

STUDY OF THE PIEZOMETRIC SURFACE AND HYDROCOMPACTION
AT CONFINED AQUIFER CAUSED THE LAND SUBSIDENCE IN SEMARANG

Fahrudin, Najib *)

Abstract

Semarang city has experienced of the land subsidence that be caused by intake groundwater in confined aquifer abundant. The land subsidence happened during range of time 20 years, it's critical boundary so that result the environmental damage. Hence needed a study of cause of the land subsidence. This study aim to know the position of piezometric surface and also explain the mechanism hydrogeology when happened the land subsidence. The study of spreading aquifer has been done by the analysis of secondary data which is in the form of drilling log data, piezometric surface and soil mechanics test obtained from PLG (Environmental Center of Geology) Bandung. Later then, between the land subsidence and piezometric surface be overlay became zonation. From the data made a analysis of cause of the land subsidence. This aquifer has the land subsidence. The land subsidence explainable with the experienced phenomenon fact for example degradation of piezometric surface at confined aquifer and process of hydrocompaction. That process influenced by two factors that are assess the pore number (e) and specific gravity (G_s). The degradation of piezometric surface formed the trapeze of water table until 20 m from sea level with the mean 0.7 - 1.1 m/year. Hydrocompaction cause the degradation of number of mean pore 0.145 - 0.5 and specific gravity 0.009 - 0.073. The degradation of piezometric surface and process the hydrocompaction cause the fast of land subsidence around 0.5 - 1.75 cm/year.

Keywords : Piezometric surface, hydrocompaction, land subsidence.

Pendahuluan

Kota Semarang telah mengalami penurunan tanah yang disebabkan pengambilan airtanah pada akuifer tertekan berlebihan. Penurunan tanah terjadi selama kurun waktu 20 tahun, penurunan telah melampaui batas kekritisannya sehingga mengakibatkan kerusakan lingkungan.

Kajian ini bertujuan untuk mengetahui posisi muka airtanah pisometrik serta menjelaskan mekanisme hidrogeologi ketika terjadi penurunan tanah. Sedangkan manfaatnya sebagai informasi tambahan bagi pemerintah setempat untuk perencanaan, perancangan, pengembangan, pemanfaatan, pengelolaan dan pelestarian airtanah di daerah penelitian

Dasar Teori

Penurunan Tanah dan Airtanah

Perubahan kondisi muka airtanah atau kelembaban bawah permukaan mungkin diakibatkan oleh penurunan permukaan tanah. Penurunan tanah dapat membuat kerusakan sumur dan masalah-masalah seperti kerusakan sistem drainasi, menyebabkan banjir, dan struktur bangunan air yang lain. Ada empat fenomena nyata yang dapat mengidentifikasi terjadinya penurunan tanah, antara lain : penurunan muka airtanah pisometrik, hidrokompaksi, *dewatering* pada tanah organik, dan formasi *sinkhole*.

1. Penurunan muka airtanah pisometrik

Penurunan muka airtanah pisometrik hasil penelitian di San Jose, California, selama periode 15 tahun (1920-1935) dalam Todd (1980) setiap penurunan muka airtanah pisometrik 13 meter akan menyebabkan rata-rata penurunan tanah 1 meter (Gambar 1).

Mekanika tanah dapat menjelaskan fenomena penurunan pisometrik dengan *subsidence*. Berdasarkan diagram tekanan pada suatu akuifer tertekan dengan akuifer bebas (Gambar 2a), dimana total tekanan p_t di kedalaman tertentu adalah

$$p_t = p_h + p_i \dots \dots \dots (1)$$

p_h adalah tekanan hidraulik, p_i adalah tekanan intergranular, ketika pemompaan, pisometrik akuifer tertekan akan turun sedangkan sisa muka air pada lapisan kedap lempung tidak berubah, hal ini terpisah dengan akuifer, persamaan akan menjadi

$$p_t = p_h' + p_i' \dots \dots \dots (2)$$

dimana $p_h' < p_h$ dan $p_i' > p_i$, hal ini dikarenakan material lempung mengalami konsolidasi, tekanan intergranular bertambah ($p_i' - p_i$) menyebabkan lapisan lempung mengalami kompaksi. Porositas berkurang, sementara air yang terkandung di dalam pori-pori lempung akan migrasi ke bawah masuk akuifer tertekan (Gambar 2b).

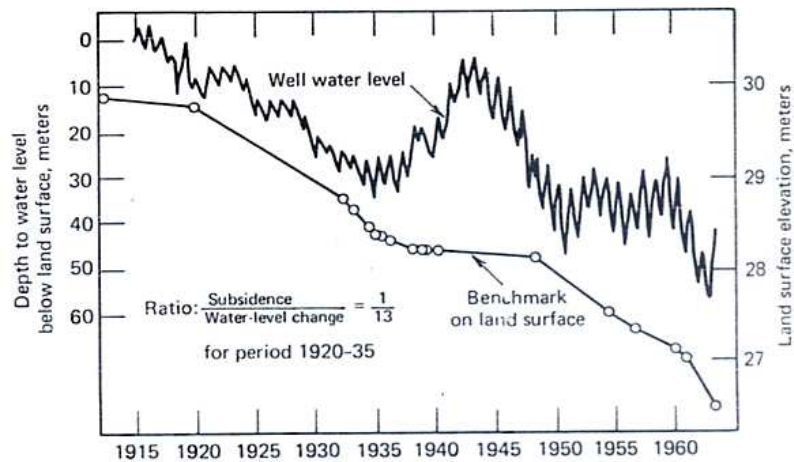
Ketebalan lapisan lempung berkurang menyebabkan penurunan tanah secara vertikal. Kompaksi merupakan fungsi dari ketebalan dan permeabilitas vertikal lempung, juga waktu dan besaran muka airtanah pisometrik dan mikrostruktur dari lempung. Karena endapan pasir dan gravel relatif tidak mudah mengalami pemampatan, bertambahnya tekanan intergranular tak berarti karena hal ini akibat dari akuifer sendiri.

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

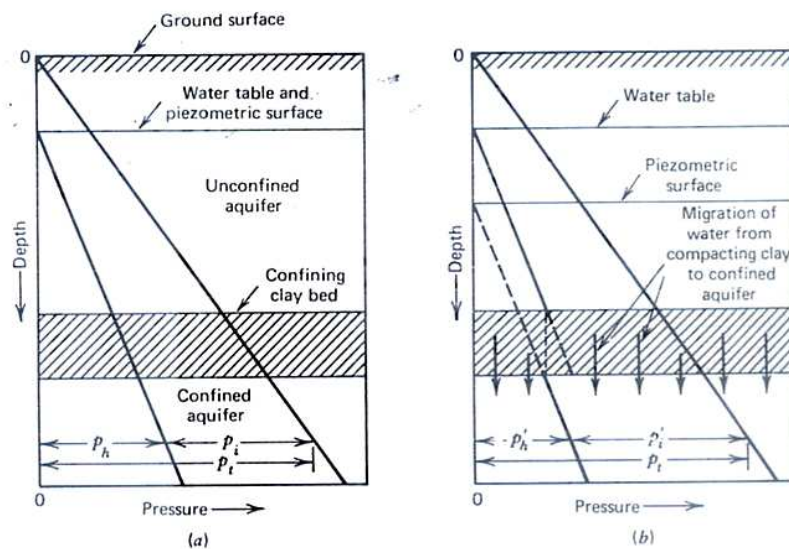
2. Hidrokompaksi

Penurunan permukaan tanah dapat juga diamati dari kandungan air di dalam jenis-jenis tanah yai-

tu kelembaban tanah berkurang. Berkurangnya kelembaban ditandai dengan kandungan pori (ruang kosong) yang tinggi dan berat jenis turun.



Gambar 1. Hubungan penurunan tanah dengan penurunan muka airtanah pisometrik di San Jose, California (Poland dan Davis dalam Todd, 1980)



Gambar 2 Grafik tekanan intergranular dan hidraulik pada akuifer bebas dengan akuifer tertekan (Poland, et al dalam Todd, 1980)

3. Dewatering pada tanah organic

Dewatering disebabkan antara lain penyusutan dari kelembaban, konsolidasi yang disebabkan oleh berkurangnya energi mengambang (terampung) airtanah, kompaksi akibat pekerjaan tanah, erosi angin, pembakaran dan oksidasi biokimia.

permukaan tanah akibat pengambilan airtanah (pumping).

Bahan Dan Metode Penelitian

Bahan penelitian berupa data pemoran, muka airtanah, dan data amblesan. Data pemoran disertai dengan uji mekanika tanah berupa berat jenis, angka pori dan kedalaman lapisan batuan serta amblesan dalam Tobing dkk. (2000) dan Marsudi (2001). Data-data sekunder diambil dari dinas pertambangan dan direktorat geologi tata lingkungan (DGTL).

4. Formasi sinkhole

Formasi sinkhole terjadi pada daerah yang mempunyai batuan gamping atau dolomit. Terjadi pelarutan antara airtanah dan mineral karbonat. Sinkhole baru sering berkembang secara regional di mana muka airtanah terletak jauh dibawah

Data pemboran ada dua lokasi yaitu DH-1 di Tanjung Mas dengan kedalaman 50 m dan di Dinas Pertambangan dengan kedalaman 50 m. Pada DH-1 dijumpai litologi antara lain lempung, lempung pasir, dan lempung lanau. Masing-masing lapisan didapatkan nilai angka pori dan berat jenis (Tabel 1).

Data muka airtanah diperoleh dari pengamatan sumbu bor sejak tahun 1980 sampai 2000 (Tabel 3) dalam Sihwanto dkk. (2001). Hasil pengamatan muka airtanah dari tahun 1980 sampai 2000 mempunyai kecenderungan mengalami penurunan muka airtanah.

Pengukuran amblesan tanah dilakukan pada tahun 1996 sampai tahun 1999 (Tabel 3). Pengukuran dilakukan oleh Distam dan DGTL. Perbandingan pengukuran pada tahun 1996 dan 1999 menunjukkan ada kenaikan penurunan muka tanah.

Angka pori dan berat jenis pada lapisan batulempung dilakukan penilaian angka pori yang mengalami penurunan. Penurunan ini dikaitkan dengan zona penurunan muka airtanah. Menentukan hubungan antara penurunan nilai angka pori dengan penurunan muka airtanah. Jika hubungan tersebut selaras maka peristiwa hidrokompaksi telah terjadi. Penurunan muka airtanah menyebabkan penurunan angka pori. Semakin besar penurunan airtanah maka penurunan angka pori semakin besar.

Hubungan selaras antara penurunan angka pori dan muka airtanah bisa menyebabkan amblesan tanah.

Tabel 1. Hasil pengukuran angka pori di Tanjung Mas dan Dinas Pertambangan

	Tanjung Mas				Dinas Pertambangan			
	Litologi	kedalaman	e	Gs	Litologi	kedalaman	e	Gs
1	Lempung	1.50 – 2.00	1.88	2.781	Lempung	2.00 – 2.50	1.48	2.645
2	Lempung pasir	9.50 – 10.00	1.10	2.706	Lempung	6.00 – 6.50	1.91	2.598
3	Lempung pasir+	12.00 – 12.50	1.22	2.768	Lempung+	10.00 – 10.50	2.50	2.725
4	Lempung*	24.00 – 24.60	1.16	2.655	Lempung*	23.00 – 23.60	1.22	2.652
5	Lempung*	26.00 – 26.60	1.01	2.643	Lempung*	26.00 – 27.00	1.20	2.668
6	Pasir	36.00 - 36.60	1.36	2.72	Lempung*	27.00 – 28.00	0.95	2.718
7	Lempung lanau	43.50 – 44.00	1.18	2.782	Pasir lanau	29.00 – 30.00	1.08	2.778
8	Lempung*	48.00 - 49.00	1.27	2.688	Pasir	33.00 – 33.50	1.25	2.72
9	Lempung*	49.00 – 49.50	1.13	2.682	Pasir kerikil	43.00 – 44.00	1.31	2.627

Sumber : DGTL, 2000

Lempung pasir+ = letak muka airtanah pisometrik pada kedalaman 20 m

Lempung+ = letak muka airtanah pisometrik pada kedalaman 20 m

Lempung* = menunjukkan ada penurunan angka pori

Tabel 2. Hasil pengukuran titik pengamatan muka airtanah di Kota Semarang

Lokasi	Elevasi (m)	Tahun										
		1980	1982	1984	1986	1988	1990	1992	1997	1998	1999	2000
PAM Arjuna	4	3	5.7	5.8	7.7			9.9				
PAM KP Peres	2	3.1	5.9	6.3	8.2	9.3		9.3	20.2	20.13	20.7	20.8
PAM Perbalan	2	3.8	6.7	6.8								
PAM Sanjaya	5	4.7	7.1	9.1								
PAM Erowati	5	2.5										18.6
PAM Cinde	6	20	22	23	23	24						
PAM Kinibalu	50	38.3	38.8	38.4	38.3		38.8	39	42.1	39.85		37.1
PAM Kdgmundu	44	28.6	28.7	29.2	29.1	29.2	29.5	30.3	30.7	31.78	29.2	28.1
PAM Pogandan	28			13.4		18.6						
PAM Karangpl	75	58.5		58			58.3					
PAM Jangli	100	48.5						48.5				48.4
PAM Tambak	2	3.3	5.3	7.1			9.9	14.9		16.2	16.4	
PAM Brumbngn	4	6.3		9.4		10.2	12.8	15.1				

PAM Cilosari	2	3.4	5.4		7.7									
PAM Suyudono	20		2.6	4.4										
PAM Manyaran	65	54.6	54.2	56.1		56.1		59.1	56.4			56.6		
Obs.Watugandul	4	5.9	8.1	9.1	10.8	12.9		17.8						
PB.es prawito	26	22.2	23.8		23.4	24.6		24						
PLN Hidro	25			20	22.2	22.5								
PK. Gula Sano	6	6.4	8.2	8.6	10.2	10.8	13.2	16.2						
CV Harumanis	5.3	5.4	6.7	6.5	8.6	10.1		13.7						
Transmigrasi	6				9.72	12.3		13.4	21.3	21.93	22.6			
PAM Bangetayu	1.2	1.9	3.1	2	0.9			1.3						
PB. Es Bakti	1.5			7.9	9.9	11.2	10.5							
CV Kn Factory	1.5			8.5	8.7	9.4	11.7	16.2						
PT. Amor P	1.5	4.1	6.6	9.8		11.8		16.2						
Kesunenmotor	3	3.5	5.5	6.4				16.6						
PT. Sandratek	5	4.8	6.8	6.7			15.2							
Kimia Farma	18	5.9	6	6.8		7.1		7.8				6.15	5.38	
PT. Genuksari	4	4.5	7.3	8.4	10.4		20.1	23.3		28.4				
PT. Gentong Gt	6			8.7	11.6	14.1	15.1							
Hotel Siranda	3	19.9	22.1				22.9	23.7	24.3	24.02	22.5	22.9		
Mj. Baiturahman	4			5.7		13.4	14.2	16.2						
Rumah dinas BI	25			16				26						
Gd. Rokok Jarum	10			3	10.1		13	16.2						
PAM Blimbing	22			2.8		3.7		7.7						
Metro Plaza	10			3.7	4.7			7.7						
Pb.Es Argoken	2			1.8				20.3						
Metro hotel	3			1.9	2.4	4.6	7							
Komp.Tanah Mas	2			6.2			16.7							
PAM Gayam sari	10			6.8	9.4	10.4	11.5							
Mangunharjo	1.5			1.9		2.4	4.6	7						
PAM Rejosari	4			7.7	8.5	12.1	14.2	16.6						
PAM Bugangan	4			4.3		14.6								
Obs. SD Kuningan	2			6.7	9.1	11.3		15.9						
PAM Rodan	2			7.8		11.2								
Deli I	0.5			6.2		9.7								
Tanah Mas	2			9.4	12.1		15.7							
RS William Boot	30			25	28.7	30								
Kantor P & K	4			2.7			15.5							

Sumber : Distam dan DGTL, 2001

Tabel 3. Hasil pengukuran titik pengamatan amblesan di Kota Semarang

No.BM	Pengukuran				Amblesan	Amblesan	Amblesan	Kumulatif (cm)
	Th 96/97	Th 97/98	Th 98/99	Th 99/20	96vs99	96vs99	96vs99	
	Distam	Distam	Distam	DGTL	(rata-rata)	(rata-rata)	(rata-rata)	
1	3.09			2.658	0.144			0.432
2	6.165			5.908	0.085667			0.257
3	8.451			8.196	0.085			0.255
4	15.689			15.214	0.158333			0.475
5	13.123			12.851	0.090667			0.272
6	6.94			7.257	-0.10567			-0.317
7	2.993			3.315	-0.10733			-0.322
8	2.137			1.341	0.265333			0.796
9		2.0392		1.281		0.3791		0.7582
10		3.0422		2.57		0.2361		0.4722
11		4.2453		3.826		0.20965		0.4193

12		5.3922		5.214		0.0891		0.1782
13		12.8457		12.699		0.07335		0.1467
14		5.152		4.72		0.216		0.432
15		2.7634		2.272		0.2457		0.4914
16				1.427		0		
17		3.0841		2.863		0.11055		0.2211
18		2.0158		1.836		0.0899		0.1798
19		2.3696		2.233		0.0683		0.1366
20		6.6138		6.513		0.0504		0.1008
21		8.9783		8.939		0.01965		0.0393
22		44.1037	44.103	44.103				
23			10.64924	10.5959		0.05334		0.05334
24			11.80572	11.754		0.05172		0.05172
25			4.79865	4.778		0.02065		0.02065
26			2.90915	2.522		0.38715		0.38715
27			2.91109	2.774		0.13709		0.13709
28			3.11059	2.958		0.15259		0.15259
29			3.09287	3.07		0.02287		0.02287

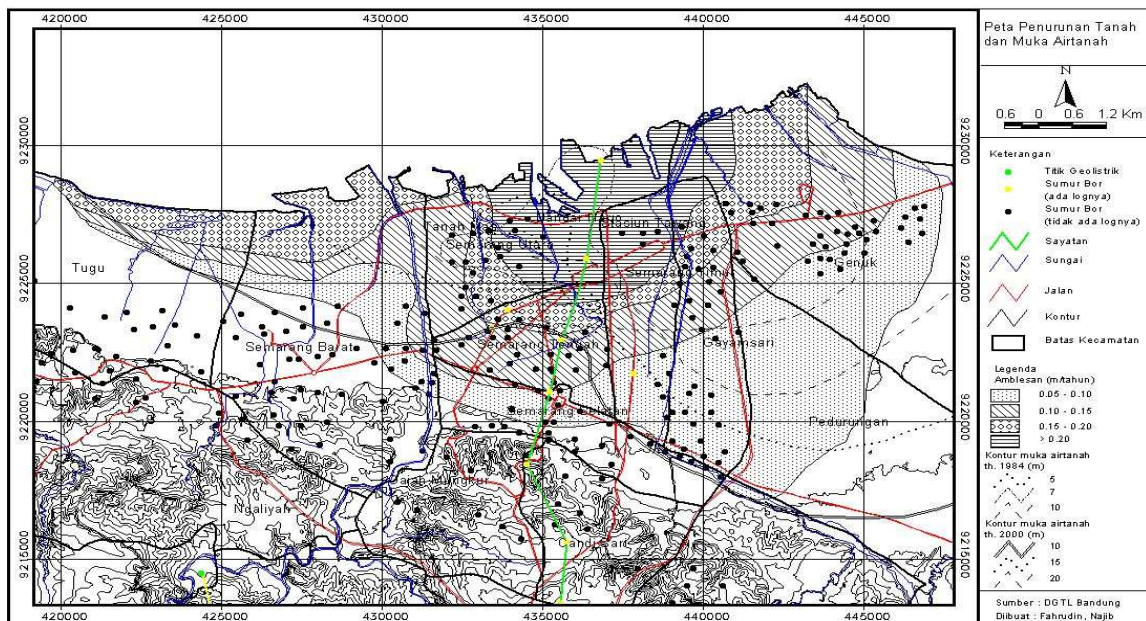
Sumber : Distam dan DGTI, 2000

Hasil

Log Bor Geologi Teknik.

Ada dua log bor yang digunakan yaitu pemboran di Tanjung Mas dan Dinas Pertambangan. Kedalaman log bor di Tanjung Mas 50 m sedangkan Dinas Pertambangan juga 50 m. Dari data log tersebut dapat diketahui lapisan-lapisan batuan. Lapisan-lapisan tersebut antara lain dikelompokkan menjadi 3 yaitu lempung, lanau dan pasir lempung sebagai lapisan kedap air sedangkan pasir sebagai lapisan akuifer. Muka airtanah pisometrik pada daerah ini dijumpai pada kedalaman 20 m.

Penurunan Tanah dan Muka Airtanah Pisometrik. Penurunan tanah diambil dari penelitian Tobing dkk. 2000 terhadap amblesan hasil pengukuran tahun 1996 – 1999 kemudian ditampilkan dengan pengukuran muka airtanah pisometrik (Gambar 3).



Gambar 3. Peta penurunan tanah dan muka airtanah pisometrik

Angka Pori dan Berat jenis

Angka pori diambil dari data pengukuran yang dilakukan oleh DGTL Bandung. Angka pori yang dipakai pada dua lokasi yaitu di Tanjung Mas dan Dinas Pertambangan. Lokasi pengeboran titik di Tanjung Mas dan Dinas pertambangan ditampalkan dengan peta penurunan muka airtanah pisometrik berada pada zona dengan nilai kontur 20 m. Maka muka airtanah pisometrik dapat diketahui posisinya. Di Tanjung Mas posisi muka airtanah pisometrik berada pada lapisan pasir lempungan (lihat Tabel. 1) sedangkan di Dinas Pertambangan terletak pada lapisan lempung (lihat Tabel. 1).

Pembahasan

Penurunan Muka Airtanah Pisometrik

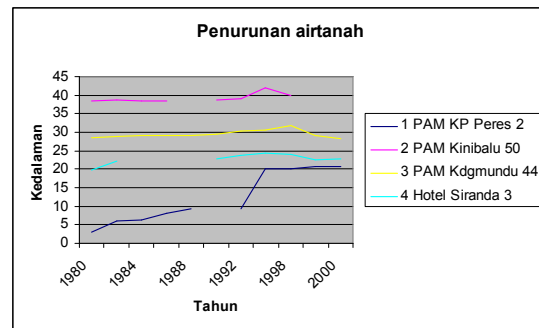
Peningkatan pengambilan airtanah tertekan merupakan faktor dominan yang mempengaruhi perubahan muka airtanah pisometrik. Pengambilan airtanah terus meningkat menyebabkan muka airtanah pisometrik cenderung terus mengalami penurunan (Gambar 3). Seperti dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa pada awal dekade 1980 an muka airtanah pisometrik masih berkisar antara 2,0 – 7,5 m bml, sedangkan pada periode tahun 1989 mulai muncul nilai muka airtanah pisometrik 10 m bml. Pada dekade tahun 2000 penurunan muka airtanah pisometrik telah mencapai 20 m bml. Di bagian penurunan muka airtanah yang terdalam tersebut, membentuk pola depresi kerucut, di mana seakan membentuk pola aliran airtanah yang bergerak secara terpusat ke arah penurunan kerucut tersebut. Pembentukan depresi kerucut tersebut menunjukkan bahwa pengambilan airtanah di kawasan itu dilakukan secara intensif. Kecepatan laju penurunan muka airtanah pisometrik selama 20 tahun terakhir (1980 – 2000) rata-rata 0.7 – 1.1 m/tahun (Sihmanto dkk, 2001).

Kerucut penurunan muka airtanah pisometrik dengan bentuk menyerupai elips yang terpotong oleh garis pantai, penyebaran di jumpai Semarang Utara meliputi pelabuhan Tanjungmas, Pengapon, Tawangsari, Bubukan, Kaligawe, Terboyo, Genuk dan Bangetayu.

Terjadinya penurunan muka airtanah pisometrik selama 25 tahun terakhir menunjukkan jumlah airtanah yang masuk dalam sistem tidak seimbang dengan pengambilan. Ketidakseimbangan sistem hidrogeologi pada sistem akuifer endapan kuartar disebabkan karena faktor alam dan manusia. Secara alami sistem akuifer endapan kuartar tidak bersambung dengan topografi di atasnya di mana daerah *recharge area* dipisah oleh sesar. Sedangkan ulah manusia adalah pengambilan airtanah yang berlebihan. Pengambilan airtanah berlebihan menyebabkan muka airtanah pisometrik mengalami penurunan. Penurunan ini menyebabkan airtanah di daerah tersebut kritis. Untuk menanggulangi hal tersebut maka daerah yang kritis tidak diperbolehkan membuat sumur bor baru dan dibuat sumur injeksi pada lapisan akuifer yang muka airtanah pisometrik turun.

Hidrokompaksi

Hidrokompaksi merupakan salah satu faktor penurunan tanah (*subsidence*). Hidrokompaksi berhubungan erat dengan penurunan airtanah. Hal tersebut akan terjadi apabila kandungan airtanah yang ada pada pori tanah (lapisan lempung) berkurang atau mengalami penurunan. Semakin besar kandungan air tanah yang hilang, semakin besar kelembaban tanah yang hilang. Indikasi kelembaban di dalam tanah dapat diketahui dari dua parameter, yaitu kandungan pori dan berat jenis tanah. Berkurang/hilangnya kelembaban dapat diketahui dari ruang kosong/ kandungan pori yang semakin tinggi di dalam tanah dan berat jenis tanah yang menurun.



Gambar 4. Grafik penurunan airtanah dari Tahun

Hidrokompaksi dapat dijelaskan dengan parameter jumlah kandungan pori (e) dan berat jenis (G_s). Data yang diambil dari dua lokasi yaitu Tanjung Mas dan Dinas Pertambangan (Tabel 1). Di Tanjung Mas terlihat adanya kecenderungan angka pori dan berat jenis mengalami penurunan berbanding lurus dengan kedalaman. Penurunan tersebut terjadi pada kedalaman 24.00 m – 26.60 m dan 48.00 m – 49.50 m dengan rata-rata penurunan angka pori 0.145 dan berat jenis 0.009. Sedangkan di Dinas Pertambangan penurunan terjadi pada kedalaman 10.00 m – 28.00 m dengan rata-rata penurunan angka pori 0.5 dan berat jenis 0.073.

Amblesan

Pada kajian ini fenomena amblesan tanah dapat diketahui dari penurunan muka airtanah pisometrik dan proses hidrokompaksi. Penurunan muka airtanah pisometrik disebabkan pengambilan airtanah tertekan yang berlebihan. Hidrokompaksi terjadi disebabkan adanya proses migrasi airtanah yang terdapat pada lapisan kedap air (batulempung) masuk kedalam akuifer sehingga menyebabkan penurunan muka airtanah pisometrik. Data yang menunjukkan ada proses hidrokompaksi berdasarkan nilai angka pori dan berat jenis.

Untuk mengetahui dan memantau amblesan tanah, Dinas Pertambangan Propinsi Jawa Tengah membuat titik duga tinggi (Bench Mark/BM) sebanyak 29 buah (Tabel 3). BM digunakan sebagai titik referensi da-

lam pemantauan perubahan ketinggian suatu tempat setiap tahun, sehingga sebagai kontrol ada tidaknya amblesan. Gambar 4 menunjukkan hubungan yang linier antara penurunan tanah dengan penurunan muka airtanah pisometrik. Gambar 3. menunjukkan ada 4 (empat) zona amblesan sebagai berikut :

- 0,20 m/tahun
- 0,15 – 0,20 m/tahun
- 0,10 – 0,15 m/tahun
- 0,05 – 0,10 m/tahun

Prediksi laju amblesan tanah ini berkisar 0.5 – 1.75 cm/tahun. Amblesan ini meliputi daerah PRPP, Tanah Mas, STM Perkapalan Jl. Kokroso, Erowati, Kampung Peres, Purwosari, Bandarharjo, Pangung Lor, Pangung Kidul, Tambaklorok, Pelabuhan Tanjungmas, Pengapon, Kaligawe, Wotgandul, Simpanlima, dan P3B Jl. Singosari. Sedangkan daerah yang penurunannya relatif tinggi meliputi Tanah Mas, Bandarharjo, Tanjung Mas, Pelabuhan Tanjungmas dan Pengapon. Terjadinya penurunan tanah yang relatif tinggi di daerah ini disebabkan penurunan muka airtanah pisometrik, angka pori dan berat jenis pada lapisan kedap air (lempung).

Kesimpulan

1. Akuifer yang banyak dieksploitasi adalah akuifer Edapanan Kuartar, akuifer ini terbagi dua yaitu akuifer endapan delta garang dan laut kuartar. Akuifer ini berupa lensa – lensa batuan pasir berbutir sedang sampai kasar. Pada akuifer ini yang mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*).
2. Penurunan muka tanah dapat dijelaskan dengan fakta fenomena alam antara lain penurunan muka airtanah pisometrik pada akuifer tertekan dan proses hidrokompaksi, proses ini dipengaruhi dua faktor yaitu nilai angka pori (e) dan berat jenis (G_s).
3. Di Semarang terjadi penurunan muka airtanah pisometrik yang telah membentuk kerucut muka airtanah sampai 20 m bml dengan rata-rata 0.7 – 1.1 m/tahun. Hidrokompaksi menyebabkan penurunan angka pori rata-rata 0.145 – 0.5 dan berat jenis 0.009 - 0.073. Penurunan muka airtanah pisometrik dan proses hidrokompaksi menyebabkan laju amblesan tanah di Semarang berkisar 0.5 – 1.75 cm/tahun.
4. Sistem akuifer dan hidrogeologi yang sudah mengalami kritis di Semarang, maka diperlukan penanggulangan bersama antara pihak yang terkait. Salah satu cara untuk mengembalikan ke kondisi semula adalah dengan melakukan konservasi airtanah dan dibuat sumur injeksi pada akuifer yang kritis.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan banyak terima kasih atas bantuannya sehingga laporan ini dapat diselesaikan, kami sampaikan kepada :

1. Pihak sumber dana DIPA Universitas Diponegoro tahun 2006
2. Pusat Studi Kebumihan

3. Pusat Lingkungan Geologi Bandung
4. Anggota tim peneliti

Daftar Pustaka

1. Marsudi, 2001, *Prediksi Laju Amblesan Tanah Di Dataran Aluvial Semarang Propinsi Jawa Tengah*, Jurusan Pertambangan ITB, Bandung.
2. Sihwanto dkk, 2001, *Konservasi Airtanah Daerah Semarang dan Sekitarnya*, Dit. Geologi Tata Lingkungan, Ditjen Pertambangan Umum, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung
3. Sumadirja, H, dkk, 1996, *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa*, Pusat Survei Geologi, Bandung.
4. Tobing dkk, 2000, *Penyelidikan Geoteknik "Land Subsidence " Semarang Jawa Tengah*, Dit. Geologi Tata Lingkungan, Ditjen Pertambangan Umum, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung.
5. Todd, D. K., 1980, *Groundwater Hydrology*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.

