

## ANALISIS POSISI PELAT PEREDAM GERAK LATERAL CAIRAN DI DALAM TRUK TANGKI OVAL YANG DIMODIFIKASI MENGUNAKAN KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA

**Iwan Kurniawan**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta  
Email: iwan.bimanness@gmail.com

**Abstrak** -- Dalam operasinya, truk tangki yang membawa beban cair memiliki resiko kecelakaan yang tinggi dibandingkan kendaraan yang mengangkut benda padat, mayoritas terguling saat melewati tikungan. Salah satu penyebab utama truk tangki terguling adalah adanya gerak periodik permukaan bebas cairan dalam tangki yang tidak terisi penuh atau yang dikenal dengan sloshing. Besarnya gaya yang timbul akibat gerakan cairan dan pergeseran koordinat pusat massa cairan yang diangkut mempengaruhi momen guling yang terjadi pada truk tangki. Besarnya momen guling mengakibatkan nilai ambang batas terguling atau rollover threshold akan lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan dengan muatan padat. Semakin rendah nilai ambang batas terguling maka kecenderungan kendaraan untuk terguling akan semakin tinggi. Pelat peredam atau baffle dalam tangki biasa digunakan sebagai cara yang efektif untuk meredam gerakan cairan sehingga momen guling dapat diredam. Penelitian dilakukan dengan simulasi model tangki dengan program komputasi dinamika fluida FLUENT untuk mengetahui posisi baffle yang paling optimal untuk meredam gaya sloshing dan momen guling yang dihasilkan. Simulasi dilakukan pada satu kompartemen tangki penampang oval yang dimodifikasi dengan variasi ketinggian air dalam tangki 30%, 50%, 70% dan 90% dan besar percepatan lateral 0,3g. Desain baffle yang dibandingkan terdiri dari H-V Baffle, Diagonal Baffle, H-V-D Baffle, V-D Baffle, Baffle A dan Baffle B. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pelat peredam H-V-D Baffle adalah pelat peredam terbaik untuk truk tangki oval yang dimodifikasi, karena mampu meredam momen guling lebih baik dari pelat peredam lain pada tinggi cairan 30%, 70% dan 90%. Pelat peredam V-D Baffle bisa menjadi alternatif, karena dengan jumlah pelat peredam yang lebih sedikit dari H-V-D Baffle, mampu meredam momen guling dengan redaman yang optimal pada semua ketinggian cairan dengan selisih yang tidak signifikan, bahkan redaman momen guling pada tinggi cairan 50% lebih baik dari H-V-D Baffle.

**Kata kunci:** Sloshing, Baffle, gaya sloshing, momen guling, FLUENT

**Abstract** -- In the operation, tanker truck carrying amount of liquid has a high risk of accidents if compared to the vehicle transporting solid objects, mainly happen when the truck passing the radius turn. One of the main causes rollover on the truck is the periodic motion of the free surface of the liquid in partially filled tank or known by sloshing. The amount of force that arises as a result of fluid motion and shifting the coordinates of the center of mass of the fluid being transported affect roll moment that occurred in the tank. The amount of roll moment resulting rollover threshold value will be lower compared to a vehicle with a solid load. The lower rollover threshold value, the risk of vehicle rollover will be higher. Baffles in the tank is used as an effective way to reduce the movement of the liquid so that the rollover moment can be reduced. The study was conducted with a simulation model of the tank using the computational fluid dynamics software FLUENT to determine the most optimal baffle position to dampen the sloshing force and the generated moment. Simulations performed on a single compartment tank modified oval cross-section with a variation fill level of water in the tank 30%, 50%, 70% and 90% and lateral acceleration 0,3g. Compared baffle position that consists of H-V Baffle, Diagonal Baffle, H-V-D Baffle, V-D Baffle, Baffle A and Baffle B. The study result showed that H-V-D Baffle is the best for the modified oval tank, as capable of reducing roll moment better than another baffle positions at fill level 30%, 70% and 90%. V-D Baffle can be an alternative, because of the number of plates damper less than H-V-D Baffle, able to dampen the roll moment optimally on all fluid levels, even damping roll moment at 50% liquid level better than H-V-D Baffle.

**Keywords:** Sloshing, Baffle, sloshing force, roll moment, FLUENT

### 1. PENDAHULUAN

Dalam operasinya, truk tangki memiliki resiko kecelakaan yang tinggi dibandingkan kendaraan kargo yang mengangkut benda padat, mayoritas terguling saat melewati tikungan. Salah satu penyebab utama truk tangki terguling adalah adanya gerak periodik permukaan bebas cairan

dalam tangki atau kontainer yang tidak terisi penuh atau yang dikenal dengan sloshing yang menyebabkan ketidakstabilan pada kendaraan (Koli, 2010). Besarnya gaya yang timbul akibat gerakan cairan dan pergeseran koordinat pusat massa cairan yang diangkut mempengaruhi momen guling yang terjadi pada truk tangki. Momen guling akibat gaya sloshing

mengakibatkan nilai ambang batas guling atau *rollover threshold* akan lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan dengan muatan padat. Semakin rendah nilai ambang batas guling maka kecenderungan kendaraan untuk terguling akan semakin tinggi (Romero, 2005). Pelat peredam atau *baffle* dalam tangki biasa digunakan sebagai cara yang efektif untuk meredam gerakan cairan selain berfungsi memperkuat struktur tangki (Kandasamy, 2010). Dengan demikian diperlukan penelitian untuk mengetahui posisi pelat peredam yang optimal untuk tangki penampang oval yang dimodifikasi untuk meredam momen guling yang terjadi.

Rumusan permasalahan dari penelitian ini adalah:

- 1) Belum diketahui besar redaman pelat peredam terhadap momen guling yang timbul akibat gerak lateral cairan pada truk tangki oval yang dimodifikasi ketika melewati tikungan.
- 2) Belum diketahui posisi pelat peredam yang optimal untuk meredam momen guling dalam tangki oval yang dimodifikasi.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- 1) Mengetahui besar redaman pelat peredam terhadap momen guling yang disebabkan oleh gerakan lateral cairan di dalam tangki oval yang dimodifikasi.
- 2) Mengetahui posisi pelat peredam yang optimal dari beberapa posisi yang dianalisa untuk meredam momen guling pada tangki oval yang dimodifikasi.

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah desainer truk tangki dapat menggunakan posisi pelat peredam yang optimal yang ditemukan untuk diterapkan pada tangki dengan penampang oval yang dimodifikasi. Dengan demikian momen guling yang terjadi dapat diredam secara optimal, dan resiko kecelakaan truk tangki dapat diantisipasi lebih awal ketika proses desain dilakukan.

Untuk membandingkan kinerja beberapa posisi pelat peredam pada tangki penampang oval yang dimodifikasi, penelitian dilakukan pada satu kompartemen tangki dengan panjang 1480 mm. Dimensi Tangki yang diteliti adalah tangki yang diproduksi oleh sebuah perusahaan di Tangerang-Banten. Fluida yang diangkut oleh truk tangki adalah air, dengan ketinggian air dalam tangki pada 30%, 50%, 70% dan 90%. Penelitian dilakukan pada truk tangki yang sedang melewati tikungan dengan percepatan lateral 0,3g, yang merupakan percepatan kritis kendaraan yang bergerak kearah ketidakstabilan.

Posisi pelat peredam yang dibandingkan kinerjanya adalah pelat peredam horisontal-

vertikal (*H-V Baffle*), pelat peredam diagonal (*Diagonal Baffle*), dan pelat peredam horisontal-vertikal-diagonal (*H-V-D Baffle*) dengan rasio panjang 0,75. Pelat peredam dari dua perusahaan manufaktur truk tangki di Indonesia, yaitu *Baffle A* dan *Baffle B*, dan usulan posisi pelat peredam yaitu pelat peredam vertikal-diagonal (*V-D Baffle*) juga akan dianalisa dan dibahas lebih rinci di pembahasan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Manuver yang dilakukan pada truk tangki yang terisi sebagian menyebabkan gerakan muatan cair atau *sloshing* dalam tangki, yang merupakan ancaman serius bagi kestabilan truk tangki tersebut (Romero, 2005). Gerakan muatan cair dalam tangki yang terisi sebagian ditentukan oleh sejumlah parameter yang berhubungan dengan desain tangki dan pengoperasian seperti geometri tangki, kapasitas tangki, level pengisian cairan di dalam tangki, sifat cairan, dan sifat eksitasi yang ditentukan oleh konfigurasi kendaraan, kecepatan dan manuver (Dasgupta, 2011).

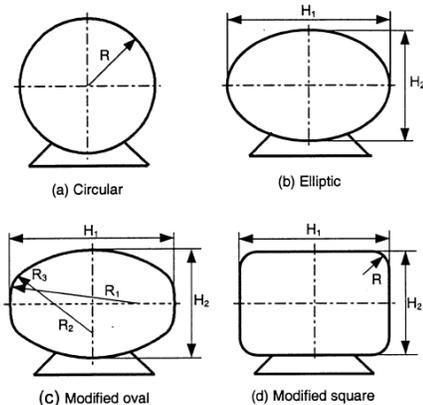
### 2.1 Level Pengisian Cairan di Dalam Tangki

Truk tangki yang beroperasi untuk mensuplai beberapa lokasi, akan mengangkat muatan dalam kondisi terisi sebagian. Level cairan di dalam tangki secara langsung berhubungan dengan inersia fluida, tinggi pusat massa dan potensi pergeseran beban sehingga mempengaruhi gaya dan momen akibat gerakan cairan dalam tangki. Karakteristik gerakan cairan dalam tangki memiliki ketergantungan yang kuat terhadap level cairan dan bentuk penampang tangki. Semakin tinggi cairan di dalam tangki akan menyebabkan momen guling semakin besar karena inersia fluida dan pusat massa yang lebih tinggi. Tangki yang terisi sebagian dengan penampang tangki yang lebih lebar seperti modified oval dan elips menyebabkan kondisi tunak pergeseran muatan semakin tinggi dan dengan demikian momen guling semakin besar tapi dengan pusat massa yang lebih rendah. Sedangkan tangki dengan penampang bundar akan menyebabkan pusat massa relatif lebih tinggi tapi pergeseran muatan yang relatif lebih rendah. Sebaliknya, semakin rendah cairan di dalam tangki akan menghasilkan variasi yang lebih besar pada momen guling yang disebabkan peningkatan pergeseran pusat massa dan gerakan cairan yang lebih besar (Dasgupta, 2011).

### 2.2 Geometri Tangki

Besarnya gerakan cairan sangat dipengaruhi oleh batas yang dibentuk oleh geometri tangki. Adanya pelat peredam di dalam tangki membentuk batas

tambahan sehingga mempengaruhi gerakan cairan secara signifikan. Bentuk penampang dan panjang tangki bersama bentuk dan jumlah pelat peredam mempengaruhi gerakan cairan dan dengan demikian mempengaruhi batas kestabilan truk tangki yang terisi sebagian. Penelitian pada tangki yang diskala dengan bentuk penampang bundar, elips dan modified oval mengungkapkan bentuk tangki modified oval menghasilkan redaman tertinggi dan tangki bundar menghasilkan redaman terendah terhadap gerakan cairan dalam tangki (Romero, 2005).



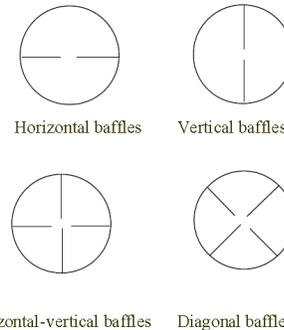
Gambar 2.1 Bentuk penampang tangka (Kang, 1999)

Dalam penelitiannya (Kang, 1999) menyatakan bahwa, tangki penampang bundar menghasilkan lokasi pusat massa yang tinggi, tetapi transfer beban lateral yang kecil pada level pengisian cairan rendah ketika mendapatkan percepatan lateral akibat melewati tikungan. Sedangkan tangki *modified oval* menghasilkan pusat massa yang lebih rendah dan transfer beban lateral yang lebih besar pada level pengisian yang rendah, bila dibandingkan dengan tangki penampang bundar. Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan pada batas kestabilan guling truk tangki yang terisi sebagian diungkapkan bahwa penampang tangki bundar lebih disukai untuk level pengisian rendah, sedangkan tangki modified oval lebih disukai untuk level pengisian tinggi.

**2.3 Alat Peredam Sloshing**

Pelat peredam atau *baffle* dalam tangki biasa digunakan sebagai cara yang efektif untuk meredam gerakan cairan selain berfungsi memperkuat struktur tangki (Kandasamy, 2010). Penelitian yang dilakukan (Tanugula, 2001) pada tangki bundar dan tangki elips dengan 4 desain pelat peredam dengan rasio panjang pelat peredam terhadap jari-jari tangki yang berbeda yaitu 0, 0,25, 0,5, dan 0,75. Penelitian tersebut dilakukan untuk tinggi cairan dalam tangki yang berbeda yaitu 30%, 50%, 70% dan 90%. Penelitian tersebut dimaksudkan untuk

mengetahui pengaruh pelat peredam terhadap redaman gerakan cairan, gaya dan momen pada dinding tangki. Penelitian tersebut mensimulasikan truk tangki sedang melewati tikungan radius konstan dengan percepatan lateral 0,3g.



Gambar 2.2 Posisi Baffle yang diteliti (Tanugula, 2001)

Kesimpulan akhir dari penelitian tersebut adalah pelat peredam horisontal-vertikal adalah konfigurasi terbaik untuk mengurangi momen puncak dan gerakan cairan pada level pengisian 30%, 50%, 70%, dan 90%, bentuk tangki bundar dan elips pada saat melewati tikungan dengan radius konstan.

**2.4 Gaya Sloshing dan Momen Guling pada Kondisi Quasi Static**

Penelitian yang dilakukan (Tehrani, 2005), gerakan muatan cair di dalam truk tangki bundar yang terisi sebagian diasumsikan pada kondisi quasi static. Momen guling yang terjadi  $M_z$  terhadap titik O pada dasar tangki akibat gerakan cairan di dalam tangki bundar dengan jari-jari R yang bergerak dengan percepatan lateral  $a_x$  dan percepatan gravitasi g di rumuskan sebagai berikut:

$$M_z = F_{x,qs} \cdot (R-y) + F_{y,qs} \cdot x \tag{2.1}$$

Gaya sloshing lateral  $F_x$  dan Gaya sloshing vertikal  $F_y$  pada kondisi quasi static dihitung dengan persamaan:

$$F_{x,qs} = m \cdot a_x \tag{2.2}$$

$$F_{y,qs} = m \cdot g \tag{2.3}$$

Dimana

$M_z$  : Momen Guling terhadap titik O, N.m

$F_{x,qs}$  : Gaya Sloshing Lateral kondisi quasi static, N

$F_{y,qs}$  : Gaya Sloshing Vertikal kondisi quasi static, N

R : Jari-jari tangki, m

x : Pusat massa cairan arah sumbu-x, m

y : Pusat massa cairan arah sumbu-y, m

m : Massa cairan dalam tangki, kg

$a_x$  : Percepatan lateral, m/s<sup>2</sup>

g : Percepatan gravitasi bumi, m/s<sup>2</sup>

Dari persamaan 2.1 terlihat bahwa momen guling dipengaruhi oleh besar gaya lateral dan gaya vertikal, disamping itu juga dipengaruhi oleh besarnya pergeseran pusat massa pada sumbu-x dan tinggi pusat massa dari titik O. Dengan demikian, semakin besar gaya sloshing lateral dan vertikal yang terjadi, dan semakin besar pergeseran pusat massa cairan, maka momen guling akan semakin besar.

Ranganathan (1990) meneliti pergeseran muatan ke arah lateral di dalam tangki yang terisi sebagian yang diberi percepatan lateral, menyimpulkan bahwa analisis pada kondisi *quasi static* memberikan hasil yang akurat dibandingkan nilai rata-rata yang diperoleh dari hasil penelitiannya. Tehrani (2005) dalam penelitiannya juga menyimpulkan bahwa nilai rata-rata dari analisis transien berbanding sangat baik dengan nilai hasil analisis pada kondisi *quasi static*. Begitu juga dengan (Kandasamy, 2010) dalam penelitiannya menyatakan nilai rata-rata analisis transien identik dengan nilai analisa pada kondisi *quasi static*. Hasil penelitian ini akan menjadi dasar untuk memvalidasi nilai rata-rata hasil simulasi terhadap nilai dari analisis *quasi static*.

Berdasarkan hasil penelitian (Ranganathan, 1990), (Tehrani, 2005), dan (Kandasamy, 2010), nilai rata-rata gaya sloshing hasil simulasi memiliki hasil yang akurat dibandingkan nilai dari analisis *quasi static*.

$$F_{x,qs} \approx F_{x \text{ rata-rata}} \quad (2.4)$$

$$F_{y,qs} \approx F_{y \text{ rata-rata}} \quad (2.5)$$

Jika nilai  $F_{x,rata-rata}$  mendekati nilai  $F_{x,qs}$ , dan nilai  $F_{y,rata-rata}$  mendekati nilai  $F_{y,qs}$  atau diperoleh deviasi yang kecil maka simulasi valid.

## 2.5 Ambang Batas Guling Statis

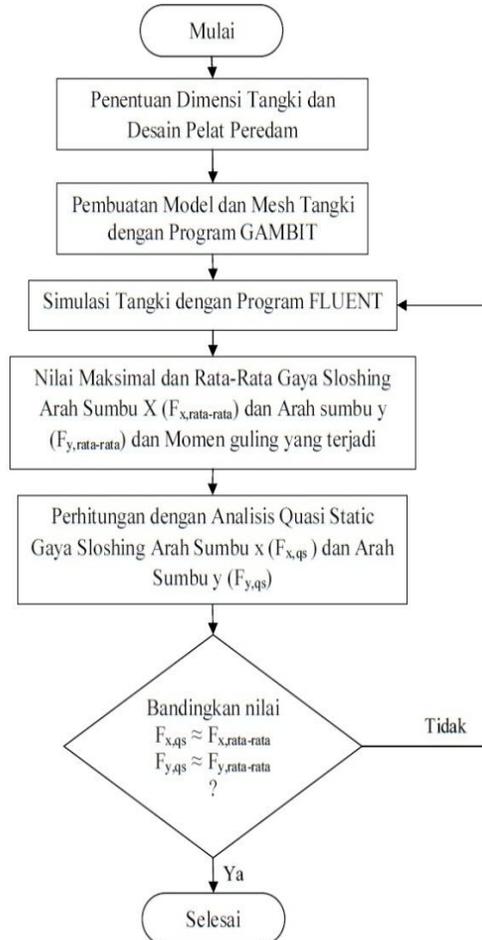
*Static Rollover Threshold* (SRT) atau ambang batas guling statis kendaraan adalah ukuran yang menunjukkan potensi kendaraan tersebut untuk terguling ke samping. SRT dinyatakan sebagai percepatan lateral dalam satuan percepatan gravitasi (g). Semakin rendah nilai SRT kendaraan, maka kendaraan semakin kurang stabil dan lebih mudah terguling. Dengan demikian untuk meningkatkan kestabilan kendaraan, maka kendaraan harus memenuhi atau melebihi minimum SRT (NZ Transport Agency, 2010). Sejumlah standar SRT diberbagai negara telah ditetapkan. Tampaknya ada konsensus bahwa SRT 0,35g menjadi batas minimal SRT untuk semua kendaraan, dan 0,4g untuk truk tangki. Hal tersebut didukung pula oleh hasil pengujian kestabilan truk tangki dengan tilt test oleh Pusat Teknologi Transportasi-Badan Riset Nasional Kanada (NRC/CSTT). Pengujian dilakukan pada 17 jenis truk tangki yang terisi

sesuai berat gross yang diijinkan. Hasil yang diperoleh adalah 7 dari 17 truk tangki atau 41% memiliki nilai SRT di bawah 0,35g, dan 14 dari 17 truk tangki atau 83% memiliki nilai SRT di bawah 0,40g (Billing, 2006).

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

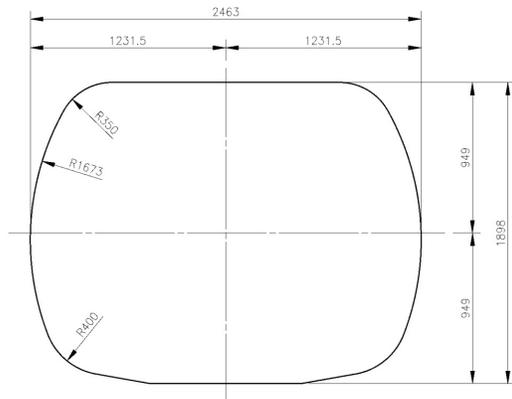
Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut



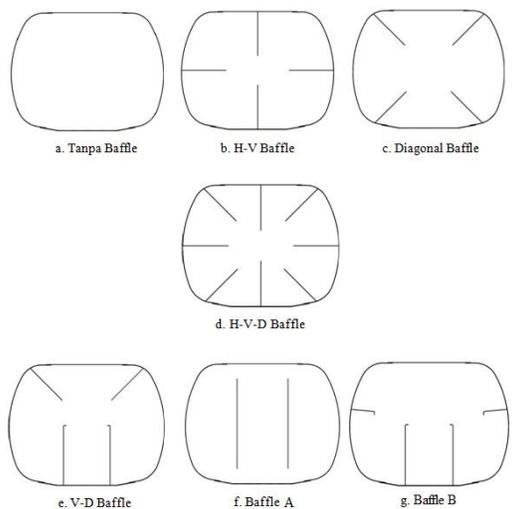
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

### 3.2 Penentuan Dimensi Tangki dan Posisi Pelat Peredam

Truk Tangki yang akan dipergunakan dalam simulasi merupakan salah satu produk dari perusahaan fabrikasi alat transportasi yang berada di daerah Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. Truk tangki berkapasitas 30000 Liter, yang terbagi menjadi 4 kompartemen. Dalam penelitian ini, simulasi pada FLUENT akan dibatasi pada satu kompartemen dengan panjang 1480 mm.



Gambar 3.2 Penampang Tangki yang Akan Disimulasi Menggunakan FLUENT



Gambar 3.3 Posisi Pelat Peredam Di Dalam Tangki Oval yang Dimodifikasi yang Akan Dibandingkan Kinerjanya

Posisi pelat peredam yang dibandingkan kinerjanya pada tangki oval yang dimodifikasi adalah pelat peredam horisontal-vertikal (*H-V Baffle*) dan pelat peredam diagonal (*Diagonal Baffle*) dengan rasio panjang 0,75 yang merupakan pelat peredam yang optimal untuk tangki bundar dan elips yang telah diteliti oleh (Tanugula, 2001). Gabungan dua desain pelat peredam tersebut yaitu pelat peredam horisontal-vertikal-diagonal (*H-V-D Baffle*) juga akan dianalisa, dengan harapan pelat peredam akan memiliki kinerja gabungan antara *H-V Baffle* dan *Diagonal Baffle*. Pelat peredam dari dua perusahaan manufaktur truk tangki di Indonesia, yaitu *Baffle A* dan *Baffle B*, dan usulan desain pelat peredam yaitu pelat peredam vertikal-diagonal (*V-D Baffle*) juga akan dianalisa. *V-D Baffle* merupakan gabungan dari *Baffle B* dan *Diagonal Baffle*, dengan harapan kinerja yang dihasilkan akan saling melengkapi, sehingga diperoleh desain yang lebih baik untuk meredam gaya dan momen yang terjadi.

**3.3 Nilai Maksimal dan Rata-Rata Gaya Sloshing dan Momen Guling**

Hasil simulasi yang diperoleh berupa gaya sloshing pada arah lateral ( $F_x$ ), gaya pada arah vertikal ( $F_y$ ) dan momen guling ( $M_z$ ) yang berubah-ubah terhadap waktu diolah menggunakan program Microsoft Excel 2007 untuk memperoleh nilai maksimal dan rata-rata gaya sloshing arah lateral, arah vertikal dan momen guling yang akan dipergunakan dalam proses validasi simulasi dan pembahasan hasil penelitian.

**3.4 Perhitungan Gaya Sloshing Dengan Analisis Quasi Static**

Gaya sloshing lateral pada kondisi quasi static dihitung dengan persamaan 2.2, sehingga diperoleh nilai  $F_{x,qs}$ . Sedangkan Gaya sloshing vertikal dihitung dengan persamaan 2.3, sehingga diperoleh nilai  $F_{y,qs}$ . Gaya sloshing pada kondisi quasi static diperlukan untuk memvalidasi hasil simulasi dengan membandingkannya dengan nilai rata-rata gaya sloshing selama rentang waktu simulasi.

**3.5 Validasi Gaya Sloshing Hasil Simulasi FLUENT**

Nilai rata-rata gaya sloshing pada arah lateral  $F_{x,rata-rata}$  dan gaya sloshing pada arah vertikal  $F_{y,rata-rata}$  dibandingkan dengan nilai gaya sloshing dengan analisa *quasi static*  $F_{x,qs}$  dan  $F_{y,qs}$ . Jika nilai  $F_{x,rata-rata}$  memiliki deviasi yang cukup besar dibanding  $F_{x,qs}$  maka simulasi harus diulang dengan merubah variabel-variabel dalam pengaturan FLUENT. Jika nilai  $F_{x,rata-rata}$  mendekati nilai  $F_{x,qs}$ , dan nilai  $F_{y,rata-rata}$  mendekati nilai  $F_{y,qs}$  maka simulasi valid dan data-data hasil simulasi bisa dipergunakan untuk pembahasan hasil penelitian yang dilakukan dan variabel-variabel yang digunakan dalam pengaturan FLUENT dapat digunakan untuk posisi pelat peredam lain yang dianalisa.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tangki oval yang dimodifikasi pada Gambar 3.2 disimulasikan dengan berbagai posisi pelat peredam, yaitu *H-V Baffle*, *Diagonal Baffle*, *H-V-D Baffle*, *V-D Baffle*, *Baffle A*, dan *Baffle B*. Hasil simulasi berupa data-data gaya sloshing lateral, gaya sloshing vertikal, dan momen guling akan dibandingkan untuk mengetahui desain pelat peredam yang optimal untuk meredam gaya sloshing dan momen guling.

**4.1 Validasi Hasil Simulasi**

Validasi hasil simulasi FLUENT dilakukan dengan membandingkan gaya sloshing rata-rata hasil

simulasi FLUENT yang terjadi selama waktu simulasi terhadap nilai gaya yang dihitung dengan analisa quasi static.

**Tabel 4.1 Perbandingan Gaya Sloshing Lateral Rata-Rata Hasil Simulasi FLUENT dan Hasil Analisa Quasi Static**

Posisi Pelat Peredam	Gaya Sloshing Lateral (N) pada Tinggi Air					
	30%			50%		
	$F_{x,rata-rata}$	$F_{x,q}$	Deviasi (%)	$F_{x,rata-rata}$	$F_{x,q}$	Deviasi (%)
Tanpa Pelat Peredam	5219	5180	0.75	9118	9226	1.19
H-V Baffle	5174	5165	0.17	9197	9200	0.04
Diagonal Baffle	5155	5150	0.1	9181	9176	0.05
H-V-D Baffle	5108	5109	0.02	9113	9123	0.12
Baffle A	5169	5156	0.24	9133	9126	0.08
Baffle B	5179	5177	0.05	9161	9165	0.04
V-D Baffle	5156	5153	0.06	9186	9185	0.01

Posisi Pelat Peredam	Gaya Sloshing Lateral (N) pada Tinggi Air					
	70%			90%		
	$F_{x,rata-rata}$	$F_{x,q}$	Deviasi (%)	$F_{x,rata-rata}$	$F_{x,q}$	Deviasi (%)
Tanpa Pelat Peredam	13339	13214	0.94	16972	16963	0.05
H-V Baffle	12987	13061	0.57	16838	16860	0.13
Diagonal Baffle	13155	13149	0.04	16830	16831	0.01
H-V-D Baffle	13049	13058	0.07	16724	16737	0.08
Baffle A	13156	13155	0.005	16813	16822	0.05
Baffle B	13128	13123	0.04	16869	16863	0.03
V-D Baffle	13014	13146	1.02	16806	16822	0.1

**Tabel 4.2 Perbandingan Gaya Sloshing Vertikal Rata-Rata Hasil Simulasi FLUENT dan Hasil Analisa Quasi Static**

Posisi Pelat Peredam	Gaya Sloshing Vertikal (N) pada Tinggi Air					
	30%			50%		
	$F_{y,rata-rata}$	$F_{y,q}$	Deviasi (%)	$F_{y,rata-rata}$	$F_{y,q}$	Deviasi (%)
Tanpa Pelat Peredam	17226	17266	0.23	30737	30754	0.06
H-V Baffle	17196	17217	0.12	30626	30666	0.13
Diagonal Baffle	17143	17168	0.15	30551	30588	0.12
H-V-D Baffle	17009	17030	0.12	30381	30421	0.13
Baffle A	17170	17187	0.10	30388	30421	0.11
Baffle B	17233	17256	0.13	30508	30548	0.13
V-D Baffle	17159	17177	0.11	30577	30617	0.13

Posisi Pelat Peredam	Gaya Sloshing Lateral (N) pada Tinggi Air					
	70%			90%		
	$F_{y,rata-rata}$	$F_{y,q}$	Deviasi (%)	$F_{y,rata-rata}$	$F_{y,q}$	Deviasi (%)
Tanpa Pelat Peredam	43956	44047	0.21	56476	56545	0.12
H-V Baffle	43687	43537	0.34	56133	56201	0.12
Diagonal Baffle	43780	43831	0.12	56034	56103	0.12
H-V-D Baffle	43472	43527	0.13	55719	55789	0.13
Baffle A	43798	43851	0.12	56011	56074	0.11
Baffle B	43685	43743	0.13	56149	56211	0.11
V-D Baffle	43761	43821	0.14	56000	56074	0.13

**4.2 Gaya Sloshing dan Redaman Gaya Sloshing Hasil Simulasi FLUENT**

Pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.5 gaya sloshing lateral dan vertikal maksimal meningkat dengan meningkatnya ketinggian cairan, karena bertambahnya ketinggian air dalam tangki menyebabkan semakin besarnya massa cairan.

**Tabel 4.3 Gaya Sloshing Lateral Maksimal Hasil Simulasi FLUENT**

Posisi Pelat Peredam	Gaya Sloshing Lateral (N) Pada Tinggi Air			
	30%	50%	70%	90%
Tanpa Peredam	8351	13527	17682	20727
H-V Baffle	7060	9940	14423	18351
V-D Baffle	6667	10043	14380	18413
H-V-D Baffle	5894	10666	13943	17495
Diagonal Baffle	6293	10544	14402	18407
Baffle A	6452	11236	15273	18430
Baffle B	6652	9977	14811	19682

**Tabel 4.4 Redaman gaya sloshing lateral maksimal hasil simulasi FLUENT**

Posisi Pelat Peredam	Redaman Gaya Sloshing Lateral Pada Tinggi Air			
	30%	50%	70%	90%
H-V Baffle	15%	27%	18%	11%
V-D Baffle	20%	26%	19%	11%
H-V-D Baffle	29%	21%	21%	16%
Diagonal Baffle	25%	22%	19%	11%
Baffle A	23%	17%	14%	11%
Baffle B	20%	26%	16%	5%

**Tabel 4.5 Gaya sloshing vertikal maksimal hasil simulasi FLUENT**

Posisi Pelat Peredam	Gaya Sloshing Vertikal (N) Pada Tinggi Air			
	30%	50%	70%	90%
Tanpa Peredam	19352	33060	46232	57508
H-V Baffle	17972	30828	44441	56804
V-D Baffle	17768	31115	44312	56432
H-V-D Baffle	17354	31080	43883	55977
Diagonal Baffle	17631	31019	44323	56458
Baffle A	17714	31177	44506	56377
Baffle B	17819	31058	44437	56905

**Tabel 4.6 Redaman gaya sloshing vertikal maksimal hasil simulasi FLUENT**

Posisi Pelat Peredam	Redaman Gaya Sloshing Vertikal Pada Tinggi Air			
	30%	50%	70%	90%
H-V Baffle	7.1%	6.8%	3.9%	1.2%
V-D Baffle	8.2%	5.9%	4.2%	1.9%
H-V-D Baffle	10.3%	6.0%	5.1%	2.7%
Diagonal Baffle	8.9%	6.2%	4.1%	1.8%
Baffle A	8.5%	5.7%	3.7%	2.0%
Baffle B	7.9%	6.1%	3.9%	1.0%

Pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.6, pada ketinggian cairan 30%, H-V-D Baffle memberikan hasil yang terbaik dalam meredam gaya sloshing lateral dan vertikal yang terjadi. Ada tiga pelat peredam yang berfungsi optimal meredam sloshing cairan yang terjadi.

Pada ketinggian cairan 50%, H-V Baffle memberikan hasil yang terbaik dalam meredam gaya sloshing lateral dan vertikal yang terjadi, karena pada ketinggian cairan 50%, dua pelat peredam horisontal dan satu pelat peredam vertikal tetap berfungsi optimal meredam sloshing cairan yang terjadi. Baffle B meredam gaya

sloshing lateral dan vertikal yang hampir sama besarnya dengan *H-V Baffle*.

Pada ketinggian cairan 70%, *H-V-D Baffle* tetap memberikan hasil yang terbaik dalam meredam gaya sloshing lateral dan vertikal yang terjadi, meskipun dua pelat horisontal, dua pelat diagonal dan satu pelat vertikal sudah berada di bawah permukaan air, tetapi dua pelat peredam diagonal yang berada di bagian atas tangki tetap mampu meredam gaya sloshing dengan baik.

Pada ketinggian cairan 90%, *H-V-D Baffle* tetap memberikan hasil yang terbaik dalam meredam gaya sloshing lateral dan vertikal yang terjadi.

### 4.3 Momen Guling dan Redaman Momen Guling Hasil Simulasi FLUENT

Besarnya gaya sloshing lateral dan pergeseran pusat masa cairan dalam tangki mempengaruhi momen guling yang terjadi (Romero, 2005). Sementara momen guling yang terjadi secara langsung mempengaruhi batas kestabilan guling truk tangki (Ranganathan, 1990). Dengan demikian maka penggunaan pelat peredam untuk meredam momen guling sangat besar peranannya untuk menghindari truk tangki terguling.

Tabel 4.7 Momen Guling Maksimal Hasil Simulasi FLUENT

Posisi Pelat Peredam	Momen Guling (N.m) Pada Tinggi Air			
	30%	50%	70%	90%
Tanpa Peredam	10867	15149	18814	20053
H-V Baffle	4476	10771	13104	17673
V-D Baffle	2984	8458	11127	18397
H-V-D Baffle	2594	10807	10777	16399
Diagonal Baffle	2868	11967	11083	18377
Baffle A	8306	12757	16588	18482
Baffle B	2942	8179	16218	20164

Tabel 4.8 Redaman Momen Guling Maksimal Hasil Simulasi FLUENT

Posisi Pelat Peredam	Redaman Momen Guling Pada Tinggi Air			
	30%	50%	70%	90%
H-V Baffle	59%	29%	30%	12%
V-D Baffle	73%	44%	41%	8%
H-V-D Baffle	76%	29%	43%	18%
Diagonal Baffle	74%	21%	41%	8%
Baffle A	24%	16%	12%	8%
Baffle B	73%	46%	14%	-1%

Dari Tabel 4.7 dan Tabel 4.8, pada ketinggian cairan 30% redaman momen guling sangat signifikan pada beberapa posisi pelat peredam. Redaman terbesar terjadi pada *H-V-D Baffle*, yaitu 76%. Hal ini disebabkan oleh gaya sloshing yang terjadi pada tangki dengan *H-V-D Baffle* lebih kecil dibanding posisi pelat peredam lainnya. Disamping itu, adanya tiga pelat peredam di dasar

tangki membagi cairan di dasar tangki menjadi empat ruang, dengan demikian pergeseran pusat massa dibatasi dengan baik.

Pada ketinggian cairan 50%, *Baffle B* memberikan hasil redaman momen guling yang lebih baik dari posisi pelat peredam lainnya. Hal ini tidak terlepas dari redaman gaya sloshing yang dihasilkan *Baffle B* yang lebih baik dari posisi pelat peredam lainnya, meskipun tidak lebih baik dari *H-V Baffle*. Akan tetapi dengan adanya dua pelat peredam di dasar tangki dengan *Baffle B* membatasi pergeseran pusat massa cairan lebih baik dibandingkan *H-V Baffle* yang hanya satu pelat peredam di dasar tangki, sehingga *Baffle B* menjadi lebih baik redamannya.

Pada ketinggian cairan 70%, pelat peredam *H-V-D Baffle* kembali menjadi yang terbaik dalam meredam momen guling yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya untuk meredam gaya sloshing lebih baik dari pelat peredam lainnya dan adanya tiga pelat peredam di bagian atas tangki mampu membatasi pergeseran pusat massa cairan dengan baik, sehingga momen guling dapat diredam dengan baik.

Pada tinggi cairan 90%, *H-V-D Baffle* tetap menjadi yang terbaik dalam meredam momen guling yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya meredam gaya sloshing yang terjadi pada tinggi air 90% lebih baik dari posisi pelat peredam lain dan jumlah pelat peredam yang lebih banyak sehingga mampu membatasi pergeseran pusat massa.

Dari Tabel 4.8 menunjukkan bahwa pelat peredam *H-V-D Baffle* menghasilkan redaman momen guling yang lebih baik dari pelat peredam lainnya pada tinggi air 30%, 70% dan 90%, sedangkan pada tinggi air 50%, hasil redaman yang dihasilkan masih lebih baik dibandingkan *Diagonal Baffle* dan *Baffle A*. Dengan demikian maka *H-V-D Baffle* merupakan posisi *baffle* terbaik untuk Tangki oval yang dimodifikasi.

*V-D Baffle* merupakan gabungan antara *Baffle B* dan *Diagonal Baffle*, sehingga kekurangan *Diagonal Baffle* pada tinggi air 30% dan 50% untuk meredam momen guling dapat diatasi oleh *Baffle B*, begitu juga kekurangan *Baffle B* pada ketinggian air 70% dan 90% dapat diatasi oleh *Diagonal Baffle*. Dengan demikian *V-D Baffle* meredam momen guling dengan baik untuk semua tinggi cairan, dan dapat menjadi alternatif lain dari *H-V-D Baffle* untuk meredam momen guling pada tangki oval yang dimodifikasi. Disamping itu jumlah pelat *V-D Baffle* lebih sedikit, sehingga akan lebih murah dalam hal biaya.

### 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan pada Bab sebelumnya dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- 1) Hasil simulasi penggunaan pelat peredam pada tangki oval yang dimodifikasi pada tinggi cairan 30% dalam tangki, momen guling dapat diredam sampai 76% oleh H-V-D Baffle, momen guling pada tinggi cairan 50% dapat diredam 46% oleh Baffle B. Pada tinggi cairan 70% dan 90%, H-V-D Baffle mampu meredam momen guling lebih baik dari desain lain, masing-masing sebesar 43% dan 18%.
- 2) Pelat peredam H-V-D Baffle adalah pelat peredam terbaik untuk truk tangki oval yang dimodifikasi, karena mampu meredam momen guling lebih baik dari pelat peredam lain pada tinggi cairan 30%, 70% dan 90%.
- 3) Pelat peredam V-D Baffle bisa menjadi alternatif, karena dengan jumlah pelat peredam yang lebih sedikit dari H-V-D Baffle, mampu meredam momen guling dengan redaman yang optimal pada semua ketinggian cairan dengan selisih yang tidak signifikan, bahkan redaman momen guling pada tinggi cairan 50% lebih baik dari H-V-D Baffle.

Penelitian yang telah dilakukan terbatas pada mengetahui besar gaya *sloshing*, momen guling dan besar redaman yang dihasilkan oleh pelat peredam di dalam tangki, sehingga diketahui desain pelat peredam terbaik. Penelitian selanjutnya bisa dikembangkan lagi seperti analisa pengaruh gaya *sloshing* dan momen guling terhadap kekuatan struktur tangki, kestabilan guling truk tangki dan juga hal-hal yang berkaitan dengan proses produksi tangki dengan pelat peredam yang digunakan, sehingga diperoleh data yang lengkap untuk selanjutnya bisa diaplikasikan oleh perusahaan dalam membuat produk truk tangki.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Billing, J.R., & Patten, J.D. (2006). An Assessment of Tank Truck Roll Stability. *Proceedings of 9th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions, IFRTT* (pp:1,4 &10). USA.
- [2]. Dasgupta, A.(2011). *Effect of Tank Cross-Section and Longitudinal Baffles on Transient Liquid Slosh in Partly-Filled Road Tankers*. (Master Thesis, Concordia University, Kanada). Diambil dari <http://citeseerx.ist.psu.edu>.
- [3]. Kang, X., Rakheja, S., & Stiharu, I. (1999). Optimal Tank Geometry to Enhance Static Roll Stability of Partially Filled Tank Vehicles. *SAE Technical Paper Series*, 1999-01-3730,1-3.
- [4]. Kandasamy, T., Rakheja, S., & Ahmed, A.K.W. (2010). An Analysis of Baffles Designs for Limiting Fluid Slosh in Partly Filled Tank Trucks”, *The Open Transportation Journal*, 4, 23 & 26.
- [5]. Koli, G.C., & Kulkarni, V.V. (2010). Simulation of Fluid Sloshing in a Tank. *Proceedings of The World Congress On Engineering*, Vol. 2 (pp.1). London, UK.
- [6]. NZ Transport Agency. (2010). *Static Roll Thresholds*. Diambil dari website : <http://www.nzta.govt.nz/resources/factsheets/13e/>
- [7]. Ranganathan, R.(1990), “*Stability Analysis and Directional Response Characteristics of Heavy Vehicles Carrying Liquid Cargo* (Disertasi, Concordia University, Kanada). Diambil dari <http://spectrum.library.concordia.ca>
- [8]. Romero, J.A., Ramirez, O., Fortanell, J.M., Martinez, M., & Lozano, A. (2005). Analysis of Lateral Sloshing Forces Within Road Containers With High Fill Levels. *Journal of Automobile Engineer*, 220, 303-304.
- [9]. Tanugula, R. (2001). *Effects of Baffles on Damping Lateral Fluid Sloshing Oscillations in Tanker Trucks* (Master Thesis, West Virginia University, United States). Diambil dari <http://oatd.org/>
- [10]. Tehrani, K.M. (2005). Analysis of Overturning Moment Caused By Transient Liquid Slosh Inside A Partly Filled Moving Tank. *Concordia University Journal*, Kanada, 220 (3), 290-291.