

ANALISIS DEFORMASI TANGKI ANTI ROLLING AKIBAT PERUBAHAN KETEBALAN DINDING TANGKI FIBER MENGGUNAKAN SIMULASI

Reico H. Siahainenia*

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Kota Ambon, Indonesia

Debby R. Lekatompessy

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Kota Ambon, Indonesia

Richmon J. Maitimu

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Kota Ambon, Indonesia

*E-mail korespondensi: ekoadymal@gmail.com

ABSTRAK

Banyaknya kecelakaan kapal kayu tradisional diakibatkan karena stabilitas kapal yang menjadi buruk karena penempatan muatan di atas geladak kapal. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan membuat tangki anti rolling yang diletakkan pada bagian tengah kapal. Tangki anti rolling yang digunakan harus kuat dalam menerima beban kerja akibat gaya tekan hidrostatik air yang ada di dalamnya. Pada penelitian ini dilakukan analisis deformasi yang terjadi akibat perubahan ketebalan tangki bermaterial Fiber Reinforced Plastic (FRP) yang digunakan sebagai tangki anti Rolling. Perhitungan dilakukan menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) dengan bantuan software. Ketebalan tangki FRP yang digunakan bervariasi antara 5 mm – 12,5 mm. Berdasarkan variasi ketebalan dinding FRP tangki anti rolling maka nilai deformasi yang diperoleh diperoleh bahwa ketebalan yang terbaik adalah di 12,5 mm. Secara teknis hal ini adalah hasil yang terbaik, tetapi tidak secara ekonomis. Semakin tebal material tangki akan menambah volume LWT kapal, yang akhirnya mengurangi daya muat kapal. Solusi lain perlu dicari agar penambahan volume material dinding dapat ditekan dengan menggunakan penguat struktur yang lebih ringan.

Kata Kunci: deformasi, tangki anti rolling, simulasi, Fiber Reinforced Plastic (FRP).

ABSTRACT

The high number of traditional wooden boat accidents is caused by poor vessel stability due to the placement of cargo on the deck. One solution that can be implemented is to install an anti-rolling tank in the center of the boat. The anti-rolling tank used must be strong enough to withstand the working load caused by the hydrostatic pressure of the water inside it. This study analyzes the deformation that occurs due to changes in the thickness of the Fiber Reinforced Plastic (FRP) tank used as an anti-rolling tank. Calculations were performed using the Finite Element Analysis (FEA) method with the help of software. The thickness of the FRP tank varied between 5 mm and 12.5 mm. Based on the variation in the thickness of the FRP anti-rolling tank walls, the deformation values obtained indicated that the best thickness was 12.5 mm. Technically, this is the best result, but not economically. Increasing the tank material thickness will add to the vessel's Light Weight Tonnage (LWT), which ultimately reduces the ship's cargo capacity. Another solution needs to be found to minimize the additional volume of wall material by using lighter structural reinforcements.

Keywords: deformation, anti-rolling tank, simulation, Fiber Reinforced Plastic (FRP).

1. PENDAHULUAN

Banyak penelitian anti rolling kapal dilakukan (George & Cho, 2021) hingga kapal hidrofoil trimaran. Tetapi untuk kapal-kapal rakyat belum banyak dilakukan. Perlu dilakukan pemanfaatan tangki rolling pada kapal rakyat mengingat kebiasaan penumpang menaruh muatannya di atas geladak kapal yang membahayakan kestabilan kapal dalam beroperasi. Beberapa metode dilakukan para peneliti sebelum untuk memaksimalkan manfaat tangki anti rolling (Lin et al., 2021). Tangki *anti-rolling* kapal Pelayaran Rakyat (Pelra) pada penelitian (Siburian, 2021) berhasil mengembalikan periode *rolling* kapal kayu ke standar periode *rolling*. Saat variasi tinggi sarat air 100% dalam tangki menunjukkan perubahan nilai periode *rolling* memenuhi kriteria standar periode *rolling* (Bhattacharyya, 1978) pada kapal penumpang barang yaitu 10,5 – 14,5 detik. Kondisi tersebut membutuhkan konstruksi tangki yang kuat, diperlukan pemilihan material pembuat tangki yang kuat namun tetapi ringan.

Fiberglass dijadikan material pelat dan penguat pelat dinding tangki *anti-rolling* selain karena memiliki sifat kedap air yang baik dibanding memilih material konstruksi lain seperti kayu (Lekatompessy, 2023b). Meskipun demikian penambahan berat total kapal tetaplah terjadi, sehingga pelat konstruksi tangki harus memiliki ketebalan dinding dan variasi penempatan penguat yang optimal demi mencegah pelat tangki pecah akibat gaya hidrostatis air dari dalam saat operasional kapal. Keputusan Menteri Perhubungan nomor KM. 58 tahun 2007 untuk menyesuaikan segala pelayaran baik di sungai danau dan laut melarang pemuatan ke geladak cuaca sebagai pemuatan penumpang atau barang.

Tangki *anti-rolling* yang terpasang pada kapal dipastikan menjadi solusi kasus di atas. Konstruksi dinding tangki harus memiliki ketebalan yang optimum (Lekatompessy, 2021; Peshkov et al., 2023), namun tidak menambah berat total kapal dan biaya produksi pemasangan tangki pada kapal. Penerapan Tangki *anti-rolling* pasif yang dipasang di dalam lambung kapal mampu meredakan gerakan *rolling*, harus memiliki ketebalan dinding maupun pelat alas dan pelat tutup seminimal mungkin dalam menerima tekanan hidrostatis air di dalam tangki (Lutfi et al., 2023). Material konstruksi tangki yang digunakan adalah *fiberglass* jenis *E-glass*. Dimensi tangki yang sudah ditetapkan pada penelitian sebelumnya kembali perlu dianalisis pemilihan tebal selubung untuk mendapatkan desain yang efisien (Fomin et al., 2022).

2. BAHAN DAN METODE

Objek pada penelitian ini adalah kapal penumpang KM. Harapan Mujur II. Berikut spesifikasi dan dimensi utama KM. Harapan Mujur II:

Panjang keseluruhan (LOA)	: 32,50	m
Panjang garis air (LWL)	: 28,28	m
Panjang antara garis tegak (LBP)	: 28,00	m
Lebar (B)	: 6,25	m
Tinggi geladak (H)	: 2,50	m
Tinggi sarat (T)	: 1,87	m
Koefisien blok (Cb)	: 0,78	
Koefisien <i>mid ship</i> (Cm)	: 0,89	
Koefisien garis air (Cwl)	: 1,15	
Koefisien prismatic (Cp)	: 0,87	
Kecepatan (Vs)	: 13	Knot

Propertis material *fiberglass* yang diinput pada *engineering data* adalah sebagai berikut (Lekatompessy, 2023a), penelitian tersebut menggunakan *fiberglass E-glass*. Jenis ini merupakan jenis yang paling umum digunakan bahkan dalam industri perkapalan karena kemudahan untuk memperoleh bahan penyusunnya (Tafsirojaman et al., 2022; Vizentin & Vukelic, 2022).

1. *Density* = 2500 kg/m³
2. *Young's Modulus* = 7,2E+10 Pa

3. *Poisson's Ratio* = 0,22
4. *Bulk & Shear Modulus* = 4,2857E+10 Pa & 2,9508E+10 Pa

Ukuran tangki *anti-rolling* yang digunakan adalah sebagai berikut dengan variasi ketebalan pelat tangki 5 mm, 7,5 mm, 10 mm, 12,5 mm.

- Lebar tangki = 5,70 m
- Panjang tangki = 1,04 m
- Tinggi tangki (*hatch cover*) = 2,13 m
- Tinggi tangki = 1,87 m

Desain tangki *anti-rolling* dengan Autocad 3D dilanjutkan pada proses simulasi. Proses simulasi digunakan sebagai metode yang murah, efisien waktu dan biaya dengan tingkat validitas cukup tinggi (Cercos-Pita et al., 2016; Chen et al., 2023; J. Lin et al., 2022).

Berdasarkan data, diambil rata-rata dari selisih setiap kenaikan tebal tangki sebagai berikut:

- Selisih volume pelat pada ketebalan 5 mm dan 7,5 mm = 0,076 mm³
- Selisih volume pelat pada ketebalan 7,5 mm dan 10 mm = 0,082 mm³
- Selisih volume pelat pada ketebalan 10 mm dan 12,5 mm = 0,091 mm³
- Rataan selisih kenaikan volume = 0,083 mm³

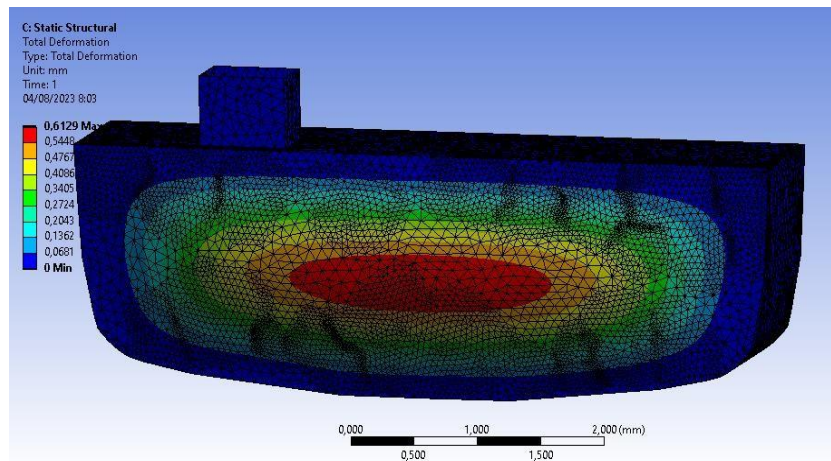
Model dibuat dengan bantuan simulasi di mana software untuk struktur digunakan. Finite Elemen Hingga digunakan untuk menyelesaikan perhitungan yang dibutuhkan. Tahapan umum yang digunakan adalah penggambaran model geometri dengan bantuan software AutoCAD yang dilanjutkan dengan proses meshing (diskritisasi elemen konstruksi), dengan hasil akhir diperoleh nilai tegangan kerja dan deformasi yang terjadi pada tangki. Model ini sudah digunakan di banyak industri seperti dilakukan beberapa peneliti untuk mendesain menguji kekuatan tangki dalam menerima beban hidrostatis (Das et al., 2022). Desain tangki dibuat dengan selubung yang mampu menerima beban yang diberikan (Zingoni, 2015).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. *Ketebalan pelat tangki anti-rolling 5 mm*

Simulasi dilakukan terhadap tangki dengan masing-masing nilai pembebanan (*hydrostatic pressure*). Hasil simulasi ini berupa nilai total deformasi dari sistim. Hasil simulasi berupa deformasi dapat dilihat dari warna, dimana warna merah menandakan nilai deformasi maksimum atau kritis, selanjutnya kuning, hijau, biru dimana biru tua menandakan nilai minimum deformasi total yang terjadi pada sistim. Hasil simulasi deformasi pada tangki *anti-rolling*, tebal pelat 5 mm ditunjukkan pada Gambar 1.

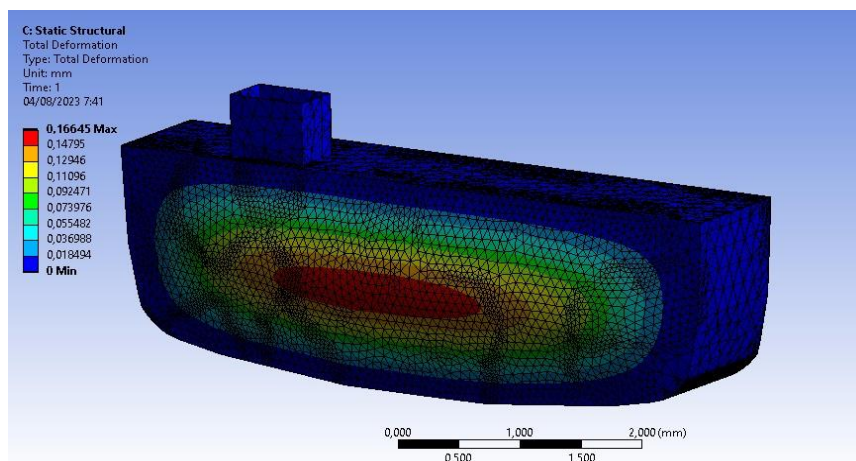
Akibat gaya tekan hidrostatis menimbulkan deformasi tangki pada area lendutan terbesar, artinya deformasi maksimum memiliki letak sesuai dengan letak lendutan dan tegangan terbesar terjadi. Deformasi maksimum pada tebal panel 5 mm adalah 0,613 mm yang terletak pada bagian tengah tangki, sementara deformasi minimumnya adalah 0 mm yang terjadi pada area sekitar *fixed support* berada.



Gambar 1. Deformasi tangki dengan ketebalan pelat 5 mm

b. Ketebalan pelat tangki anti-rolling 7,5 mm

Setelah dilakukan simulasi pada tangki dengan masing-masing nilai pembebanan (*hydrostatic pressure*) maka akan didapatkan hasil simulasi. Hasil simulasi ini berupa deformasi. Hasil simulasi deformasi tangki *anti-rolling*, tebal pelat 7,5 mm ditunjukkan pada Gambar 2.

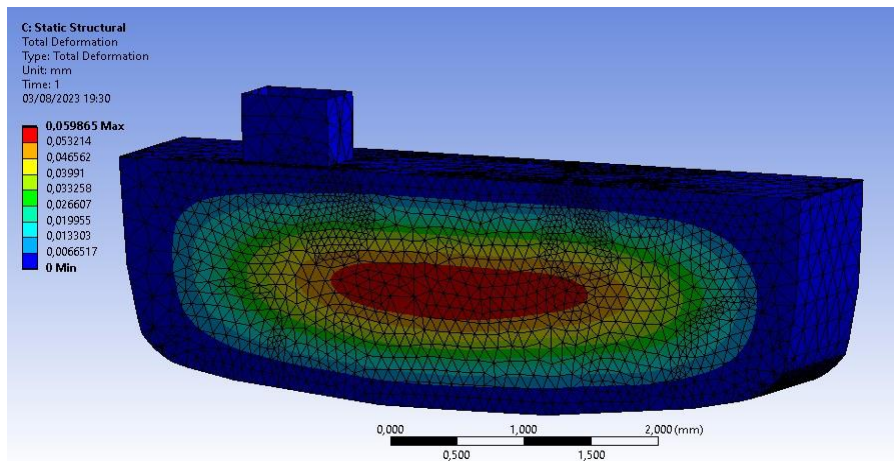


Gambar 2. Deformasi tangki dengan ketebalan pelat 7,5 mm

Deformasi tangki pada area lendutan terbesar, artinya deformasi maksimum memiliki deformasi maksimum pada tebal panel 7,5 mm adalah 0,166 mm yang terletak pada bagian tengah tangki, sementara deformasi minimumnya adalah 0 mm yang terjadi pada area sekitar *fixed support* berada.

c. Ketebalan pelat tangki anti-rolling 10 mm

Setelah dilakukan simulasi pada tangki dengan masing-masing nilai pembebanan (*hydrostatic pressure*) maka akan didapatkan hasil simulasi. Hasil simulasi ini berupa tegangan dan deformasi. Hasil simulasi tegangan dan deformasi tangki *anti-rolling*, tebal pelat 10 mm ditunjukkan pada Gambar 3.

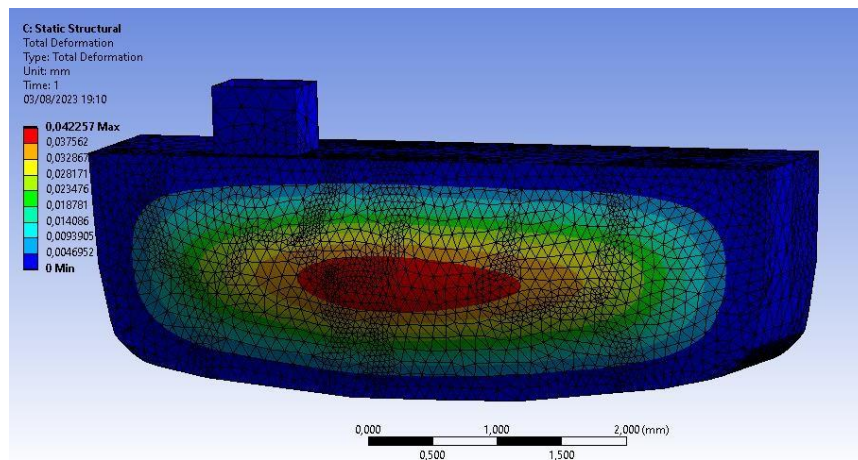


Gambar 3. Deformasi tangki dengan ketebalan pelat 10 mm

Nilai Deformasi tangki pada area lendutan terbesar atau deformasi maksimum pada tebal panel 10 mm adalah 0,060 mm yang terletak pada bagian tengah tangki, sementara deformasi minimumnya adalah 0 mm yang terjadi pada area sekitar *fixed support* berada.

d. Ketebalan pelat tangki anti-rolling 12,5 mm

Hasil simulasi tegangan dan deformasi tangki *anti-rolling*, tebal pelat 12,5 mm ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Deformasi tangki dengan ketebalan pelat 12,5 mm

Deformasi tangki maksimum pada tebal panel 12,5 mm adalah 0,042 mm yang terletak pada bagian tengah tangki.

Dari hasil simulasi tangki anti rolling dengan ketebalan 5 mm, 7,5 mm, 10 mm dan 12,5 mm diperoleh bahwa tangki dengan ketebalan 12,5 mm memiliki hasil terbaik, terlihat dari nilai deformasi total terkecil diperoleh pada ketebalan ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa dimungkinkan untuk kapal-kapal rakyat menggunakan peredam rolling ini, asalkan didesain kuat dan efisien dari segi pemakaian material pembuatnya. Ketebalan dinding tangki bermaterial FRP berpengaruh pada besar nilai deformasi yang terjadi. Penambahan nilai kekakuan seiring penambahan ketebalan material dinding tangki

mengakibatkan berkurangnya deformasi yang terjadi pada sistim. Secara teknis penambahan ketebalan berdampak baik pada bertambahnya kekuatan konstruksi dan memperbaiki stabilitas kapal, tetapi perlu dipertimbangkan berat kapal kosong yang akan bertambah pula dan berdampak pada berkurangnya muatan yang dapat diangkut oleh kapal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada kepala Laboratorium Struktur dan Kekuatan Kapal dan Kepala Laboratorium Hidrostatik Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Pattimura yang sudah memfasilitasi peneliti dalam melakukan simulasi dan olah data selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. Wiley.
- Cercos-Pita, J. L., Bulian, G., Pérez-Rojas, L., & Francescutto, A. (2016). Coupled simulation of nonlinear ship motions and a free surface tank. *Ocean Engineering*, *120*, 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.03.015>
- Chen, C., Liu, Y., Zhang, W., He, Y., & Tang, Y. (2023). Free roll decay simulation of a polar research vessel with an anti-roll tank based on CFD. *Ocean Engineering*, *285*, 115429. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115429>
- Das, A., Maity, D., & Kumar Bhattacharyya, S. (2022). Investigation on the efficiency of deep liquid tanks in controlling dynamic response of high-rise buildings: A computational framework. *Structures*, *37*, 1129–1141. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.077>
- Fomin, O., Lovska, A., Bohomia, V., & Berestovoi, I. (2022). Determination of dynamic loading of a tank wagon with malleable links between the pot and the frame. *Procedia Structural Integrity*, *36*, 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.030>
- George, A., & Cho, I.-H. (2021). Anti-slosh effect of a horizontal porous baffle in a swaying/rolling rectangular tank: Analytical and experimental approaches. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, *13*, 833–847. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2021.10.001>
- Lekatompessy, D. R. (2021). The effect analysis of the stiffness changes of a Traditional Fishing Boat Foundation on Vibration Amplitude. *TEKNIK*, *42*(1), 71–78. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i1.30978>
- Lekatompessy, D. R. (2023a). Analysis of rubber as reduction vibration material on FRP ship walls. *AIP Conference Proceedings*, *2588*(1), 040007. <https://doi.org/10.1063/5.0111899>
- Lekatompessy, D. R. (2023b). Local vibration reduction of machine support systems through transmissibility pattern analysis in resonant construction. *AIP Conference Proceedings*, *2588*(1), 040012. <https://doi.org/10.1063/5.0111908>
- Lin, J., Guo, C., Zhao, D., Han, Y., & Su, Y. (2022). Hydrodynamic simulation for evaluating Magnus anti-rolling devices with varying angles of attack. *Ocean Engineering*, *260*, 111949. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111949>
- Lin, J.-F., Han, Y., Su, Y.-M., Wang, Y., Zhang, Z.-T., & Jiang, R.-Q. (2021). Hydrodynamic performance of a Magnus anti-rolling device at zero and low ship speeds. *Ocean Engineering*, *229*, 109008. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109008>
- Lutfi, Y. M., Adiputra, R., Prabowo, A. R., Utsunomiya, T., Erwandi, E., & Muhayat, N. (2023). Assessment of the stiffened panel performance in the OTEC seawater tank design: Parametric study and sensitivity analysis. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, *13*(4), 100452. <https://doi.org/10.1016/j.taml.2023.100452>

- Peshkov, R., Varkentin, V., Ismagilov, D., & Mikhailov, E. (2023). Study of Strength Properties of the Designed Tank for Marine Transportation of Liquefied Natural Gas in the Arctic Conditions. *Transportation Research Procedia*, 68, 819–824. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.115>
- Siburian, Y. (2021). *Kajian Eksperimental Penggunaan Tangki Anti-Rolling Terhadap Periode Rolling Kapal Kayu* [Skripsi]. Pattimura.
- Tafsirojjaman, T., Ur Rahman Dogar, A., Liu, Y., Manalo, A., & Thambiratnam, D. P. (2022). Performance and design of steel structures reinforced with FRP composites: A state-of-the-art review. *Engineering Failure Analysis*, 138, 106371. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106371>
- Vizentin, G., & Vukelic, G. (2022). Marine environment induced failure of FRP composites used in maritime transport. *Engineering Failure Analysis*, 137, 106258. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106258>
- Zingoni, A. (2015). Liquid-containment shells of revolution: A review of recent studies on strength, stability and dynamics. *Thin-Walled Structures*, 87, 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2014.10.016>