

# Analisis Pengaturan Tinggi Fluida Pada *Passive U-Tube* Tank Terhadap Koefisien Damping Untuk Meminimalkan Gerak *Rolling* Kapal

Muhammad Iqbal\*, Ahmad Fauzan Zakki, Muhammad Fuad Shofly

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

## Abstrak

Menurunkan gerakan *rolling* kapal merupakan hal penting untuk meningkatkan keamanan dan kemudahan kapal dalam beroperasi. Salah satu cara meminimalisir *rolling* pada kapal adalah menambahkan sistem *anti-rolling*. Pada penelitian ini, dilakukan analisis Koefisien Damping *anti-roll* jenis *passive* tank dengan pengaturan tinggi fluida di dalam tangki jenis *U – Tube*. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan software berbasis CAD dan CFD kemudian dilakukan analisis perhitungan momen peredam untuk mendapatkan nilai Koefisien Damping. Hasilnya digunakan untuk peredam tambahan pada analisis gerakan *rolling* kapal. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketinggian fluida *passive* tank jenis *U – Tube* pada 3,52 m memberikan nilai Koefisien Damping terbesar dengan nilai 2.018.620 N.m/(deg/s). Model ini adalah yang terbaik ditinjau dari respon momen redaman yang dihasilkan untuk meminimalisir gerakan *rolling* kapal.

**Kata kunci:** *rolling*; *anti roll*; *passive* tank; koefisien damping

## Abstract

[Title: *Analysis of Fluid Arrangements in Passive U-Tube Tanks for Damping Coefficient that Minimizes Motion of Rolling Vessels*] Reducing the *rolling* motion of the ship is essential to increase the safety and ease of operation of the ship. One way to minimize *rolling* on ships is to add an *anti-rolling* system. In this study, a *passive* tank type *anti-roll* damping coefficient analysis with fluid height variation in the tank was carried out. Modeling was done using CAD and CFD-based software then an analysis of the calculation of the moment of the damper was taken to get the Damping Coefficient value. The results were used for additional absorbers in the analysis of *rolling* motion. The analysis showed that the height of fluid in the *U-Tube* *passive* tank at 3.52 m gave the largest Damping Coefficient with a value of 2,018,620 N.m / (deg / s). This model is the best in terms of the damping moment response produced to minimize the *rolling* motion of the ship).

**Keywords:** *rolling*; *anti roll*; *passive* tank; damping coefficient

## 1. Pendahuluan

Gerakan *rolling* merupakan salah satu fenomena dari olah gerak kapal, dimana ketika amplitudo gerakan *rolling* besar, maka akan dapat menimbulkan *capsizing* (Herbowo, Chrismianto & Iqbal, 2017). Upaya menurunkan gerakan *rolling* kapal merupakan hal penting untuk meningkatkan keamanan dan kemudahan

kapal dalam beroperasi (Huang dkk., 2018). Salah satu solusi dalam meminimalisir terjadinya *rolling* pada kapal pada umumnya adalah dengan penambahan sistem *anti-rolling* pada kapal. *Anti-rolling* merupakan suatu mekanisme stabilisasi gerakan *rolling* yang digunakan di dalam struktur kapal (Taskar dkk., 2014). *Anti Rolling Tank* dapat difungsikan sebagai mitigasi *roll* kapal adaptif (Phairoh & Huang, 2007) dan menurunkan fenomena *parametric roll* (Umeda, Hashimoto, Minegaki, & Matsuda, 2008).

\*) Penulis Korespondensi.

E-mail: muhammadiqbal@lecturer.undip.ac.id

Cara terbaik untuk menurunkan gerakan *rolling* kapal adalah dengan meningkatkan *roll damping*. Perangkat yang paling sering digunakan untuk meningkatkan *roll damping* adalah *bilge keels*, namun efektifitas dari *bilge keels* terbatas, sehingga diperlukan penambahan *anti roll tank* maupun *fin* untuk control yang lebih dalam mengurangi gerakan *rolling* kapal (Youssef dkk., 2003). *Passive tank* merupakan salah satu jenis *anti-rolling* yang pada prinsipnya memanfaatkan aliran fluida (Windén, 2009).

Penelitian *anti-rolling* telah sebelumnya dengan beberapa variasi, diantaranya penambahan *anti-roll* jenis *fin stabilizer*, *bilge keel*, dan *passive tank* dengan hasil berupa persentase redam gerakan *roll* dengan *fin stabilizer* adalah sebesar 75% (Herbowo dkk., 2017); penambahan *bilge keel* dengan hasil sebesar 4,42% (Malik, Manik & Iqbal, 2016), serta *passive u-tube tank* dengan variasi tinggi saluran dan lebar penampang dengan hasil sebesar 33,9% (Karim, Zakki & Iqbal, 2019).

*U Tube Tank* atau *Anti Rolling Tank (ART)* terbagi menjadi dua, yaitu aktif dan pasif. Perbandingan performa dari kedua *Anti Roll Tank* tersebut dikaji oleh (Marzouk & Nayfeh, 2009) dengan metode numerik. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa performa *Active Anti Rolling Tank* lebih baik dari *Passive Anti Rolling Tank*. Namun, kekurangan dari *Active ART* adalah mekanisme kerjanya yang lebih rumit, yaitu melibatkan pompa, sedangkan *Passive ART* (seperti dalam penelitian ini) tidak menggunakan pompa.

Penggunaan *passive u-tube tank* dengan konfigurasi yang optimal dapat meningkatkan *roll damping* sehingga mengurangi gerakan *roll* kapal dengan signifikan (Youssef dkk., 2002). Penelitian tersebut mengkaji *roll damping* pada kondisi linear dan non linear dengan menggunakan *Boundary Element Method*.

Penelitian mengenai *passive u-tube tank* juga dilakukan untuk menghitung penyerapan tenaga (*power*) gerakan *roll* pada kapal (Alujević dkk., 2019). Dalam hal ini tenaga tersebut adalah momen eksitasi gerakan *roll*. Momen eksitasi yang diciptakan oleh gelombang pada penelitian tersebut digambarkan dengan spektrum gelombang. Metode yang digunakan untuk menentukan *roll damping* pada penelitian tersebut menggunakan metode analitik

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, maka untuk mengetahui nilai koefisien damping yang dihasilkan *passive tank* dengan variasi tinggi fluida, maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut. Analisis yang dilakukan berupa pembuatan model *passive tank* menggunakan bantuan software berbasis CAD, analisis perhitungan respon momen redam *passive tank* menggunakan bantuan software CFD serta analisis nilai koefisien damping yang dihasilkan berdasarkan regresi

linier antara Momen Rolling (Nm) terhadap kecepatan gerak *rolling* (rad/s).

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi tinggi fluida pada *passive tank* terhadap nilai koefisien damping untuk mendapatkan desain *passive tank* terbaik. Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu untuk memberikan gambaran hasil perancangan *passive tank* terbaik terhadap variasi tinggi fluida, dapat memberikan informasi tentang *passive tank* yang terbaik terhadap aspek *rolling* kapal, serta penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perancangan *passive tank* yang digunakan pada kapal.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1. Pengumpulan Data

Spesifikasi *passive tank* disesuaikan dengan bentuk kapal Kapal Kontainer 100 Teus seperti yang disajikan Tabel 1.

**Tabel 1.** Data ukuran utama *passive tank*

No	Dimensi	Skala Penuh
1	Tinggi saluran (hd)	1,40 m
2	Total tinggi (ht)	4,40 m
3	Lebar saluran (wd)	11,00 m
4	Diameter saluran (wr)	3,00 m
5	Panjang (s)	10,18 m

### 2.2. Parameter Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tinggi fluida didalam tangki terhadap nilai koefisien damping yang dihasilkan .

Parameter tetap yang dipakai adalah (1) spesifikasi *passive tank*; (2) fluida didalam tangki yaitu air tawar, dan (3) kecepatan *rolling* sebesar 0,25 rad/s, 0,50 rad/s, 0,75 rad/s. Adapun parameter peubah yang digunakan adalah tinggi fluida (hr) seperti yang terdapat pada Tabel 2 dan Gambar 1.

### 2.3. Pengolahan Data

Data yang didapat dari hasil studi lapangan kemudian diolah. Tahapan pengolahan data meliputi: (1) pembuatan model 3D *passive tank* menggunakan software *Rhinoceros*; (2) model 3D *Rhinoceros* diekspor menjadi bentuk .igs digunakan untuk analisis pada software CFD dengan tahapan dimulai dari pembuatan geometri, *meshing* model, *setup*, *solution*, dan yang terakhir *result* untuk mengetahui hasil analisis; serta (3) membandingkan nilai koefisien damping yang diperoleh dari hasil analisis momen peredam pada tangki dengan variasi tinggi fluida.

**Tabel 2.** Data variasi tinggi fluida *passive tank*

No	Rasio hr/ht	Total Tinggi Saluran (ht)	Tinggi Fluida(hr)
1	0,4	4,4 m	1,76 m
2	0,5	4,4 m	2,20 m
3	0,6	4,4 m	2,64 m
4	0,7	4,4 m	3,08 m
5	0,8	4,4 m	3,52 m



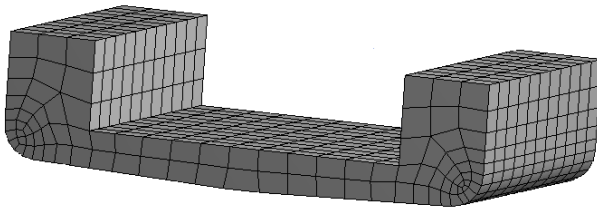
**Gambar 1.** Model 2D *passive tank* dengan ketinggian fluida  $H_r$  dan ketinggian tangki  $H_t$



**Gambar 2.** Model 3D *rhinoceros passive U-tube tank*

3.2. Meshing

*Meshing* adalah tahapan yang paling kompleks dalam pengerjaannya. Apabila satu dari beberapa elemen kurang tepat, maka proses *meshing* akan gagal dan harus diulang untuk diperiksa dan diperbaiki sesuai dengan *error* yang terjadi. *Error* bisa disebabkan dari bentuk geometri atau pengaturan dalam *meshing* seperti *virtual topology*, *regions*, ukuran *face spacing*, *point spacing*, dan pengaturan *inflation*. Gambar 3 merupakan hasil *meshing* dari *passive u-tube tank* dan Tabel 3 merupakan jumlah *nodes* dan *element* yang dihasilkan dari proses *meshing*.



**Gambar 3.** Hasil *meshing passive U-tube tank*

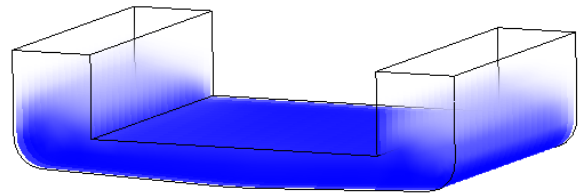
Model variasi *passive tank* pada *Rhinoceros* yang telah dibuat, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan *software Ansys CFX* untuk mendapatkan nilai momen yang dihasilkan dari pergerakan fluida didalam tangki. Gambar 4 merupakan ilustrasi

perhitungan momen yang dihasilkan oleh pergerakan fluida didalam tangki dengan ketinggian fluida 2,2 meter dan sudut *roll*  $0,5^{\circ}$ .

**Tabel 3.** Statistik *Mesh*

Mesh Statistics	
Total number of nodes	1488
Total number of elements	1012

3.3. Momen Peredam Passive Tank



**Gambar 4.** Ilustrasi *running* perhitungan momen peredam variasi 2 pada *software Fluid Flow 18.1 (CFX)*

4. Solution Report				
Forces and Torques for CFX				
Location	Type	X	Y	Z
Boundary 1	Pressure Torque	-7.7800e+05	-3.7655e+03	1.2013e+04
	Viscous Torque	-3.9006e+02	1.6331e+02	-6.2896e+00
	<b>Total Torque</b>	<b>-7.7839e+05</b>	<b>-3.6022e+03</b>	<b>1.2007e+04</b>

**Gambar 5.** *Solution report* perhitungan momen peredam variasi 2 pada *software Fluid Flow 18.1 (CFX)*

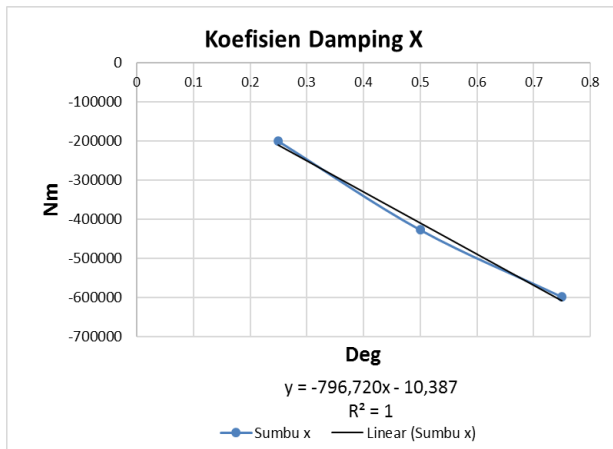
**Tabel 4.** Nilai momen peredam *passive tank*

No	Kecepatan Sudut Roll (Deg/s)	Momen Peredam (N.m)		
		X	Y	Z
1	0,75	-598770	12516	-2877.8
	0,50	-427060	8353.1	-2916.8
	0,25	-200410	6028.7	-5116.4
2	0,75	-1093600	-2886.10	11762.00
	0,50	-778390	-3602.20	12007.00
	0,25	-422680	-4125.40	9759.00
3	0,75	-1347500	-1806.5	2868.1
	0,50	-869520	-3905.9	4100.2
	0,25	-384560	-4938.6	5737.9
4	0,75	-1420500	-1415.30	-12817.00
	0,50	-930120	3700.20	-4358.80
	0,25	-435240	6414.60	428.30
5	0,75	-1743900	3865.3	-9760.8
	0,50	-1239900	2835.2	-12255
	0,25	-734590	2967.3	-13309

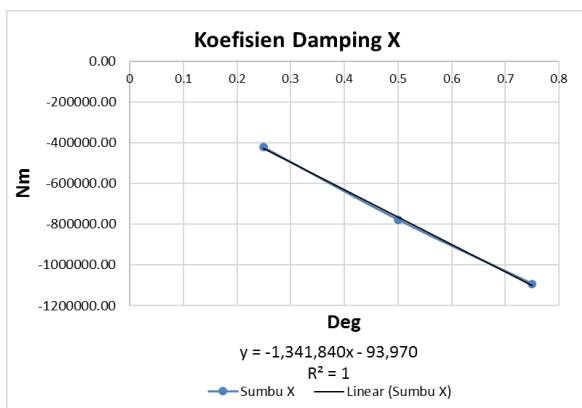
Pada Tabel 4, didapatkan nilai momen peredam yang diperoleh dari *solution report software Ansys CFX* seperti ditunjukkan Gambar 5. Data yang sudah didapat akan dilakukan metode regresi untuk mendapatkan *slope* kemiringan yang merupakan nilai koefisien damping. Momen peredam yang memiliki nilai tertinggi terdapat pada variasi 5 dengan ketinggian fluida sebesar 3.52 meter dan dihasilkan oleh kecepatan *rolling* sebesar 0,75 deg/s.

Gambar 6 sampai dengan Gambar 10 menunjukkan bahwa semakin kecil kecepatan *rolling* tangki yang digunakan untuk analisis, maka momen yang dihasilkan juga semakin kecil. Dengan dilakukannya perhitungan menggunakan metode regresi maka dapat menentukan nilai koefisien damping yang ditunjukkan di Tabel 5.

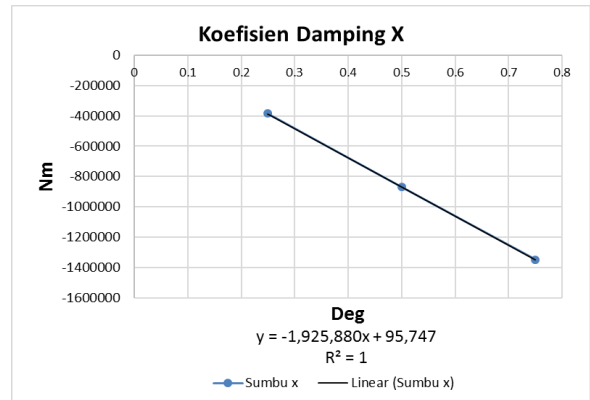
Berdasarkan Tabel 5, variasi 5 didapatkan nilai koefisien damping terbesar. Hal tersebut dikarenakan variasi 5 memiliki volume fluida yang dipindahkan lebih besar dibandingkan model lainnya.



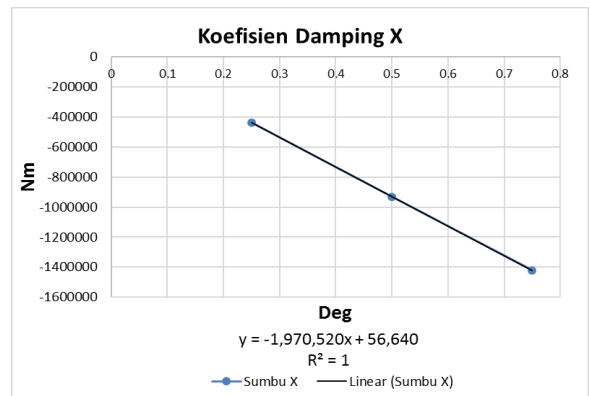
Gambar 6. Perhitungan koefisien damping menggunakan metode regresi pada variasi 1



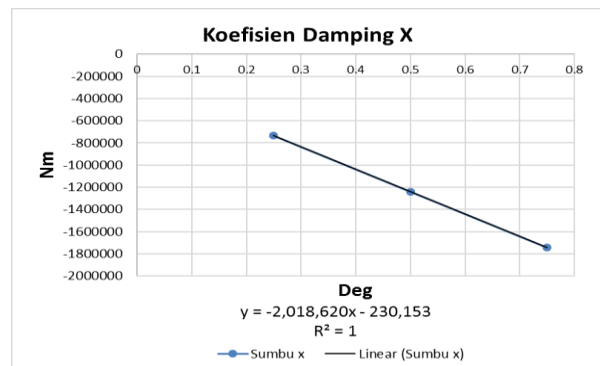
Gambar 7. Perhitungan koefisien damping menggunakan metode regresi pada variasi 2



Gambar 8. Perhitungan koefisien damping menggunakan metode regresi pada variasi 3



Gambar 9. Perhitungan koefisien damping menggunakan metode regresi pada variasi 4



Gambar 10. Perhitungan koefisien damping menggunakan metode regresi pada variasi 5

Tabel 5. Nilai koefisien damping *passive tank*

No	Koefisien Damping (N.m/(deg/s))		
	X	Y	Z
1	-796720	12975	4477.2
2	-1341840	2478.6	4006
3	-1925880	6264.2	-5739.6
4	-1970520	-15660	-26491
5	-2018620	1796	7096.4

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi fluida di dalam tangki *passive tank* jenis *U – Tube* perlu diatur untuk memperoleh nilai Koefisien Damping yang tinggi untuk dapat meminimalisir gerakan rolling kapal. Pengaturan ketinggian fluida 1,76; 2,2; 2,64; 3,08; dan 3,52 m memberikan nilai koefisien damping masing masing sebesar 796720 N.m/(deg/s); 1341840 N.m/(deg/s); 1925880 N.m/(deg/s); 1970520 N.m/(deg/s); dan 2018620 N.m/(deg/s). Ketinggian fluida *passive tank* jenis *U – Tube* pada 3,52 m (variasi no 5) merupakan variasi terbaik karena memiliki koefisien redaman rolling yang paling besar. Pada umumnya, semakin besar nilai koefisien redaman rolling, maka gerak rolling akan semakin kecil.

#### Daftar Pustaka

- Alujević, N., Čatipović, I., Malenica, Š., Senjanović, I., & Vladimir, N. (2019). Ship roll control and power absorption using a U-tube anti-roll tank. *Ocean Engineering*, 172, 857–870.
- Herbowo, A., Chrismianto, D., & Iqbal, M. (2017). Analisa Fin Stabilizer Terhadap Rolling Pada Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT Dengan Metode CFD (Computational Fluid Dynamic). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(1).
- Huang, L., Han, Y., Duan, W., Zheng, Y., & Ma, S. (2018). Ship pitch-roll stabilization by active fins using a controller based on onboard hydrodynamic prediction. *Ocean Engineering*, 164, 212–227.
- Karim, F. A., Zakki, A. F., & Iqbal, M. (2019). Desain Passive U-Tube Tank pada Kapal Ikan Tradisional Tipe Kragan Guna Menurunkan Rolling Kapal. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 15(3), 95–101.
- Malik, M. I., Manik, P., & Iqbal, M. (2016). Pengembangan Desain Geometri Lunas Bilga untuk Meningkatkan Performa Kapal Ikan Tradisional (Studi Kasus Kapal Tipe Kragan). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4).
- Marzouk, O. A., & Nayfeh, A. H. (2009). Control of ship roll using passive and active anti-roll tanks. *Ocean Engineering*, 36(9–10), 661–671.
- Phairoh, T., & Huang, J.-K. (2007). Adaptive ship roll mitigation by using a U-tube tank. *Ocean Engineering*, 34(3–4), 403–415.
- Taskar, B. U., Dasgupta, D., Nagarajan, V., Chakraborty, S., Chatterjee, A., & Sha, O. P. (2014). CFD aided modelling of anti-rolling tanks towards more accurate ship dynamics. *Ocean Engineering*.  
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.09.035>
- Umeda, N., Hashimoto, H., Minegaki, S., & Matsuda, A. (2008). An investigation of different methods for the prevention of parametric rolling. *Journal of Marine Science and Technology*, 13(1), 16–23.
- Windén, B. (2009). Anti Roll Tanks in Pure Car and Truck Carriers. *KTH Royal Institute of Technology*.
- Youssef, K. S., Mook, D. T., Nayfeh, A. H., & Ragab, S. A. (2003). Roll Stabilization by Passive Anti-Roll Tanks Using an Improved Model of the Tank-Liquid Motion. *Modal Analysis*, 9(7), 839–862.  
[https://doi.org/10.1177/1077546303009007006](https://doi.org/10.1177/1077546303009007006Youssef, K. S., Ragab, S. A., Nayfeh, A. H., & Mook, D. T. (2002). Design of passive anti-roll tanks for roll stabilization in the nonlinear range. Ocean Engineering, 29(2), 177–192.)