi hanya sampai -20 meter dengan diasumsikan bahwa di bawah kedalaman 20 meter terdapat aquifer tertekan sehingga tekanan air pori (*pore water pressure*) memberikan perlawanan terhadap tekanan *overburden* (Roy E. Hunt, 1986).

Untuk mengetahui besarnya penurunan tanah akibat beban tanah itu sendiri dan beban tanah di atasnya maka dapat dihitung nilai tekanan tanah penutup pada tiap-tiap lapisan, dan hasil total penurunan selama jangka waktu tertentu dikurangi sebesar 10 - 15 % dari total penurunan yang terjadi untuk keterandalan perhitungan penurunan tanah (Joseph E. Bowles, 1986). Sedangkan untuk perhitungan perkiraan waktu penurunan/konsolidasi untuk mengetahui berapa lama waktu yang ditempuh untuk mengalami penurunan total digunakan persamaan rumus Terzaghi & Peck dengan dipengaruhi variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu yang tak berdimensi,  $T_v$ , diberikan dan berlaku untuk keadaan dimana  $U_v$  tetap untuk seluruh

kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi.

Kurva yang digunakan pada Gambar 4.8 adalah kurva  $C_3$ , hal ini dikarenakan hanya berlaku pada lapisan yang dasarnya impermeable dan mendapatkan tekanan hanya dari beban tanah itu sendiri (*overburden pressure*) (Roy E. Hunt, 1986), kondisi tersebut sesuai dengan analisa penurunan muka tanah akibat beban *overburden* pada penelitian ini.

Untuk kurva  $C_2$  berlaku untuk tekanan pada lapisan dengan dasar yang impermeabel berkurang dari suatu nilai  $\Delta p_t$  di permukaan atas lapisan sampai nol di dasar lapisan, seperti pada kondisi dimana lapisan yang terkonsolidasi sangat tebal disbanding area yang terbebani.

Sedangkan kurva  $C_1$  berlaku untuk lapisan yang bebas menekan ke kedua arah atas dan bawah yang merupakan lapisan terbuka atau untuk lapisan setengah tertutup dengan ketebalan  $H$  yang memberikan tekanan ke satu arah.

Oleh karena kondisi yang cocok dengan kondisi daerah penelitian maka nilai variasi faktor waktu yang digunakan adalah nilai-nilai pada kurva  $C_3$ .

### **Analisis Penurunan Lapisan Lempung pada Log Bor DH1 (Tawang Sari)**

Hasil perhitungan mendapatkan besar penurunan total untuk tiap lapisan pada daerah Tawang Sari (DH1) akibat beban tanah itu sendiri dan beban tambahan dari beban lapisan tanah di atasnya dapat dilihat pada Table 1.

Sedangkan faktor waktu yang digunakan diasumsikan jika  $U_v = 90\%$ , maka didapatkan waktu yang

dicapai untuk mencapai penurunan sebesar 90 % dari total penurunan pada tiap lapisan lempung seperti pada Tabel 2. Untuk 10 (sepuluh) tahun mendatang, tiap lapisan lempung maupun total penurunan yang terjadi pada total kedalaman dapat diperkirakan dengan persamaan yang sama dengan perhitungan perkiraan waktu. Besar penurunan yang terjadi hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.

Jika dilihat pada Tabel 3. dan dihubungkan dengan Tabel 1 dan 2, maka dapat ditarik suatu analisa bahwa lapisan lempung pada log bor DH1 ini mengalami penurunan primer sampai 10 tahun mendatang dan belum mencapai penurunan totalnya. Dilihat dari besar penurunan yang terjadi setelah sepuluh tahun mendatang maka kemungkinan penurunan pada daerah ini masih cukup besar potensi menurunnya muka tanah.

#### ***Analisis Penurunan Lapisan Lempung pada Log Bor DH2 (DISTAM)***

Seperti pada analisa pada log bor DH1, perhitungan untuk log bor DH2 juga mempergunakan persamaan rumus yang sama sehingga didapat total penurunan pada lapisan tersebut seperti pada Tabel 4 di bawah ini. Tiap lapisan mempunyai perbedaan kompaksi sehingga didapat variasi penurunan tiap kedalaman tergantung dari sifat keteknikan tanah tiap lapisan sesuai dengan material penyusun pada tiap lapisan.

Jika diperkirakan untuk  $U_v = 90\%$  sehingga berdasar data pada kurva, maka  $T_v = 0,933$  yang memberikan arti bahwa penurunan sebesar 90 % memerlukan waktu sebesar  $t$ . Waktu yang dibutuhkan untuk setiap penu-

runan pada tiap lapisan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

Jika diperkirakan untuk penurunan pada waktu 10 (sepuluh) tahun mendatang, maka besar penurunan yang akan terjadi terlihat pada Tabel 6 yang merupakan hasil perhitungan.

#### ***Analisis Penurunan Lapisan Lempung pada Log Bor BM1 (Stasiun Poncol)***

Lapisan lempung pada log bor BM1 yang berlokasi di stasiun Poncol, terdiri dari lapisan lempung yang sebagian besar lunak-sangat lunak. Hal ini sangat berpengaruh dalam proses konsolidasi sehingga total besar penurunan yang terjadi cukup besar. Besar penurunan pada log bor BM1 hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 7. di bawah ini.

Seperti perhitungan pada dua lubang bor di atas, untuk perhitungan pada lubang bor BM 1 (Stasiun Poncol) juga mempergunakan metode yang sama untuk perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk penurunan 90 % seperti pada tabel 8. Waktu yang dibutuhkan dalam mencapai konsolidasi maksimum memerlukan waktu yang cukup lama, hal ini disebabkan konsolidasi masih berlanjut.

Dengan ciri lapisan lempung yang terdapat pada daerah ini berdasar data log bor, maka melihat besar penurunan yang terjadi cukup besar berpengaruh juga terhadap waktu penurunan yang akan terjadi seperti pada tabel 8 maupun tabel 5. Sedangkan untuk 10 (sepuluh) tahun mendatang hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 9, sama seperti log bor yang lainnya penurunan total yang terjadi belum tercapai karena untuk mencapai penurunan total

diperlukan waktu yang cukup lama selama konsolidasi terus berlangsung

### **Hubungan Penurunan Tanah Akibat Beban *Overburden* Dengan Amblesan Tanah Semarang**

Penyusun utama endapan aluvium di daerah penelitian adalah lapisan lempung yang umumnya mempunyai sifat keteknikan dengan kompresibilitas tinggi dan merupakan tanah terkonsolidasi normal, sehingga beban *overburden*, beban bangunan dan pemompaan air tanah dapat menyebabkan terjadinya proses penurunan tanah yang cukup besar.

Amblesan atau penurunan yang terjadi di Semarang berdasarkan dari data yang diperoleh dari pengukuran topografi untuk mengetahui elevasi dari setiap titik pengamatan dan titik tetap (*Bench Mark*) yang telah dibuat Dinas Pertambangan Jawa Tengah dapat dilihat pada lampiran 2.

Titik tetap ini dipilih atau ditetapkan pada patok 22 (P22 pada lampiran 2) merupakan daerah yang cukup stabil serta terdapat pada satuan batuan dasar sehingga pengaruh konsolidasi pada satuan ini tidak terjadi.

Perbedaan ketinggian dari hasil pengukuran dengan titik tetap mencirikan bahwa dataran aluvium tersebut mengalami perubahan ketinggian dari permukaan laut sehingga dapat dikatakan ketinggian dataran aluvium mengalami penurunan muka tanah. Berdasarkan data laboratorium tanah contoh dari bor mesin nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) tanah di dataran aluvium berkisar 0,00022 – 0,00200  $\text{cm}^2/\text{det}$ , sedangkan nilai indeks kompresibilitas ( $C_c$ ) tanah berkisar antara 0,16 – 0,9. Besar kompresibilitas tanah tersebut dapat

dilihat dampaknya diberikan beban baik lapisan tanah di atasnya maupun tanah itu sendiri, semakin besar penurunannya jika diberikan beban bangunan di atasnya.

Dibandingkan dengan penyebaran amblesan tanah yang telah terjadi mulai dari Tanah Mas, Bandar Harjo, Pelabuhan, Stasiun Semarang Tawang, Stasiun Poncol, sampai Kaligawe dengan besarnya amblesan  $> 8 \text{ cm/thn}$  (Gambar 9) terlihat hubungan langsung hasil perhitungan amblesan akibat *overburden*. Perhitungan yang berpengaruh dalam penurunan muka tanah akibat beban *overburden* pada tiap log bor dalam kondisi konsolidasi normal mencapai kedalaman 20 meter didasarkan penurunan muka air tanah mencapai -20 meter maka dapat diasumsikan bahwa akuifer yang terdapat di bawah kedalaman 20 meter merupakan akuifer tertekan sehingga lapisan tanah/batuan tersebut masuk ke dalam kategori *underconsolidated*.

Dilihat dari rata-rata penurunan muka tanah hasil pengukuran tiap tahun sehingga dapat diperkirakan penurunan untuk sepuluh tahun mendatang yang mencapai antara 70 – 90 cm untuk lokasi Stasiun Tawang (DH1), antara 110 – 130 cm untuk lokasi Tanah Mas (DISTAM/ DH2) dan antara 70 – 90 cm untuk lokasi Stasiun Poncol (BM1).

Sedangkan perkiraan penurunan muka tanah akibat beban *overburden* selama 10 tahun mendatang dari hasil perhitungan untuk lokasi Stasiun Tawang (DH1) mencapai  $\pm 39,840 \text{ cm}$  sehingga rata-rata pertahun  $\pm 6,59 \text{ cm}$ , untuk lokasi Tanah Mas (DISTAM/ DH2) penurunan yang terjadi diperkirakan sebesar  $\pm 65,905$

cm dengan rata-rata pertahun  $\pm 6,59$  cm, dan lokasi Stasiun Poncol (BM1) diperkirakan penurunan yang terjadi sebesar  $\pm 74,322$  cm dengan rata-rata pertahun 7,43 cm.

Jika besar penurunan muka tanah hasil pengukuran lapangan dengan mengacu ke titik *benchmark* dihubungkan dan dibandingkan dengan hasil perhitungan pada tiap lubang bor maka diperoleh perbandingan seperti terlihat pada lampiran 3 di bawah ini sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh beban *overburden* terhadap penurunan yang sudah terjadi.

Mengacu kepada Lampiran 3 maka dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa penurunan muka tanah untuk daerah Stasiun Poncol sebesar 92,9 % dan Stasiun Tawang sebesar 49,8 % akibat pengaruh beban *overburden* dari total penurunan selama 10 (sepuluh) tahun yang akan datang. Sedangkan untuk lokasi Tanah Mas (DISTAM/ DH2) beban *overburden* berpengaruh sebesar 54,92 % dari total penurunan yang terjadi.

Setelah 10 tahun berlalu, penurunan tanah telah terjadi di Kota Semarang, terutama di lokasi kajian yaitu sekitar Stasiun Kereta api Poncol dan Stasiun Kereta api Tawang. Rel kereta api jalur utara antara stasiun Poncol-Tawang-Alastuwo terendam banjir rob dengan ketinggian mencapai 18 cm di atas rel (Kompas.com, 2008). Pengangkatan rel setinggi 50 sentimeter sepanjang 20 meter dilakukan secara bertahap (Suara Merdeka Cybernews, 2008). Sebagai langkah antisipasi jangka pendek, pihak stasiun Tawang membangun jalan alternatif setinggi 60 cm di sisi timur stasiun (Jawa Pos, 2009).

Penurunan muka tanah yang terjadi di daerah Semarang bawah cenderung lebih dipengaruhi oleh beban *overburden* dibandingkan faktor lain, hal ini terlihat dari hasil perhitungan yang menghasilkan penurunan yang cukup besar akibat beban tanah itu sendiri.

Jika dilihat perbandingan tersebut (lampiran 3) maka terdapat selisih antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan, untuk lokasi DH1 mempunyai selisih atau sisa sebesar 50,2 %; lokasi DH2 sekitar 45,08 % dan lokasi BM1 (St. Poncol) sekitar 7,5 %, hal ini mencirikan bahwa selain pengaruh *overburden* masih ada faktor lain yang berpengaruh terhadap penurunan yang terjadi seperti :

- beban bangunan,
- abstraksi air tanah,
- tektonik.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Permasalahan yang dihadapi kota-kota besar di pesisir pantai terutama daerah muara sungai mempunyai kendala yang hampir sama yaitu bencana banjir terutama banjir *rob*.

Banjir *rob* terjadi akibat pasang air laut, amblesan tanah yang terjadi di dataran pantai menyebabkan muka tanah berada di bawah muka air laut sehingga banjir semakin luas.

2. Salah satu penyebab yang cukup berperan terhadap meluasnya genangan air (banjir) diakibatkan oleh penurunan muka tanah (*subsidence*). *Subsidence* ini disebabkan akibat material penyusun

- wilayah berupa klastika halus (aluvium) yang mengalami normal konsolidasi.
3. Morfologi daerah studi kasus (Semarang) di sebelah utara merupakan dataran dan di daerah selatan merupakan daerah perbukitan. Sehingga daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi satuan geomorfologi pedataran aluvium untuk Semarang Utara, hal ini atas dasar hasil pengamatan di lapangan serta analisa peta topografi. Kemiringan lereng di daerah penelitian berkisar  $0^{\circ}$  -  $4^{\circ}$ , dengan elevasi antara 0 - 18 meter di atas permukaan laut.
  4. Satuan batuan yang tersingkap di daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga satuan batuan dengan urutan dari yang paling tua hingga yang muda adalah : satuan batulempung, satuan batupasir tufan, dan aluvium, umur dari seluruh satuan batuan dari tua ke muda adalah Miosen sampai Holosen. Jika dibandingkan maka termasuk Formasi Kalibeng, Formasi Damar dan Aluvium.
  5. Berdasarkan geologi teknik, daerah penelitian terbagi menjadi 5 (lima) satuan geologi teknik, yaitu 4 (empat) satuan tanah transportasi, 1 satuan batuan dasar, sebagai berikut :
    - a. Pasir – Pasir lanauan (SM)
    - b. Lanau lempungan – Lanau pasir (MH)
    - c. Lanau pasir – Lempung Lanauan (ML-CL)
    - d. Lempung lanauan – Lanau lempungan (CL-OH)
    - e. Satuan Batupasir Tufaan dan Satuan Batulempung
  6. Tanah penyusun untuk lokasi penelitian dan sebagian besar Semarang Utara merupakan dominan tanah lunak (Aluvium) sehingga mempunyai kompresibilitas tinggi.
  7. Berdasarkan hasil perhitungan, penurunan muka tanah yang terjadi akibat beban *overburden* untuk jangka waktu 10 tahun mendatang (2000 -2010) cukup besar yang dapat menyebabkan kerusakan pada infrastruktur.
  8. Penurunan muka tanah yang terjadi di Semarang Utara sebagian besar sangat dipengaruhi oleh beban *overburden*, selain akibat lain yang mempengaruhi penurunan/amblesan akibat faktor geologi lainnya, hal ini diperlihatkan dari perbandingan antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan sehingga persentase keterpengaruhannya akibat beban *overburden* dapat diketahui seperti Stasiun Poncol sebesar 92,9 %, Stasiun Tawang dipengaruhi oleh beban *overburden* sebesar 49,8 %. Sedangkan untuk lokasi Tanah Mas (DISTAM/ DH2) beban *overburden* berpengaruh sebesar 54,92 % dari total penurunan yang terjadi.
- Antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan terdapat selisih, berkisar 50,2 % untuk lokasi DH1; lokasi DH2 sekitar 45,08 % dan lokasi BM1 (St. Poncol) sekitar 7,5 %, hal ini mencirikan bahwa selain pengaruh *overburden* masih ada faktor lain yang berpengaruh terhadap penurunan yang terjadi yang perlu diteliti lebih lanjut.
- Berdasarkan hasil kajian, bahaya beraspek geologi di daerah penelitian paling besar adalah banjir pasang (*rob*), daerah yang

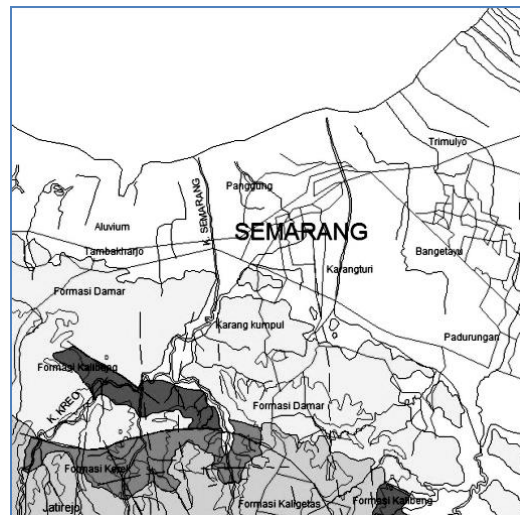
berpotensi banjir umumnya terdapat pada daerah yang relatif rendah yaitu sekitar pantai utara, Pelabuhan Tanjung Mas, Stasiun Tawang, Tanah Mas, dan sepanjang aliran sungai utama seperti Kali Garang dan Kali Semarang.

### Saran

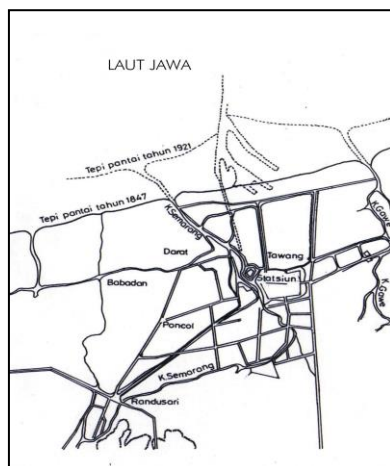
1. Sebaiknya pengembangan kota di daerah pesisir pantai terutama endapan aluvium perlu pertimbangan yang sebaik mungkin terutama untuk daerah yang mengalami penurunan yang cukup besar, agar pengembangan kota-kota besar mempunyai perencanaan yang cukup matang dengan tidak lupa mempertimbangkan daerah serapan air.
2. Adanya titik pengamatan (Monitoring pile) di sepanjang pantai, sehingga penurunan yang terjadi dapat dipantau.
3. Pembuatan polder-polder banjir sebaiknya diletakkan di daerah yang sering mengalami banjir.

### DAFTAR PUSTAKA

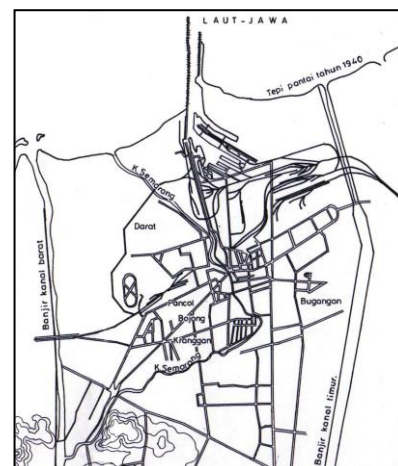
- Anonymous, 2008, Rel KA Jalur Utara Terendam Banjir, Kompas, melalui <http://www.kompas.com>
- Anonymous, 2009, Stasiun Tawang akan Ditinggikan, Jawa Pos, melalui <http://www.jawapos.co.id>
- Ayudea, F. & Mulyawan, Ari., 2008, Rel KA Ditinggikan, Jalan Kaligawe Tersendat 2 Km, Suara Merdeka Cybernews, melalui <http://www.suaramerdeka.com>
- Bowles, Joseph E., 1986, *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M., 1988, *Soil Mechanics*, The University of Texas at el Paso.
- Hardiyatmo, Hary C., 1994, *Mekanika Tanah*, Jilid 2, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hunt, Roy E., 1986, *Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation*, Mc Graw – Hill Book Company.
- K.H., Sunggono, Ir., 1982, *Mekanika Tanah*, Penerbit NOVA.
- Legget, Robert F., Hatheway, Allen W., 1988, *Geology and Engineering*, Third Edition, McGraw-Hill International Edition.
- Terzaghi, Karl., & Peck, Ralph B., 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & sons, Inc., New York.
- Thaden, Robert E., Sumadirja. Harli, dan Richards. Paul W., 1996, *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa Tengah*, Direktorat Geologi Bandung.
- Sophian, R. I., 2002, Penurunan Muka Tanah Akibat Beban Overburden di Daerah Kota Semarang, Propinsi Jawa Tengah, Unpad, tidak diterbitkan.



Gambar 1. Peta Geologi Kota Semarang

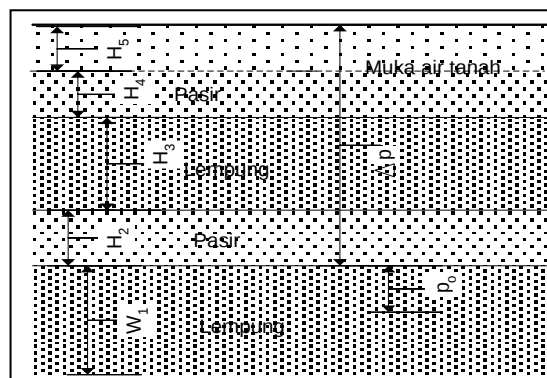


A.

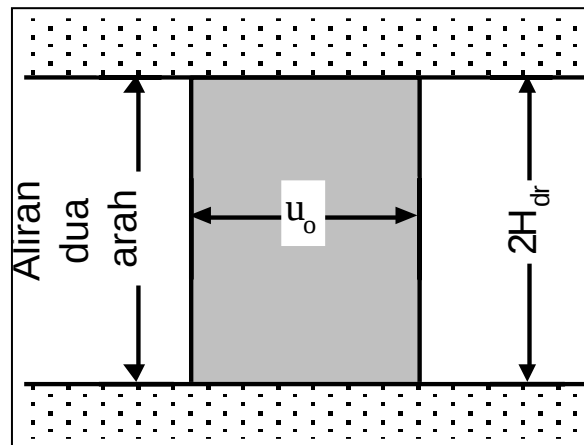


B.

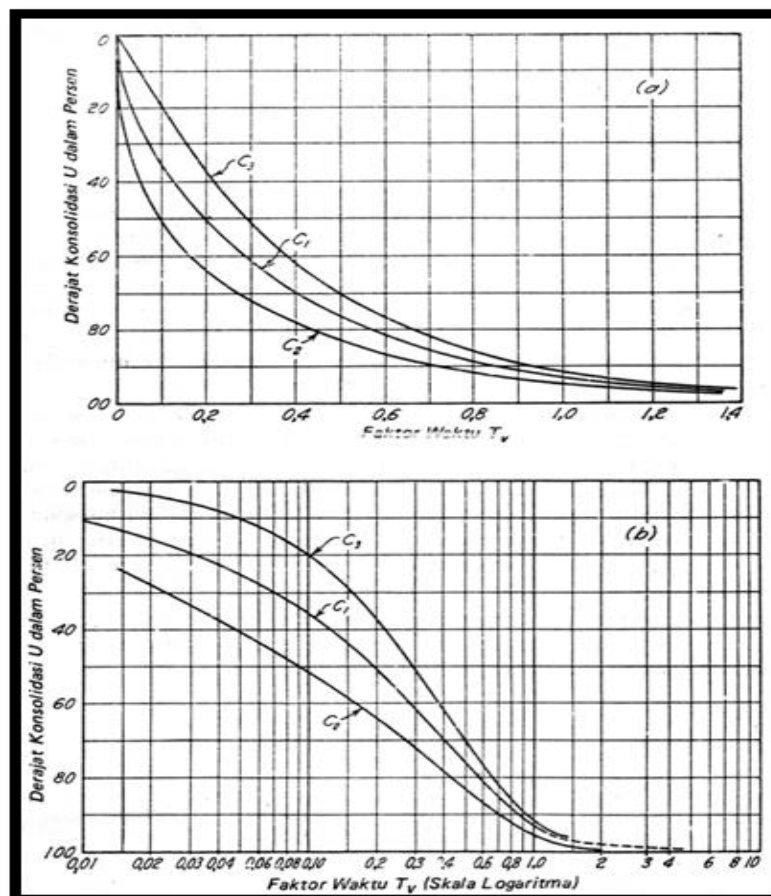
Gambar 2. Perkembangan Pantai Semarang (A & B)



Gambar 3. Profil lapisan tanah dalam hubungannya dengan rumus 2.16



Gambar 4. Tipe arah aliran pori dengan  $U_v$  tetap.



Gambar 5.

Grafik Hubungan Antara Faktor Waktu dan Derajat Konsolidasi (Terzaghi & Peck, 1967).

Tabel 1. Penurunan Total Tiap Lapisan Pada Log Bor DH1 (Tawang Sari)

| Kedalaman       | Tebal Lapisan Lempung | Tekanan pada tiap Lapisan Lempung   | Total Penurunan |
|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------|
| (meter)         | $h_L$ (cm)            | $\sigma_{tot}$ (g/cm <sup>2</sup> ) | Si (cm)         |
| 1 - 3,2         | 220                   | 116,27                              | 8,55            |
| 7 - 11 m        | 400                   | 566,64                              | 29,71           |
| 11 - 19 m       | 800                   | 1038,24                             | 47,09           |
| Total Penurunan |                       |                                     | 85,35           |

Tabel 2. Waktu Penurunan 90 % Tiap Lapisan Pada Log Bor DH1 (Tawang Sari)

| Kedalaman | Tebal Lapisan Lempung | Faktor Waktu           | Waktu        |
|-----------|-----------------------|------------------------|--------------|
| (meter)   | $h_L$ (cm)            | $T_v$<br>$U_v = 90 \%$ | $t$<br>Tahun |
| 1 - 3,2   | 220                   | 0,933                  | 2,309        |
| 7 - 11 m  | 400                   | 0,933                  | 13,149       |
| 11 - 19 m | 800                   | 0,933                  | 55,689       |

Tabel 3. Penurunan Setelah 10 tahun (DH1/ Tawang Sari)

| Kedalaman(meter)                                    | Tebal Lapisan Lempung $h_L$ (cm) | $U_v$ | Besar Penurunan (cm) |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|-------|----------------------|
| 1 - 3,2                                             | 220                              | 0,98  | 8,383                |
| 7 - 11 m                                            | 400                              | 0,82  | 24,361               |
| 11 - 19 m                                           | 800                              | 0,30  | 14,127               |
| Total Penurunan (10 Thn)                            |                                  |       | 46,871               |
| Total Penurunan 10 tahun - (15 % x Total Penurunan) |                                  |       | 39,840               |

Tabel 4. Penurunan Total Tiap Lapisan Pada Log Bor DH2 (DISTAM)

| Kedalaman (meter) | Tebal Lapisan Lempung $h_L$ (cm) | Tekanan pada tiap Lapisan Lempung $\sigma_{tot}$ (g/cm <sup>2</sup> ) | Total Penurunan Si (cm) |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1,85 – 3          | 115                              | 133,4675                                                              | 10,770                  |
| 4,2 - 6           | 180                              | 292,05                                                                | 20,966                  |
| 6 - 8             | 200                              | 388,98                                                                | 39,444                  |
| 8 – 22            | 1400                             | 750,18                                                                | 104,412                 |
| Total Penurunan   |                                  |                                                                       | 175,592                 |

Tabel 5. Waktu Penurunan 90 % Tiap Lapisan Pada Log Bor DH2 (DISTAM)

| Kedalaman (m) | Tebal Lapisan Lempung $h_L$ (cm) | Faktor Waktu $T_v$ ( $U_v = 90\%$ ) | Waktu, $T$ (Tahun)<br>$T$ (2010) fs |
|---------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1,85 – 3      | 115                              | 0,933                               | 0,698                               |
| 4,2 - 6       | 180                              | 0,933                               | 1,712                               |
| 6 - 8         | 200                              | 0,933                               | 4,734                               |
| 8 – 22        | 1400                             | 0,933                               | 252,118                             |

Tabel 6. Penurunan Setelah 10 tahun (DH2/ DISTAM)

| Kedalaman(meter)                                    | Tebal Lapisan Lempung $h_L$ (cm) | $U_v$ | Besar Penurunan (cm) |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|-------|----------------------|
| 1,85 – 3                                            | 115                              | 1     | 10,770               |
| 4,2 - 6                                             | 180                              | 0,98  | 20,546               |
| 6 - 8                                               | 200                              | 0,96  | 37,866               |
| 8 – 22                                              | 1400                             | 0,08  | 8,353                |
| Total Penurunan (10 Thn)                            |                                  |       | 77,535               |
| Total Penurunan 10 tahun - (15 % x Total Penurunan) |                                  |       | 65,905               |

Tabel 7. Penurunan Total Tiap Lapisan Pada Log Bor BM1 (Stasiun Poncol)

| Kedalaman (m) | Tebal Lapisan Lempung, $h_L$ (cm) | Tekanan pada tiap Lapisan Lempung $\sigma_{tot}$ (g/cm <sup>2</sup> ) | Total Penurunan $S_i$ (cm) |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1,35 - 2,55   | 120                               | 119,865                                                               | 6,556                      |
| 2,55 – 7 m    | 445                               | 319,377                                                               | 28,896                     |
| 7 – 16 m      | 900                               | 786,79                                                                | 53,057                     |
| 16 – 19,9     | 390                               | 1259,935                                                              | 39,383                     |

Tabel 8. Waktu Penurunan 90 % Tiap Lapisan Pada Log Bor BM1 (Stasiun Poncol)

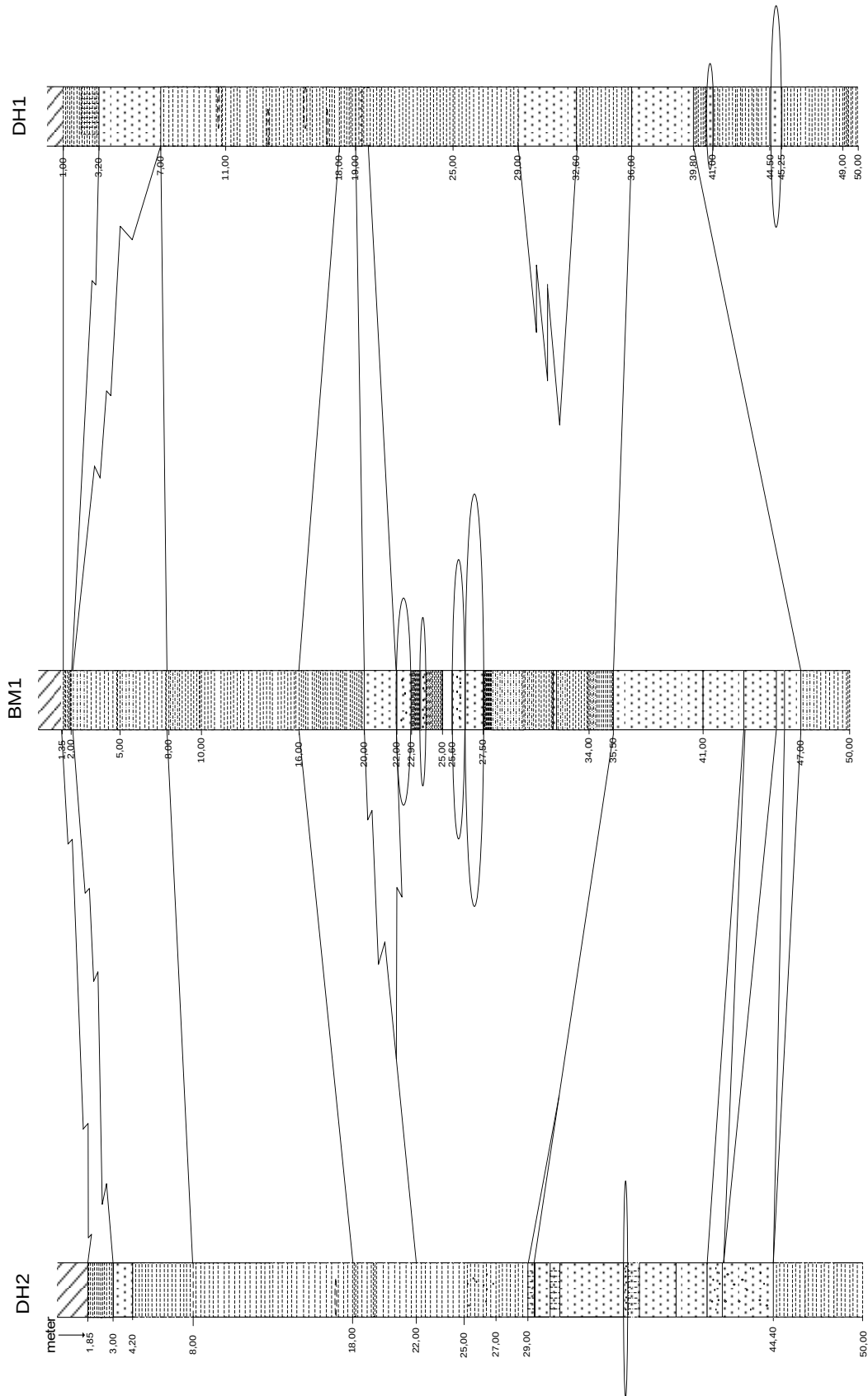
| Kedalaman (m) | Tebal Lapisan Lempung, $h_L$ (cm) | Faktor Waktu, $T_v$ $U_v = 90\%$ | Waktu, $T$ (Tahun) |
|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 1,35 - 2,55   | 120                               | 0,933                            | 1,639              |
| 2,55 – 7 m    | 445                               | 0,933                            | 13,949             |
| 7 – 16 m      | 900                               | 0,933                            | 43,571             |
| 16 – 19,9     | 390                               | 0,933                            | 5,999              |

Tabel 9. Penurunan Setelah 10 tahun (BM1/ St. Poncol)

| Kedalaman (meter)                                   | Tebal Lapisan Lempung $h_L$ (cm) | $U_v$ | Besar Penurunan (cm) |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|-------|----------------------|
| 1,35 - 2,55                                         | 120                              | 1     | 6,425                |
| 2,55 – 7 m                                          | 445                              | 0,98  | 23,117               |
| 7 – 16 m                                            | 900                              | 0,96  | 20,285               |
| 16 – 19,9                                           | 390                              | 0,08  | 37,611               |
| Total Penurunan (10 Thn)                            |                                  |       | 87,438               |
| Total Penurunan 10 tahun - (15 % x Total Penurunan) |                                  |       | 74,322               |

Tabel 10. Hasil Pengukuran Elevasi Patok Monitoring Daerah Semarang, Jawa Tengah. (Murdohardono ,2000 dalam Sophian, 2002)

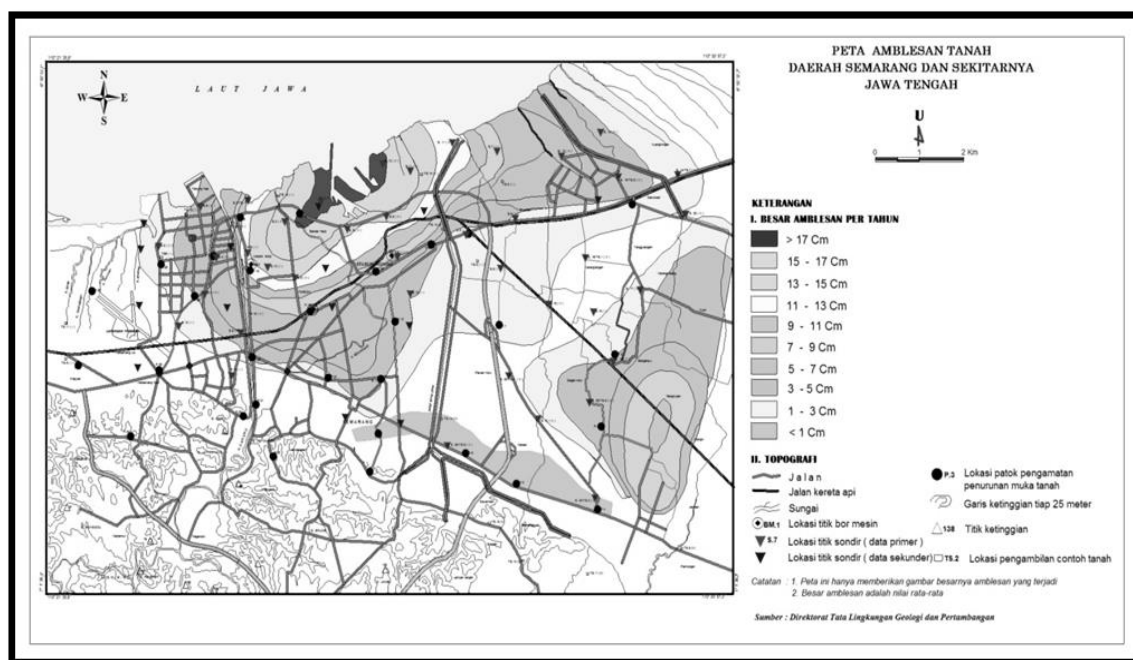
| No.<br>Patok | DISTAM<br>1996<br>(mm) | DISTAM<br>1997<br>(mm) | DISTAM<br>1998<br>(mm) | GTL<br>1999<br>(mm) | GTL<br>2000<br>(mm) | DTK<br>1996<br>(mm) | DTK<br>2000<br>(mm) | Amblesan<br>2000<br>(mm) | Penurunan<br>Rata/rata<br>pertahun |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------------|
| P.1          | 3090                   |                        |                        |                     | 3045                |                     | 2156                | 45                       | 11,25                              |
| P.2          | 6165                   |                        |                        |                     | 5931                |                     | 5042                | 234                      | 58,5                               |
| P.3          | 8451                   |                        | 7562                   |                     | 8275                |                     | 7386                | 176                      | 88                                 |
| P.4          | 15689                  |                        |                        |                     | 15378               |                     | 14489               | 311                      | 77,75                              |
| P.5          | 13123                  |                        |                        |                     | 13104               |                     | 12215               | 19                       | 4,75                               |
| P.6          |                        |                        |                        | 7157                | 7151                |                     | 6262                | 6                        | 6                                  |
| P.7          | 2993                   |                        |                        |                     | 2935                |                     | 2046                | 58                       | 14,5                               |
| P.8          | 2137                   |                        |                        |                     | 2042                |                     | 2253                | 95                       | 23,75                              |
| P.9          |                        | 2039                   |                        |                     | 1962                |                     | 1073                | 77                       | 25,67                              |
| P.10         |                        | 3042                   |                        |                     | 2997                |                     | 2108                | 45                       | 15                                 |
| P.11         |                        | 4245                   |                        |                     | 4213                |                     | 3324                | 32                       | 10,67                              |
| P.12         |                        | 5392                   |                        |                     | 5381                |                     | 4492                | 11                       | 3,67                               |
| P.13         |                        | 12845                  |                        |                     | 12842               |                     | 11953               | 3                        | 1                                  |
| P.14         |                        | 5152                   |                        |                     | 5016                |                     | 4127                | 136                      | 45,33                              |
| P.15         |                        | 2763                   |                        |                     | 2566                |                     | 1677                | 197                      | 65,67                              |
| P.16         |                        |                        |                        |                     | 1894                |                     | 1005                |                          |                                    |
| P.17         |                        | 3084                   |                        | 2863                | 2692                |                     | 1803                | 171                      | 171                                |
| P.18         |                        | 2015                   |                        | 1836                | 7108                |                     | 819                 | 128                      | 128                                |
| P.19         |                        | 2369                   |                        | 2233                | 2103                |                     | 1214                | 130                      | 130                                |
| P.20         |                        | 6613                   |                        |                     | 6511                |                     | 5622                | 102                      | 34                                 |
| P.21         |                        | 8978                   |                        |                     | 8939                |                     | 8050                | 39                       | 13                                 |
| P.22         |                        | 44103                  | 44103                  | 44103               | 44103               |                     | 43214               | Bench Mark               |                                    |
| P.23         |                        |                        | 10649                  | 10595               | 10573               |                     | 9684                | 22                       | 22                                 |
| P.24         |                        |                        | 11805                  |                     | 11760               |                     | 10871               | 45                       | 22,5                               |
| P.25         |                        |                        | 4798                   | 4778                | 4772                |                     | 3883                | 6                        | 6                                  |
| P.26         |                        |                        | 2910                   | 2522                | 2497                |                     | 1608                | 25                       | 25                                 |
| P.27         |                        |                        | 2911                   | 2774                | 2736                |                     | 1847                | 38                       | 38                                 |
| P.28         |                        |                        | 3110                   | 2958                | 2937                |                     | 2048                | 21                       | 21                                 |
| BM.1         |                        |                        |                        |                     | 1936                |                     | 1047                |                          |                                    |
| BM.2         |                        |                        |                        |                     | 2224                |                     | 1335                |                          |                                    |
| BM.3         |                        |                        |                        |                     | 2693                |                     | 1804                |                          |                                    |
| DTK.222      |                        |                        |                        |                     | 1607                | 1316                | 718                 | 598                      | 149,5                              |
| DTK.221      |                        |                        |                        |                     | 1212                | 992                 | 323                 | 669                      | 167,25                             |
| DTK.140      |                        |                        |                        |                     | 2040                |                     | 1151                |                          |                                    |
| DTK.417      |                        |                        |                        |                     | 3431                |                     | 2542                |                          |                                    |
| TTG.MD       |                        |                        |                        |                     | 5969                | 5411                | 5080                | 331                      | 82,75                              |
| DTK.338      |                        |                        |                        |                     | 44007               |                     | 43118               |                          |                                    |
| DTK.340      |                        |                        |                        |                     | 91289               |                     | 90400               |                          |                                    |
| DTK.174      |                        |                        |                        |                     | 6692                |                     | 5803                |                          |                                    |
| DTK.139      |                        |                        |                        |                     | 3774                |                     | 2885                |                          |                                    |



Gambar 6. Korelasi 3 Penampang Lubang Bor (Sophian, 2002)

Tabel 11. Perbandingan antara besar penurunan muka tanah hasil pengukuran dengan hasil perhitungan

|                    | <b>DHI<br/>(St. Tawang)</b>         |                             | <b>DH2<br/>(Tanah Mas)</b>          |                             | <b>BMI<br/>(St. Poncol)</b>         |                             |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
|                    | Penurunan Hasil Pengukuran Lapangan | Penurunan Hasil Perhitungan | Penurunan Hasil Pengukuran Lapangan | Penurunan Hasil Perhitungan | Penurunan Hasil Pengukuran Lapangan | Penurunan Hasil Perhitungan |
|                    | (cm)                                | (cm)                        | (cm)                                | (cm)                        | (cm)                                | (cm)                        |
| Rata-rata pertahun | 8                                   | 3,98                        | 12                                  | 6,59                        | 8                                   | 7,4                         |
| 10 tahun           | 80                                  | 39,84                       | 120                                 | 65,905                      | 80                                  | 74,322                      |



Gambar 7.

Peta Amblesan Tanah Daerah Semarang  
(Murdohardono, 2000 dalam Sophian, 2002)