

JURNAL KONSTRUKSI

Analisa Penurunan Pondasi Tangki Timbun Air Baku 54-T-101b di PT. Pertamina Refinery Unit di Balongan Dengan Melakukan Penyelidikan Tanah

Mutamakin*, Dr. Ir. H. Saihul Anwar, M.Eng., MM. **

*) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Swadaya Gunung Jati Cirebon

**) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Swadaya Gunung Jati Cirebon

ABSTRAK

Kilang Pertamina *Refinery Unit VI* Balongan dengan kapasitas 125.000 barel/hari adalah kilang minyak yang berlokasi di Desa Balongan Kabupaten Indramayu, yang merupakan salah satu dari tujuh kilang yang dimiliki oleh Pertamina. Kilang Pertamina *Refinery Unit VI* Balongan yang mulai beroperasi sejak tahun 1994.

Salah satu permasalahan pada peralatan kilang yang sudah terjadi sejak masa konstruksi adalah terjadinya penurunan pondasi tangki penampung air baku 54-T-101B yang di disain dengan metode *preloading* dan sampai dengan saat ini penurunan pondasi masih berlangsung.

Evaluasi yang telah dilakukan dengan melakukan monitoring penurunan yang terjadi di daerah dinding dan pusat tangki, yang dilakukan selama 3 (tiga) tahun terhitung dari *mechanical completion*, selanjutnya hasil monitoring di evaluasi dengan *Regression Line Methode* dengan basis level operasi dari tangki. Untuk mengetahui kondisi aktual tanah pondasi setelah dilakukan pembebanan selama 20 (dua puluh) tahun dan mencegah terjadi kondisi tidak berfungsinya tangki timbun air baku 54-T-101B akibat permasalahan pondasi, diperlukan adanya analisa penurunan pondasi tangki.

Kata Kunci : Analisa penurunan pondasi tangki, penyelidikan tanah

ABSTRACT

Pertamina Refinery Unit VI Balongan Refinery with a capacity of 125,000 barrels / day refinery is located in the village Balongan Indramayu district, which is one of seven refineries owned by Pertamina. Pertamina Refinery Unit VI Balongan Refinery has been operating since 1994.

One of the problems at the refinery equipment that has occurred since the construction period is the decline in raw water storage tank foundation 54-T-101B are designed with preloading method and up to now the foundation is still ongoing settlement.

Evaluation was done by monitoring loss that occurs in the area of the wall and the center of the tank, which is carried out for 3 (three) years from mechanical completion, then the results of monitoring in the evaluation of the Regression Line Methode with the base operating level of the tank. To determine the actual condition of the foundation soil after loading for 20 (twenty) years and preventing the condition of non-functioning storage tank of raw water 54-T-101B due to problems of the foundation.

Keywords : *Analysis settlement tank foundation, soil investigation*

1. Pendahuluan

Kilang Pertamina *Refinery Unit VI* Balongan dengan kapasitas 125.000 barel/hari adalah kilang minyak yang berlokasi di Desa Balongan Kabupaten Indramayu, yang merupakan salah satu dari tujuh kilang yang dimiliki oleh Pertamina. Kilang Pertamina *Refinery Unit VI* Balongan yang mulai beroperasi sejak tahun 1994 mempunyai nilai strategis dalam menjaga kestabilan pasokan bahan bakar minyak seperti Premium, Pertamina, Pertamina Plus, Solar, Pertamina DEX, minyak tanah (*kerosene*), LPG, dan *Propylene* ke DKI Jakarta, Banten, sebagian Jawa Barat dan sekitarnya yang merupakan sentra bisnis dan pemerintahan Indonesia.

Dalam operasional kilang minyak, air mempunyai peranan penting sebagai *service water* yang dipergunakan untuk : demineralized water, air pendingin, air pemadam dan sebagai pendingin untuk pompa di offsite. Kebutuhan air baku kilang *Refinery Unit VI* Balongan kurang lebih 900 m³/jam disalurkan dari Sungai Cipunegara dan Sungai Citarum Timur yang terlebih dahulu dilakukan pemurnian air di *Water Intake Facility* dengan kapasitas 1.100 m³/jam di Desa Salam Darma Kecamatan Comprang Kabupaten Subang. Penyaluran air baku dari Salam Darma ke Kilang *Refinery Unit VI* Balongan menggunakan pipa dengan *nominal pipe size* 24 in dan ditampung di dua unit tangki penampung yang berbentuk silinder dengan kapasitas masing-masing 66.000 ton.

Salah satu permasalahan pada peralatan kilang yang sudah terjadi sejak masa konstruksi adalah terjadinya penurunan pondasi tangki penampung air baku 54-T-101B dan sampai dengan saat ini penurunan pondasi masih berlangsung. Dampak yang terjadi dengan tidak dapat difungsikannya tangki penampung air baku akibat penurunan pondasi adalah terganggunya proses operasi kilang yang berdampak

terganggunya pemenuhan kebutuhan bahan bakar minyak.

Untuk mencegah terjadi kondisi tidak berfungsinya tangki timbun air baku 54-T-101B, diperlukan adanya analisa penurunan pondasi tangki dengan melakukan penyelidikan tanah sehingga langkah-langkah pencegahan, antisipasi atau perbaikan dapat terencana dengan baik, sehingga proses operasi kilang dapat berjalan dengan baik dan pemenuhan bahan bakar dan non bahan bakar dapat terpenuhi sesuai dengan target.

2. Landasan Teori

2.1. Tanah

Tanah merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pondasi, karena menurut Nakzawa (1980:1) tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan atau konstruksi. Istilah tanah didefinisikan oleh Wesley (1977:1) mencakup semua bahan dari tanah lempung (*clay*) sampai berangkal (batu-batu besar), semua endapan alam yang bersangkutan dengan teknik sipil kecuali batuan tetap. Batuan tetap menjadi ilmu tersendiri, yaitu mekanika batuan (*rock mechanics*). Menurut Wesley (1977:15) tanah-tanah tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok :

a. Batu kerikil (*gravel*); golongan ini terdiri dari pecahan-pecahan batu dengan berbagai ukuran dan bentuk. Butir-butir batu kerikil biasanya terdiri dari pecahan-pecahan batu, tetapi kadang-kadang ada juga yang terdiri dari satu macam zat mineral tertentu, misalnya *kwartz* atau *flint*. Butir-butir pasir hampir selalu terdiri dari satu macam zat mineral, terutama *kwartz*. Dalam beberapa hal, mungkin hanya terdapat butir-butir dari satu ukuran saja, bahan tersebut di sebut seragam, sedangkan bila terdapat ukuran-ukuran butir yang mencakup seluruh daerah ukuran, dari ukuran batu besar ke ukuran pasir halus, bahan tersebut dikatakan bergradasi baik.

- b. Lempung (*clay*); lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.
- c. Lanau; adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Kurang plastis dan lebih mudah ditembus air dari pada lempung dan memperlihatkan sifat dilatansi yang tidak terdapat dalam lempung. Dilatansi ini menunjukkan gejala perubahan isi apabila lanau itu dirubah bentuknya. Lanau akan menunjukkan gejala untuk menjadi hidup apabila diguncang atau digetarkan.

Golongan batu kerikil dan pasir seringkali dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir kasar atau bahan-bahan tidak kohesif, sedangkan golongan lanau dan lempung dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir halus atau bahan-bahan yang kohesif.

Secara umum tanah menurut Wesley (1977:1) adalah terdiri dari tiga bahan, yaitu butiran tanah, air dan udara yang terdapat dalam ruangan antara butir-butir tersebut, dimana ruangan ini disebut pori (*void*). Tanah yang masih dalam keadaan asli di lapangan, sering ditemukan dimana keadaan pori tanah tidak mengandung udara sama sekali, jadi pori tersebut menjadi penuh terisi air. Kondisi seperti tersebut disebut tanah jenuh air (*fully saturated*), sedangkan tanah yang benar-benar tidak ada air di dalamnya, keadaan seperti ini jarang ditemukan pada tanah asli dilapangan.

Dengan memperhatikan susunan tanah yang terdiri dari butiran tanah, air dan udara terdapat hubungan dari ketiga bagian

tersebut yang merupakan variable yang menentukan sifat-sifat tanah. Adapun sifat-sifat yang ada pada tanah Menurut Wesley (1977:11) antara lain : permeabilitas, konsolidasi, tegangan geser, dan batas-batas Atterberg.

2.2. Permeabilitas Tanah

Seperti yang dijelaskan pada sifat-sifat umum tanah, bahwa semua macam tanah terdiri dari butir-butir dengan ruangan-ruangan yang disebut pori. Menurut Wesley (1997: 49) pori-pori ini selalu berhubungan satu dengan yang lain sehingga air dapat mengalir melalui ruangan pori tersebut, proses ini disebut rembesan (*seepage*) dan kemampuan tanah untuk dapat dirembes air disebut daya rembes atau *permeability*. Sifat ini untuk mengukur atau menentukan kemampuan tanah yang dilewati air melalui pori-pori.

Air dalam tanah menurut Nakazawa (1994:13) adalah air bebas dalam daerah jenuh (*saturation zone*) yang selanjutnya dapat dibedakan atas air tanpa tekanan dengan permukaan yang bebas dan air tanah terkekang tanpa permukaan bebas.

Air yang merembes kedalam tanah, menurut Wesley (1997: 49) biasanya mengalir mengikuti keadaan aliran laminar dan hampir selalu berjalan secara linier yaitu jalan atau garis yang ditempuh air merupakan garis dengan bentuk yang teratur (*smooth curve*).

Air yang terdapat di dalam tanah menurut Nakazawa (1994:13) dapat dibedakan atas :

- a. Air absorpsi yakni air yang diabsorpsi oleh permukaan butir-butir tanah,
- b. Air kapiler adalah air yang tertahan dalam pori oleh tegangan permukaan.

Air grafitasi adalah air yang bergerak sepanjang pori oleh gaya gravitasi.

2.3. Konsolidasi Tanah

Tanah mempunyai kemampatan yang sangat besar jika dibandingkan dengan bahan konstruksi seperti baja atau beton. Baja dan beton adalah bahan yang relatif tidak mempunyai pori, sehingga volume pemampatan baja dan beton sangat kecil. Menurut Kazuto (1994 :10) dalam keadaan tegangan biasa bahan yang tidak mempunyai pori tidak mempunyai masalah dengan pemampatan, sebaliknya tanah karena mempunyai pori yang besar, maka pembebanan biasa akan mengakibatkan deformasi tanah yang sangat besar. Karakteristik tanah didominasi oleh sifat mekanismenya seperti permeabilitas atau kekuatan geser yang berubah-ubah sesuai dengan pembebanan.

Menurut Hardiyatmo (1994 : 37) bila lapisan tanah yang jenuh (*fully saturated*) yang permeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori tanah tersebut akan bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah, berakibat air akan mengalir ke lapisan tanah yang bertekanan air pori lebih rendah, yang akan diikuti penurunan tanah, kejadian seperti ini di sebut konsolidasi. Konsolidasi dapat juga didefinisikan sebagai proses berkurangnya volume atau kurangnya rongga pori dari tanah jenuh yang berpermeabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah.

Pada umumnya konsolidasi akan berlangsung dalam satu jurusan yaitu jurusan vertikal, menurut Hardiyatmo (1994 : 37) hal ini disebabkan lapisan yang terkena tambahan beban tidak dapat bergerak ke arah horizontal karena ditahan oleh tanah sekelilingnya, pada kondisi seperti ini pengaliran air akan berjalan terutama dalam arah vertikal. Mekanisme seperti ini disebut mekanisme proses konsolidasi satu dimensi (*one dimensional consolidation*) sehingga dalam perhitungan konsolidasi hampir selalu berdasarkan teori konsolidasi satu dimensi.

Proses konsolidasi dapat diamati baik di lapangan maupun di laboratorium mekanika tanah. Untuk pengamatan di lapangan menggunakan *piezometer* yang mencatat perubahan tekanan air pori dengan waktunya, sedangkan pengamatan konsolidasi di laboratorium bisa menggunakan *Consolidation Appartus* atau *Oedometer*.

2.4 Pra Pembebanan

Pada tanah pondasi yang lunak, mudah mampat, dan tebal, menurut Hardiyatmo (1994 : 88) kadang-kadang dibutuhkan untuk mengadakan pembebanan sebelum pelaksanaan bangunannya sendiri. Cara ini disebut pra pembebanan (*preloading*). Maksud dari pra pembebanan ini adalah untuk meniadakan penurunan konsolidasi primer, yaitu dengan membebani tanah lebih dahulu sebelum pelaksanaan bangunannya. Setelah penurunan konsolidasi primer selesai atau sangat kecil, baru beban tanah dibongkar dan struktur dibangun di atas tanah tersebut. Keuntungan dari pra pembebanan ini adalah mengurangi terjadinya penurunan juga menambah kuat geser tanah.

2.5 Penurunan Tanah

Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*), menurut Hardiyatmo (1994 : 93) regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori atau air di dalam tanah tersebut. Jumlah regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanah. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

Pada waktu konsolidasi berlangsung bangunan di atas lapisan tersebut akan mengalami penurunan, menurut Wesley (1997:67) besar kecilnya penurunan yang terjadi tergantung dari kompresibilitas. Bila

kompresibilitas tinggi (*high compressibility*) maka penurunan agak besar dan berlangsung dalam waktu yang cukup lama, sebaliknya bila kompresibilitas rendah (*low compressibility*) penurunan yang terjadi kecil dan berjalan dengan cepat. Tanah lempung adalah contoh jenis tanah yang mempunyai kompresibilitas tinggi dan pasir adalah contoh tanah yang mempunyai kompresibilitas rendah.

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah. Dimana penurunan yang terjadi memerlukan waktu, yang lamanya tergantung pada konsolidasi lapisan tanahnya.

Penurunan konsolidasi menurut Hardiyatmo, 1994: 93 dibagi di dalam tiga fase, yaitu

- a. Fase awal; yaitu fase dimana penurunan yang terjadi dengan segera sesudah beban bekerja, disini penurunan terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanah. Pada tanah lempung jenuh, kemungkinan ini sangat kecil, tetapi pada lempung yang tidak jenuh pengaruhnya sangat besar terhadap penurunan. Proporsi penurunan awal dapat diberikan dalam perubahan angka pori, dan dapat ditentukan dari kurva waktu terhadap penurunan dari pengujian konsolidasi.
- b. Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis; yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanah akibat adanya tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanahnya seperti sifat permeabilitas, kompresibilitas, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, dan batas lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan yang lolos air.

Fase konsolidasi sekunder; merupakan proses kelanjutan dari konsolidasi primer, dimana proses berjalan sangat lambat. Penurunannya jarang diperhitungkan

karena pengaruhnya sangat kecil, kecuali pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung organik yang sangat mudah mampat.

2.6 Pemboran Dalam

Penyelidikan tanah dengan metoda ini bertujuan menentukan jenis dan sifat tanah pada lokasi tanah pondasi. Pengambilan contoh tanah ini dikenal dengan sebutan pengambilan tanah tidak terganggu. Pekerjaan pengambilan contoh tanah tidak terganggu dilakukan mengacu pada ASTM D 1587 "*Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soil*". Pengambilan contoh tanah ini adalah dengan cara mengebor sampai kedalaman tertentu dengan menggunkan tabung atau pipa logam berongga ke dalam tanah. Kedalaman tanah yang akan di bor menentukan tipe alat bor yang dipergunakan untuk kedalaman 5-6 meter biasanya bisa menggunakan metoda *hand Auger* (manual), sedangkan untuk pondasi yang dalam dilakukan dengan metoda *deep test* dengan alat pemeriksaan *deep boring* dan sebagai penggerakannya menggunakan *rotary drilling mechine*.

2.7 Standard Penetration Test (SPT)

Penyelidikan tanah metoda ini bertujuan untuk mengetahui kedalaman lapisan tanah keras serta sifat daya dukung setiap kedalaman. Prosedur pelaksanaan dan peralatan *Standard Penetration Test* mengacu pada standar ASTM D 1586 "*Standard Method for Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soil*". Cara kerja alat uji SPT adalah dengan membuat lubang bor hingga ke kedalaman uji SPT akan dilakukan. Suatu alat yang dinamakan *standard split-barrel spoon sampler* dimasukkan ke dalam tanah pada dasar lubang bor dengan memakai suatu beban penumbuk (*drive weight*) seberat 63,5 kg yang di jatuhkan pada ketinggian 76,2 cm. Setelah split spoon ini dimasukkan 15 cm jumlah pukulan ditentukan untuk memasukan 30 cm berikutnya. Jumlah pukulan ini disebut nilai N (*N value*)

dengan satuan pukulan per kaki (*blows per foot*). Pemboran menunjukkan penolakan dan pengujian dihentikan apabila, diperlukan 50 kali pukulan untuk setiap pertambahan 150 mm, atau telah mencapai 100 kali pukulan, atau 10 pukulan berturut-turut tidak menunjukkan kemajuan. Setelah percobaan selesai, split spoon dikeluarkan dari lubang bor dan dibuka untuk mengambil contoh tanah yang tertahan di dalamnya. Contoh tanah ini dapat dipergunakan untuk percobaan klasifikasi semacam batas atterberg dan ukuran butir, tetapi kurang sesuai untuk percobaan lain karena diameter terlampau kecil dan tidak dapat dianggap asli.

2.8 Sondir / Cone Penetrometer Test (CPT)

Tes sondir tanah dilaksanakan untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah. Prosedur pelaksanaan dan peralatan *Sondir / Cone Penetrometer Test* mengacu pada standar ASTM D 3441 "*Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Test of Soil*". Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan luas. Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya persatuan luas.

2.9 Sondir listrik dengan pengukuran air pori (CPTu)

Uji CPTu atau *piezocone* dilakukan dengan mengacu pada ASTM D5778 "*Standard Test Methode for Performing Electronic Friction and Piezocone Penetration Testing of Soil*". dengan luas selimut 150m² dan kecepatan penetrasi ± 2 cm/detik. Parameter langsung yang didapat adalah *cone tip resistance* (q_c) dan *sleeve friction* (f_s) dan *porewater pressure* (u_2). Uji CPTu dianggap akan lebih handal untuk melakukan karakterisasi pada tanah lempung lunak atau sangat lunak karena kemampuannya yang akan meminimalkan gangguan dalam proses tesnya namun harus

diperhatikan juga adalah kualitas data yang dihasilkan.

Pada uji CPTu, pembacaan tekanan air pori adalah sangat penting terlebih pada tanah lunak maka sensor tekanan air pori harus berfungsi baik. Maka untuk menghasilkan air pori dengan kualitas data yang handal, *filter* (*ceramic* atau batu pori) harus dalam keadaan jenuh. Penjenuhan umumnya dilakukan dengan merendam *filter* cairan yang tidak berudara (*de-aired liquid*) minimal 1 hari atau dengan merendam filter ke dalam air dan memanasakannya bersama-sama selama ± 15 menit. Tujuan dari proses ini yaitu agar cairan mendesak udara pada rongga-rongga fileter untuk keluar dari filter dan membuat filter menjadi jenuh. Setelah jenuh maka fileter akan dipasang pada konus dan untuk menjaga tingkat kejenuhannya tidak berkurang maka ujung konus akan ditutupi dengan membran. Selain itu juga, kejenuhan batu pori atau filter dapat berkurang jika konus dipenetrasi pada lapisan yang sangat *permeabel* misalnya lapisan pasir. Pada keadaan ini dapat dilakukan *preboring* untuk menembus lapisan tersebut atau melakukan penjenuhan kembali setelah menembus lapisan *permeabel* tersebut.

Salah satu keunggulan dari CPTu adalah kemampuannya untuk mengukur besarnya tekanan pori selama dipenetrasi dan juga dapat merekam perubahan tekanan air pori terhadap waktu pada kedalaman tertentu (uji disipasi). Pada uji ini, perubahan tekanan air pori atau proses disipasi dibiarkan terjadi sampai tekana air pori yang terekam itu mendekati tekanan air pori hidrostatik atau 50% tekanan air pori telah terdisipasi.

2.10 Sag.

Sag adalah bentuk pondasi setelah terjadi penurunan, dimana nilai Sag yang dijadikan parameter untuk menentukan pondasi tersebut dalam kondisi masih aman atau tidak. Maksimum Sag ditentukan berdasarkan standard DIN 4119.

2.11 Metode Asaoka

Metode Asaoka (1978) merupakan metode observasi untuk konsolidasi satu arah yang paling populer, karena selain dapat memprediksi penurunan akhir juga dapat memungkinkan diperolehnya parameter-parameter konsolidasi yang lebih akurat. Umumnya analisis penurunan tanah memerlukan data lapangan dan data laboratorium seperti data tekanan air pori, panjang aliran air, regangan maksimum tanah dan koefisien konsolidasi. Metode Asaoka ini merupakan suatu alat bantu untuk memprediksi penurunan tanah dengan menggunakan metode *curve fitting*. Tetapi dengan menggunakan Metoda Asaoka, kebutuhan akan data-data tanah tidak diperlukan dan hasil yang diperoleh pun cukup diandalkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis penurunan tanah dengan *adjustment parameter* menunjukkan nilai penurunan tanah geser sebesar 4,490 meter, mendekati pada perkiraan penurunan tanah sebesar 4,414 meter, Berdasarkan Tabel 4.22 diketahui bahwa perkiraan penurunan total tersebut terdiri dari perkiraan penurunan ultimate saat pra pembebanan 1993 sebesar 2,492 meter (berdasarkan pengukuran penurunan saat removal 2,274 meter – 2,307 meter) dan perkiraan penurunan ultimate berdasarkan metoda Asaoka dari data pengamatan penurunan tangki sejak 1994 sebesar 1,897 meter. Penurunan saat pra pembebanan umumnya terjadi selama 3-5 bulan sejak timbunan pra pembebanan mencapai elevasi rencana, karena proses percepatan konsolidasi dengan *vertical drain*.

Penurunan tangki 54-T-101B yang terus terjadi selama masa operasional dengan rate yang menurun dan melandai mulai hari ke 3.200, menandakan terjadinya proses konsolidasi alami. Oleh karena itu dapat jelaskan bahwa penurunan sebesar 2,492 meter terjadi dengan percepatan konsolidasi, dan penurunan sebesar 1,897

meter terjadi dengan konsolidasi alami. Dari hasil Perhitungan Balik penurunan konsolidasi sesuai Tabel 4.25, dapat diperkirakan ketebalan lapisan *compressible* yang memberikan kontribusi penurunan akibat percepatan konsolidasi dan konsolidasi alami. Dengan mengacu pada konsep *vertical drain* dengan *drain horizontal* dipermukaan, maka dapat dipastikan percepatan konsolidasi hanya terjadi pada lapisan di permukaan. Dari hasil analisa tersebut dan dijelaskan kembali Tabel 4.26 di bawah ini, dapat dilihat bahwa lapisan *compressible* setebal 10 meter dari permukaan tanah asli terhitung memberikan kontribusi penurunan sebesar 2.634 meter, mendekati perkiraan penurunan ultimate saat pra pembebanan sebesar 2,492 meter. Sedangkan lapisan *compressible*

Compression Index C_c	Initial Void Ratio e_0	Depth (m)	Effective Soil Density γ' (KN/m^3)	Effective Overburden Pressure P_0 (KN/m^2)	External Load Δp_{vv} (KN/m^2)	Total Pressure at Soil Layer $P_0 + \Delta p_{vv}$ (KN/m^2)	Consolidation Settlement S_c (mm)
		0 - 0.5	16.5	4.125	239.70	243.83	
0.5	1.40	0.5 - 3	6.5	16.375	239.70	256.08	622
0.9	1.45	3 - 4	6.5	27.75	239.70	267.45	361
1.05	2.00	4 - 6	5.7	36.7	239.70	276.40	614
1.05	2.00	6 - 8	5.7	48.1	239.70	287.80	544
1.05	2.00	8 - 10	5.3	59.1	239.70	298.80	493
1.05	2.00	10 - 11	5.3	67.05	239.70	306.75	231
1.05	2.00	11 - 12	5.3	72.35	239.70	312.05	222
1.05	2.00	12 - 15	5.3	82.95	239.70	322.65	619
1.05	1.10	15 - 18	8	102.9	239.70	342.60	784

Setebal 8 meter di bawah lapisan pertama memberikan kontribusi sebesar 1,856 meter, mendekati perkiraan penurunan ultimate berdasarkan metode Asaoka dari data pengamatan penurunan tangki sejak tahun 1994 sebesar 1,992 meter. Oleh karena itu dapat diperkirakan percepatan konsolidasi hanya terjadi pada lapisan *compressible* setebal 10 meter dari permukaan tanah asli.

Dengan hasil tersebut, dapat diduga bahwa panjang *vertical drain* yang berfungsi dengan baik diperkirakan hanya sepanjang 11,7 meter (10m + 1,7m) diukur dari elevasi *final level* +2,5, dari asumsi total panjang *vertical drain* 18,7 meter, Beberapa hal yang dapat mempengaruhi

kinerja *vertical drain* dari segi kemampuan pengaliran menurut Bergado et al., 1996 antara lain adalah :

- a. Penurunan tanah yang besar dapat menyebabkan tertekuknya *vertical drain*.
- b. Clogging pada *vertical drain* akibat terkumpulnya pertikel tanah yang masuk ke dalam inti *vertical drain* dan menghambat pengaliran.

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa penurunan tanah diperkirakan sebesar antara 8 mm sampai dengan 27 mm, dihitung dari pengukuran 21 Juni 2008. Untuk mengantisipasi adanya kesalahan dalam regresi dan model Asaoka, serta memperhitungkan adanya *secondary consolidation*, dipergunakan angka keamanan 2 dalam menentukan perkiraan sisa penurunan tanah pondasi. Oleh karena itu perkiraan sisa penurunan yang diperhitungkan adalah antara 16 mm sampai dengan 54 mm.

Sedangkan analisis perkiraan perbedaan penurunan antara dinding tangki dengan pusat dasar tangki mengacu pada hasil analisis dengan metoda Asaoka sudah melebihi syarat perbedaan penurunan seperti yang terlihat dalam tabel di bawah ini.

Tangki	Point	Perkiraan penurunan total (mm)	Perbedaan penurunan dinding & pusat dasar tangki (mm)	Syarat perbedaan penurunan $C < D/200 = 340$ mm
54-T-101B	1	980	966	melebihi
	2	951	995	melebihi
	3	947	999	melebihi
	4	1.013	933	melebihi
	Center	1.946		melebihi

4. Kesimpulan

- a. Sisa penurunan tanah diperkirakan sebesar 16 mm sampai 54 mm dihitung dari data pengukuran 21 Juli 2008. Untuk mengatasi terjadinya kesalahan regresi dan metoda Asaoka, serta perhitungan kemungkinan adanya *secondary consolidation*,

direkomendasikan penggunaan angka keamanan sebesar 2 dalam menentukan perkiraan sisa penurunan. Oleh karena itu perkiraan sisa penurunan adalah antara 16 mm sampai 46 mm.

- b. Perbedaan penurunan pondasi yang terjadi pada tangki 54-T-101B pada kondisi penurunan ultimate melebihi syarat yang diijinkan.

- c. Penurunan konsolidasi tanah yang terjadi pada area tangki diperkirakan telah mendekati kondisi ultimate. Pada kondisi ini, tekanan eksese air pori telah disipasi sehingga seluruh beban diterima oleh partikel tanah (*drained condition*). Hasil analisa daya dukung tanah pondasi tangki pada saat ini adalah kondisi tanah telah terkonsolidasi dengan menunjukkan angka keamanan sebesar 1,6, sehingga tangki 54-T-101B masih aman dari kegagalan daya dukung tanah.

5. Saran

Berdasarkan hasil analisis, penurunan ultimate menyebabkan terjadi perbedaan penurunan yang terjadi melebihi syarat yang diijinkan. Kondisi ini secara langsung dapat menyebabkan masalah pada integritas struktur tangki 54-T-101B. Oleh karena itu harus dilakukan pengecekan struktur tangki secara detail, karena hal ini menyangkut resiko kegagalan struktur tangki yang berdampak tidak berfungsinya tangki 54-T-101B, dan pasokan sumber air pada kilang PT. Pertamina Refinery Unit VI Balongan terkendala .

DAFTAR PUSAKA

- [1]. CV. Sanlianti.2008. Data Monitoring Penurunan Tangki 54-T-101B dari tanggal 28 Juni 1993 sampai dengan 21 Juli 2008. CV. Sanlianti, Indramayu
- [2]. Hardiyatmo, Harry Christady.1994. **Mekanika Tanah 2**. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [3]. JGC Corp.1993 Water Filling Result of 54-T-101B At C-300 Area. JGC Corp, Japan
- [4]. JGC Corp.1993. Drawing D-00-1315-001J Typical Drawing for Earth Mound Tank Foundation. JGC Corp, Japan
- [5]. JGC Corp.1993. Soil Foundation Tankage, Preloading Settlement : Stack Sequence No.1 to 6 Exor I Refinery Construction. JGC Corp, Japan
- [6]. JGC Corp.1993. Typical Pre-load Plan With Wick Drain 42-T-101AB. JGC Corp, Japan
- [7]. JGC Corp.1994. Inspection Report for Tank Foundation Repairing 54-T-101B. JGC Corp, Japan
- [8]. Kiso-Jiban Consultants Co.,Ltd.1991 Interpretative Report Geotechnical Investigation for The Proposed Exor Project Balongan Indonesia. Kiso-Jiban, Japan
- [9]. Penta-Cipta Joint Operation,.1991 **Construction Plan and Procedure For Subsoil Improvement**. Penta-Cipta Joint Operation,Jakarta
- [10]. PT. LAPI ITB.2015. Laporan Akhir Pekerjaan Survei dan Analisis Geoteknik Penurunan Raw Water Tank 54-T-101A&B Kilang RU.VI Balongan. PT. LAPI ITB, Bandung
- [11]. PT. Pertamina UP.VI Balongan.2014. **Plot Plan UP.VI Balongan up date 2014**. Refinery Unit VI, Balongan
- [12]. PT. Sofoco. 1990. *Boring Profile* dan Data Tes Laboratorium untuk Proyek Exor I. PT. Sofoco, Jakarta
- [13]. PT. Sofoco. 1999. **Grafik Sondir Proyek Exor I**. PT. Sofoco, Jakarta
- [14]. Sosrodarsono dkk.1994. **Mekanika Tanah & Teknik Pondasi**. PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- [15]. Wesley LD.1977. **Mekanika Tanah**. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- [16]. Robertson & Campanella.1983. **Interpretation of Cone Penetration Test**. Canadian Geotechnical Journal.
- [17]. Bowles,J.E.1988. **Foundation Analysis and Design**. McGraw Hill, Singapore.
- [18]. Asaoka,A.1978. Observational Procedure of Settlement Prediction. Soil and Foundation Vol.18 Issue Number 4. Jappanese Geotechnical Society.

