

**ANALISA PENGARUH POSISI SAIL DAN PENAMBAHAN TAKIK
PADA *TAIL* TERHADAP HAMBATAN KAPAL SELAM DENGAN
METODE KOMPUTASIONAL**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

ALIF WIJAYANTO

D 200 130 133

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA PENGARUH POSISI *SAIL* DAN PENAMBAHAN TAKIK PADA
TAIL TERHADAP HAMBATAN KAPAL SELAM DENGAN METODE
KOMPUTASIONAL**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

ALIF WIJAYANTO

D 200 130 133

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen pembimbing

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above the name of the supervisor.

Ir. Sarjito, MT.,Ph.D

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH POSISI *SAIL* DAN PENAMBAHAN TAKIK PADA
TAIL TERHADAP HAMBATAN KAPAL SELAM DENGAN METODE
KOMPUTASIONAL**

OLEH

ALIF WIJAYANTO

D 200 130 133

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin
Univesitas Muhammadiyah Surakarta
pada hari Senin, tanggal 15 Januari 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan penguji:

- 1. Ir. Sarjito, MT.,Ph.D
(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Marwan Effendy, ST., MT.Ph.D
(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Ir. Tri Tjahjono, MT
(Anggota II Dewan Penguji)**

(.....)
(.....)
(.....)



Dekan,

Ir. Sri Suparjono, MT, Ph. D. ,IPM

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 31 Januari 2018

Yang Menyatakan,



ALIF WLJAYANTO

D 200 130 133

ANALISA PENGARUH POSISI SAIL DAN PENAMBAHAN TAKIK PADA TAIL TERHADAP HAMBATAN KAPAL SELAM DENGAN METODE KOMPUTASI

ABSTRAK

Kapal selam digunakan untuk alat transportasi di dalam laut sehingga membutuhkan desain untuk meminimalkan hambatan yang diterima.. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan optimasi letak *sail* dan penambahan takik pada *tail* kapal selam. Penelitian dilakukan dengan pendekatan simulasi. Simulasi dilakukan dengan dua tahap, pertama yaitu mengubah posisi *sail* kapal selam, dengan model variasi R2, R2.9(3D), R3 dan R4. Dari tahap pertama didapatkan hasil model variasi terbaik, yaitu model variasi R3 dengan $C_d = 0.09222$. Tahap Kedua, yaitu penambahan takik pada *tail*. Model geometri yang digunakan adalah model variasi terbaik pada tahap pertama, yaitu model variasi R3. Pada tahap ini terdapat empat variasi, yaitu T1 (tanpa takik), T2 (3 takik), T3 (4 takik), dan T4 (5 takik). Profil takik ada tiga, yaitu profil HT05, GOE444 dan sembarang. Hasil simulasi didapatkan model geometri terbaik pada model variasi T1 dengan profil takik HT05 dengan $C_d = 0.08115$.

Kata kunci: CFD, Kapal Selam, *Sail*, *Tail*, *lift* dan *drag*

ABSTRACT

Submarines are used for means of transportation in the sea thus requiring designs to minimize the drag force. The purpose of this study is to optimize the location of the sail and the addition of a notch on the tail of submarine. The research was done by simulation approach. The simulation is done in two stages, the first is to change the position of submarine sail, with model variation R2, R2.9 (3D), R3 and R4. From the first stage obtained the best variation model, that is the variation model R3 with $C_d = 0.09222$. Phase Two, the addition of a notch on the tail. The geometry model used is the best variation model at the first stage, ie the variation model of R3. At this stage there are four variations, namely T1 (without notch), T2 (3 notches), T3 (4 notches), and T4 (5 notches). Notch profile there are three, namely profile HT05, GOE444 and arbitrary. The simulation result was obtained the best geometry model on T1 variation model with notch profile HT05 with $C_d = 0.08115$.

Keywords: CFD, Submarine, *Sail*, *Tail*, *lift* and *drag*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi alat utama sistim pertahanan (alutsista) begitu pesat di dunia. Alutsista menjadi begitu penting bagi suatu Negara, karena menjadi alat pertahanan untuk menjaga kedaulatan Negara. Salah satu alutsista yang mengalami perkembangan cukup pesat adalah kapal selam. Kapal selam digunakan untuk alat transportasi di dalam laut sehingga membutuhkan desain untuk meminimalkan hambatan yang diterima. Perubahan terus dilakukan karena kapal selam dituntut untuk dapat bergerak cepat di dalam air. Tidak hanya pada sektor mesin penggerak, lambung (*hull*) kapal selam juga menjadi sangat penting.

Penelitian ini difokuskan pada penempatan posisi *sail* dan penambahan takik pada *tail* kapal selam untuk mengurangi gaya hambat. *Sail* kapal selam sebenarnya sangat dihindari pada desain kapal selam. Namun *sail* sangat diperlukan untuk menempatkan menara komando, periskop dan beberapa peralatan navigasi untuk operasi permukaan. *Tail* menjadi bagian yang belum mengalami perubahan cukup signifikan, sehingga pada penelitian ini dilakukan modifikasi *tail* dengan menambahkan takik agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.

R. de fretes, Eliza., dkk (2013), melakukan analisa tentang pelengkap kapal selam. Kapal selam dalam pengoperasiannya, selalu menggunakan pelengkap sebagai alat untuk mempertahankan dan mengatur gerakan. Alat pelengkap kapal selam adalah *sail*, *rudder*, *fore* dan *aft hydroplane*. Pelengkap tersebut diletakan pada *bare hull*. Analisa menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*) menunjukkan hasil bahwa hambatan dari pelengkap memberikan pengaruh yang signifikan pada gaya *drag bare hull*, yaitu efek dari *sail* sebesar 51.572%, *fore hydroplane* sebesar 18.872%, *aft hydroplane* adalah 4.216%, *rudder* sebesar 4.152%, dan total pelengkap sebesar 78.812%.

Yulianto, A. N., dkk (2013) menganalisa pengaruh penempatan vertical fin atau *sail* terhadap *viscous resistance* kapal selam mini. Pada pengujian ini

menggunakan dua metode yaitu menggunakan CFD dan *wind tunnel*. Hasil yang didapatkan yaitu penambahan dan pengaturan *vertical fin* tidak berpengaruh signifikan terhadap koefisien drag kapal selam. Penambahan dan pengaturan posisi *vertical fin* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap harga CT yaitu sebesar 2.07%. Harga CT terendah sebesar 0.0209 dengan Re 262222 pada variasi III kapal selam mini. Harga CT tertinggi sebesar 0.0233 dengan Re 262222 pada variasi II kapal selam mini. Pada pengujian pada *wind tunnel* dan simulasi CFD menunjukkan nilai RMSE pada variasi I sebesar 2.48×10^{-3} , variasi II sebesar 3.18×10^{-3} , variasi III sebesar 2.88×10^{-3} . Persentase tingkat kesalahan pada pengujian *wind tunnel* dan simulasi CFD pada variasi I sebesar 9.37%, variasi II sebesar 11.96%, variasi III sebesar 10.41%.

Wardana, R. E., dan Sulisetyono, A. (2015), melakukan analisa hambatan kapal selam mini menggunakan pengujian pada *wind tunnel* yang tervalidasi dengan *computational fluid dynamics*. Pengujian ini menggunakan 2 variasi kapal selam, yaitu variasi pertama bare hull dan variasi kedua menggunakan *fin*. Harga hambatan kapal selam mini dengan *fin* ukuran 6 m (*full Scale*) menggunakan *wind tunnel* pada kecepatan terendah 15.433 (m/s) adalah 78.414 kN sedangkan pada kecepatan tertinggi 25.722 (m/s) adalah 227.402 kN. Harga hambatan kapal selam *mini barehull* ukuran 6 m (*full scale*) menggunakan *wind tunnel* pada kecepatan terendah 15.433 (m/s) adalah 76.502 kN sedangkan pada kecepatan tertinggi 25.722 (m/s) adalah 222.928 kN. Penambahan *fin* berpengaruh terhadap harga Cd sebesar 3.703% pada pengujian *wind tunnel*. Penambahan *fin* pada pengujian *wind tunnel* berpengaruh terhadap hambatan kapal selam mini tersebut seharga 2.44% pada kecepatan terendah dan 1.97% pada kecepatan tertinggi. Persentase tingkat kesalahan (MAPE) pada pengujian *wind tunnel* dengan simulasi CFD pada variasi I sebesar 5.207% dan variasi II sebesar 5.611%.

2.1 Diagram Penelitian



The diagram illustrates the cross-section of a sailboat hull. Key dimensions and features include:

- Dimensions:**
 - c : Distance from the bow to the center of buoyancy.
 - b : Distance from the bow to the center of gravity.
 - a : Distance from the bow to the center of buoyancy.
 - $3D$: Distance from the bow to the center of buoyancy.
 - $1.5D$: Width of the sail.
 - $6/7 D$: Height of the sail.
 - $3D$: Distance from the center of buoyancy to the center of gravity.
 - $1.75D$: Distance from the center of gravity to the stern.
- Angles:**
 - 30° : Angle of the hull bottom relative to the horizontal.
- Coordinate Systems:**
 - x_A : Horizontal coordinate system starting from the bow.
 - x_F : Horizontal coordinate system starting from the center of buoyancy.
- Other Labels:**
 - r : Radius of the hull bottom.
 - D : Diameter of the hull.
 - r : Radius of the hull bottom.
 - S : Sail quarter-chord.

Gambar 2 Model standart dari hull kapal selam
(Bakst Engineering. (2014))

Didalam penelitian ini parametrik studi dilakukan dengan variasi letak *sail* dan variasi *takik* pada *tail* sebagai berikut:

2.2 Variasi posisi sail kapal selam

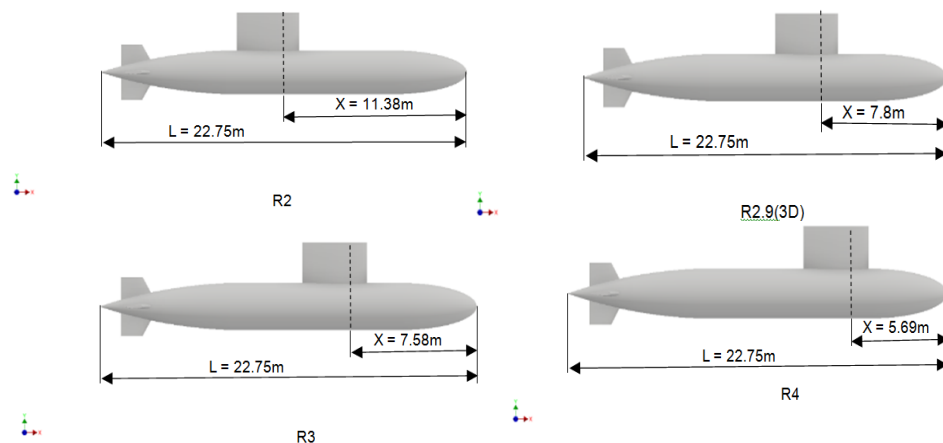
Posisi *sail* kapal selam standart berjarak 3D (3xdiameter), seperti ditunjukkan pada gambar 2. Kemudian dilakukan variasi posisi sail dengan mengubah jarak sail menjadi rasio (R) antara panjang total hull (badan kapal) (L) dengan jarak *sail* (X).

$$R = L/X$$

Untuk mempermudah dalam peneletian, nilai jarak sail kapal selam standart dibuat dalam bentuk rasio. Dimensi desain kapal selam dapat dilihat pada tabel 1 dan diilustrasikan pada gambar 3.

Tabel 1 Jarak *sail* pada variasi posisi kapal selam

Nama variasi	Panjang <i>Hull</i> (L) (m)	Jarak <i>Sail</i> (X) (m)	Rasio (R)
R2	22.75	11.38	2
R2.9(3D)	22.75	7.80	2.9
R3	22.75	7.58	3
R4	22.75	5.69	4



Gambar 3 Dimensi kapal selam variasi posisi *sail*

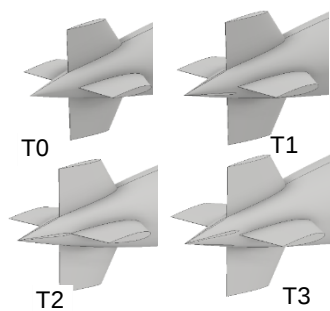
2.3 Variasi penambahan takik pada *tail* kapal selam

Variasi penambahan takik pada *tail* kapal selam, terdapat 4 variasi takik, yaitu T0 (tanpa takik), T1 (3 takik), T2 (4 takik), dan T3 (5 takik).

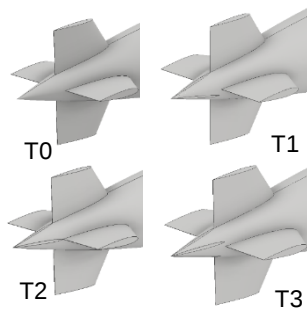
Untuk profil takik menggunakan profil *airfoil* HT05, GOE444, dan yang lain dengan profil sembarang. Detail *airfoil* HT05 dan GOE444 dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Detail *airfoil* HT05 dan GOE444

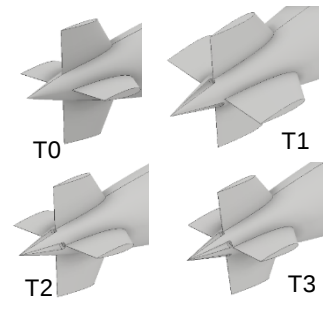
Airfoil	Max Thiciness	Max Chamber
HT05	4.8% at 17.1% chord	0% at 63.3% chord
GOE444	5.6% at 30% chord	0% at 0% chord



Gambar 4 Variasi takik pada *tail* profil HT05



Gambar 5 Variasi takik pada *tail* profil GOE444



Gambar 6 Variasi takik pada *tail* profil sembarang

Proses selanjutnya model *diimport* ke work bench Ansys untuk dilakukan meshing dengan pembuatan batas komputasional domain. Proses *meshing* menghasilkan *mesh* tak terstruktur, total *nodes* 209151, total *elements* 1027320, total *tetrahedrons* 964874 total *prisms* 51994, total *pyramids* 10452 dan total *faces* 75160 untuk variasi *sail*. Dan total *nodes* 237506, total *elements* 1139040, total *tetrahedrons* 1052998, total *prisms* 79831, total *pyramids* 6211 dan total *faces* 78774 *mesh* tak terstruktur dalam variasi Takik.

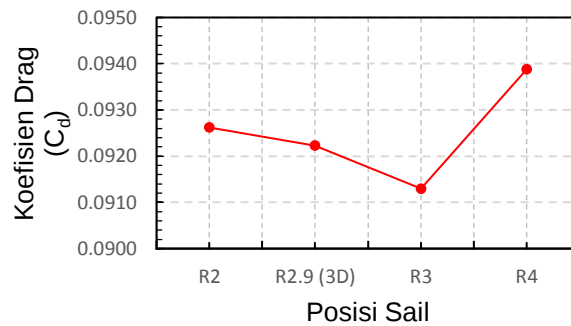
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Variasi Posisi *Sail*

Pada variasi posisi *sail* dibuat empat model kapal selam dengan jarak *sail* yang berbeda. Simulasi dilakukan pada kecepatan yang sama, yaitu 10m/s.

3.1.1. Hubungan Posisi Sail Terhadap Koefisien Drag

Dari hasil simulasi *CFD* didapatkan hasil hubungan antara posisi *sail* terhadap koefisien *drag*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7 berikut.

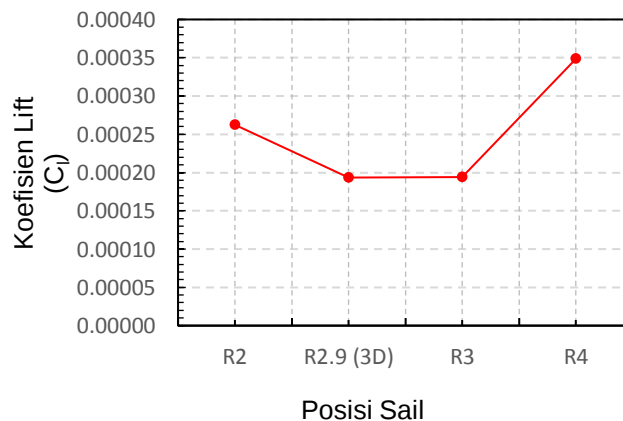


Gambar 7 Grafik korelasi posisi sail terhadap koefisien *drag* (C_d)

Dari gambar 7 dapat diketahui variasi R2 memiliki koefisien *drag* (C_d) sebesar 0.09262. Pada model standart R2.9(3D) koefisien drag sebesar 0.09222. variasi R3 memiliki koefisien *drag* terendah sebesar 0.09130. Pada variasi R4 memiliki koefisien *drag* tertinggi, sebesar 0.09387. Maka dapat disimplkan bahwa kapal variasi *sail* R3 merupakan variasi paling optimal, karena memiliki koefisien drag terendah.

3.1.2. Hubungan Posisi Sail Terhadap Koefisien Lift

Dari hasil simulasi *CFD* didapatkan hasil hubungan antara posisi *sail* terhadap koefisien *lift*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 10 berikut.

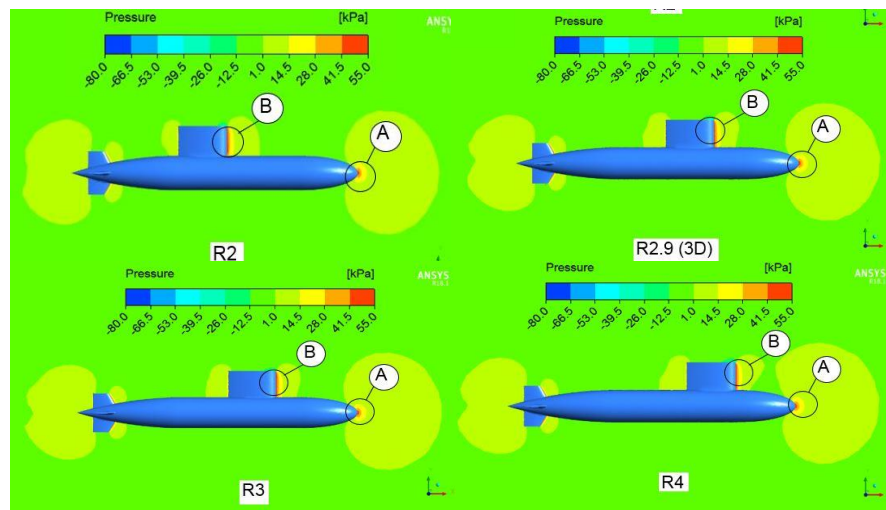


Gambar 8 Grafik hubungan antara posisi *sail* terhadap koefisien *lift* (C_l)

Dari gambar 8 dapat diketahui variasi penempatan sail variasi R2 memiliki koefisien *lift* (C_l) sebesar 0.0002622. Pada model standart R2.9(3D) memiliki koefisien *li`ft* terendah sebesar 0.0001935. Pada variasi R3 memiliki koefisien *lift* mendekati model standart sebesar 0.0001939. Pada variasi R4 memiliki koefisien *lift* tertinggi, sebesar 0.0003487. Variasi R3 dipilih sebagai variasi optimal, karena memiliki koefisien *lift* mendekati model standart (R2.9(3D)) dan lebih rendah gaya hambatnya.

3.1.3. Kontur Plot Tekanan Pada Berbagai Variasi Posisi Sail

Kontur plot tekanan memberikan gambaran distribusi tekanan yang diterima model kapal selam. Kontur plot tekanan pada kapal selam variasi posisi *sail* ditunjukkan pada gambar 11 berikut.



Gambar 9 Plot kontur tekanan variasi penempatan sail

Pada gambar 9 dapat diketahui perbedaan tekanan pada setiap variasi. Pada area ujung (*nose*) kapal selam (A), variasi R2 memiliki tekanan sebesar 53.34 kPa, model standart (R2.9(3D)) memiliki tekanan sebesar 52.98 kPa, variasi R3 memiliki tekanan yang lebih rendah dari model standart, yaitu sebesar 51.76 kPa, dan variasi R4 memiliki tekanan tertinggi dibanding model kapal selam lain, yaitu sebesar 53.46 kPa.

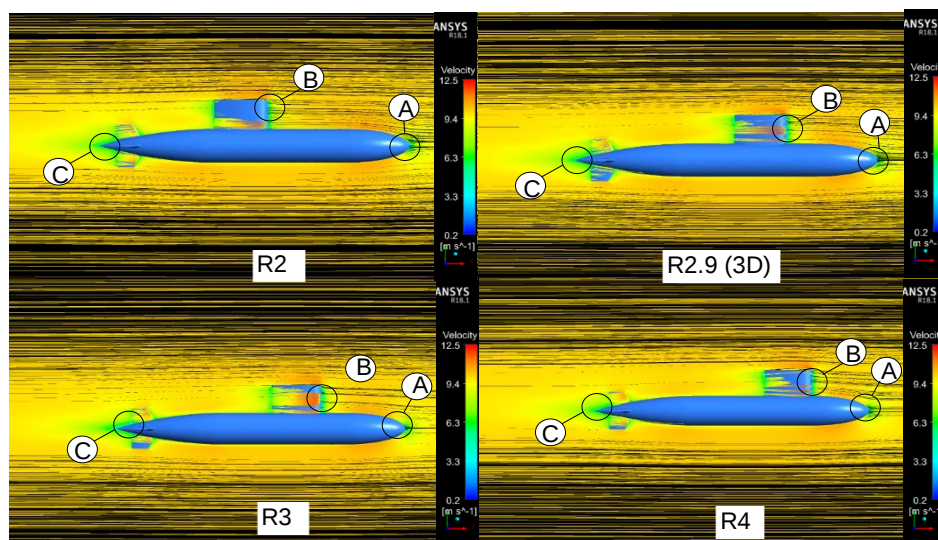
Pada area depan *sail* (B) variasi R2 memiliki tekanan sebesar 52.28 kPa, model standart (R2.9(3D)) memiliki tekanan sebesar 51.97 kPa, variasi

R3 memiliki tekanan yang lebih rendah dari model standart, yaitu sebesar 51.49 kPa, dan variasi R4 memiliki tekanan tertinggi disbanding model kapal selam lain, yaitu sebesar 52.00 kPa.

Dari gambar gambar 9 dapat diketahui bahwa kapal selam R3 merupakan variasi dengan hambatan paling minimum, karena mendapatkan tekanan terkecil diantara variasi kapal selam yang lain. Hal ini identik dengan gaya drag yang ditunjukkan pada gambar 7.

3.1.4. Streamline pada berbagai variasi posisi sail

Streamline menunjukkan pola aliran fluida di sekitar model kapal selam. *Streamline* pada gambar 10 berikut.



Gambar 10 *Streamline* variasi penempatan sail

Variasi penempatan *sail* mempengaruhi pola aliran *streamline* pada area ujung (*nose*) kapal selam (A), variasi R2 terdapat jarak antar *streamline* yang lebar terutama pada bagian atas, hal ini dikarenakan adanya tekanan yang besar. Pada model standart (R2.9(3D)) jarak antar *streamline* cukup lebar, hal ini terjadi karena adanya tekanan yang besar di *nose*. Pola aliran pada variasi R3 lebih terpusat, jarak antar *streamline* yang rapat menunjukkan tekanan yang kecil di *nose*. Variasi R4 terlihat pola aliran yang terpisah dengan jarak yang lebar, hal ini diakibatkan oleh tekanan pada *nose*. Area *sail* (B) terlihat pola aliran yang hampir sama pada semua

variasi. Di bagian atas sail terdapat aliran terpisah yang diakibatkan adanya tekanan yang besar di atas *sail*. Area *tail* (C), aliran cenderung mengikuti bentuk *tail*, namun pada model standart (R2.9(3D)) terdapat titik pemisahan aliran pada ujung *tail*

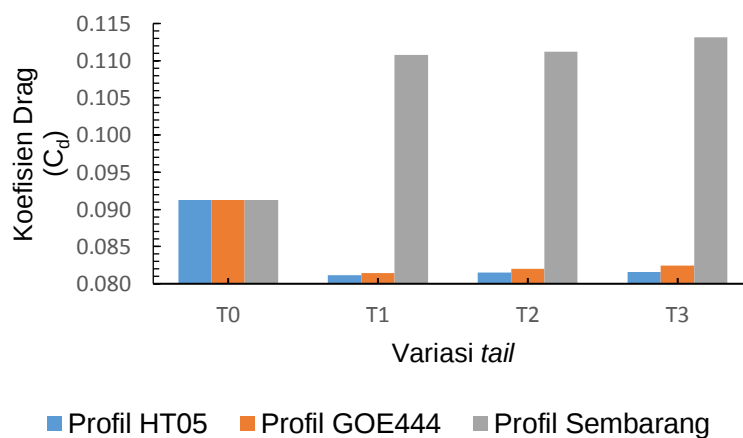
Dari plot *stremline* dapat diketahui bahwa kapal selam variasi R3 memiliki gaya hambat paling kecil, karena sedikitnya aliran terpisah. Hal ini identik dengan gaya drag yang ditunjukkan pada gambar 7.

3.2. Variasi Penambahan Takik Pada Tail

Dengan menggunakan model kapal selam paling optimal dari hasil percobaan sebelumnya, yaitu pada kapal selam R3, kemudian dilakukan modifikasi *tail*. Terdapat 4 variasi *tail*, yaitu T0 (tanpa takik), T1 (3 takik), T2 (4 takik), dan T3 (5 takik).

3.2.1 Korelasi Penambahan Takik Pada Tail Terhadap Koefisien Drag

Dari hasil simulasi *CFD* didapatkan hasil hubungan antara penambahan takik pada *tail* terhadap koefisien *drag*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 11 berikut.



Gambar 11 Grafik hubungan koefisien *drag* (C_d) terhadap variasi *tail*

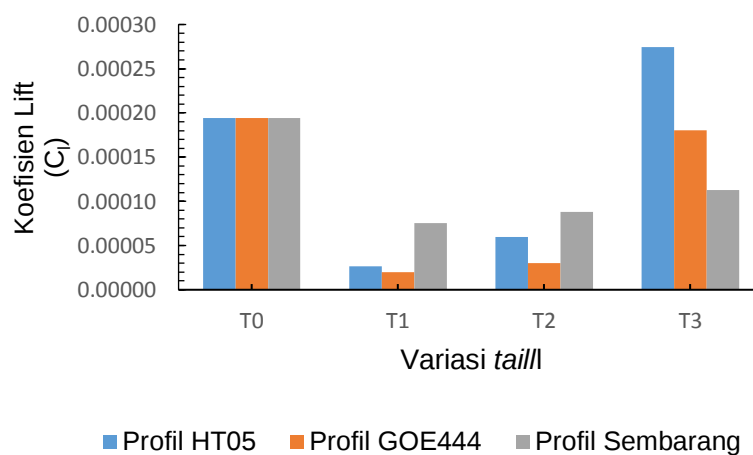
Dari gambar 11 dapat diketahui modifikasi *tail* yang dapat memberikan hasil koefisien *drag* (C_d) paling optimal, yaitu variasi T1

menggunakan profil takik HT05, dengan koefisien *drag* (C_d) sebesar 0.08115. Variasi *tail* dengan takik menggunakan profil airfoil HT05 dan GOE444 memiliki karakter hampir sama di mana keduanya memberikan efek penurunan nilai koefisien *drag* (C_d). Pada variasi *tail* dengan takik menggunakan profil sembarang koefisien *drag* lebih tinggi daripada variasi tanpa takik (T0).

Maka kapal selam variasi T1 menggunakan profil HT05 merupakan variasi paling optimal, karena memiliki koefisien *drag* terendah.

3.2.2 Hubungan Penambahan Takik Pada Tail Terhadap Koefisien Lift

Dari hasil simulasi *CFD* didapatkan hasil hubungan antara penambahan takik pada *tail* terhadap koefisien *lift*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 12 berikut.



Gambar 12 Grafik hubungan koefisien *lift* (C_l) terhadap variasi *tail*

Pada gambar 12 dapat dilihat koefisien *lift* pada model tanpa takik (T0) sebesar 0.00019. Penurunan koefisien *lift* (C_l) terendah terjadi pada variasi T1 dengan profil GOE444, dengan koefisien *lift* (C_l) sebesar 0.00002. Kedua adalah variasi T1 dengan profil HT05, dengan koefisien *lift* (C_l) sebesar 0.00003.

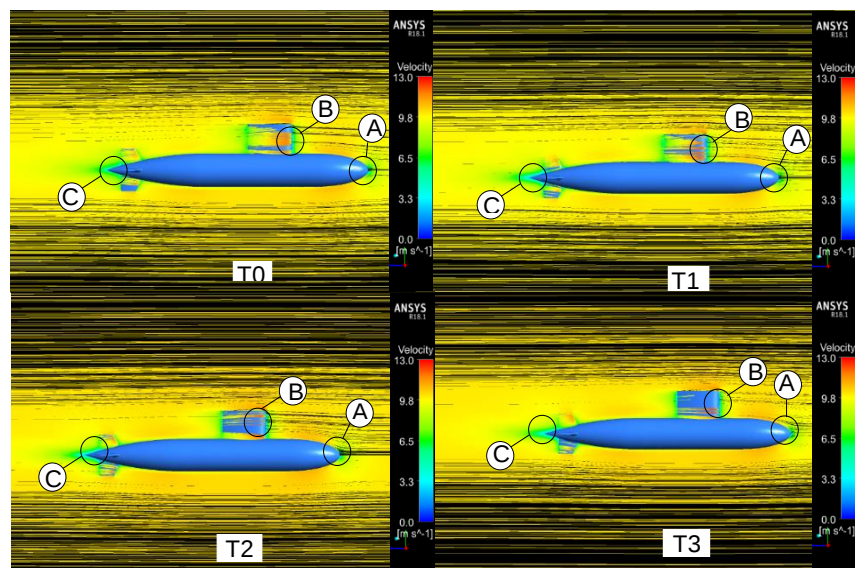
Maka kapal selam variasi T1 menggunakan profil HT05 tetap dipilih sebagai variasi paling optimal, karena kecilnya nilai koefisien *lift*.

3.2.3 Streamline pada berbagai variasi penempatan tail

Streamline menunjukkan pola aliran fluida di sekitar model kapal selam.

(a) Takik Profil HT05

Streamline pada modifikasi *tail* menggunakan profil HT05 dapat dilihat pada gambar 14 berikut.



Gambar 13 Plot *streamline* variasi *tail* profil HT05

Pada gambar 13 dapat diketahui aliran fluida di sekitar kapal selam. Pada semua variasi kapal selam, pola aliran fluida di area sekitar *hull* terlihat aliran yang mengikuti bentuk *hull*.

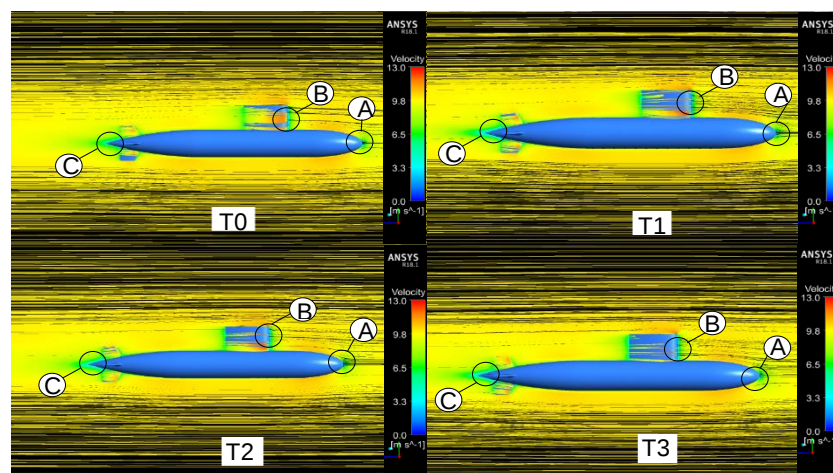
Variasi penempatan sail juga mempengaruhi pola aliran *streamline* pada area ujung (*nose*) kapal selam (A), variasi T0 jarak antar *streamline* yang rapat menunjukkan tekanan yang kecil di *nose*. Pada variasi T1, pola aliran lebih terpusat pada *nose*, dengan jarak antar *streamline* yang rapat, hal ini menunjukkan kecilnya tekanan di *nose*. Pola aliran pada variasi T2 terdapat jarak *streamline* yang renggang di bagian atas *nose*, hal ini menunjukkan adanya tekanan yang besar dibagian atas *nose*. Variasi R4

terlihat pola aliran yang terpisah dengan jarak yang lebar, hal ini diakibatkan oleh tekanan pada *nose*. Pada area *sail* (B) terlihat pola aliran yang hampir sama pada semua variasi. Di bagian atas *sail* terdapat aliran terpisah yang diakibatkan adanya tekanan yang besar di atas *sail*. Pada area *tail* (C), aliran pada variasi T1 cenderung mengikuti bentuk *tail*, namun pada variasi T0, T2, dan T3 terdapat titik pemisahan aliran pada ujung *tail*.

Dari plot *streamline* dapat diketahui bahwa kapal selam variasi R3 memiliki gaya hambat paling kecil, karena sedikitnya aliran terpisah. Hal ini identik dengan gaya *drag* yang ditunjukkan pada gambar 11.

(b) Takik Profil GOE444

Streamline pada modifikasi *tail* menggunakan profil HT05 dapat dilihat pada gambar 14 berikut.



Gambar 14 Plot *streamline* variasi *tail* profil GOE444

Pada gambar 14 dapat diketahui aliran fluida di sekitar kapal selam. Pada semua variasi kapal selam, pola aliran fluida di area sekitar *hull* terlihat aliran yang mengikuti bentuk *hull*.

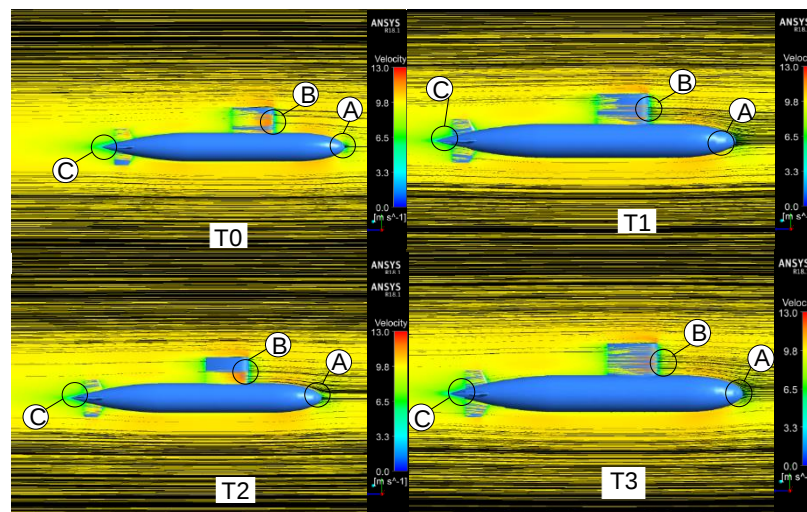
Variasi penempatan *sail* juga mempengaruhi pola aliran *streamline* pada area ujung (*nose*) kapal selam (A), variasi T0 jarak antar *streamline* yang rapat menunjukkan tekanan yang kecil di *nose*. Pada variasi T1, pola aliran lebih terpusat pada *nose*, dengan jarak antar *streamline* yang rapat, hal ini menunjukkan kecilnya tekanan di *nose*. Pola aliran pada variasi T2

terdapat jarak *streamline* yang renggang di bagian atas *nose*, hal ini menunjukkan adanya tekanan yang besar dibagian atas *nose*. Variasi R4 terlihat pola aliran yang terpisah dengan jarak yang lebar, hal ini diakibatkan oleh tekanan pada *nose*. Pada area *sail* (B) terlihat pola aliran yang hampir sama pada semua variasi. Di bagian atas sail terdapat aliran terpisah yang diakibatkan adanya tekanan yang besar di atas *sail*. Pada area *tail* (C), aliran pada variasi T1 cenderung mengikuti bentuk tail, namun pada pada variasi T0, T2, dan T3 terdapat titik pemisahan aliran pada ujung *tail*.

Dari plot *streamline* dapat diketahui bahwa kapal selam variasi R3 memiliki gaya hambat paling kecil, karena sedikitnya aliran terpisah. Hal ini identik dengan gaya drag yang ditunjukkan pada gambar 11.

(c) Takik Profil Sembarang

Streamline pada modifikasi tail menggunakan profil HT05 dapat dilihat pada gambar 15 berikut.



Gambar 15 Plot *streamline* variasi *tail* profil sembarang

Pada gambar 15 dapat diketahui aliran fluida di sekitar kapal selam. Pada semua variasi kapal selam, pola aliran fluida di area sekitar *hull* terlihat aliran yang mengikuti bentuk *hull*.

Variasi penempatan sail mempengaruhi pola aliran *streamline* pada area ujung (*nose*) kapal selam (A), dapat diketahui bahwa terdapat jarak

antar *streamline* yang cukup lebar pada semua variasi, hal ini menunjukkan adanya tekanan yang besar di *nose*. Pada variasi tanpa takik (T0) pola aliran lebih terpusat dan jarak antar *streamline* terlihat paling kecil diantara variasi yang lain, hal ini menunjukkan bahwa tekanan yang dialami lebih kecil daripada variasi lainnya. Pada area *sail* (B) terlihat pola aliran yang hampir sama pada semua variasi. Di bagian atas *sail* terdapat aliran terpisah yang diakibatkan adanya tekanan yang besar di atas *sail*. Pada area *tail* (C), aliran pada variasi T0 cenderung mengikuti bentuk *tail*, terdapat titik pemisahan aliran pada ujung *tail*. Variasi T1, T2, dan T3 terdapat *vortex* pada takik ekor, mengakibatkan penambahan hambatan yang dialami kapal selam.

Dari plot *streamline* dapat diketahui bahwa kapal selam variasi R3 memiliki gaya hambat paling kecil, karena sedikitnya aliran terpisah. Hal ini identik dengan gaya drag yang ditunjukkan pada gambar 11.

4. PENUTUP

Dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan diatas dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada model kapal selam dengan variasi posisi *sail*, terlihat adanya perbedaan koefisien *drag*. Kapal selam variasi posisi *sail* R3 dipilih sebagai kapal selam paling optimal, karena tekanan yang diterima paling kecil diantara variasi lainnya, dan pada *streamline* terlihat pola aliran yang cenderung mengikuti bentuk kapal selam serta sedikitnya aliran terpisah, yang mengakibatkan nilai koefisien drag menjadi rendah.
2. Pada variasi modifikasi *tail*, penambahan takik pada *tail* mempengaruhi nilai koefisien *drag*. Variasi *tail* kapal selam dengan profil takik sembarang memberikan efek peningkatan hambatan, karena adanya peningkatan tekanan yang diterima, dan pada plot *streamline* terlihat adanya aliran terpisah serta adanya turbulensi pada bagian takik. Pada variasi *tail* kapal selam dengan profil HT05 dan GOE444 terjadi penurunan nilai koefisien *drag*. Variasi *tail* kapal selam T1 dengan

profil takik HT05 dipilih sebagai variasi kapal selam paling optimal, karena tekanan yang diterima paling kecil diantara variasi lainnya, dan pada *streamline* terlihat pola aliran yang cenderung mengikuti bentuk kapal selam serta sedikitnya aliran terpisah, yang mengakibatkan nilai koefisien drag menjadi rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakst Engineering. (2014). *SMX® Ocean Submarine (concept) AIP System Performance AIP Power Calculation*. Bakst System Engineering & Consulting.
- Burcher, R. dan Rydill, L. (1994). *Concepts In Submarine Design*. Cambridge University Press.
- Çengel, Y., and Cimbala, J. (2006). *Fluid Mechanics Fundamentals and Application*. McGraw – Hill.
- Munson, B. R., Young, D. F., dan Okiishi, T. H. (2009), *Fundamentals of Fluid Mechanics, Six Edition*. John Willet & Sons, Inc.
- Nakayama, Y. (1998). *Introduction to fluid mechanics*. Butterworth-Heinemann.
- R. de fretes, Eliza., Djatmiko, E. B., dan Wardhana, W.(2013). *Hydrodynamic Analysis Of Additional Effect Of Submarine Appendages*. Journal of Advances and Aplications in Fluid Mechanics Volume 13, Number 1, 2013, Pages 65 – 74.
- Saleh, J. M., (2002). *Fluid flow hand book*. R. R Donnelley & sons Company.
- Wardana, R. E., dan Sulisetyono, A. (2015). *Tugas Akhir Analisis Hambatan Kapal Selam Mini Menggunakan Pengujian Pada Wind Tunnel Yang Tervalidasi Dengan Computational Fluid Dynamics*. Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yulianto, A. N., Suastika, K., dan Sulisetyono, A. (2013). *Analisis Viscous Resistance Kapal Selam Mini dengan Metode Computational Fluid Dynamics dan Pengujian pada Wind Tunnel* . JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539 (2301- 9271 Print)