

Evaluasi Kapasitas Isi Tangki Minyak Yang Telah Mengalami Kemiringan

Budi Satiawan^{1*}, Tanjung Rahayu Raswitaningrum^{2*}

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl.Cempaka Putih Tengah, Cemp. Putih, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10510

*E-mail : budi.satiawan@umj.ac.id , tanjung.rahayu@umj.ac.id

ABSTRAK

Pada fasilitas pengolahan minyak dan gas umumnya banyak terdapat fasilitas peralatan berupa tangki yang terbuat dari pelat baja yang berfungsi melayani penyimpanan fluida baik berupa minyak ataupun cairan lainnya. Seringkali ditemui kasus penurunan yang terjadi pada pondasi tangki yang telah beroperasi jangka panjang. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi besarnya kapasitas isi dari tangki yang memungkinkan dapat dilakukan dengan minor perubahan berdasarkan kondisi kemiringan yang telah ditemui di lapangan. Penelitian ini akan mengevaluasi estimasi tegangan maksimum yang mungkin terjadi dari tangki yang telah mengalami kemiringan dengan menggunakan prinsip dari material elastik. Analisa dilakukan menggunakan pendekatan simulasi secara numerik, dimana pelat tangki dimodelkan menggunakan pendekatan numeris elemen hingga sehingga estimasi tegangan maksimal yang terjadi dapat diketahui sesuai dengan elevasi ketinggian beroperasinya tangki. Beberapa simulasi dengan mempertimbangkan beberapa skenario kemiringan tangki telah dilakukan dengan mempertimbangkan sisa tebal material sehingga diperoleh tinggi maksimum yang diperkenankan beroperasi pada tangki tersebut. Berdasarkan hasil analisa dapat diperoleh bahwa tangki masih dapat digunakan dengan pembatasan ketinggian operasi maksimal 6 m yang perlu dibuktikan dengan *hidrostatic loading test*.

Kata kunci: tangki, miring, tegangan, metode numeris, ketinggian operasi

ABSTRACT

In oil and gas processing facilities, generally there are many equipment facilities in the form of tanks made of steel plates that serve to store fluid in the form of oil or other fluids. Often encountered cases of settlement that occur in tank foundations that have been operating for a long time. This research was conducted to evaluate the tank's filling capacity which allows minor changes to be made based on the tilting conditions that have been encountered in the field. This study will evaluate the estimated maximum stress that may occur from a tank that has experienced a tilt condition using the principle of elastic material. The analysis is carried out using a numerical simulation approach, where the tank plate is modeled using a finite element numerical approach so that the maximum stress estimate that occurs can be known according to the elevation of the tank operating height. Several simulations by considering several tilting scenarios have been carried out by considering the remaining thickness of the material in order to obtain the maximum allowable height to operate in the tank. Based on the results of the analysis, it can be concluded that the tank can still be used with a maximum operating height limitation of 6 m which needs to be proven by a hydrostatic loading test.

Keywords: tank, tilting, stress, finite element, operating height

1. PENDAHULUAN

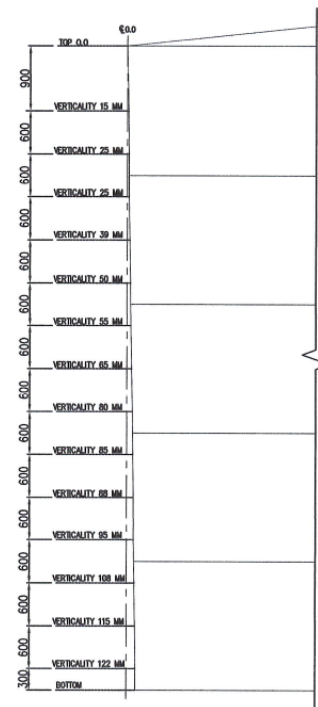
Beberapa kasus seringkali ditemukan pada fasilitas penyimpanan fluida (tangki) diantaranya adalah masalah penurunan dari pondasi tangki yang menggunakan tipe pondasi dangkal setelah beroperasi jangka panjang.



Gambar 1. Struktur Tangki

Berdasarkan kondisi di lapangan diperoleh kondisi tangki berdiameter 35ft dengan tipe *fixed roof* yang telah beroperasi cukup lama (sekitar 20 tahun) mengalami penurunan pada pondasi. Berdasarkan evaluasi penurunan yang dilakukan sesuai metodologi API 653 tipe penurunan yang terjadi dapat dikategorikan sebagai penurunan jenis *Rigid Body Tilting*. Berdasarkan hasil evaluasi telah diketahui kondisi tangki juga telah mengalami kemiringan dinding (*out-of-plumbness*) yang melebihi batasan ijin untuk penggunaan kondisi normal diakibatkan penurunan pondasi yang telah terjadi.

Kondisi kemiringan tangki (*out-of-plumbness*) diketahui sudah melebihi batas yang disyaratkan oleh API 653 dimana digunakan batasan toleransi kemiringan untuk tangki dengan tipe atap *fixed roof* adalah sebesar $1/100 \times$ tinggi tangki (jarak dari puncak dinding terhadap sisi terbawah dinding) dengan toleransi batas maksimum 5 inch. Plumbness maksimal yang telah terjadi pada dinding tangki sebesar 122 mm, sedangkan batasan kemiringan yang diijinkan adalah sebesar 106,7mm.



Gambar 2. Kemiringan Dinding Tangki

Saat penelitian ini dilakukan kondisi tangki dalam kondisi kosong dan tidak dioperasikan. Sesuai dengan rencana penggunaan kembali tangki untuk kebutuhan operasi dalam beberapa waktu kedepan, dibutuhkan analisa dan studi untuk mengetahui apakah dengan kondisi kemiringan yang terjadi masih dapat dioperasikan secara normal atau diperlukan perlakuan khusus agar tangki dapat beroperasi secara aman.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data untuk kebutuhan Analisa dilakukan melalui pengambilan data secara aktual di lapangan meliputi informasi ketebalan sisa material dinding tangki di lapangan, geometri dari ketegakan dinding tangki serta informasi elevasi kemiringan dari pondasi tangki. Untuk bentuk geometri tangki dilakukan pengukuran menggunakan alat survey diantaranya theodolite dan total station. Sedangkan untuk mengetahui tebal material dilakukan pengukuran menggunakan *thickness test* dan *hardness test* untuk mengetahui estimasi tegangan leleh dari material eksisting.

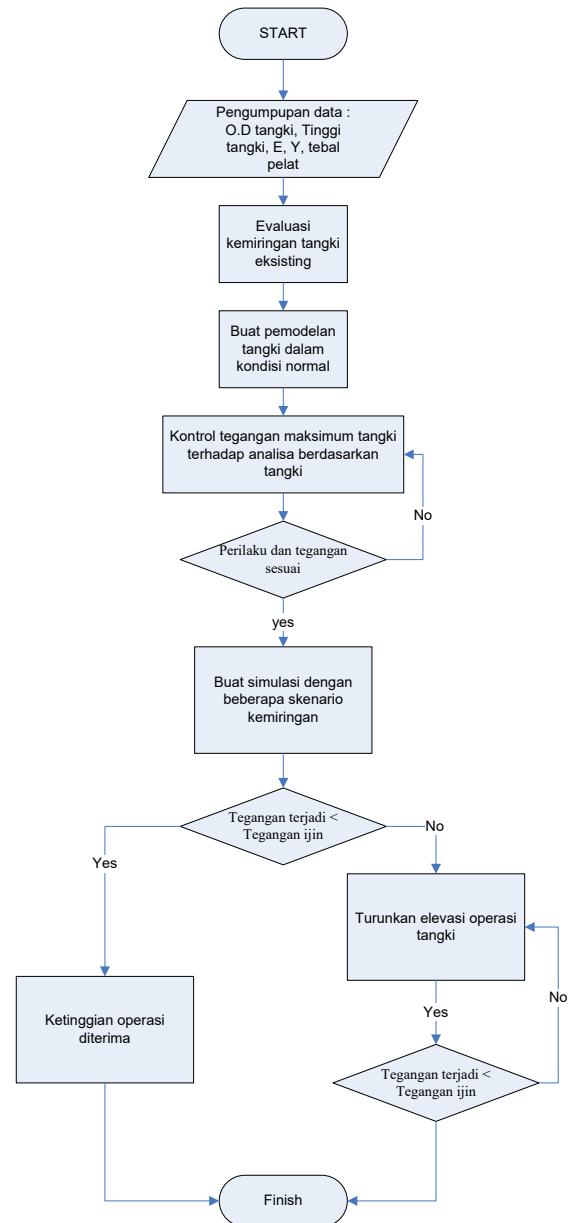
Analisa pemodelan struktur tangki dilakukan menggunakan pendekatan Metode Elemen Hingga, dimana dinding tangki dimodelkan sebagai elemen pelat dan beban fluida dimodelkan sebagai beban hydrostatic yang bekerja pada dinding tangki. Analisa material yang digunakan adalah *elastic linier*.

Untuk melakukan simulasi pemodelan elemen hingga digunakan aplikasi komersil yang ada dipasaran yaitu program STAAD.Pro. Beban-beban yang bekerja pada dinding tangki berasal dari berat sendiri material dan berat atap tangki, beban operasi yang berasal dari tekanan hidrostatis isi fluida di dalam tangki, beban hidup pada atap tangki serta beban operasional *vacum* yang diperoleh dari team *mechanical engineer*.

Sebelum melakukan Analisa berbagai skenario kemiringan tangki, terlebih dahulu dilakukan perbandingan model antara Analisa tegangan tangki pada kondisi normal (desain dan operasi) dan dibandingkan terhadap tegangan tangki yang terjadi dari divisi *Mechanical* untuk mengetahui apakah pemodelan yang dibuat sudah dapat diterima atau tidak.

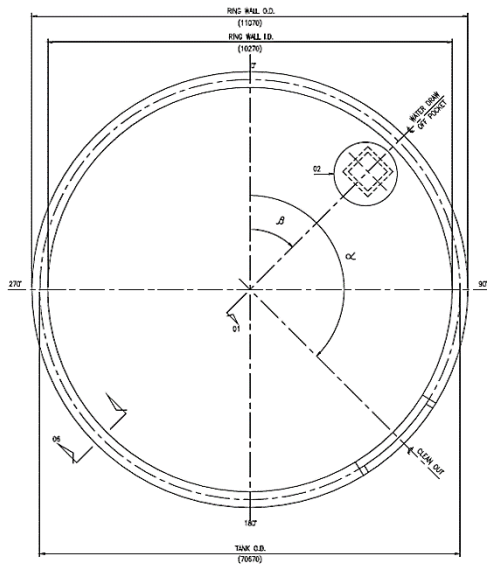
Basis model yang diperoleh dari model awal akan digunakan sebagai acuan Analisa tahap berikutnya, dimana kemiringan tangki diasumsikan terjadi pada $1^\circ, 2^\circ$, dan 3° . Diketahui kondisi kemiringan tangki saat ini masih mendekati 1° , estimasi hingga 3° diambil sebagai kontrol jika terjadi penurunan tidak terduga dari pondasi yang masih mungkin terjadi.

Secara garis besar, tahapan Analisa perhitungan untuk evaluasi kapasitas isi aman dari tangki dapat ditampilkan sebagaimana dalam ragam alur pada gambar 3.

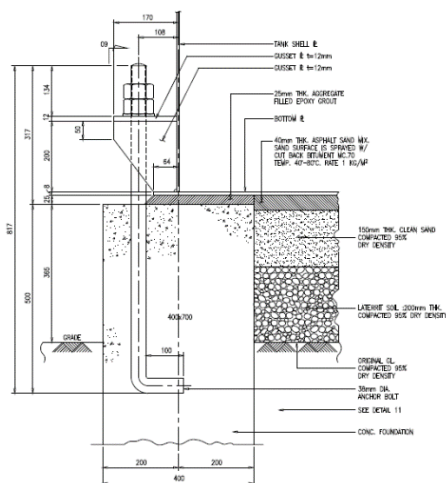


Gambar 3. Ragam Alir Analisa

Pengumpulan data juga dilakukan untuk dokumen-dokumen fasilitas tangki terlampir, diantaranya dapat diperoleh dimensi dari tangki serta sistem pondasi yang digunakan oleh tangki tersebut.



Gambar 4. Layout Pondasi Tangki



Gambar 5. Potongan Pondasi Tangki Eksisting

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

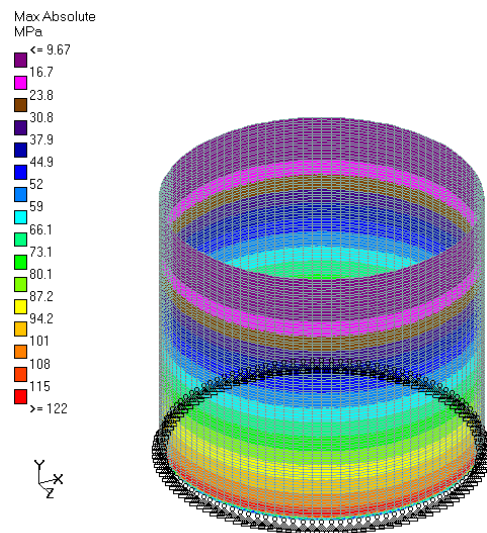
Evaluasi Model Awal

Diketahui data geometri dan properti material tangki secara umum adalah sebagaimana berikut.

Tabel 1. Data tangki

Tank Data			
Tank Name	=		
Water Level	=	-	m
O.D Tank	=	35.01	ft
No. of survey point,	=	16	EA
Arc length between measurement points, L	=	6.87	ft
Yield strength of the shell material, Y	=	29732.8	lbf/in ²
Young's Modulus, E	=	2.70E+07	lbf/in ²
Tank Height, H	=	29.79	ft

Pemodelan awal tangki dalam kondisi normal dimana kapasitas isi maksimal tangki adalah 8m. Dapat ditampilkan keluaran dari program elemen hingga yang digunakan yaitu distribusi tegangan pada dinding seperti dalam gambar 6 untuk kondisi normal operasi.



Gambar 6. Distribusi Tegangan pada dinding tangki

Untuk mendapatkan dimensi ukuran meshing yang konvergen, telah dilakukan beberapa kali simulasi sehingga diperoleh total error yang sudah dapat diabaikan. Hasil perbandingan nilai tegangan yang terjadi pada fungsi tinggi tangki dapat diperoleh pada tabel berikut.

Untuk besarnya batasan tegangan (S) yang diijinkan oleh API 653, dapat digunakan formula sebagai berikut:

Untuk dinding (shell) terbawah dan kedua:

$$S = 0,8 \cdot Y$$

$S = 0,429 \cdot T$, nilai S diambil yang terkecil.

Untuk dinding (shell) lainnya digunakan formula :

$$S = 0,88 \cdot Y$$

$S = 0,472 \cdot T$, nilai S diambil yang terkecil.

dimana :

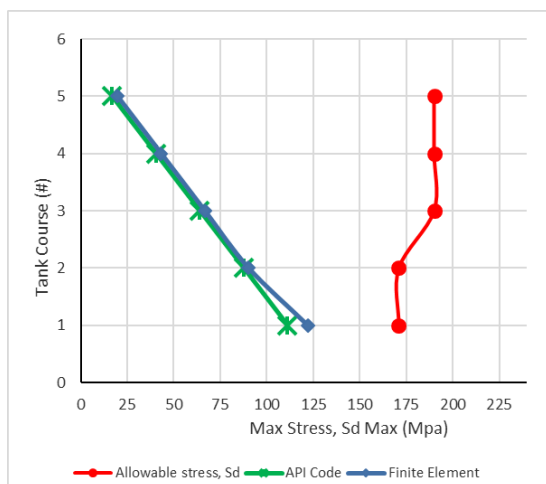
S = tegangan ijin material (Mpa)

Y = tegangan leleh min. material (Mpa)

T = tegangan putus min. material (Mpa)

Tabel 2. Perbandingan analisa numeris dan API 653

Course #	Tinggi course (m)	Tebal pelat (mm)	Sdmax (Mpa)		Teg. Ijin Sd (Mpa)	deviasi (%)
			API Code	Finite Element		
1	1.8	5.6	111.04	122.00	171	6.41
2	1.8	5.6	87.51	90.20	171	1.57
3	1.8	5.6	63.98	66.70	190	1.43
4	1.8	5.6	40.46	43.20	190	1.44
5	1.8	5.6	16.93	19.70	190	1.46

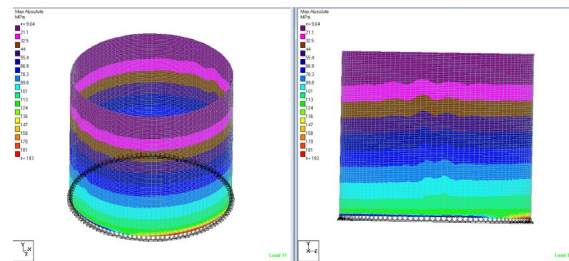


Gambar 7. Potongan Pondasi Tangki Eksisting

Berdasarkan gambar 7, terlihat bahwa pendekatan dari metoda elemen hingga dapat memberikan trend dan besaran tegangan yang mendekati dari perhitungan yang diperoleh berdasarkan peraturan tangki (API 653), sehingga pemodelan awal ini dapat digunakan untuk melakukan evaluasi tahap berikutnya.

Simulasi Variasi Kondisi Kemiringan Tangki

Berdasarkan kondisi model awal, dilakukan beberapa kondisi dimana kemiringan dari geometri tangki dibuat menjadi beberapa kondisi yaitu kemiringan 1°, 2°, dan 3°.

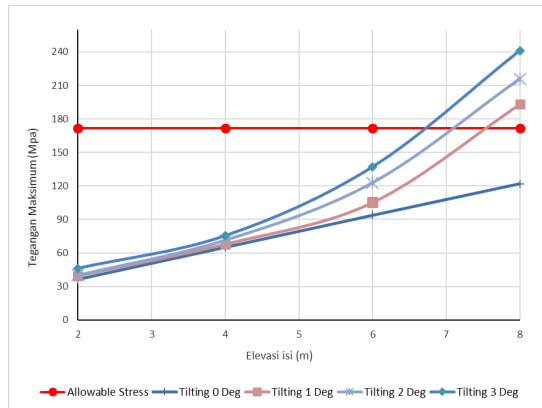


Gambar 8. Distribusi Tegangan dinding tangki yang mengalami kemiringan

Hasil dari analisa pemodelan dapat terlihat pada area sisi dinding tangki yang berada pada elevasi terendah (area yang mengalami settlement maksimum) mengalami tegangan utama terbesar.

Tabel 3. Tabel nilai tegangan dinding tangki vs kemiringan tangki

No	Tilting (degree)	Elevasi Isi (m)	Teg. Maks (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)
1	0	8	122	171.6
	0	6	93.7	171.6
	0	4	65	171.6
	0	2	36.3	171.6
2	1	8	193	171.6
	1	6	105	171.6
	1	4	67.8	171.6
	1	2	39.4	171.6
3	2	8	216	171.6
	2	6	123	171.6
	2	4	71.6	171.6
	2	2	40.2	171.6
4	3	8	241	171.6
	3	6	137	171.6
	3	4	75.4	171.6
	3	2	46.2	171.6



Gambar 9. Variasi nilai Tegangan tangki vs kemiringan

Berdasarkan data grafik pada gambar 9, dapat terlihat indikasi bahwa tegangan maksimal yang terjadi pada saat kondisi tangki mengalami miring akan mengalami kenaikan tegangan, semakin besar kemiringan maka kenaikan tegangan pada dinding tangki juga akan membesar.

Tegangan maksimal yang terjadi akan melebihi tegangan ijin untuk ketinggian operasi 8m untuk ketiga kemungkinan kemiringan (1° , 2° , dan 3°).

Sehingga untuk membatasi tegangan yang terjadi pada tangki akan diambil beberapa skenario penurunan tinggi operasi tangki dimana tegangan maksimal yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diijinkan. Berdasarkan gambar 9, dapat diambil batasan isi tangki sebesar 6m sehingga dapat diperoleh hubungan besarnya tegangan maksimal yang masih diperkenankan terjadi dengan beberapa skenario kemiringan sesuai dengan tabel 4 berikut. Tegangan maksimal 123 Mpa, diambil sebagai batasan desain dengan batasan kemiringan tangki dibatasi pada skenario kemiringan di 2° .

Tabel 4. Tabel Tegangan Maksimal Dinding Tangki dengan ketinggian operasi 6m

Tilting maks ($^{\circ}$)	Elevasi Isi (m)	Teg maks (Mpa)	Teg ijin (Mpa)	U/C	Status	Ket
1	6	105	171.6	0.61	OK	
2	6	123	171.6	0.72	OK	DESIGN
3	6	137	171.6	0.80	OK	

Untuk membuktikan keamanan tangki sebelum dioperasikan maka

beberapa faktor perlu dilakukan diantaranya:

Perlu dilakukan hydrostatic load test yang diisi secara bertahap untuk membuktikan hasil analisa yang telah dilakukan sudah sesuai dengan harapan dan keamanan tangki.

Saat pekerjaan *hydrostatic load test* dilakukan, perlu dilakukan monitor terhadap pergerakan tangki beserta pondasinya. Jika ada perubahan bentuk tidak terduga, pekerjaan hydrostatic load test dapat dihentikan dan perlu dilakukan kajian yang mungkin belum dipertimbangkan ditahap penelitian ini.

Lakukan monitor terhadap kemungkinan penurunan pondasi. Batasi untuk penurunan sebesar 2° , jika ditemukan trend penurunan terus berlanjut skenario perbaikan pondasi tangki dapat dilakukan untuk mengembalikan kapasitas operasi normal dan ketegakan tangki sesuai syarat yang ada dalam peraturan dari API 653.

Saat fase operasi agar tetap dilakukan monitoring pengukuran kondisi tangki setiap durasi tertentu untuk memastikan penurunan tidak melebihi dari batas analisa *engineering* yang telah direkomendasikan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dapat diketahui bahwa analisa tegangan pada struktur dinding tangki dapat didekati menggunakan pendekatan numeris metode elemen hingga, dimana trend dan besaran tegangan memiliki trend yang sama.

Diperoleh tangki masih bisa digunakan dengan pembatasan kapasitas isi tangki. Kondisi normal tangki dapat beroperasi hingga ketinggian 8m, sedangkan dengan kondisi kemiringan yang telah terjadi maka tangki disarankan diisi tidak melebihi dari 6m dan kemiringan maksimal pada pondasi dijaga agar tidak melebihi 2° dengan tegangan maksimal yang terjadi sebesar 123 Mpa.

Lakukan monitor terhadap kemungkinan penurunan pondasi akan berlanjut saat kondisi operasi. Batasi untuk penurunan sebesar 2° , jika ditemukan trend

penurunan terus berlanjut skenario perbaikan pondasi tangki dapat dilakukan untuk mengembalikan kapasitas operasi normal dan ketegakan tangki sesuai syarat yang ada dalam peraturan dari API 653.

DAFTAR PUSTAKA

API 579. *Fitness for Services, first edition, 2000*

API 650. *Welded Tanks for Oil, Twelfth edition, 2016.*

API 653. *Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, fifth edition, 2014*

API SCAST, SCI. *Final Report on the Study of Out-Of-Plane Tank Settlement, , 2004*

Satiawan. B., Raswitaningrum.R.T. (2020). *Evaluasi Penurunan Tangki Minyak Sesuai API 653. Jurnal Konstruksia Vol.11 no.2, Juli 2020.*