

Pengaruh Penggunaan Vertical Missile Terhadap Stabilitas dan Distribusi Tekanan Dalam Perencanaan Kapal Selam

Arifin*¹

¹Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim – BPPT
Kampus ITS Keputih, Sukolilo - Surabaya 60112

*Email: arifinsah03@gmail.com

Abstrak

Semakin meningkatnya gangguan keamanan menuntut ketersediaan sarana pendukung keamanan berupa kapal selam. Hingga saat ini jumlah armada kapal selam serta kinerja yang dimiliki masih sangat terbatas. Sehingga perlu adanya inovasi desain guna menambah dan meningkatkan kinerja armada kapal tersebut. Kapal selam pada umumnya diperlengkapi dengan persenjataan berupa torpedo yang bergerak pada arah horisontal, akan tetapi dengan mempertimbangkan arah target sasaran sehingga menuntut ketersediaan missile (rudal) yang peluncurannya dilakukan pada arah vertikal. Namun hal ini akan menimbulkan permasalahan lain dalam perencanaan kapal selam terutama dalam hal terjadinya perubahan stabilitas serta perubahan distribusi tekanan pada hull kapal selam akibat peluncuran rudal, yang bisa mengakibatkan masalah pada keselamatan operasional kapal selam. Dengan metode Computational Fluid Dynamic, beberapa variasi jarak missile, tekanan ledakan dan kecepatan aliran fluida dilakukan untuk mendapatkan perubahan distribusi tekanan di permukaan kapal selam terutama pada saat rudal diluncurkan. Dari kajian ini diketahui bahwa semakin besar jarak missile tekanan yang terjadi makin kecil. Adapun semakin besar kecepatan kapal selam saat peluncuran missile maka tekanan cenderung semakin kecil.

Abstract

An Effect of Some Parameter to a Pressure Distribution on the Design of Submarine with Vertical Missile. The vertical ballistic submarine type addresses the need to provide a sea-based ballistic missile defense launch capability to guard against rogue and hostile nation missile attack. A broad review of the existing literature indicates that little work has been published to date on the effects of ballistic missile on submarine surface pressure distribution which directly correlate to his structure strength. Furthermore, there is little or no experimental data available describing the vertical force and moment that act on a shallowly submerged body moving beneath the free-surface as meanwhile launch ballistic missile. A numerical study of an launching effects of vertical missile to pressure distribution near the submarine surface was carried out. Some significant variables which affect to pressure distribution are selected and applied to numerical simulation. These variables consist of a distance of missile to submarine, pressure rate variation, and submarine speed or current speed. Based on the numerical results that has been done, it was obtained a significant pressure alteration compared to previously submarine design. It was concluded that a more distance of missile, the occurred pressure become smaller. A higher submarine velocity or current speed, the pressure tends to become smaller.

Kata kunci: Vertical missile, stabilitas, distribusi tekanan, pendekatan numerik

I. Pendahuluan

Di tahun 1700 hingga 1800 an, kapal selam mengalami perkembangan terutama dalam hal ukurannya, akan tetapi tenaga penggerakannya masih tetap seperti sebelumnya, dengan daya ledak senjata yang tidak efektif. Pada pertengahan tahun 1800 an, desain kapal selam sudah mulai dilengkapi dengan periskop yang memungkinkan untuk melihat kondisi di permukaan air. Pada Perang Dunia I (1914-1918) sebagian besar negara sudah memiliki armada kapal selam generasi

pertama yang menggunakan mesin yang menggunakan sumber daya diesel dan listrik. Pada Perang Dunia II, terjadi perubahan desain kapal selam terutama pada sistem permesinan dan jarak jelajah. Penggunaan tenaga nuklir sebagai bahan bakar kapal selam terjadi pada tahun 1954, sehingga jarak jelajah kapal selam semakin jauh. Hal ini disebabkan penggunaan nuklir pada proses pembakarannya yang tidak memerlukan oksigen, sehingga kapal selam tidak perlu muncul ke permukaan air.



Perkembangan perencanaan kapal selam dari waktu ke waktu tersebut di atas tidaklah terlepas dari perkembangan metode-metode perencanaan yang semakin kompleks. Telah diketahui bahwa pendekatan umum perencanaan produk-produk enjiniring yang canggih adalah penerapan *metode konvergensi*. Dasar utama metode ini adalah adanya kenyataan bahwa tidaklah mungkin pencapaian suatu target produk dilakukan dalam satu tahapan saja, sehingga perlu beberapa tahapan proses [1].

Prinsip dasar keberhasilan dalam suatu perencanaan adalah tidak adanya fitur tertentu yang dapat dipertimbangkan secara terpisah, akan tetapi harus dipertimbangkan dalam interaksinya dengan fitur perencanaan yang lain. Seorang arsitek yang kehilangan kontrol salah satu fitur, hal ini akan menyebabkan penyimpangan terhadap keluaran yang diharapkan [2].

Burcher dan Rydill [3] menyatakan bahwa gambaran interaksi tiap fitur dalam perencanaan, mirip seperti komponen puzzle berbentuk gergaji yang saling berinteraksi agar memperoleh gambaran yang utuh. Bila salah satu komponen puzzle diubah, maka komponen puzzle di sebelahnya harus juga diubah sehingga diperoleh gambaran puzzle yang utuh kembali. Demikian halnya dengan perubahan fitur dalam perencanaan kapal selam.

Beberapa gambaran tugas operasional yang bisa dilakukan oleh kapal selam diantaranya sebagai berikut [4]:

- Survey akustik, visual dan elektronik
- Mendukung kegiatan mata-mata (inteljen) angkatan laut
- Penembakan ke wilayah daratan
- Peletakan ranjau
- Anti persenjataan kapal selam musuh

Perencana Rusia [5] mencatat beberapa prioritas perencanaan kapal selam di masa mendatang, diantaranya adalah:

- Kerahasiaan, yang meliputi mengurangi efek magnetik, listrik, panas, frekuensi radio maupun efek hidrodinamika yang tidak terdeteksi.
- Persenjataan untuk penyerangan ataupun pertahanan

- Peningkatan kualitas manuver dan propulsi
- Umur pakai
- Biaya

Winkler [6] menyatakan beberapa kemajuan yang terjadi pada perencanaan kapal selam semenjak kapal selam Tipe 21, seperti:

- Kedalaman penyelaman hingga 2-3 kali lebih besar
- Kecepatan jelajah yang lebih besar yang didukung oleh perencanaan hull serta motor listrik yang lebih baik.
- Jarak jelajah penyelaman yang lebih jauh.
- Semakin kecilnya waktu untuk proses snorkelling dan penyelaman.
- Perbaikan dalam hal persenjataan
- Peningkatan keselamatan awak seiring dengan meningkatnya konsep penyelamatan.

Berdasarkan kondisi keamanan wilayah perairan Indonesia serta memperhatikan kemajuan perencanaan kapal selam saat ini, maka kebutuhan akan kapal selam yang dilengkapi dengan persenjataan rudal vertikal mutlak diperlukan. Oleh karenanya, untuk pemenuhan kebutuhan kapal selam yang dilengkapi persenjataan rudal arah vertikal, perlu adanya modifikasi perencanaan kapal selam akibat adanya perbedaan distribusi komponen berat kapal selam serta perubahan distribusi tekanan di permukaan kapal selam terutama pada saat rudal diluncurkan. Secara umum dinyatakan bahwa tekanan maksimum yang terjadi di permukaan kapal selam tidak boleh melebihi batas elastis material struktur kapal selam.

Metode pendekatan numerik dengan teknik Computational Fluid Dynamic dilakukan dengan menggunakan software ANSYS untuk mensimulasikan perubahan distribusi tekanan pada permukaan kapal selam terutama saat dilakukan peluncuran rudal dalam arah vertikal.

II. Teori Dasar

1. Hidrostatik

Seperti halnya pada kapal permukaan/konvensional, kapal selam juga mengikuti Hukum Archimedes. Dengan demikian kapal selam akan mengalami gaya apung yang sama besar dengan



berat fluida yang dipindahkan. Ketika berada di permukaan atau di titik netral maka gaya apung kapal selam akan sama besar dengan berat kapal selam.

Suatu kapal permukaan akan secara otomatis menjaga posisi keseimbangannya statisnya melalui perubahan sarat dan gaya apung cadangan dari bagian kapal yang berada di atas permukaan air. Dengan adanya perubahan sarat maka volume kapal selam akan berubah sesuai dengan displacementnya yang disebabkan oleh adanya perpindahan atau penambahan berat, perubahan kerapatan massa air atau adanya gelombang yang lewat sehingga menimbulkan gaya apung yang berlebihan.

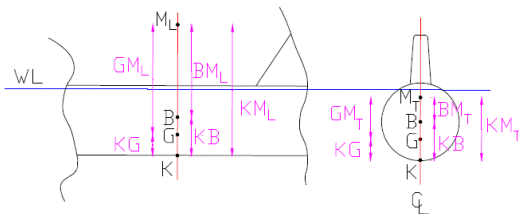
Kemiringan (trim) adalah sangat sensitif di kapal selam ketika menyelam terutama akibat ketidakseimbangan garis air. Jarak metasenter dari alas kapal dapat ditentukan dengan menjumlahkan harga BM dengan KB. Cara ini dapat juga diterapkan untuk menentukan harga KM arah memanjang maupun melintang.

Harga BM_L jauh lebih besar dibandingkan harga BM_T karena kapal cenderung lebih panjang dibandingkan lebarnya sehingga luasan momennya arah memanjang jauh lebih besar dibandingkan arah melintangnya.

$$\overline{BM}_L = \frac{I_L}{\nabla_s} \qquad \overline{BM}_T = \frac{I_T}{\nabla_s} \qquad (1)$$

$\rightarrow I_L \gg I_T$

Formulasi di atas selain berlaku untuk kapal-kapal permukaan, juga berlaku bagi kapal selam sebagaimana diilustrasikan pada gambar 1 berikut



Gambar 1. Posisi K, B, G dan M saat di permukaan

Sebagai penjelasan, posisi M_T berada di atas titik B dan dalam prakteknya jarak kedua titik tersebut sangat dekat terutama pada saat berada di permukaan. Pada saat kapal menyelam maka garis air secara perlahan akan menghilang. Dengan tidak adanya garis

air maka momen pengembali pengaruh adanya garis air juga tidak ada, begitu juga jari-jari metasenter. Sehingga pusat titik apung dan metasenter akan berada di titik pusat volume yaitu setengah diameter lambung kapal selam.

$$\overline{GM}_L = \overline{KB} + \overline{BM}_L - \overline{KG}$$

$$\overline{GM}_T = \overline{KB} + \overline{BM}_T - \overline{KG} \qquad (2)$$

Ketika garis air menghilang maka

$$I_L = I_T = 0 \text{ sehingga } BM_L = BM_T$$

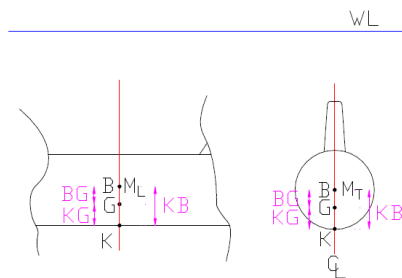
$$\overline{GM}_L = \overline{KB} - \overline{KG}$$

$$\overline{GM}_T = \overline{KB} - \overline{KG} \qquad (3)$$

Sehingga

$$\overline{GM}_L = \overline{GM}_T \qquad (4)$$

Hal yang sebenarnya terjadi adalah ketika kapal selam mulai menyelam maka titik B akan bergerak naik secara perlahan akibat penambahan volume dan titik M bergerak turun secara perlahan. Pada kondisi kapal selam terbenam sepenuhnya maka posisi titik-titik B, M_T , dan M_L saling berhimpit, sebagaimana diperlihatkan oleh gambar 2 berikut.



Gambar 2. Posisi K, B, G dan M saat kapal menyelam

2. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah tool berbasis komputer untuk mensimulasikan perilaku suatu sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan proses fisik lainnya. Cara kerjanya dengan dengan memecahkan persamaan-persamaan aliran fluida (dalam bentuk tertentu) meliputi suatu daerah yang diinginkan, dengan kondisi pada batas-batas daerah tersebut adalah spesifik dan diketahui.

Satu set persamaan yang menggambarkan proses-proses momentum, transfer massa dan transfer panas dikenal dengan persamaan Navier



Stokes. Persamaan ini berupa persamaan differensial dan diturunkan pada awal abad ke-19. Solusi analitik umum dari persamaan ini tidak diketahui namun persamaan ini dapat didiskritkan dan dipecahkan secara numerik.

Ada beberapa metode solusi yang digunakan untuk kode CFD. Metode solusi yang paling banyak digunakan untuk ANSYS CFX adalah teknik pendiskritan volume hingga (finite volume). Dalam teknik ini daerah analisis dibagi dalam beberapa sub daerah yang disebut volume atur (control volume). Persamaan atur lalu didiskritkan dan dipecahkan secara iteratif untuk setiap volume atur. Hasilnya adalah pendekatan dari nilai setiap variabel pada titik tertentu dalam domain. Dengan cara ini didapatkan gambaran penuh perilaku aliran yang diinginkan.

Perangkat lunak CFD yang digunakan adalah ANSYS CFX. Terdapat satu set persamaan yang dipecahkan oleh ANSYS CFX yaitu persamaan Unsteady Navier Stokes dalam bentuk konservasi.

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \tag{5}$$

Persamaan momentum

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = \nabla \cdot (-\rho \delta + \mu(\nabla U + (\nabla U)^T)) + S_M \tag{6}$$

Persamaan energi

$$\frac{\partial \rho h_{tot}}{\partial t} - \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{tot}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + S_R \tag{7}$$

Bila kerja viskous tidak dapat diabaikan maka persamaan ditambahkan di sisi kanan persamaan energi di atas sehingga memperhitungkan efek dari viskous shear. Sehingga persamaan energi menjadi:

$$\frac{\partial \rho h_{tot}}{\partial t} - \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{tot}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (\mu \nabla U + \nabla U^T) - \frac{2}{3\nu} \cdot U \delta U + S_R \tag{8}$$

Dari persamaan (8) di atas dapat diketahui bahwa ada 7 variabel yang tidak diketahui yaitu u, v, w, P, T, ρ, h . Namun, satu set persamaan di atas dapat dilengkapi dengan 2 persamaan aljabar termodinamika yaitu Equation of State yang menghubungkan massa jenis dengan tekanan dan temperatur. Persamaan lain adalah Constitutive

Equation yang menghubungkan enthalpi dengan temperatur dan tekanan.

Apabila kontribusi energi terhadap energi total dapat diabaikan maka persamaan energi dapat disederhanakan menjadi Thermal Energy Equation:

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + S_R \tag{9}$$

Solver di ANSYS CFX menghitung tekanan dan enthalpi statik.

III. Simulasi Numerik

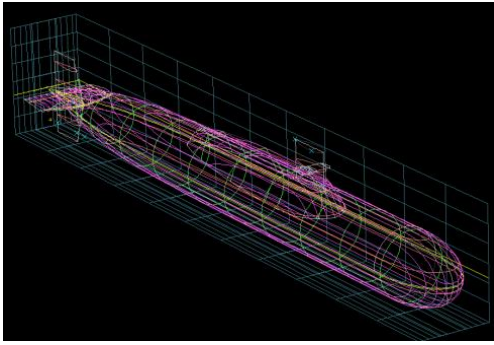
1. Data Kapal Selam

Kapal selam yang diteliti merupakan pengembangan dari kapal selam Class 209 yang sedang memasuki pada tahapan fabrikasi saat ini. Berdasarkan analisa yang dilakukan, telah diperoleh satu rancangan kapal selam yang diberi nama Kapal Selam Balistik Missile (KSBM) yang memiliki ukuran utama sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1 dan rencana garis air sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3 sebagai berikut.

Tabel 1. Ukuran utama kapal selam

Displacement	756.3	tonne
Volume	7.37857E+11	mm ³
Draft to Baseline	3000	mm
Immersed depth	3798	mm
Lwl	64890.3	mm
Beam wl	7070	mm
WSA	591214353.4	mm ²
Waterplane area	354879414.1	mm ²
Cp	0.785	
Cb	0.423	
Cm	0.779	
LCB	36818	mm
KB	1796.3	mm
GMt	3190	mm

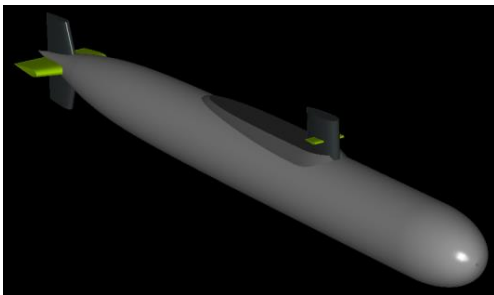




Gambar 3. Rencana garis air KSBM

3. Pemodelan

Perhitungan numerik untuk menentukan perubahan distribusi tekanan di sekitar posisi vertical missile dilakukan dengan menggunakan software ANSYS. Akan tetapi sebelum dilakukan perhitungan numerik, maka kapal selam perlu dimodelkan terlebih dahulu dalam bentuk 3 dimensi. Model kapal selam dalam 3 dimensi yang dihasilkan dengan menggunakan program SOLID ditampilkan pada gambar 4 berikut.

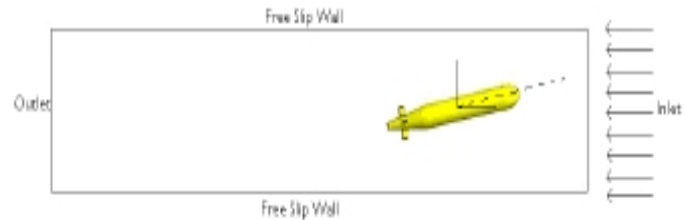


Gambar 4. Visualisasi kapal selam 3-D

4. Kondisi Batas

Domain fluida didefinisikan sebagai suatu kotak dalam suatu ruangan. Suatu kondisi batas yang dinamakan sebagai inlet ditempatkan pada 0.5 panjang benda searah dengan arah aliran dengan kecepatan 1 m/s dengan intensitas turbulensi 5%. Suatu kondisi batas yang dinamakan dengan outlet dengan tekanan mendekati nol didefinisikan sebesar 3 kali panjang benda pada arah sebaliknya. Adapun kondisi batas free slip diterapkan pada keempat dinding lainnya yang tersisa dengan jarak 3 kali diameter, dan tidak ada kondisi batas no slip yang diterapkan.

Adapun ukuran domain fluida yang digunakan dalam simulasi ini adalah domain fluida berukuran 165 x 60 x 60 meter.

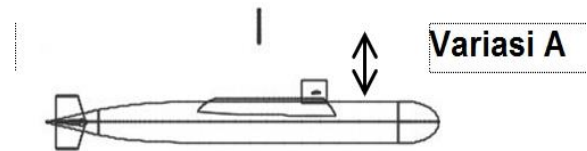


Gambar 5. Kondisi batas model numerik

5. Variasi Simulasi

Dengan mempertimbangkan beberapa variabel yang dianggap mempengaruhi besaran tekanan yang terjadi di sekitar permukaan kapal selam, maka dalam simulasi numerik ini dilakukan beberapa variasi simulasi sebagai berikut:

- a. Variasi jarak missile terhadap kapal selam (Variasi A).



Gambar 6. Variasi jarak missile

variasi jarak yang direncanakan adalah 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15 meter (Variasi A1, A2, A3, A4, A5, A6)

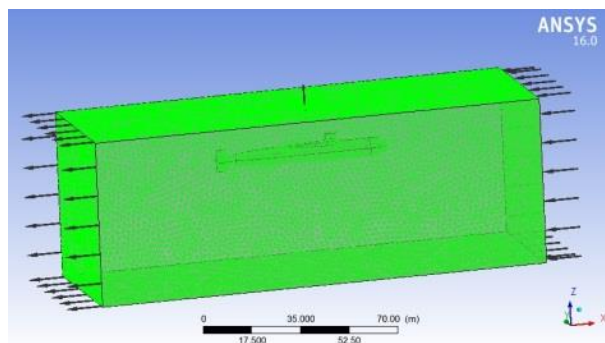
- b. Variasi tekanan missile (Variasi B) merupakan pemodelan numerik dengan melakukan variasi besarnya tekanan akibat ledakan roket pendorong di belakang missile, yaitu 15, 16, 17, 18, 19, 20 bar (Variasi B1, B2, B3, B4, B5, B6)
- c. Variasi kecepatan aliran (Variasi C) merupakan pemodelan numerik dengan melakukan variasi besarnya kecepatan kapal selam atau kecepatan aliran fluida. Kecepatan fluida yang dipilih sebagai kondisi batas aliran yaitu 1, 2, 3, 4 dan 5 m/s. (Variasi C1, C2, C3, C4, C5).

6. Model Setup dan Meshing

Dalam pemodelan numerik dengan program ANSYS, langkah pertama adalah melakukan model setup. Model setup dilakukan dengan jalan menginputkan filename geometri kapal selam yang telah dibuat sebelumnya dengan program SOLID.

Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan kondisi batas pemodelan numerik dengan jalan mendefinisikan inlet, outlet, submarine, wall, pressure.

Tahapan pemodelan numerik selanjutnya adalah meshing yaitu membagi seluruh domain analysis menjadi elemen-elemen kecil yang hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Tahapan meshing

IV. Hasil Simulasi Numerik

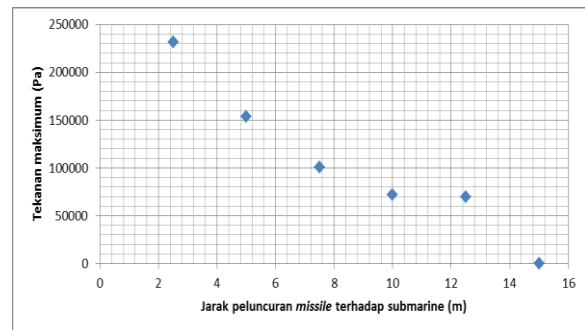
Berdasarkan hasil simulasi numerik yang dilakukan, maka diperoleh hasil simulasi numerik sebagai berikut:

1. Hasil Variasi A

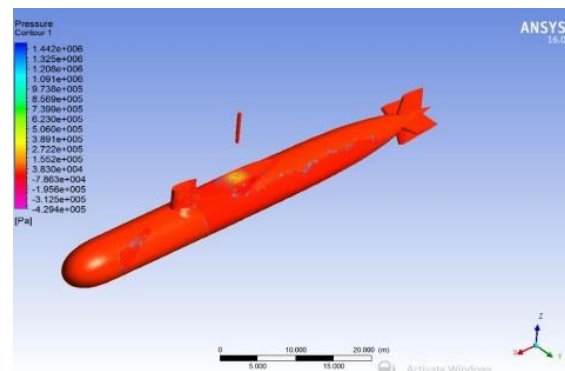
Dari perhitungan numerik diperoleh hasil distribusi tekanan terutama tekanan maksimum pada masing-masing simulasi (A1, A2, A3, A4, A5 dan A6) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Data tersebut selanjutnya diplotkan yang menggambarkan korelasi antara pressure dan variasi jarak sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 8 berikut. Adapun Gambar 8 menunjukkan contoh hasil simulasi variasi A.

Tabel 2. Tekanan maksimum pada setiap variasi jarak missile

Variasi	Distance (m)	Max Value (Pa)
A1	2,5	231207
A2	5	153774
A3	7,5	100971
A4	10	72228,7
A5	12,5	69628,4
A6	15	44623,5



Gambar 8. Kurva pressure vs jarak missile



Gambar 9. Pressure contour variasi A

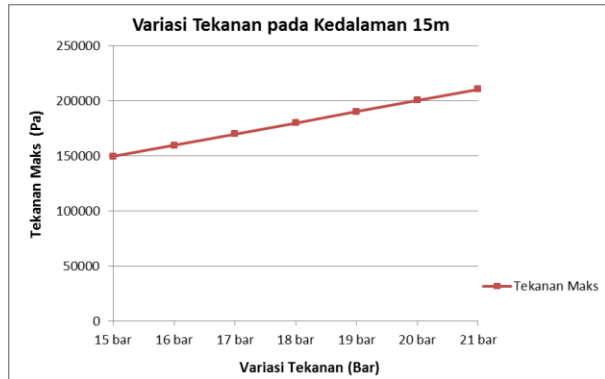
2. Hasil Variasi B

Dari perhitungan numerik diperoleh hasil distribusi tekanan terutama tekanan maksimum pada masing-masing simulasi (B1, B2, B3, B4, B5 dan B6) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Data tersebut selanjutnya diplotkan yang menggambarkan korelasi antara pressure dan variasi tekanan missile sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 10 berikut. Adapun Gambar 11 menunjukkan contoh hasil simulasi variasi B.

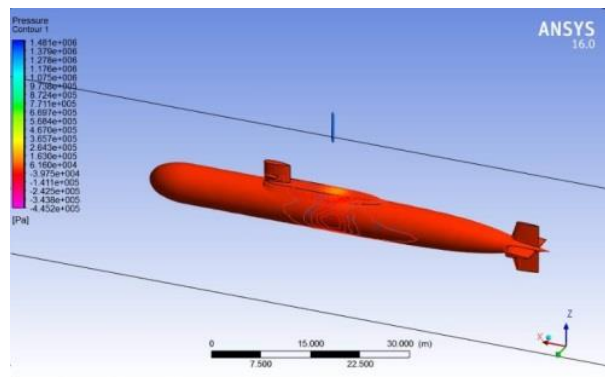


Tabel 3. Tekanan maksimum pada setiap variasi tekanan missile

Variasi	Tekanan (bar)	Max Value (Pa)
B1	15	149315
B2	16	159443
B3	17	169649
B4	18	179870
B5	19	190100
B6	20	200313



Gambar 10. Kurva Pressure vs Tekanan Missile



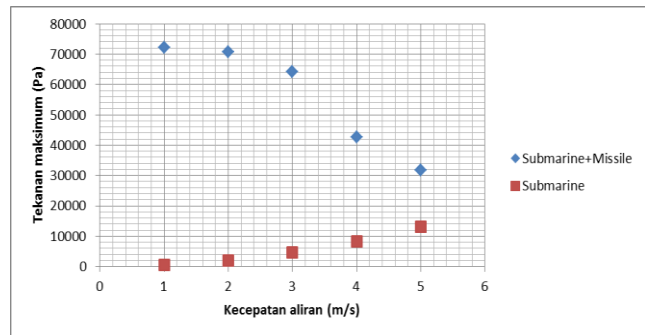
Gambar 11. Pressure contour variasi B

3. Hasil Variasi C

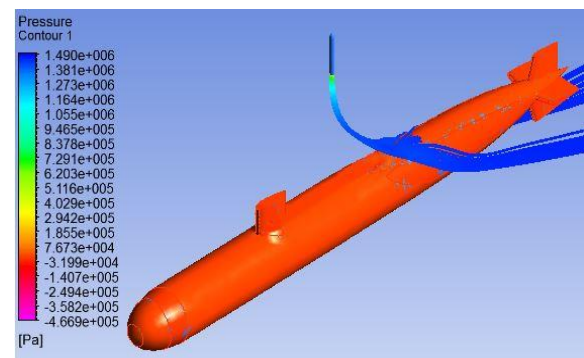
Dari perhitungan numerik diperoleh hasil distribusi tekanan terutama tekanan maksimum pada masing-masing simulasi (C1, C2, C3, C4, C5 dan C6) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Data tersebut selanjutnya diplotkan yang menggambarkan korelasi antara pressure dan variasi kecepatan kapal selam/aliran fluida sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 12 berikut. Adapun Gambar 13 menunjukkan contoh hasil simulasi variasi C.

Tabel 4. Tekanan maksimum pada setiap variasi kecepatan missile

Variasi	Kecepatan (m/s)	Max Value (Pa)
C1	1	72228,7
C2	2	70783,9
C3	3	64261,9
C4	4	42615
C5	5	31741,1



Gambar 12. Kurva Pressure vs Kecepatan Aliran



Gambar 13. Pressure contour variasi C

V. Pembahasan

Simulasi numerik yang dilakukan pada variasi A menunjukkan adanya kecenderungan penurunan tekanan yang cukup signifikan (30% dari variasi jarak sebelumnya) hingga jarak missile 10 m dari kapal selam. Sedangkan pada perubahan jarak missile selanjutnya, perubahan tekanan yang terjadi sekitar 20%. Secara umum dapat dinyatakan bahwa semakin jauh jarak missile, maka tekanan maksimum yang terjadi pada permukaan kapal selam akan semakin kecil.

Simulasi numerik yang dilakukan pada variasi B menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan tekanan maksimum sebesar ± 7% seiring dengan peningkatan tekanan 1 bar di belakang missile.



Simulasi numerik yang dilakukan pada variasi C menunjukkan adanya kecenderungan penurunan secara gradual hingga kecepatan aliran 3 m/s, dan menurun secara signifikan pada kecepatan aliran 4 dan 5 m/s. Hal ini akan mudah dipahami karena perubahan distribusi tekanan akibat peluncuran missile akan dipindahkan dengan cepat ke posisi lain di luar permukaan kapal selam secara cepat akibat adanya kecepatan aliran yang lewat di permukaan kapal selam.

VI. Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil simulasi pada beberapa kondisi variasi simulasi dan pembahasan di atas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Semakin jauh jarak peluncuran rudal arah vertikal memberikan pengaruh penurunan tekanan maksimum yang cukup signifikan yaitu $\pm 30\%$ untuk setiap perubahan jarak 2,5 m menjauh dari permukaan kapal selam.
- Perubahan tekanan akibat gaya dorong roket missile, hanya sedikit memberikan pengaruh

perubahan pada terjadinya tekanan maksimum di permukaan kapal selam.

- Tekanan maksimum yang terjadi akan menurun secara gradual seiring dengan peningkatan kecepatan aliran hingga kecepatan 3 m/s, dan menurun secara signifikan pada kecepatan yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kormilistin Y.N., Khalizev O.A (2001), "Theory of Submarine Design", Saint Petersburg, Rusia.
- [2] Joubert P.N. (2004), "Some Aspects of Submarine Design (Part 1, Hydrodynamics)", Australia.
- [3] Burcher, R and Rydill, L (1994), "Concept in Submarine Design", Ocean Technology Series, Cambridge University Press.
- [4] Fuller, G.H. (1999), "The Kit of Parts – An Abundance of Choice", Int. Symp. on Naval Submarines 6, RINA, London.
- [5] Kuiteinikov, Khudiakov L.Y and Moore K.J. (1996), "Eemerging Technology and Submarines of 21st Century", Int.Symp. on Naval Submarines, RINA, London.
- [6] Jackson R. (2000), "Submarines of the World", Grange Books, Hoo, Kent.

