

# Analisa Pengaruh Efek *Sloshing* Fluida Mogas Akibat Gempa Terhadap Dinding *Storage Tank* (TK0302) Studi kasus PT Jakarta Tank Terminal Phase 2A Project

Andrianto Setiawan<sup>1\*</sup>, Adi Wirawan Husodo<sup>2</sup>, Burniadi Moballa<sup>3</sup>

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>  
Email: andripping@gmail.com<sup>1\*</sup>

---

**Abstract** - A storage tank whose design does not take into account the effects of earthquakes in the surrounding area, can result in high sloshing waves from the fluid in the event of an earthquake. So that the research aims to get the effect of sloshing in the form of wave height and pressure on the tank wall and study the storage tank design that can reduce the effect of fluid sloshing in the tank using baffle. The tanks analyzed are TK0302 and height of fluid is maximum design liquid level (24.1 m), PFL (Permitted Fill Level) (23.4 m), and LLL (Low Low Level) (1.2 m), the fluid is Mogas (Motor Gasoline). This study aims to obtain the resulting pressure sloshing when hitting the tank wall and get a storage tank baffle design that can reduce the effect of sloshing. The method is a simulation with SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) software. The results obtained from the study are the Tank with a PFL which produces the highest sloshing wave height of 1.8874 m with a pressure ranging from  $3.46 \times 10^{-4}$  MPa – 5.91 MPa. Therefore the baffle design is applied to the Tank with fluid height according to the product height PFL and added to the fluid height maximum design liquid level.

**Keyword:** Baffle, Earthquake, Sloshing, Storage Tank.

---

## Nomenclature

- $\omega$  Frekuensi alami *sloshing*  
 $\lambda_j$  Nilai  $j$  ke 0 Bessel function turunan 1  
 $g$  Percepatan gravitasi  
 $H$  Tinggi keseluruhan tangki  
 $H_n$  Tinggi tangki (*bottom – shell* teratas)  
 $h$  Tinggi fluida tangki  
 $R$  Jari – jari tangki  
 $D$  Diameter nominal tangki  
*PFL* Permitted Fill Level  
*LLL* Low low level

## 1. PENDAHULUAN

Mogas (*motor gasoline*) adalah fluida minyak yang sudah diolah dan dimurnikan menjadi siap pakai, fungsinya adalah sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Hal ini membuat banyak tempat-tempat yang dijadikan sebagai sistem distribusi bahan bakar terutama di daerah pelabuhan. Salah satu contohnya adalah di daerah Tanjung Priok. PT Jakarta Terminal Tank (JTT) akan menambah kapasitas penampungan bahan bakar yang terdiri dari 8 tangki baru dengan kapasitas total 100.000 m<sup>3</sup>. Proyek ini melibatkan PT Tripatra Engineers & Constructors sebagai

kontraktornya dengan nama proyek “PT Jakarta Tank Terminal Phase 2A Project”

Proyek ini adalah distribusi bahan bakar yang mengalirkan fluida Mogas, Fame dan Ethanol dari kapal *tanker* ke *storage tank* yang selanjutnya akan di distribusikan ke truk-truk pengangkut BBM. Menurut Winarno, Prasajo, & Prayitno pada tahun 2017 [1] *storage tank* adalah salah satu komponen penting dalam perindustrian di Indonesia, baik itu industri proses maupun industri distribusi. Menurut Mahardhika & Ratnasari tahun 2018 [2] tangki penyimpanan tidak hanya menjadi tempat penyimpanan untuk produk dan bahan baku tetapi juga menjaga kelancaran ketersediaan produk dan bahan baku. *Storage tank* pada proyek ini terdiri dari TK0301, TK0302, TK0303, TK0304, TK0310, TK0311, TK0312, TK0313. Salah satu *storage tank* terbesar adalah TK0302 yang memiliki tinggi total 31,3 meter, diameter 32 meter, dan fluidanya adalah Mogas (*Motor Gasoline*). Permasalahan yang terjadi adalah tingginya *design liquid level* pada fluida dan juga *design* tangki yang tidak menggunakan *baffle*, sehingga mengakibatkan tingginya gelombang *sloshing* dari fluida apabila terjadi gempa di area sekitar dikarenakan area

proyek letaknya tidak jauh dari 2 sesar aktif yaitu sesar Cimandiri dan sesar Lembang.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh efek *sloshing* fluida mogas akibat terjadinya gempa di area sekitar terhadap dinding *storage tank* dengan *code name* TK0302. *Sloshing* menurut Aksoy pada tahun 2013 [3] merupakan fenomena fisik yang terjadi karena pergerakan kendaraan atau gaya seismik di dalam tangki atau wadah tertentu saat terjadi gempa bumi. Efek *sloshing* fluida mogas terhadap *storage tank* menjadi fokus penelitian dikarenakan gempa yang terjadi dapat mengakibatkan terjadinya *sloshing* di dalam tangki, dan *sloshing* dari fluida tersebut dapat memberikan tekanan ke tangki. Menurut Jaiswal, Kulkarni, & Pathak pada tahun 2008 [4] apabila frekuensi eksitasi sangat berdekatan dengan frekuensi alami dari badan tangki, maka amplitudo gelombang akibat *sloshing* bisa sangat besar, hal tersebut dapat merusak struktur tangki dari dalam.

## 2. METODOLOGI.

### 2.1 Gelombang *Sloshing*

Menurut Ibrahim pada tahun 2005 [5] dalam bukunya yang berjudul *Liquid Sloshing Dynamic* mengemukakan bahwa *sloshing* merupakan setiap pergerakan bebas fluida yang berada di dalam suatu wadah yang disebabkan oleh gangguan apapun terhadap wadah tersebut. Tergantung pada jenis gangguan dan bentuk geometri wadahnya, permukaan fluida dapat mengalami berbagai jenis gerakan antara lain *simple planar, nonplanar, rotational irregular beating, symmetric, asymmetric, quasi-periodic, dan chaotic*. Masalah mendasar pada *sloshing* fluida cair melibatkan estimasi tekanan hidrodinamik yang terdistribusi, gaya, momen dan frekuensi alami dari badan fluida cair yang bergerak bebas. Parameter ini memiliki efek langsung pada stabilitas dinamis dan kinerja wadah yang bergerak akibat eksitasi seismik dari luar.

### 2.2 Frekuensi Alami Tangki

Perhitungan frekuensi alami tangki berdasarkan prinsip resonansi, yang pada kasus ini adalah saat frekuensi alami dari tangki aktual mendekati frekuensi eksitasi dari gempa dan perbandingan dari 2 frekuensi tersebut mendekati atau sama dengan satu maka terjadilah resonansi yang menyebabkan gelombang *sloshing* dan tekanan terhadap dinding menjadi besar. Adapun perhitungan frekuensi alami berdasarkan rumus dari Maleki. A tahun 2007 [6] adalah sebagai berikut:

$$\omega^2 = \frac{\lambda_j g}{R} \tanh\left(\lambda_j \frac{H}{R}\right) \quad (1)$$

Dimana :

$\omega^2$  = Frekuensi alami *sloshing*

$\lambda_j$  = Nilai  $j$  ke 0 pada  $J'_1$  untuk *Bessel Function* Turunan Pertama ( 1.8412 )

$g$  = Percepatan Gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$H$  = Tinggi Fluida Tangki (24.1 m dan 23.4 m)

$R$  = Jari-jari Tangki (16 m)

Frekuensi Eksitasi Gempa diambil dari grafik *final time series vs ground displacement displacement* untuk data goyangan gempa sintetik di batuan dasar untuk periode ulang 2475 tahun di lokasi Serang, Banten yang bersumber dari Jurnal berjudul “ Analisa Respon Tanah Di Permukaan Pada Beberapa Lokasi Pengeboran Dangkal Stasiun Gempa Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) “ oleh Ridwan pada tahun 2017 [7] yang sudah dikonversi menjadi grafik FFT (*Fast Forier Transform*) dan diambil frekuensi dengan simpangan amplitudo terjauh.

### 2.3 Studi Terkait Baffle untuk Tangki

Menurut Akyildiz. H pada tahun 2013 [8] desain *baffle* menghasilkan pengaruh yang terbaik terhadap frekuensi gelombang *sloshing* dari fluida di dalam tangki saat terletak dibawah dekat dengan *free surface liquid area*. Dalam jurnalnya juga terdapat penelitian terkait 4 variasi desain *baffle* dengan lebar dan jarak antar *baffle* yang berbeda – beda pada suatu *cylindrical tank* berdiameter 0.69 m dan tinggi 0.8 m. Penelitian tersebut bertujuan untuk menemukan desain *baffle* terbaik dan yang paling besar meredam tekanan dari gelombang *sloshing* terhadap dinding tangki. Dari keempat variasi *baffle* tersebut didapatkan 1 desain *baffle* yang bisa meredam tekanan dari gelombang *sloshing* lebih besar dari 3 desain lainnya, dan desain *baffle* ini digunakan oleh penulis sebagai referensi desain *baffle* untuk tangki aktual di tugas akhir.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Geometri Tangki Aktual

Tangki aktual yang dijadikan objek penelitian ini adalah sebuah *storage tank cylindrical* yang berada di salah satu perusahaan *EPC (Engineering, Procurement, and Constructors)* di Indonesia dengan spesifikasi geometri sebagai berikut

$D$  = 32 m

$H_n$  = 25 m

$H$  = 30.3 m

Fluida = Mogas ( $Density = 770 \text{ kg/m}^3$ )

Gambar desain *storage tank cylindrical* dibuat dengan *software freecad* ditunjukkan pada Gambar 1.

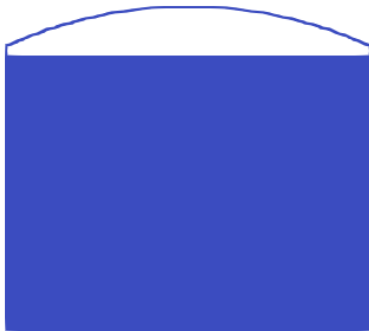
### 3.2 Tinggi Gelombang *Sloshing*

Simulasi tangki aktual yang memiliki 3 variasi berupa tinggi level fluida di dalam *storage tank* dengan variasi sesuai dengan *maximum design liquid level* (24.1 m), PFL (23.4 m), dan LLL (1.2 m) menghasilkan output berupa tinggi maksimum

gelombang sloshing terhadap waktu yang ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut

Tabel 1: Tinggi Maksimum *Sloshing* Hasil Simulasi Tangki Aktual

Simulasi	Tinggi Max. Sloshing (m)
Simulasi 1 (h=24.1 m)	1.7673
Simulasi 2 (h=23.4 m)	1.8874
Simulasi 3 (h=1.2 m)	0.2649



Gambar 1. Pemodelan Tangki dengan Freecad

### 3.3 Tekanan Sloshing Terhadap Dinding Tangki

Pada simulasi tangki aktual yang memiliki 3 variasi berupa tinggi level fluida di dalam *storage tank* dengan variasi sesuai dengan *maximum design liquid level*, PFL dan LLL juga menghasilkan output berupa tekanan dari sloshing ke dinding tangki terhadap waktu. Grafik untuk setiap simulasi tangki terbagi menjadi 10 tekanan dikarenakan tangki terbagi menjadi 10 course. Grafik tekanan maksimum untuk simulasi tangki variasi 1, 2, dan 3 sesuai dengan *maximum design liquid level*, PFL dan LLL ditunjukkan pada Gambar 2.

### 3.3 Perhitungan Frekuensi Alami Tangki

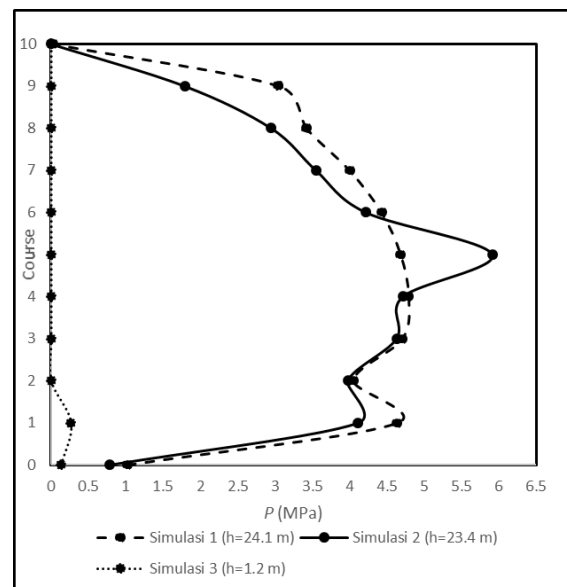
Pada perhitungan frekuensi alami ini yang dihitung adalah tangki aktual simulasi 1 sesuai dengan *maximum design liquid level*, dan tangki aktual simulasi 2 sesuai dengan PFL, untuk tangki aktual simulasi 3 sesuai dengan LLL tidak dihitung karena tinggi fluida dari tangki tersebut hanya 1.2 m sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap besarnya gelombang sloshing dan tekanan terhadap dinding, hal ini juga dapat dibuktikan dengan adanya hasil grafik dan tabel pada tinggi gelombang sloshing dan tekanan terhadap dinding tangki yang relatif kecil. Frekuensi Eksitasi Gempa diambil dari Grafik final *time series vs ground displacement* yang sudah dikonversi menjadi grafik FFT (Fast Forier Transform) dan diambil frekuensi dengan simpangan amplitudo terjauh yaitu pada **0.0202 Hz**.

Adapun hasil perhitungan frekuensi alami berdasarkan rumus dari Maleki. A pada tahun 2007 [6] untuk tangki aktual simulasi 1 sesuai dengan *maximum design liquid level* (24.1 m) adalah 0.1648 Hz, lalu frekuensi eksitasi dari gempa dibandingkan dengan hasil frekuensi alami sehingga menjadi 0.12013. Sedangkan untuk tangki aktual simulasi 2 sesuai dengan PFL (23.4 m) nilai frekuensi alaminya adalah sebesar 0.1682 Hz, lalu frekuensi eksitasi dari gempa dibandingkan dengan hasil frekuensi alami sehingga mendapat hasil **0.12021**.

Setelah mengetahui hasil frekuensi alami di atas, dapat kita lihat bahwa perbandingan frekuensi eksitasi terhadap frekuensi alami milik tangki aktual simulasi 2 sesuai dengan PFL yang paling mendekati 1, jadi efek resonansi akan lebih besar berpengaruh pada tangki aktual simulasi 2. Hal inilah yang membuktikan mengapa tangki aktual simulasi 2 lah yang menghasilkan tinggi gelombang *sloshing* terbesar dan tekanan terbesar terhadap dinding tangki.

### 3.4 Tinggi Gelombang Sloshing pada Tangki dengan Baffle

Simulasi tangki menggunakan *baffle* yang memiliki 3 variasi untuk tangki sesuai dengan PFL dan 1 variasi *baffle* untuk tangki sesuai dengan *maximum design liquid level* menghasilkan output berupa tinggi maksimum gelombang sloshing terhadap waktu yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 2. Grafik Tekanan Maksimum Sloshing ke Dinding Tangki

### 3.5 Tekanan Sloshing Terhadap Dinding Tangki dengan Baffle

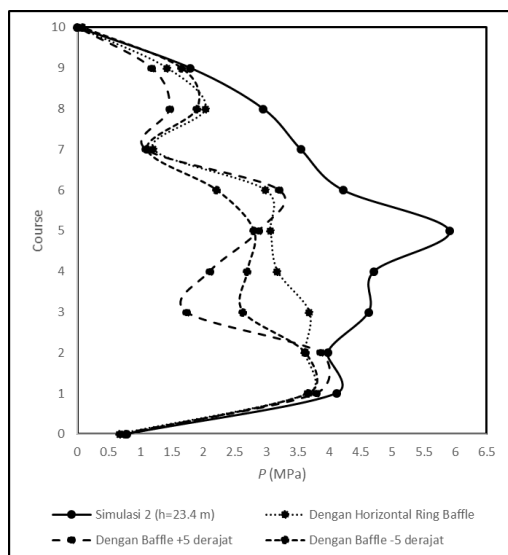
Simulasi tangki menggunakan *baffle* yang memiliki 3 variasi untuk tangki sesuai dengan

PFL dan 1 variasi *baffle* untuk tangki sesuai dengan *maximum design liquid level* juga menghasilkan output berupa tekanan maksimum dari sloshing ke dinding tangki terhadap waktu. Grafik untuk setiap simulasi tangki terbagi menjadi 10 tekanan dikarenakan perbedaan tekanan pada dinding tangki di setiap course, dimana tangki terbagi menjadi 10 course. Grafik tekanan maksimum untuk simulasi tangki menggunakan 3 variasi *baffle* sesuai dengan PFL dan 1 variasi *baffle* sesuai dengan *maximum design liquid level* ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

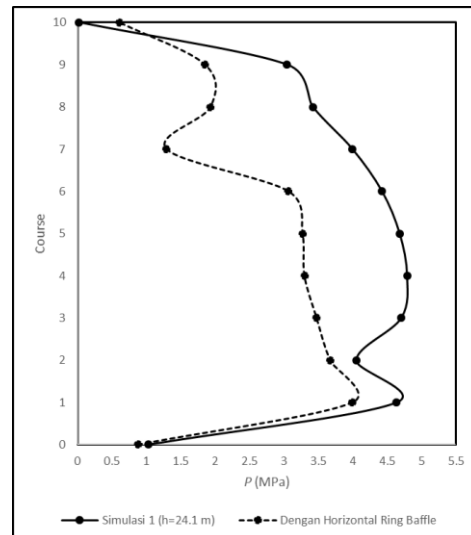
Pada Gambar 3 grafik tekanan maksimum sloshing ke dinding tangki terhadap waktu untuk simulasi tangki menggunakan *baffle* sesuai dengan PFL mulai dari course 0 hingga course 10 memiliki pengurangan tekanan yang berbeda - beda. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa desain *baffle*  $-5^{\circ}$  yang menghasilkan penurunan tekanan terbesar.

Tabel 2: Tinggi Maksimum *Sloshing* Hasil Simulasi Tangki Menggunakan *Baffle*

Simulasi	Tinggi Gelombang Sloshing Maksimum (m)	Persentase Pengurangan
Tangki (23.4 m) dengan <i>Horizontal Ring Baffle</i>	1.0084	46.57%
Tangki (23.4 m) dengan <i>Baffle +5°</i>	1.2307	34.79%
Tangki (23.4 m) dengan <i>Baffle -5°</i>	1.1979	36.53%
Tangki (24.1 m) dengan <i>Horizontal Ring Baffle</i>	1.2204	30.94%



Gambar 3. Grafik Tekanan Maksimum Sloshing ke Dinding Tangki PFL dengan 3 Variasi *Baffle*



Gambar 4. Grafik Tekanan Maksimum Sloshing ke Dinding Tangki *maximum design liquid level* dengan 1 Variasi *Baffle*

Dari Gambar 4 grafik tekanan maksimum sloshing ke dinding tangki terhadap waktu untuk simulasi tangki menggunakan *baffle* sesuai dengan *maximum design liquid level* mulai dari course 0 hingga course 10 memiliki pengurangan tekanan yang berbeda - beda. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa desain *horizontal ring baffle* sudah bisa digunakan untuk menurunkan tekanan akibat sloshing terhadap dinding tangki.

#### 4. KESIMPULAN

1. Semakin tinggi liquid level depth, tidak selalu menghasilkan nilai tinggi gelombang sloshing yang semakin besar, buktinya adalah pada *liquid level depth* 24.1 m menghasilkan tinggi gelombang sloshing sebesar 1.7673 m, untuk PFL (23.4 m) menghasilkan tinggi gelombang sloshing sebesar 1.8874 m, dan untuk LLL (1.2 m) menghasilkan tinggi gelombang sloshing sebesar 0.2649 m.
2. Semakin tinggi liquid level depth, tidak selalu menghasilkan nilai tekanan yang semakin besar, buktinya adalah pada *liquid level depth* 24.1 m menghasilkan tekanan sloshing terhadap tangki berkisar  $1.54 \times 10^{-6}$  MPa – 4.79 MPa, untuk PFL (23.4 m) menghasilkan tekanan sloshing terhadap tangki berkisar  $3.46 \times 10^{-4}$  MPa – 5.91 MPa, dan LLL (1.2 m) menghasilkan tekanan sloshing terhadap tangki berkisar  $3.93 \times 10^{-6}$  MPa – 0.265 MPa.
3. Tangki aktual sesuai dengan *product height* PFL memiliki nilai resonansi terbesar dari yang lainnya yaitu 0.12021, sehingga menyebabkan tangki ini menghasilkan tinggi gelombang sloshing dan tekanan sloshing terhadap tangki terbesar.
4. 3 variasi *baffle* yang digunakan pada simulasi tangki sesuai dengan PFL yang paling efektif mengurangi tekanan dari sloshing terhadap dinding tangki adalah pada *baffle*  $-5^{\circ}$  yaitu

sebesar 52.60%. Untuk 1 *baffle* (*horizontal ring baffle*) yang digunakan pada simulasi tangki sesuai dengan *maximum design liquid level* mampu mengurangi tekanan dari *sloshing* terhadap dinding tangki sebesar 31.13%.

## 5. PUSTAKA

- [1] Winarno, A. B., Prasajo, B., & Prayitno, M. M. E. (2017). DESAIN DAN PEMODELAN PADA STORAGE TANK KAPASITAS. In *Proceedings Conference On Piping Engineering And Its Application*, 2(1) (pp. 47–50). Retrieved from <http://journal.ppns.ac.id/index.php/CPEAA/article/view/400>
- [2] Mahardhika, P., & Ratnasari, A. (2018). Perancangan Tangki Stainless Steel untuk Penyimpanan Minyak Kelapa Murni. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 3(1), 39–46. <https://doi.org/10.31544/jtera.v3.i1.2018.39-46>
- [3] Aksoy, H. (2013). An experimental investigation of the effects of the ring baffles on liquid sloshing in a rigid cylindrical tank, 59, 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.12.018>
- [4] Jaiswal, O. R., Kulkarni, S., & Pathak, P. (2008). A STUDY ON SLOSHING FREQUENCIES OF FLUID-TANK SYSTEM, (1963)
- [5] Ibrahim, R. A. (2005). *Liquid Sloshing Dynamics Theory and Applications*. New York, United State American: Cambridge University Press.
- [6] Maleki A, M. Z. (2007). Sloshing Damping In Cylindrical Liquid Storage Tank With Baffle. *Journal Of Sound and Vibration* 311, 372-385.
- [7] Ridwan, M., & Aldiamar, F. (2017). PENGEBORAN DANGKAL STASIUN GEMPA BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA ( BMKG ) Ground Response Analysis at Surface on Some Shallow Boring at Meteorology Climatology and Geophysic Agency ( BMKG ) Stations, 12(1), 45–57.
- [8] Akyildiz H, N. E. (2013). An Experimental Investigation of The Effects of The Ring Baffles on Liquid Sloshing in a Rigid Tank.

**(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)**