

KAJIAN ANALISA TEORI PENGARUH BALLAST TERHADAP GERAKAN *PITCH* PADA KAPAL SELAM MINI 22M

Luhut Tumpal Parulian Sinaga

Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim-BPPT, Surabaya

Jl. Hidrodinamika, BPPT, Sukolilo (Kompleks ITS), 60112

E-mail : luhuttps@yahoo.com

ABSTRAK

Sistem ballast merupakan salah satu sistem yang sangat penting dalam kapal selam. Pada kapal konvensional penggunaan ballast memberikan fungsi untuk menjaga stabilitas kapal, sedangkan pada kapal selam sistem ballast memegang peranan penting selain menjaga stabilitas dalam proses olah gerak kapal juga berperan sangat vital dalam proses menyelam maupun mengapung. Studi ini menggunakan model teori analiti dimana kapal selam yang dianggap merupakan benda pejal dan model bergerak secara bebas kemudian dilakukan analisa gerak *pitching* akibat ketika melakukan penyelaman. *Floating Body Mechanism* merupakan pengembangan gaya dasar berdasarkan teori dasar gaya. Pada kasus ini, kapal selam akan diberikan ballas sebesar 30% pada tangki balast. Makalah ini menjelaskan sebuah studi tentang teoritis dan pemodelan Analitik dalam CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Gerakan *Response Amplitude Operator* (RAO) *pitch* adalah sebesar $7,3^{\circ}/m$. Secara umum, kedua metode (model analitik dan model CFD) menunjukkan adanya tren yang sama, terutama dalam tren RAO yang konsisten.

Kata kunci: *sloshing, floating body mechanism, kapal selam, RAO, pitch*

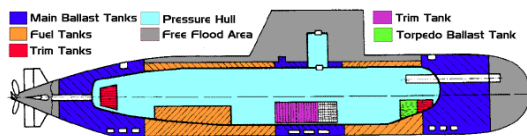
ABSTRACT

The ballast system is one of the most important systems in the submarine. In conventional vessels ballast use provides a function to maintain the stability of the ship, while the submarine ballast system useful to maintaining stability in the process of ship motion also helpful a vital role in the process of diving and floating. This study considers the analytic theoretical model. The Submarine was considered to be rigid body are free sailing model with various angle of attack to be quick dive as pitching motion. By using Floating Body Mechanism supported by analytic model to describe the theoretical model analisis test. For the case of fluid level on 30% of the front balast tank and various angle of pitch. The paper describes a study on Analytic theoretical and modeling in CFD (Computational Fluid Dynamics). For Analyzing at special care of sloshing on free surce ballast tank after peak and fore peak were taken into consideration. Optional Response Amplitude Operator (RAO) of pitch is $7.3^{\circ}/m$ of In general, both methods (analytic model and CFD model) demonstrated such a good agreement, particularly in the consistent trend of RAO.

Keywords: *sloshing, floating body mechanism, submarine, RAO, pitch.*

1. PENDAHULUAN

Sistem Ballast adalah salah satu system untuk menjaga keseimbangan posisi kapal. Sistem ini ditujukan untuk menyesuaikan derajat kemiringan dan draft kapal, sebagai akibat dari perubahan muatan kapal sehingga stabilitas kapal dapat dipertahankan. Pipa pipa balas ini dipasang di tangki ceruk depan dan tangki ceruk belakang (after and fore peak tank).



Gambar 1. Lay out Kapal Selam

Pada Gambar 1 diperlihatkan *lay out* kapal selam. Ballas yang ditempatkan di *after feak tank and fore peak tank* ini untuk menjaga kondisi trim kapal yang dikehendaki. Tangki ballast diisi dan dikosongkan dengan saluran pipa yang sama, jika *stop valve* dipasang pada system ini. Jumlah berat ballast yang dibutuhkan untuk kapal rata-rata 10% sampai 20% dari *displacement* kapal.

Keperluan sistem ballast dari kapal selam mini 22 m adalah dengan sistem pipa untuk memindahkan air dari cek haluan ke ceruk belakang atau sebaliknya. Sistem pipa ballas harus bisa memenuhi syarat untuk menyediakan pengisian air ballas. Hubungan antara ceruk dan saluran pipa ballas harus dengan katup tolak balik (*non return valve*).

Indonesia merupakan negara kelautan yang dikelilingi pulau - pulau sejumlah 17. 504 buah, terdiri dari pulau - pulau besar dan pulau - pulau kecil yang merupakan gugusan kepulauan dalam wilayah kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI). Pada tahun 2008 pemerintah kembali menegaskan komitmennya untuk membangun kekuatan pertahanan Negara dengan memasukan istilah kekuatan pokok minimum (*Minimum Essential Forces*) dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia No.7/2008 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara.

Point 9 dalam Perpres tersebut yang membahas mengenai kebijakan pembangunan pertahanan nasional menyebutkan bahwa : “Pembangunan Komponen Utama didasarkan pada konsep Pertahanan Berbasis Kemampuan (Capability-based defence) tanpa

mengesampingkan kemungkinan ancaman yang dihadapi serta tahap mempertimbangkan kecenderungan perkembangan lingkungan strategik. Pelaksanaannya diarahkan kepada tercapainya kekuatan pokok minimum (*Minimum Essential Force*), yakni tingkat kekuatan yang mampu menjamin kepentingan strategis pertahanan yang mendesak, Pengadaan Alat Utama Sistem Senjata (Alutsista) dan peralatan lain diprioritaskan untuk menambah kekuatan pokok minimal dan/atau mengganti Alutsista/alat peralatan yang sudah tidak layak pakai”

Saat ini TNI AL memiliki kekuatan dua armada tempur yaitu armada barat dan timur dengan alutsista utama 154 KRI, 209 KAL, dan dua divisi Marinir. Salah satu kekuatan yang disiapkan adalah armada kapal selam.

Pembaharuan Peralatan Alutsista yang tidak diiringi dengan transfer teknologi akan menimbulkan ketergantungan terhadap pihak lain, sehingga perlu adanya transfer teknologi dari pihak produsen untuk keberlangsungan operasioanal dan perawatan kapal. Selain itu, perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam dan komprehensif untuk memperoleh kemandirian teknologi bidang militer (Pertahanan dan Keamanan).

Kajian dan analisa sistem ballast disesuaikan dengan kebutuhan kapal selam mini 22 m untuk TNI. Salah satu hal yang menjadi fokus kajian sistem ballat adalah adanya efek permukaan bebas pada tangki ballast. Efek permukaan bebas sangat berpengaruh terhadap pola gerakan kapal sehingga efektifitas kinerja crew kapal selam juga akan terpengaruh. Selain itu pengaturan balast bergantung pada displacement kapal dan kecepatan penyelaman kapal yang diinginkan.

Journee (1997) melakukan penelitian tentang pengaruh permukaan bebas pada muatan cair terhadap gerakan kapal. Apabila tangki muat berisi muatan fluida yang terjadi adalah akan menimbulkan gaya permukaan bebas yang akan berakibat pada gerakan osilasi heave dan pitch resonansi dan frekuensi akan terjadi saat amplitudo gelombang yang tinggi pada sarat air yang rendah.

Fenomena ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Verhagen and van Wijngaarden (1965) pada “*shock wave in a gas flow*” yang diadopsi dan digunakan pada persamaan gerakan kapal pada frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Pada penelitian ini

diamati hubungan ketinggian permukaan fluida dalam tangki dengan gerakan kapal terutama gerakan roling dan divalidasi dengan perhitungan numerik 2D perhitungan potensial. Fujino dkk (2005), Reed dkk (1998) melakukan penelitian dan pengujian numerik pengamatan non linier sloshing flow pada kapal dan kopel efek terhadap gerakan kapal.

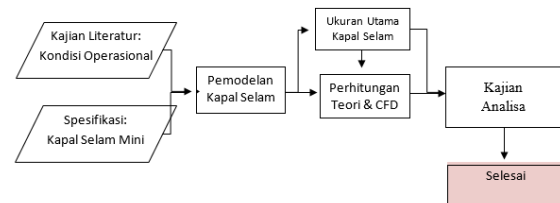
Dari kebutuhan ballast yang ada akan direncanakan pembagian kapasitas dari setiap tangki serta sistem pengisian dan pengosongannya. Untuk pengisian tangki dilakukan dengan sistem port, sedangkan untuk pengosongan tangki dilakukan dengan sistem udara tekanan tinggi. Pompa hanya digunakan untuk pengisian tangki trim sistem. Kapasitas port dan udara tekanan tinggi akan menentukan kecepatan pengisian maupun pengosongan tangki yang akan mempengaruhi kecepatan kapal saat proses menyelam maupun mengapung.

Untuk menentukan pola kocakan air permukaan bebas pada *main ballast* dan pola gerakan kapal akibat *couple motion pitch* dilakukan dengan pengujian di Laboratorium. Melalui Pengujian akan dapat diketahui dengan cukup akurat gerakan kapal selam akibat kocakan air di tangki ballas. Kemudian hasil pengujian akan dilakukan running software untuk menguatkan data pengujian. Pada running software CFD akan dapat dengan jelas diketahui bentuk pola aliran dan tekanan kapal selam serta kocakan air yang terjadi pada permukaan bebas di tanki balas. Melalui kajian ini diperoleh sudut selam optimal untuk mendukung kinerja awak kapal secara efektif dalam menjalankan tugas kemiliteran. Dan pada akhirnya tugas-tugas kemiliteran dapat berjalan secara efektif dan efisien dalam rangka menjaga Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI).

2. METODOLOGI

Metode optimasi untuk analisa gerakan kapal selam maka akan didapatkan pengoperasian yang optimal baik ketika melakukan penyelaman (*dive*) maupun muncul kepermukaan (*rise*). Hal ini dilakukan penelitian yang komprehensif dengan menggunakan pengujian di Laboratorium. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penelitian ini. Alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil didapatkan akan dipublikasikan sebagai database penelitian untuk dilakukan dasar penelitian selanjutnya. Selain itu, hasil kajian dapat dijadikan dasar atau pedoman dalam pengoperasian kapal selam.

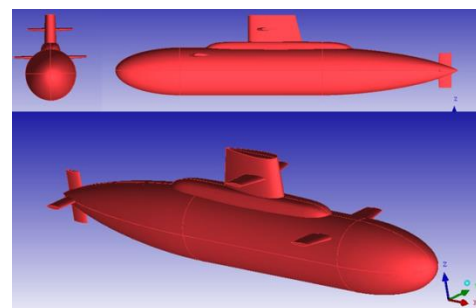


Gambar 2. Alur Penelitian Kapal Selam Mini 22 m

Model Kapal Selam diproduksi sesuai dengan skala 1 sampai 31.43. Model Kapal Selam terbuat dari fiber. Model harus seimbang secara statis dan dinamis untuk menyesuaikan posisi pusat gravitasi dan radius putaran. Model ukuran utama kapal selam dengan skala 1 sampai 31.43 ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3. Selanjutnya Pengujian kapal selam dilakukan dengan kondisi arah gelombang 5^0 , 10^0 dan 15^0 pada ketinggian gelombang seastate 3.

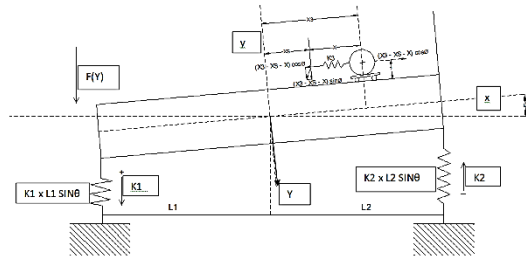
Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Selam Mini 22m

Dimension	SHIP (m)	MODEL (mm)
LOA	22.00	700.00
B Total	4.29	136.30
D Total	5.13	163.30
T	2.60	82.70
dim. Press Hull	3.00	95.50



Gambar 3. Kapal Selam Mini 22 m

Komponen gerakan Kapal Selam berupa *heave* dan *pitch* dapat di ketahui dengan program analitik (MATLAB), khususnya untuk model tabung (Kareem ahsan, 1990), yang ditunjukkan oleh *floating body mechanism* pada gambar 4.



Gambar 4. Model matematis gerakan *heaving* dan *pitching*

Pada sistem model *heaving* dan *pitching* menggunakan 2 derajat kebebasan yaitu massa balok atau kapal selam di ibaratkan sebagai massa (M) kapal dan massa fluida dalam tangki ballast diibaratkan sebagai (m) dan 2 (dua) spring of stiffness berupa k_1 dan k_2 untuk gerakan *heaving* dan *pitching*. Massa fluida di dalam tangki ballast ruang muat di ibaratkan massa (m) dalam kereta tanpa hambatan yang bergerak translasi dan 1(satu) spring of stiffness k_3 hal ini juga menyebabkan gerakan kopel terhadap model. Apabila model tersebut diatas mendapat beban (Fy) karena pengaruh energy gelombang yang diterima model maka model akan melakukan gerakan (fibrasi) vertical dan translasi.

Dengan adanya gaya dari luar sehingga kordinat Spring k_1 terhadap titik keseimbangan (titik berat) di indikasikan l_1 dan untuk spring k_2 terhadap titik berat di indikasikan l_2 . Dengan persamaan: $\sum F = m \times a$. dan gaya kopel dapat disimpulkan sebagai berikut: adalah

$$k_1 \times l_1 - k_2 \times l_2 = 0$$

$$\text{Maka : } k_1 \times l_1 = k_2 \times l_2$$

Untuk gerakan fluida dalam tangki dimodel sebagai bandul diatas kereta tanpa hambatan mempunyai besar stiffness yang diakibatkan oleh massa yang bergerak translasi k_3 adalah sebesar $(x_3 - x_s - x) \sin \theta = (x_3 - x_s - x) \cos \theta$

Gerakan translasi dari massa fluida (m) akan juga berpengaruh pada gerakan kopel *heaving* dan *pitching*. Besarnya gaya vertical yang diterima oleh spiral pada sudut θ adalah;

$$k_1 x l_1 x \theta = F_1 \text{ mempunyai arah positif (tertekan)} \quad (3.1)$$

tumpuan kedua bergerak tertarik ke atas (negative) dengan sudut sebesar θ maka gaya yang spiral yang dialami adalah:

$$k_2 x l_2 x \theta = F_2 \text{ mempunyai arah negatif (tertarik)} \quad (3.2)$$

Untuk massa yang bergerak dalam ballast akan menimbulkan gaya yang arahnya vertical dan horizontal di sebut F_3 dan F_4 dengan sudut θ .

Adapun besarnya adalah:

$$\text{Horizontal: } (x_3 - x_s - x) \times \cos \theta = F_3 \quad (3.3)$$

$$\text{Vertical : } (x_3 - x_s - x) \times \sin \theta = F_4 \quad (3.4)$$

Sehingga persamaan gerakan (motion) balok dan Moment yang ditimbulkan karena mendapat gaya dari luar sebesar (Fy) sebagai berikut.

Untuk Gerakan balok adalah:

$$M\ddot{Y} = k_1 \times (y - l_1 \cdot \theta) - k_2 \times (y + l_2 \cdot \theta) - k_3 \times (x_3 - x_s - x) \cdot \sin \theta \quad (3.5)$$

$$M\ddot{Y} = -y(k_1 + k_2) + (k_1 \cdot l_1 - k_2 \cdot l_2) \cdot \theta - k_3(x_3 - x_s - x) \cdot \sin \theta \quad (3.6)$$

Sehingga persamaan tersebut dalam persamaan *free motion undamped* Sbb:

Gaya reaksi dari kapal selam dan fluida dalam tangki

$$M\ddot{Y} + y(k_1 + k_2) + (k_1 \cdot l_1 - k_2 \cdot l_2) \cdot \theta - k_3(x_3 - x_s - x) \times \sin \theta = 0 \quad (3.7)$$

$$m\ddot{Y} + y(k_1 + k_2) + (k_1 \cdot l_1 - k_2 \cdot l_2) \cdot \theta - k_3(x_3 - x_s - x) \times \cos \theta = 0 \quad (3.8)$$

Dimana ;

M adalah displasment kapal

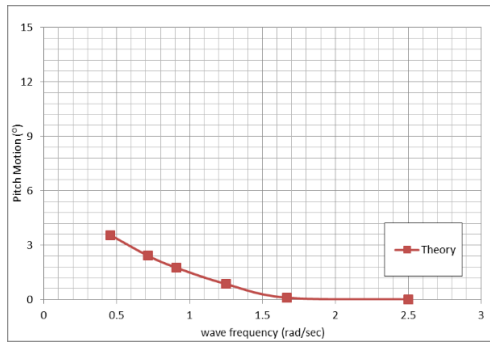
m adalah massa air dalam tangki fluida

$M\ddot{Y}$ adalah F_y adalah gaya eksternal akibat energigelombang

$m\ddot{Y}$ adalah gaya akibat sloshing θ adalah sudut kemiringan arah gelombang datang

3. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan dengan berdasarkan teori ditunjukkan pada gambar 5. terjadi gerakan pitch yang cukup besar pada kapal selam pada wave frekuensi sebesar 0,47 yaitu sebesar $3,4^0$

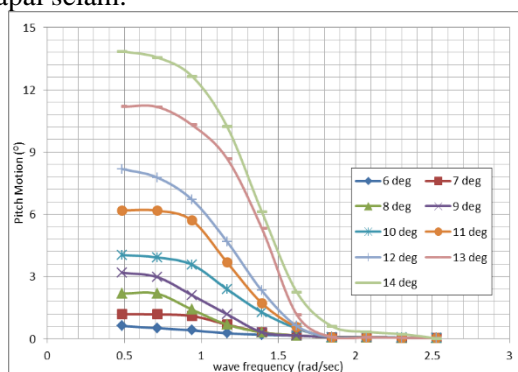


Gambar 5 Gerakan pitch dengan Teori

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dimana metode ini menggunakan persamaan Navier-Stokes yang digabungkan dan metode *six-degree-of-freedom*. Perhitungan numerik dapat memprediksi secara akurat terkait aliran dan kondisi *sloshing* di dalam tangki ballast

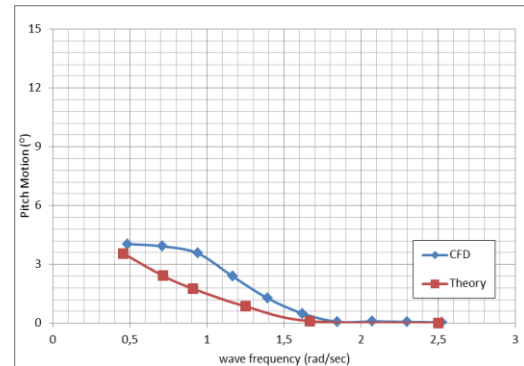
Perhitungan CFD yang dilakukan terhadap kapal selam berupa free running, dimana kapal selam dijalan pada kecepatan dinas sebesar 8 knots dan diberikan pembebanan gelombang dengan sudut selam 6-13 derajat. Hasil perhitungan CFD ditunjukkan pada gambar 6.

Pada gambar 6, menunjukkan adanya peningkatan gerakan akibat adanya perubahan sudut uji. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh sloshing akibat adanya permukaan bebas pada tangki ballast kapal selam. Pengaruh yang cukup besar dapat mengganggu operasional kapal selam.



Gambar 6 gerakan Pitch dengan Variasi pada CFD

Gerakan pitch yang efektif adalah tidak lebih dari 4^0 . Artinya kapal akan memperoleh gerakan yang efektif jika pitch kurang dari 4^0 . Dalam perhitungan CFD, gerakan *pitch* efektif pada sudut selam sebesar 12^0 , dimana gerakan pitch adalah sebesar 3.8^0



Gambar 7. Perbandingan Gerakan Pitch pada sudut 10^0

Selanjutnya pada perbandingan perhitungan secara teori maupun CFD menunjukkan tren yang sama yang ditunjukkan pada gambar 7.

Pendekatan yang dilakukan berdasarkan teori menunjukkan hasil yang lebih kecil daripada CFD hal ini dikarenakan adanya beberapa nilai yang sifatnya asumsi.

4. KESIMPULAN

1. Gerakan dominan Kapal Selam Mini 22 m untuk arah gelombang depan (head sea) Pitch.
2. Untuk gerakan Kapal Selam Mini 22 m yang lain seperti: Sway, Roll, dan Yaw memiliki gerakan yang relatif kecil Hal tersebut dimungkinkan karena arah gelombang (head sea).
3. Perhitungan secara teori maupun CFD memiliki tren yang sama. Perbedaan yang terjadi dikarenakan adanya *add mass* dan gaya *spring* yang memiliki nilai yang berbeda. Oleh karena perlu kajian lebih lanjut terhadap perbedaan yang terjadi.
4. Pada sudut selam 12^0 kapal selam memiliki gerakan pitch efektif yaitu sebesar $3,8^0$ sedangkan pada sudut lebih besar 12^0 kapal selam memiliki gerakan yang tidak efektif. Hal ini disebabkan pada kondisi

gerakan pitch lebih dari 4⁰ akan mengganggu operasional kapal selam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.K.Burcher and L.J Rydill. 1995. Concepts in submarine design. Cambridge University Press, 1995
- [2] Conte G. & Serrani A. 1996. Modelling and simulation of underwater vehicles. Proceedings of the 1996 IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design, pp. 62-67, Dearborn, Michigan, September 1996.
- [3] Rognebakke, O.F, Faltinsen, O.M. 2003. Coupling of sloshing and ship motions. *Jour Ship Research* 47, 208-221.
- [4] Journée, J., M., J. 1997. "Liquid Cargo and Its Effect on Ship Motion". STAB'97 (Six International Conference on Stability of Ships and Ocean Structures) page 137-150. Varna-Bulgaria, September 22-27, 1997
- [5] Xiong Xianwei, Wei Zhuobin, Xiang Chengan. Practical Stability of Submarine Motion under Sloshing Impacts[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science)*, 2012, 31(3): 493-496.
- [6] Faltinsen O M, Rognebakke O F, Timokha A N. 2005. Resonant three-dimensional nonlinear sloshing in a square-base basin. Part 2: Effect of higher modes[J]. *Journal of Fluid Mechanics*, 2005, 23 (5): 199-218
- [7] Lewis E.V (ed.), 1988 "Principles of Naval Architecture", Second Revision. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), Jersey City
- [8] JP Feldman. 1975. State-of-the-art for predicting the hydrodynamic characteristics of submarines. In Proceedings of the Symposium on Control Theory and Naval Applications, pages 87-127, 1975
- [9] E.D. Hoyt and F.H. Imlay, 1948. 'The Influence of Metacentric Stability on the Dynamic Longitudinal Stability of a Submarine', David W. Taylor Model Basin Report C-158, October 1948
- [10] A.B. Phillips, S.R. Turnock, M. Furlong, 2010. 'Influence of Turbulence Closure Models on the Vortical Flow Field Around a Submarine Body Undergoing Steady Drift', *Journal of Marine Science and Technology*, 15 (3) (2010), pp. 201–217.
- [11] Hermanski, G., 2007 "Victoria Class Submarine: 2D Investigation of Free Flow Phenomenon". National Research Council of Canada – Institute of Ocean Technology Report TR-2007-12, April 2007.
- [12] S.L. Toxopeus, P. Atsavapranee, E. Wolf, S. Daum, R. Pattenden, R. Widjaja, J.T. Zhang, and A.G. Gerber, 2012. 'Collaborative CFD Exercise for a Submarine in a Steady Turn', In ASME 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, number OMAE2012-83573, Rio de Janeiro, Brazil, July 2012