

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. DATA UTAMA KAPAL

Dalam tugas akhir ini kapal yang di analisis adalah kapal cepat 60 m, dengan ukuran utama kapal sebagai berikut :

LOA	=	60	m
LWL	=	55.19	m
LPP	=	54.97	m
Lebar (B)	=	8.10	m
Tinggi (H)	=	4.87	m
Syarat (T)	=	2.6	m
Vmaks	=	28	knots
Displacement	=	460	ton



Gambar 4.1 Kapal cepat 60 m yang telah beroperasi

4.2. PERHITUNGAN WSA (WETTED SURFACE AREA)

4.2.1 Luas Bidang Basah Lambung Kapal (Ac)

Luas permukaan basah (wetted surface area) merupakan rancang bangun luas permukaan lambung kapal yang tercelup di dalam air laut. WSA sangatlah diperlukan untuk menentukan berapa banyak anoda yang diperlukan, tempat peletakan anoda karbon, dan lain sebagainya.

Perhitungan luas lambung kapal dibawah garis air (WSA) yang akan diproteksi, dapat diperoleh dengan rumus pendekatan (*Principles of Naval Architecture Second Revision Vol. II*) :

$$Ac = [L(2T + B) Cm^{0.5} (0.4530 + 0.4225 Cb - 0.2862 Cm - 0.003467 \frac{B}{T} + 0.3696 Cwp)] + 2.38 \frac{ABT}{Cb} \dots\dots(m^2)$$

Dimana :

Ac	(Luasan bidang basah lambung kapal)	(m ²)
Cb	(Coefisien block)	= 0.4
Cm	(Coefisien Midship)	= 0.6
Cwp	(Coefisien bidang garis air)	= 0.7
B	(Breadth)	= 8.10 m
T	(Draught)	= 2.6 m
ABT	(Luasan area pada kondisi melintang)	= 8.21849 m ²

Maka :

$$Ac = [55 \times ((2 \times 2.6) + 8.1) 0.6^{0.5} \times (0.4530 + (0.4225 \times 0.4) - (0.2862 \times 0.6) - (0.003467 \times \frac{8.1}{2.6} + (0.3696 \times 0.7)))] + (2.38 \times \frac{8.21849}{0.4})$$
$$Ac = 446.62 \text{ m}^2$$

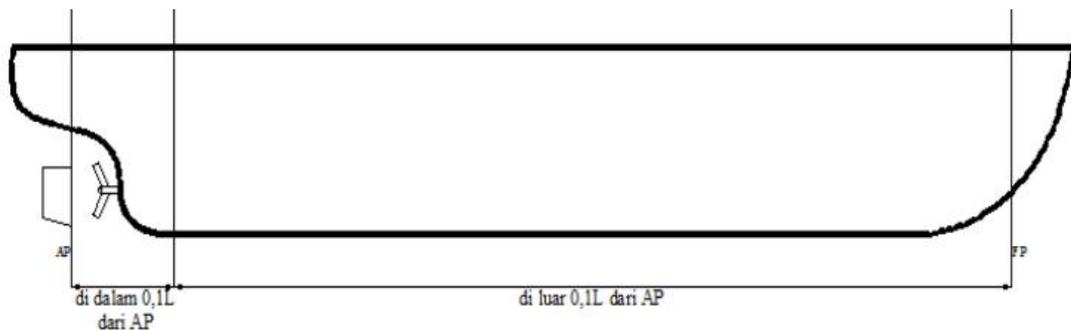
Dari perhitungan diatas diperoleh luas lambung kapal yang diproteksi sebesar = **446.62 m²**

4.2.2 Luas Bidang Basah diluar 0.1 L dari AP dan didalam 0.1 L dari AP

Untuk pembagian daerah lambung kapal yang perlu dilakukan proteksi dibagi menjadi dua bagian yaitu luas bidang basah diluar 0.1 AP dan luas bidang basah di dalam 0.1 AP. Hal ini untuk lebih mengoptimalkan pembagian dan penempatan anoda khususnya didaerah kritis.

- a) Luas bidang basah di luar 0.1 L dari AP
= 90% x luas bidang basah lambung kapal (WSA)
= 90% x 446.62 m²
= 401.95 m²

- b) Luas bidang basah di dalam 0.1 L dari AP
= 10% x luas bidang basah lambung kapal (WSA)
= 10% x 446.62 m²
= 44.66 m²



Gambar 4.2 Pembagian daerah WSA

4.3. PERHITUNGAN KEBUTUHAN ZINC ANODA

Data – data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan kebutuhan zinc anoda adalah sebagai berikut ini :

Luas bidang basah lambung kapal	=	446.62 m ²
Luas bidang basah di luar 0.1 L dari AP	=	401.95 m ²
Luas bidang basah di dalam 0.1 L dari AP	=	44.66 m ²
Current dencity untuk daerah lambung	=	15 mA/m ²
Zinc anoda memberikan arus listrik sebesar	=	780 Ah/kg
Berat anoda yang digunakan	=	4.8 kg
Umur proteksi selama 2 tahun	=	8760 jam

4.3.1 Kebutuhan Zinc Anoda Untuk Daerah diluar 0.1 L dari AP

- 1) Jumlah arus listrik yang dibutuhkan untuk melindungi permukaan bidang basah dari kapal (di luar 0.1 L dari AP)

$$I = 401.95 \text{ m}^2 \times 15 \text{ mA/m}^2$$

$$I = 6029.25 \text{ mA}$$

$$I = 6.0292 \text{ A}$$

- 2) Berat zinc anoda yang dibutuhkan yaitu

Dimana $t_f = 2$ tahun, 1 tahun \implies 8760 jam

$$MI = \frac{I(A) \times \text{waktu proteksi (tahun)} \times 8760 (\text{jam})}{\text{kapasitas dari material} \left(\frac{\text{Ah}}{\text{kg}} \right)}$$

$$MI = \frac{6.0292 \text{ A} \times 2 \times 8760 \text{ hours}}{780 \text{ Ah / kg}}$$

$$MI = 135.42 \text{ kg}$$

- 3) Maka, kebutuhan jumlah anoda untuk daerah lambung dibawah garis air (di luar 0.1 L dari AP) adalah

$$\Sigma = \frac{MI}{W}$$

$$\Sigma = \frac{135.42 \text{ kg}}{4.8 \text{ kg / pcs}}$$

$$\Sigma = 28.21 \text{ pcs}$$

4.3.2 Kebutuhan Zinc Anoda Untuk Daerah didalam 0.1 L dari AP

- 1) Jumlah arus listrik yang dibutuhkan untuk melindungi permukaan bidang basah dari kapal (didalam 0.1 L dari AP)

$$I = 44.66 \text{ m}^2 \times 15 \text{ mA/m}^2$$

$$I = 669.90 \text{ mA}$$

$$I = 0.67 \text{ A}$$

- 2) Berat zinc anoda yang dibutuhkan yaitu

Dimana $t_f = 2$ tahun, 1 tahun $\implies 8760$ jam

$$MI = \frac{I(A) \times \text{waktu proteksi (tahun)} \times 8760 \text{ (jam)}}{\text{kapasitas dari material} \left(\frac{Ah}{kg} \right)}$$

$$MI = \frac{0.67 \text{ A} \times 2 \times 8760 \text{ hours}}{780 \text{ Ah / kg}}$$

$$MI = 15.050 \text{ kg}$$

- 3) Maka, kebutuhan jumlah anoda untuk daerah lambung dibawah garis air (di dalam 0.1 L dari AP) adalah

$$\Sigma = \frac{MI}{W}$$

$$\Sigma = \frac{15.050 \text{ kg}}{4.8 \text{ kg / pcs}}$$

$$\Sigma = 3.13 \text{ pcs}$$

4.3.3 Total Kebutuhan Zinc Anoda di Lambung

Dari perhitungan di atas dapat diperoleh jumlah anoda korban yang dibutuhkan yaitu :

$$\Sigma \text{ total} = 28.19 \text{ pcs} + 3.13 \text{ pcs}$$

$$\Sigma \text{ total} = 31.32 \text{ pcs}$$

Penambahan safety factor sebesar 20%, sehingga jumlah total zinc anoda yang dipasang adalah

$$\Sigma \text{ total} = 31.32 \times 1.2 \implies \mathbf{38 \text{ pcs @ 4.8 kg}}$$

4.4. PENEMPATAN ZINC ANODA

4.4.1 Jarak Penempatan Zinc Anoda

Jarak penempatan zinc anoda dibawah air dan dari draft 2,4 m ke bawah kapal dan penempatan zinc anoda dimulai dari garis FP kapal. Untuk jarak penempatan antar zinc anoda akan dilakukan perhitungan berikut ini.

$$J_{AK} = \frac{L_{pp}}{\sum AK_{total}} \dots \dots \dots (m)$$

Dimana:

- J_{AK} (Jarak antara anoda korban)
- L_{pp} (Panjang kapal) = 60 m
- $\sum AK_{total}$ (Jumlah total anoda yang dipasang) = 38 pcs

Sehingga :

$$\begin{aligned} J_{AK} &= \frac{L_{pp}}{\sum AK_{total}} \dots \dots \dots (m) \\ &= \frac{60m}{38} \\ &= 1,5 m \\ &= 1500 mm \end{aligned}$$

4.4.2 Pembagian Penempatan Zinc Anoda

Dari perhitungan diatas maka diperoleh jarak antar anoda korban rata- rata ialah 1500 mm. Namun pada kapal cepat 60 m ini untuk tiap frame memiliki ukuran yang berbeda yakni frame 0-5 memiliki jarak 600 mm, frame 5-9 jaraknya 1200 mm, frame 10-12 jaraknya 900 mm, frame12-36 jaraknya 1200 mm,frame 36-40 jaraknya 1000 mm, frame40-48 jaraknya 1200 mm dan frame 48-57 jaraknya 600 mm. Oleh karena itu untuk menghindari docking plan maka peletakannya di asumsikan bahwa satu buah anoda harus ditempatkan untuk melindungi luasan (lambung kapal) maksimal dengan jarak radius 8 m (360^0) baik dari samping kanan atau kiri anoda maupun dari atas atau bawah anoda.

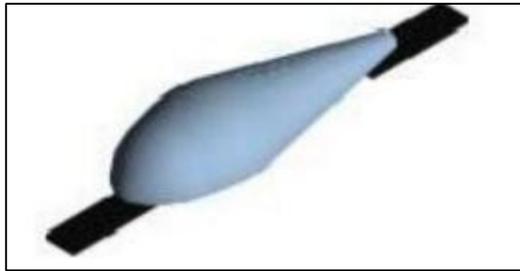
Tabel 4.1 Jumlah penempatan zinc anoda

NO	FRAME (HULL)	JUMLAH (PCS)
1	Frame 3	2
2	Frame 5	2
3	Frame 6	2
4	Frame 7	2
5	Frame 9	2
6	Frame 10	2
7	Frame 13	2
8	Frame 16	2
9	Frame 19	2
10	Frame 21	2
11	Frame 24	2
12	Frame 27	2
13	Frame 29	2
14	Frame 32	2
15	Frame 35	2
16	Frame 38	2
17	Frame 41	2
18	Frame 43	2
19	Frame 46	2
TOTAL		38

Pada tahap pemasangan zinc anoda dilakukan sebelum kapal diluncurkan. Zinc anoda dipasang dengan cara dilas pada bagian lengan anoda dan disambungkan langsung pada badan kapal. Pada bagian lengan anoda yang dihubungkan langsung pada badan kapal, lapisan coatingnya dihilangkan. Hal ini bertujuan agar aliran arus dari anoda lebih efektif, tidak terhambat oleh coating. Anoda dipasang pada bagian – bagian kapal yang telah ditentukan

4.4.3 Jenis Zinc Anoda Yang Digunakan

Jenis zinc anoda yang digunakan untuk kapal cepat 60 m ini berbentuk flush mounted dengan dimensi (P x L x T) 290 x 100 x 50 mm. Zinc anoda dengan type ini memiliki berat netto sebesar 4,8 kg. Berikut ini merupakan gambar jenis zinc anoda yang digunakan pada kapal cepat 60 m.



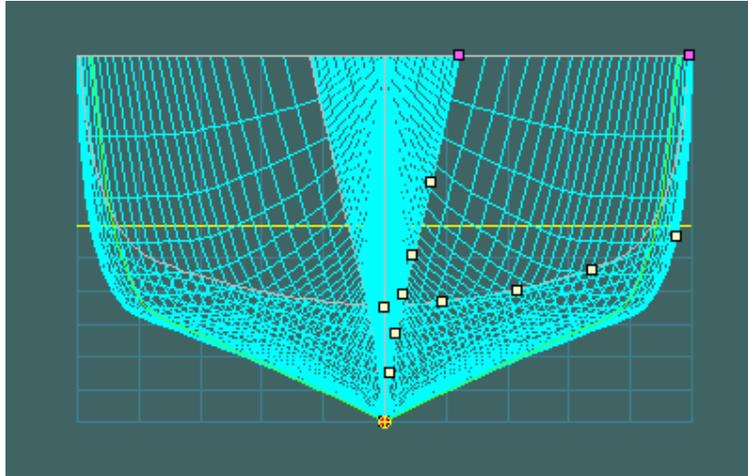
Gambar 4.3 Jenis zinc anoda yang digunakan kapal cepat 60 m

Tipe zinc anoda di atas memiliki dimensi 290 x 100 x 50 mm untuk tiap buahnya. Sehingga jarak yang menjadi acuan antar zinc anoda dari sisi paling ujung, untuk detail ukuran zinc anodanya sudah tercantum dilampiran.

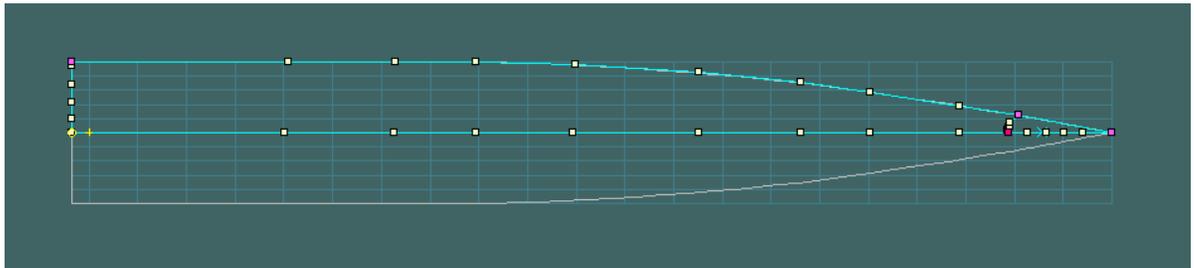
4.5. PEMODELAN LAMBUNG KAPAL

Pada pemodelan lambung kapal, hal yang harus diperhatikan adalah bentuk haluan kapal. Besar kecilnya bentuk penampang haluan kapal dapat akan mengakibatkan besar kecilnya tahanan yang dihasilkan. Pemodelan lambung kapal cepat 60 m pada penelitian ini menggunakan software maxsurf pro, sedangkan untuk menganalisa perhitungan tahanan menggunakan software hullspeed. Maxsurf Pro merupakan program yang digunakan untuk membuat model (lines plan) dalam bentuk 3D, yang dapat memperlihatkan potongan station, buttock, shear dan 3D nya pada pandangan depan, atas, samping dan prespektif. Proses pembuatan linesplan ini merupakan langkah awal perancangan desain kapal sebelum

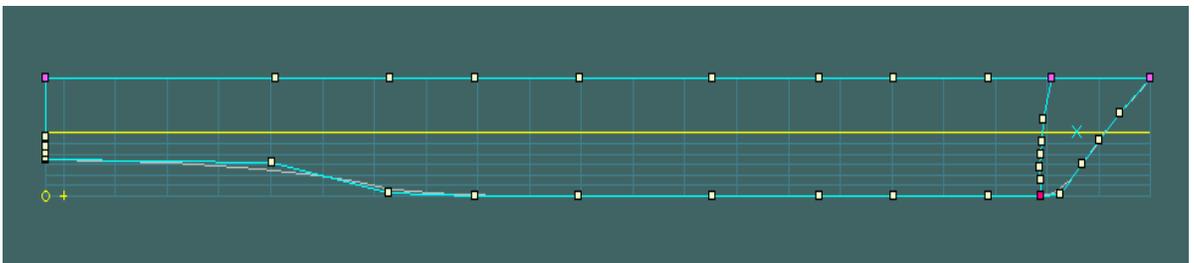
model dilakukan analisa tahanan. Hasil dari perencanaan model lambung kapal cepat 60 m bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



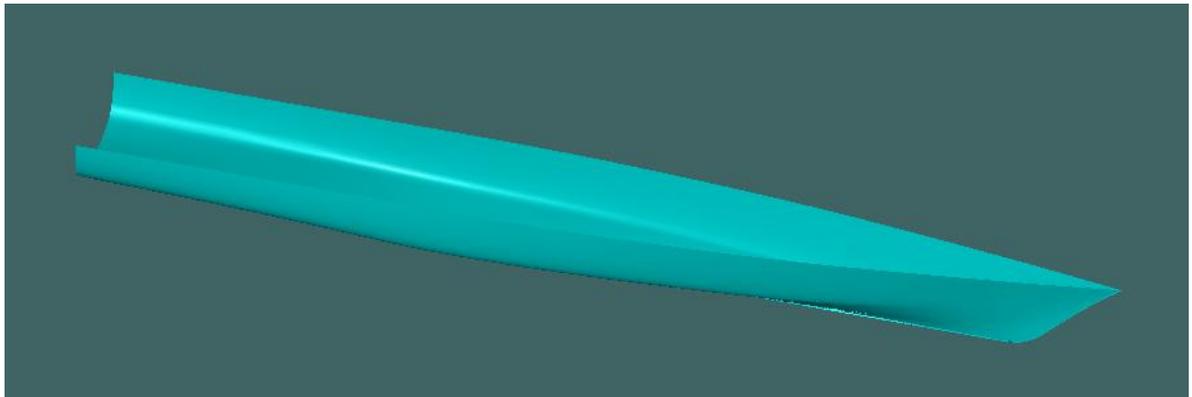
Gambar 4.4 Bodyplan lambung kapal



Gambar 4.5 Bentuk lambung kapal tampak atas

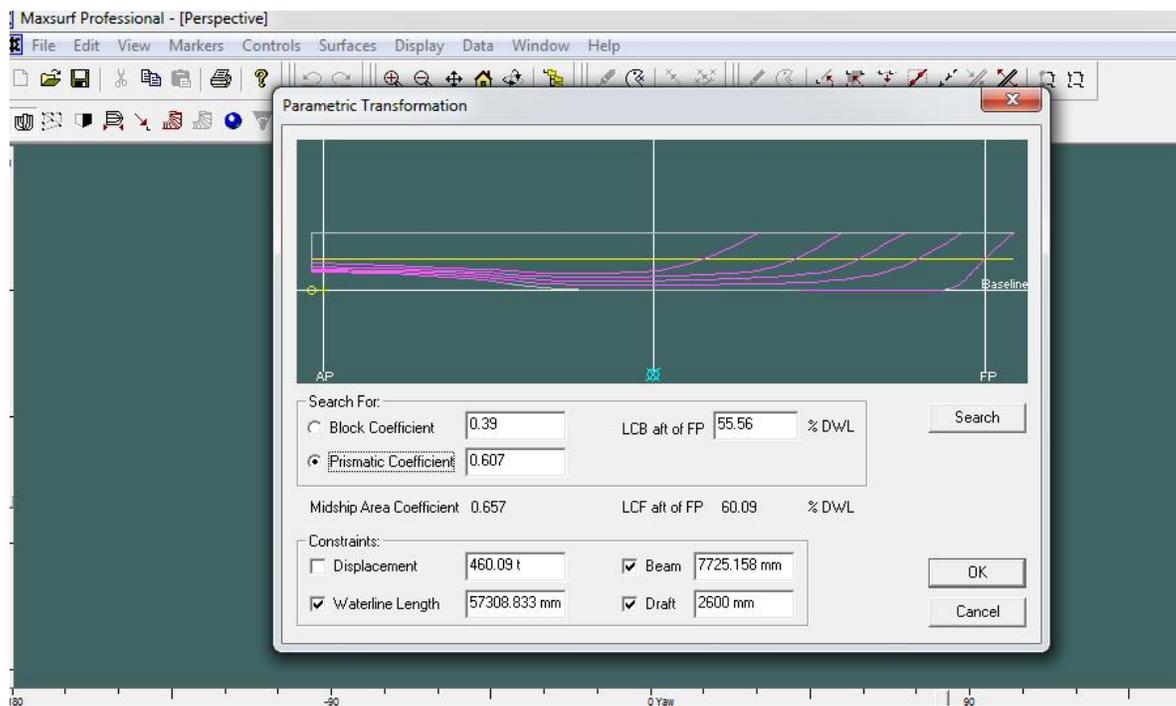


Gambar 4.6 Bentuk lambung kapal tampak samping



Gambar 4.7 Bentuk lambung kapal 3D

Selain bentuk model, didapatkan juga data – data yang ditunjukkan dalam software maxsurf yaitu seperti data transformasi parametrik dibawah ini :



Gambar 4.8 Data hasil transformasi parametrik

4.6. ANALISA TAHANAN

Tahanan kapal merupakan gerakan fluida yang melawan arah gerakan kapal yang mempunyai kecepatan tertentu sehingga menimbulkan gaya fluida yang berlawanan dengan gaya kapal.

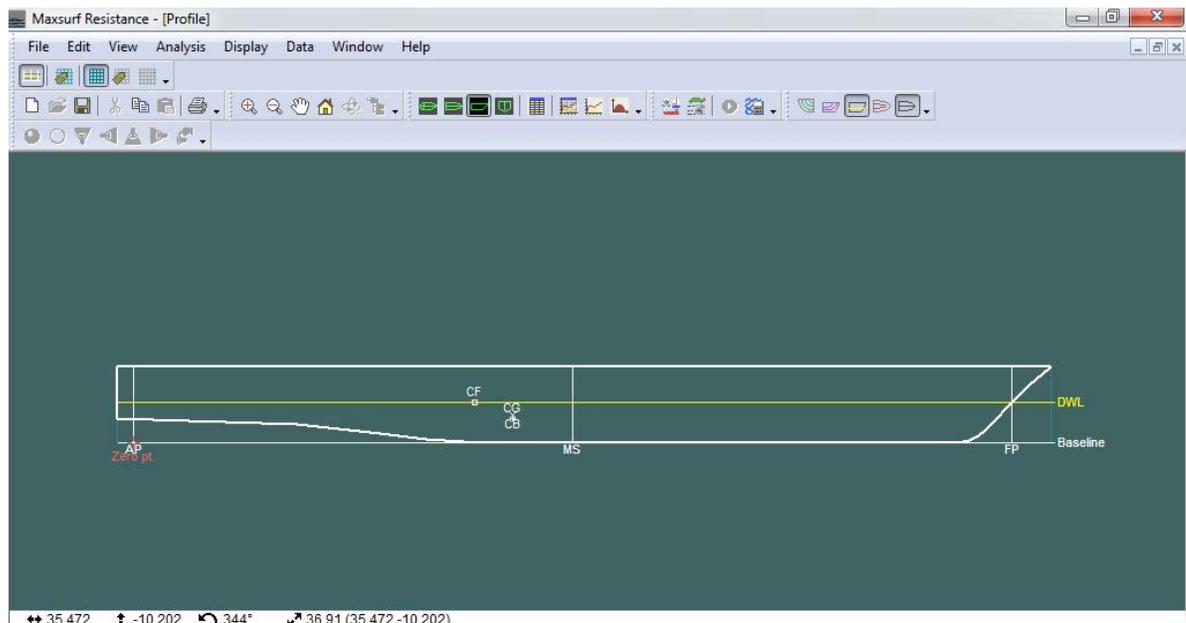
Perhitungan tahanan dengan menggunakan software hullspeed membutuhkan data – data sebagai berikut :

- Data ukuran utama kapal
- Data kecepatan kapal
- Data bentuk kapal

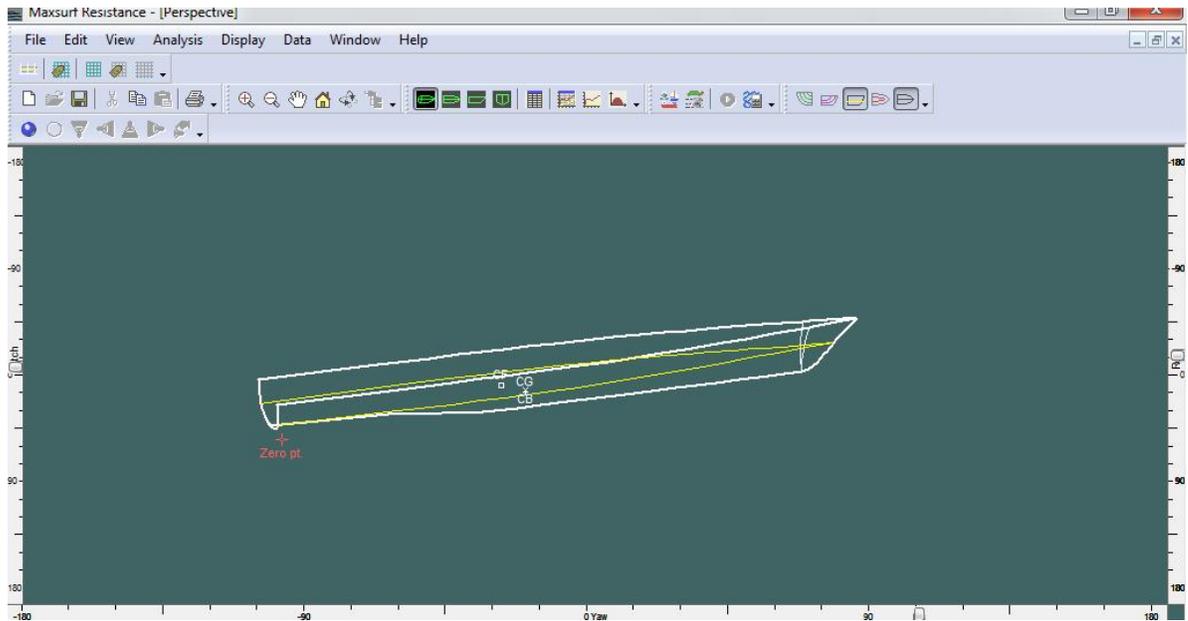
Analisa tahanan pada software hullspeed dilakukan dengan menggunakan dua perbandingan kapal yaitu lambung kapal yang disertai proteksi ICCP dan lambung kapal yang diproteksi Zinc Anoda.

4.6.1 Analisa Tahanan Lambung Kapal Menggunakan ICCP

Hasil pemodelan lambung kapal pada maxsurf di running ke dalam software hullspeed untuk mengetahui tahanan yang didapatkan. Berikut ini hasil running lambung kapal dari software maxsurf ke software hullspeed.

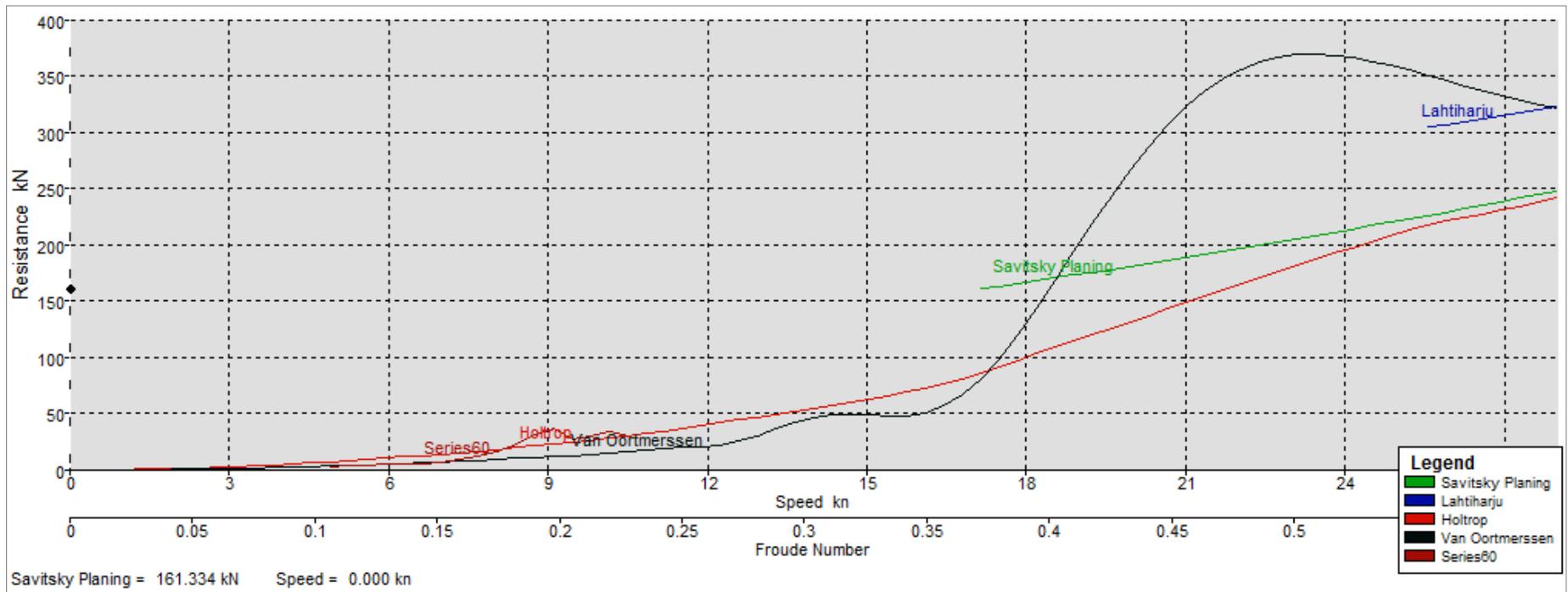


Gambar 4.9 Running lambung kapal tampak samping

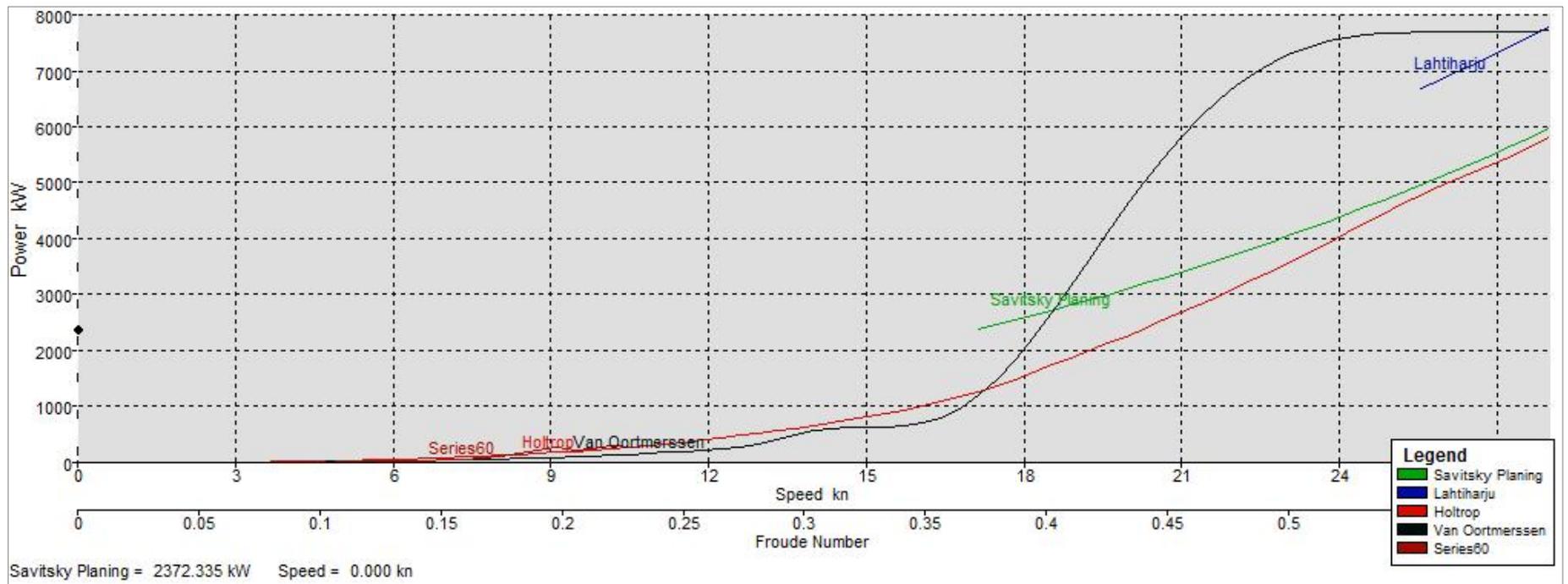


Gambar 4.10 Running lambung kapal tampak 3D

Pada data overall efficiency dimasukkan nilai sebesar 60% dan kecepatan maksimal kapal sebesar 28 knots. Untuk hasil running lambung kapal dari software maxsurf ke software hullspeed dapat dilihat pada grafik dibawah ini :

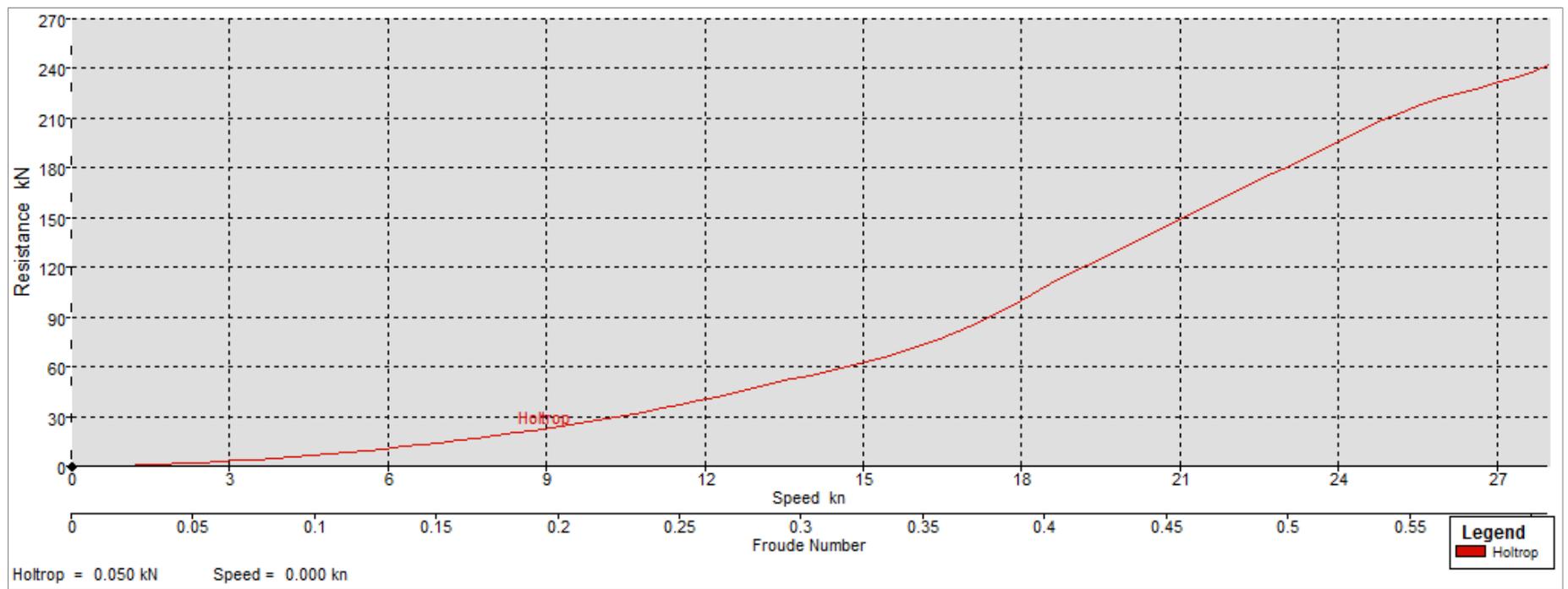


Gambar 4.11 Grafik tahanan terhadap kecepatan – ICCP

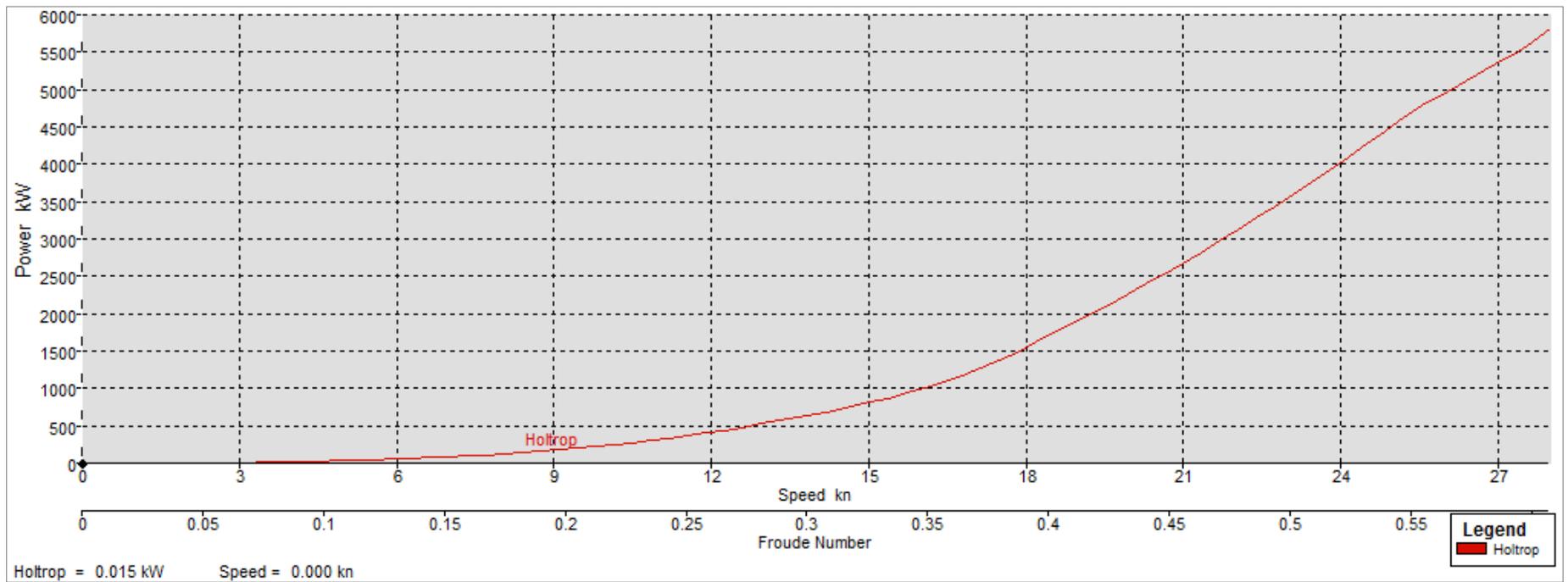


Gambar 4.12 Grafik power terhadap kecepatan – ICCP

Setelah analisa tahanan dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, diantaranya savistky planing, lahtiharju, holtrop, van oortmerssen dan series 60. Dan disimpulkan bahwa analisa dengan menggunakan metode holtrop menghasilkan grafik yang stabil, sehingga metode yang digunakan untuk analisa selanjutnya ialah metode holtrop. Dibawah ini hasil grafik pada metode holtrop :



Gambar 4.13 Grafik tahanan terhadap kecepatan – metode holtrop pada ICCP



Gambar 4.14 Grafik power terhadap kecepatan – metode holtrop pada ICCP

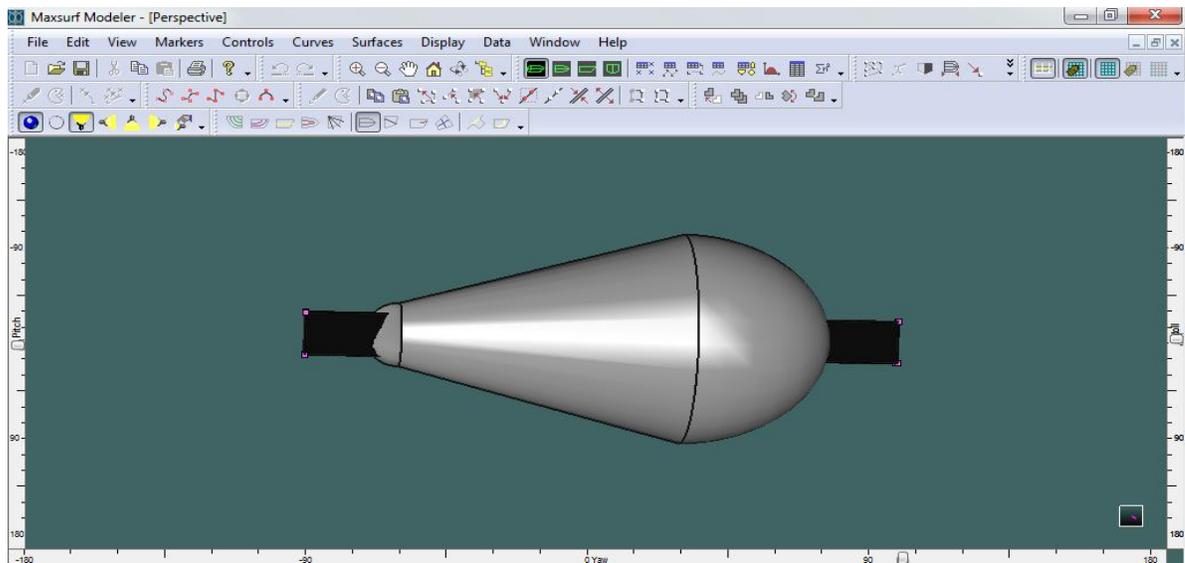
Tabel 4.2 Hasil analisa tahanan lambung kapal - ICCP

No	Speed	Froude Number LWL	Froude Number Volume	Holtrop (Resistance)	Holtrop (Power)
	(Knots)			(kN)	(kW)
1	0	0	0	--	--
2	0.7	0.015	0.042	0.2	0.112
3	1.4	0.03	0.083	0.7	0.839
4	2.1	0.046	0.125	1.5	2.714
5	2.8	0.061	0.166	2.6	6.228
6	3.5	0.076	0.208	3.9	11.834
7	4.2	0.091	0.249	5.5	19.953
8	4.9	0.106	0.291	7.4	30.974
9	5.6	0.122	0.332	9.4	45.273
10	6.3	0.137	0.374	11.7	63.226
11	7	0.152	0.415	14.2	85.24
12	7.7	0.167	0.457	16.9	111.779
13	8.4	0.182	0.498	19.9	143.383
14	9.1	0.197	0.54	23.2	180.678
15	9.8	0.213	0.582	26.7	224.377
16	10.5	0.228	0.623	30.6	275.103
17	11.2	0.243	0.665	34.8	333.989
18	11.9	0.258	0.706	39.5	403.008
19	12.6	0.273	0.748	44.6	482.044
20	13.3	0.289	0.789	49.8	567.811
21	14	0.304	0.831	54.9	658.677
22	14.7	0.319	0.872	60.1	757.944
23	15.4	0.334	0.914	66	871.955
24	16.1	0.349	0.955	73	1007.935
25	16.8	0.365	0.997	81.4	1173.182
26	17.5	0.38	1.038	91.6	1374.145
27	18.2	0.395	1.08	103.5	1614.783
28	18.9	0.41	1.121	115.3	1867.96
29	19.6	0.425	1.163	126.4	2124.973
30	20.3	0.441	1.205	137.6	2394.882
31	21	0.456	1.246	148.7	2677.426
32	21.7	0.471	1.288	159.8	2972.317
33	22.4	0.486	1.329	170.7	3279.241
34	23.1	0.501	1.371	181.7	3597.857
35	23.8	0.516	1.412	192.5	3927.794
36	24.5	0.532	1.454	203.2	4268.658
37	25.2	0.547	1.495	213.8	4620.024
38	25.9	0.562	1.537	221.5	4919.39
39	26.6	0.577	1.578	227.9	5197.379
40	27.3	0.592	1.62	233.7	5469.984
41	28	0.608	1.661	241.9	5808.424

Dari tabel di atas dapat dilihat dengan kecepatan maksimal 28 knot (F_n 0,608) untuk analisa tahanan menggunakan metode holtrop menghasilkan tahanan sebesar 241,9 kN dan membutuhkan power sebesar 5808,424 kW.

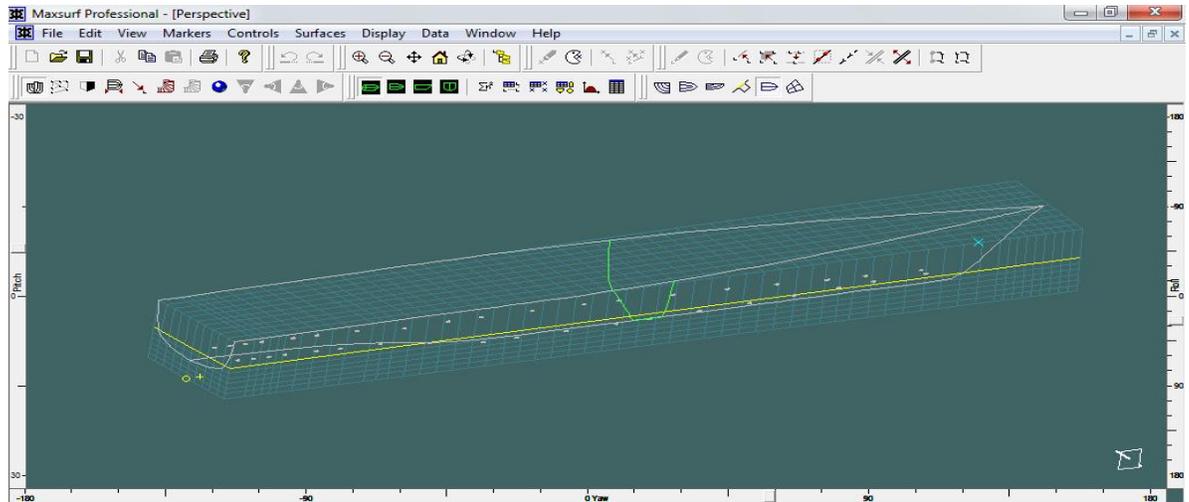
4.6.2 Analisa Tahanan Lambung Kapal Menggunakan Zinc Anoda

Pada analisa tahanan lambung kapal selanjutnya menggunakan arus proteksi dari zinc anoda. Adapun jenis zinc anoda yang digunakan untuk kapal cepat 60 m ini berbentuk flush mounted dengan dimensi (P x L x T) 290 x 100 x 50 mm. Zinc anoda dengan type ini memiliki berat netto sebesar 4,8 kg. Untuk jarak penempatan zinc anoda dibawah air dan dari draft 2,4 m ke bawah kapal serta total zinc anoda sebanyak 38 buah, dimana 19 dilambung kiri dan 19 buah disisi lambung kanan. Berikut ini desain zinc anoda pada software maxsurf serta letak penempatan dilambung kapal.



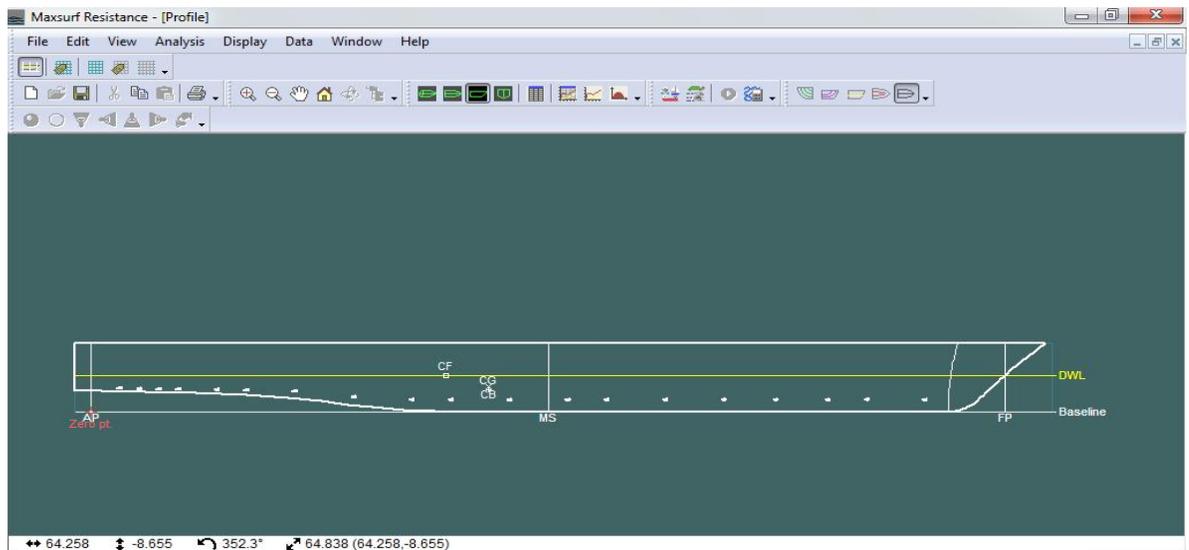
Gambar 4.15 Pemodelan Zinc anoda

Pada gambar dibawah ini terlihat penempatan zinc anoda pada lambung kapal yang telah ditambahkan pada permukaan surfaceny.

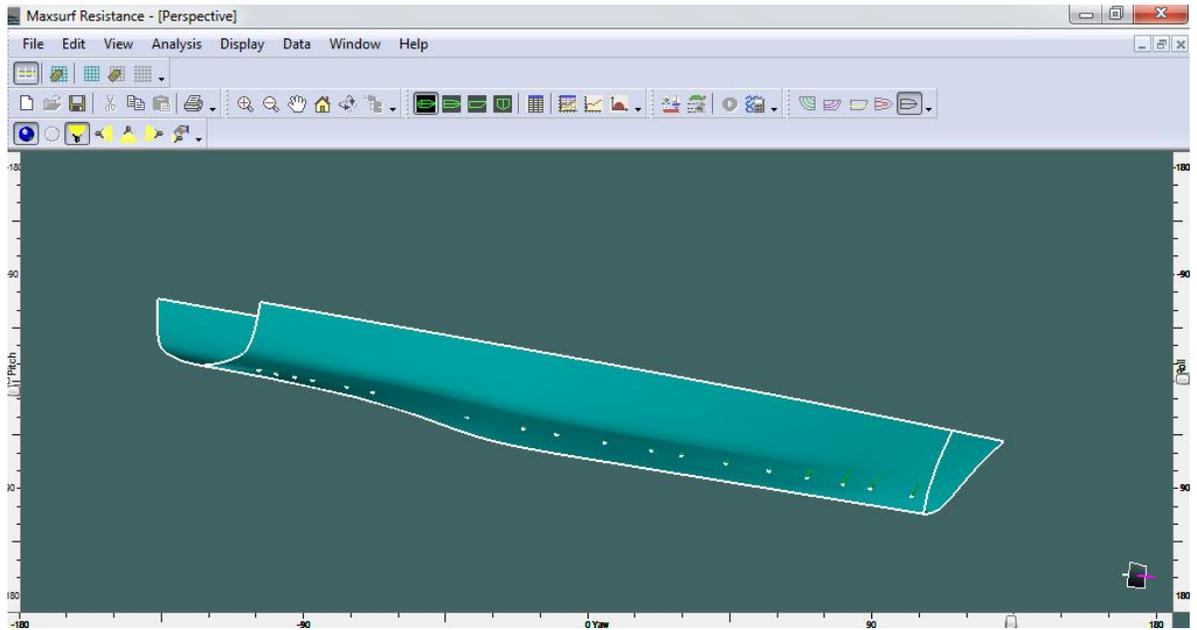


Gambar 4.16 Penempatan zinc anoda pada lambung kapal

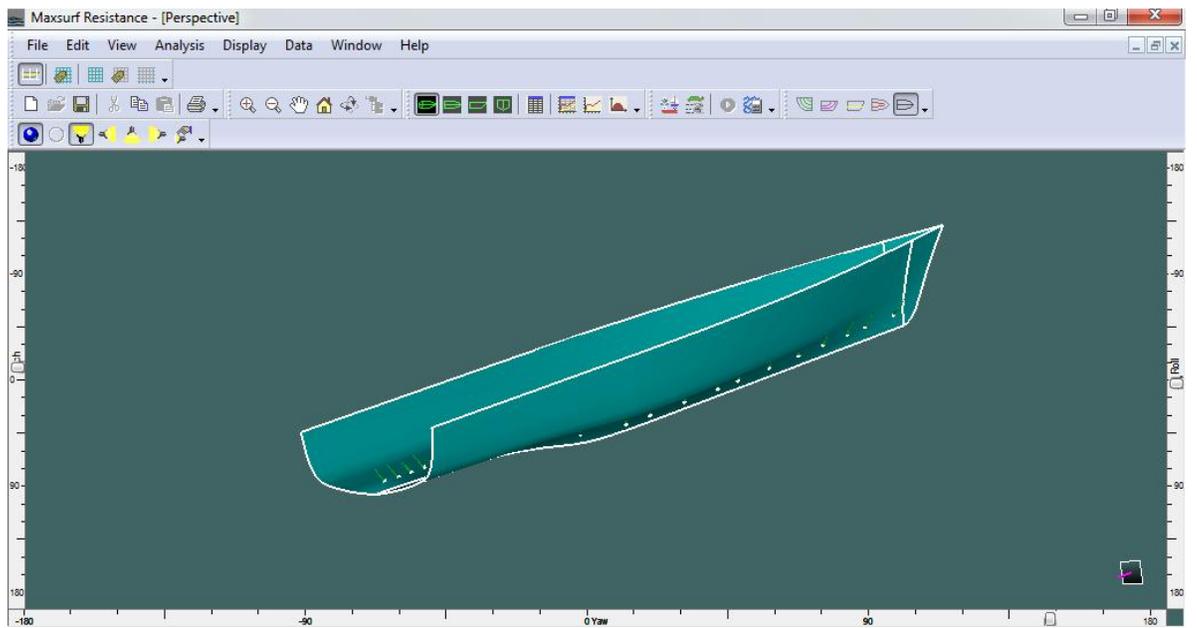
Setelah penambahan zinc anoda selesai dilakukan dan jumlahnya sudah sesuai kebutuhan yang telah dihitung diatas, maka langkah selanjutnya yaitu running data dari software maxsurf ke dalam software hullspeed. Didalam software maxsurf pilih metode yang akan digunakan dan ganti kecepatan maksimal menjadi 28 knot serta overall efficiency sebesar 60%.



Gambar 4.17 Penambahan zinc anoda tampak samping

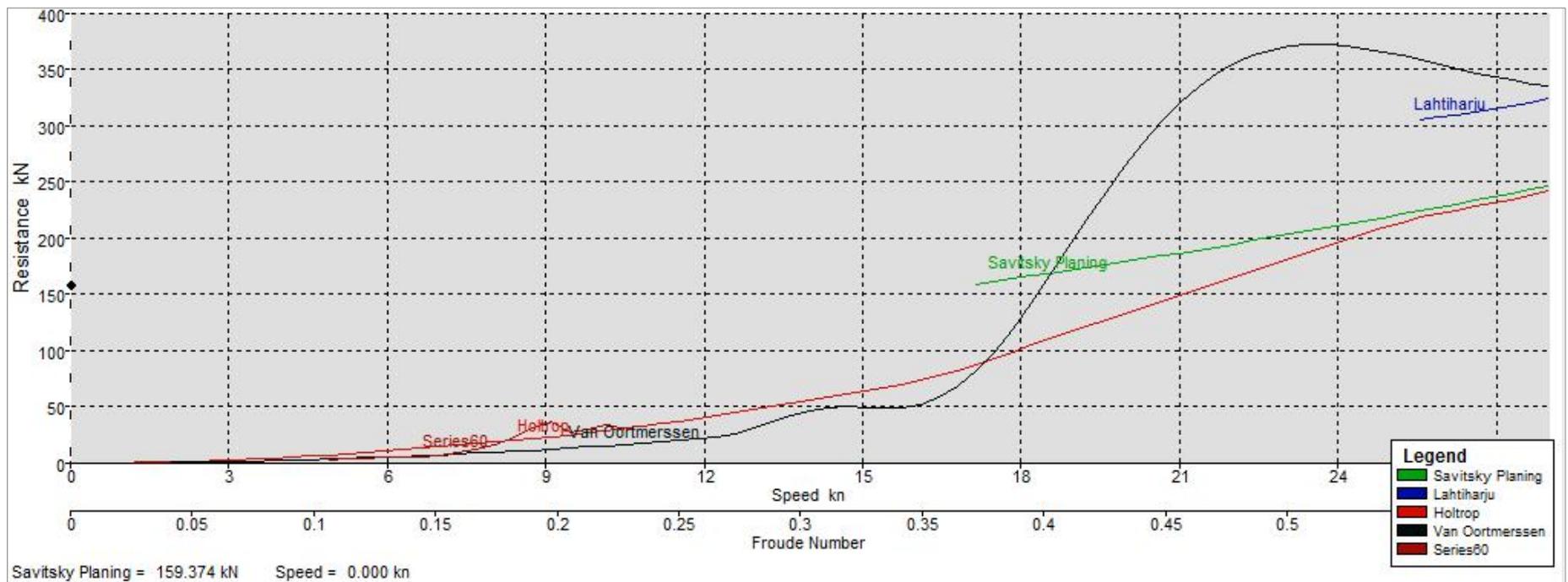


Gambar 4.18 Penambahan zinc anoda 3D

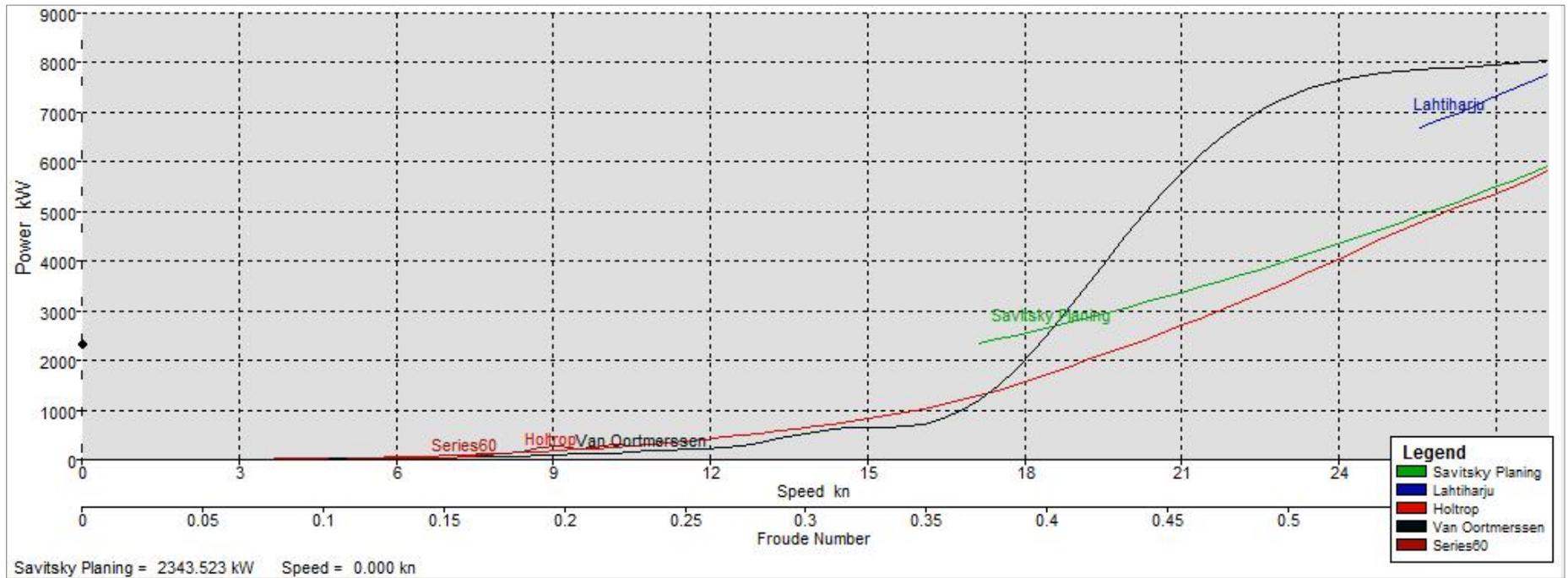


Gambar 4.19 Penambahan zinc anoda 3D

Berikut ini grafik analisa tahanan kapal lambung kapal patroli cepat menggunakan zinc anoda :

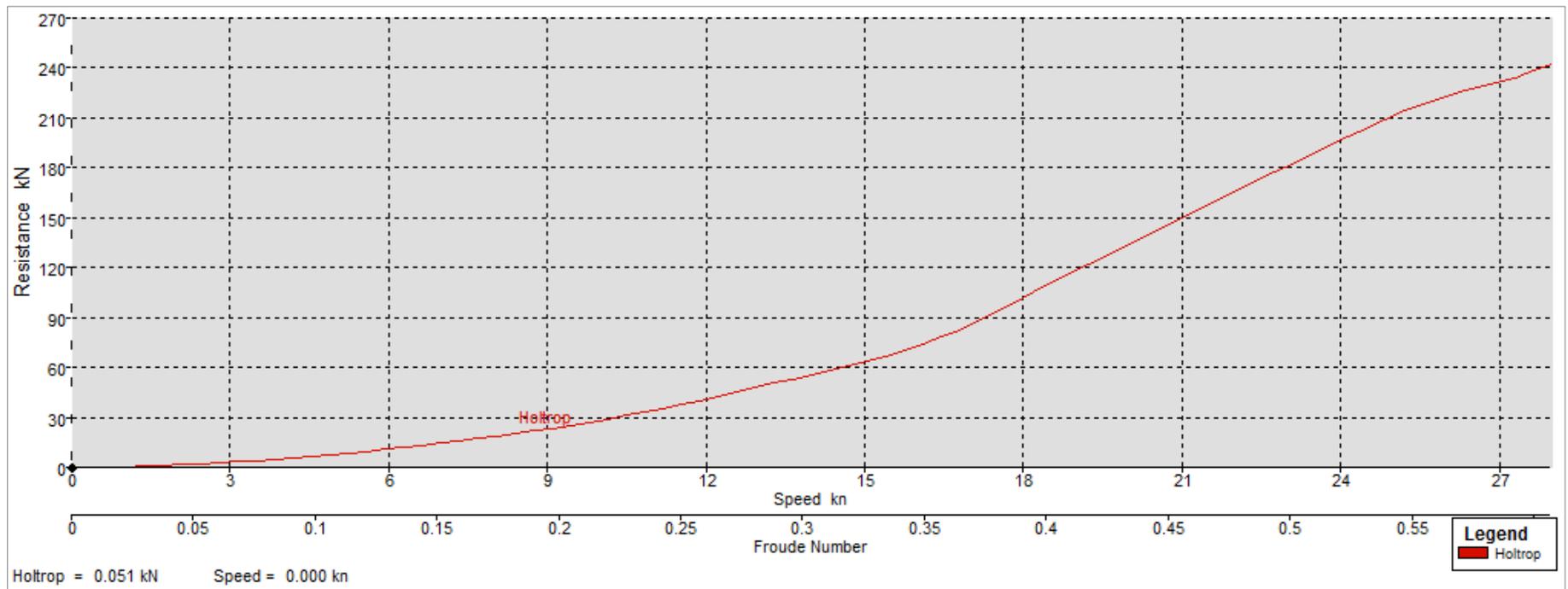


Gambar 4.20 Grafik tahanan terhadap kecepatan – Zinc Anoda

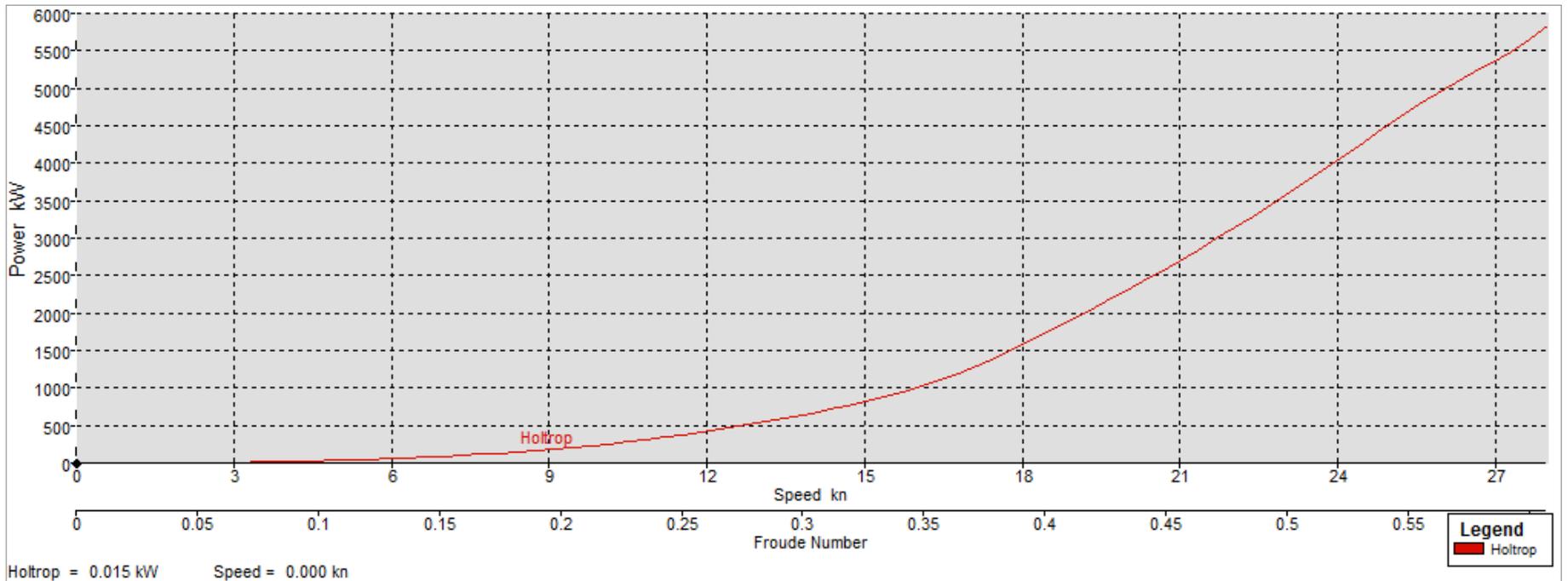


Gambar 4.21 Grafik power terhadap kecepatan – Zinc Anoda

Dari analisa tahanan yang telah dilakukan pada ICCP dengan menggunakan metode holtrop juga akan digunakan pada analisa Zinc Anoda. Hal ini disebabkan karena pada metode savistky planing, lahtiharju, holtrop, van oortmerssen dan series 60 menghasilkan grafik yang cenderung tidak stabil. Dibawah ini hasil grafik pada metode holtrop :



Gambar 4.22 Grafik tahanan terhadap kecepatan – metode holtrop pada Zinc Anoda



Gambar 4.23 Grafik power terhadap kecepatan – metode holtrop pada Zinc Anoda

Pada grafik tahanan ICCP dan Zinc Anoda diatas terlihat adanya hubungan antara kecepatan kapal dengan tahanan yang dihasilkan, dimana semakin besar kecepatan kapal maka tahanan yang dihasilkan juga semakin besar.

Sedangkan pada grafik power terhadap kecepatan adalah semakin tinggi resistance dan kecepatan maka power yang dibutuhkan juga semakin tinggi. Dibawah ini merupakan hasil tahanan yang muncul pada kapal patroli cepat dengan menggunakan proteksi Zinc Anoda :

Tabel 4.3 Hasil analisa tahanan lambung kapal – Zinc Anoda

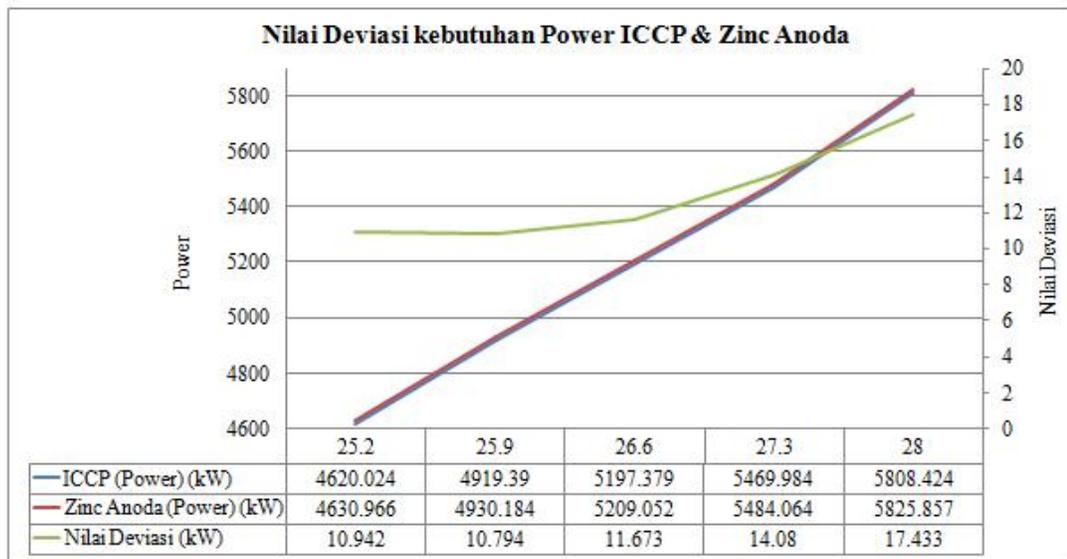
No	Speed	Froude Number LWL	Froude Number Volume	Holtrop (Resistance)	Holtrop (Power)
	(Knots)			(kN)	(kW)
1	0	0	0	--	--
2	0.7	0.015	0.042	0.2	0.114
3	1.4	0.03	0.083	0.7	0.852
4	2.1	0.046	0.125	1.5	2.757
5	2.8	0.061	0.166	2.6	6.328
6	3.5	0.076	0.208	4	12.024
7	4.2	0.091	0.249	5.6	20.273
8	4.9	0.106	0.291	7.5	31.473
9	5.6	0.122	0.332	9.6	46.004
10	6.3	0.137	0.374	11.9	64.248
11	7	0.152	0.416	14.4	86.616
12	7.7	0.167	0.457	17.2	113.576
13	8.4	0.182	0.499	20.2	145.67
14	9.1	0.197	0.54	23.5	183.529
15	9.8	0.213	0.582	27.1	227.865
16	10.5	0.228	0.623	31	279.314
17	11.2	0.243	0.665	35.3	339.046
18	11.9	0.258	0.706	40.1	408.965
19	12.6	0.273	0.748	45.2	488.841
20	13.3	0.289	0.789	50.5	575.502
21	14	0.304	0.831	55.6	667.614
22	14.7	0.319	0.873	61	768.623
23	15.4	0.334	0.914	67	884.846
24	16.1	0.349	0.956	74.1	1023.456
25	16.8	0.365	0.997	82.7	1191.691
26	17.5	0.38	1.039	93	1395.871
27	18.2	0.395	1.08	105.1	1639.733
28	18.9	0.41	1.122	116.8	1893.215
29	19.6	0.425	1.163	127.9	2149.051
30	20.3	0.441	1.205	138.9	2417.673
31	21	0.456	1.247	149.9	2698.823
32	21.7	0.471	1.288	160.8	2992.216
33	22.4	0.486	1.33	171.7	3297.541
34	23.1	0.501	1.371	182.5	3614.459
35	23.8	0.516	1.413	193.2	3942.603
36	24.5	0.532	1.454	203.8	4281.579
37	25.2	0.547	1.496	214.3	4630.966
38	25.9	0.562	1.537	222	4930.184
39	26.6	0.577	1.579	228.4	5209.052
40	27.3	0.592	1.621	234.3	5484.064
41	28	0.608	1.662	242.7	5825.857

Dari tabel 4.3 diatas dapat diketahui analisa tahanan dengan kecepatan maksimal 28 knots (F_n 0,608) menggunakan metode holtrop menghasilkan tahanan sebesar 242,7 kN dan membutuhkan power 5825,857 kW.

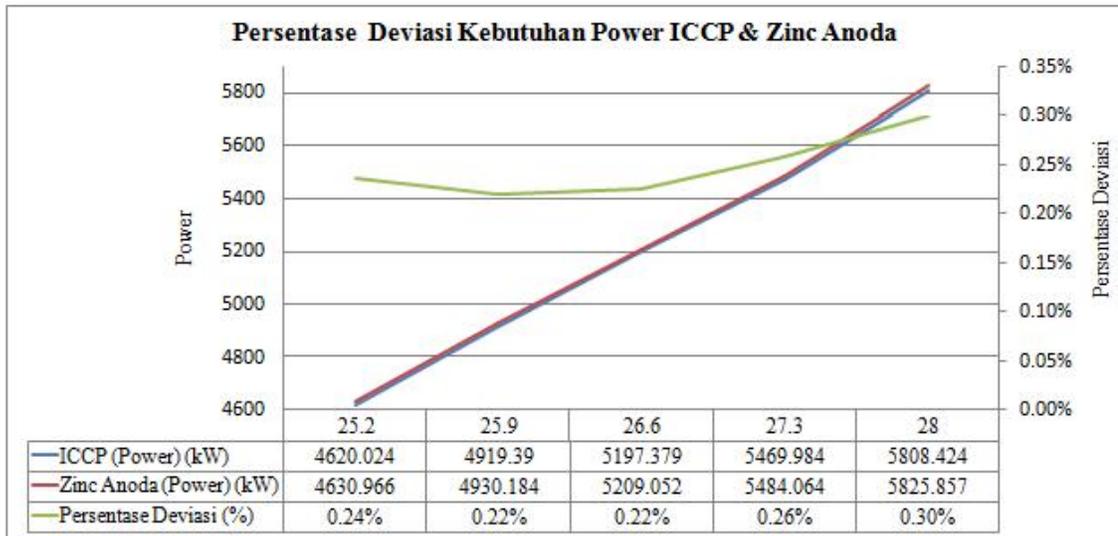
Pada tabel tersebut terlihat penambahan tahanan kapal setelah lambung kapal diberi zinc anoda sebanyak 38 buah. Dimana pembagiannya 19 buah dilambung kiri dan 19 buah dilambung kanan.

4.6.3 Deviasi Tahanan Lambung Kapal antara ICCP dengan Zinc Anoda

Pada grafik dibawah ini dapat diketahui nilai deviasi kebutuhan power antara ICCP dan Zinc Anoda pada kapal cepat 60 m yang terjadi beserta persentase deviasinya.



Gambar 4.24 Grafik nilai deviasi kebutuhan power ICCP dan Zinc Anoda



Gambar 4.25 Grafik persentase deviasi kebutuhan power ICCP dan Zinc Anoda

Pada grafik deviasi diatas untuk kebutuhan power pada Zinc Anoda terhadap ICCP pada kecepatan maksimal 28 knots memiliki deviasi sebesar 17,43 kW dengan persentase sebesar 0,30%. Oleh sebab itu penggunaan Zinc Anoda menyebabkan tahanan lebih tinggi sehingga power yang dibutuhkan dari mesin juga tinggi.

Untuk struktur kapal yang lebih besar, Zinc Anoda tidak dapat memberikan arus yang cukup baik dari segi teknis maupun ekonomis untuk memberikan perlindungan yang lengkap. Namun Zinc Anoda memiliki kemampuan untuk terkorosi terus – menerus selama digunakan dan tidak membentuk selaput pelindung di permukaan serta memiliki potensial yang cukup negatif untuk meyakinkan terjadinya proteksi katodik. Sedangkan sistem ICCP yang terhubung ke sumber listrik DC (arus searah) biasanya ada penyearah perlindungan katodik, yang mengubah suatu sumber listrik keluaran AC ke keluaran DC. Jika tidak ada pasokan AC, sumber daya alternatif dapat digunakan, seperti panel surya, tenaga angin atau tenaga gas generator thermoelectric. Disamping itu, ICCP mampu menyesuaikan tingkat perlindungannya sehingga daerah yang dilindungi lebih besar dan dapat melindungi struktur yang dilapisi cat

kurang baik. Anoda untuk sistem ICCP tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran bahkan anoda yang dibutuhkan relatif sedikit.

Dengan menelaah uraian kedua jenis tipe pelindung katodik di atas, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa jika kita hendak melindungi korosi pada permukaan yang relatif tidak luas, tipe zinc anoda adalah metode yang sesuai. Tipe ini sederhana dan relatif murah dengan perawatan periode. Sedangkan ketika permukaan yang ingin dilindungi jauh lebih besar, tipe zinc anoda tidak akan lagi ekonomis karena zinc anoda yang dibutuhkan akan sangat banyak. Oleh karena itu, ICCP adalah tipe yang paling tepat.

Dari hasil analisis ini juga menunjukkan bahwa penggunaan ICCP untuk perlindungan lambung kapal cepat 60 m lebih efektif dan efisien karena menghasilkan tahanan yang lebih rendah dan kebutuhan powernya lebih sedikit dibandingkan Zinc Anoda. Hal ini tentu saja berpengaruh terhadap kecepatan kapal.

4.7. PERHITUNGAN TAHANAN MENGGUNAKAN METODE HOLTROP – MENNEN’S

Untuk perhitungan tahanan kapal pada kapal cepat 60 m menggunakan metode yang dikemukakan oleh J. Holtrop dan G.G.J. Mennen. Adapun langkah – langkah dalam melakukan perhitungan tahanan kapal menggunakan Metode Holtrop – Mennen’s adalah sebagai berikut :

Data ukuran utama kapal :

LOA	=	60	m	Cm	=	0.60
LWL	=	55.19	m	Cp	=	0.61
LPP	=	54.97	m	L/B	=	6.79
Lebar (B)	=	8.10	m	B/T	=	3.12
Tinggi (H)	=	4.87	m	Cwp	=	0.70
Syarat (T)	=	2.6	m	Lcb	=	-0.20m
Displacement	=	460	ton	Fn	=	0.62
Cb	=	0.40		Cb	=	0.40
Vmaks	=	28	knots = 14.40 m/s			
$v_{\text{air laut}} (15^\circ)$	=	$1,1883 \times 10^{-6}$	m^2/s			
g	=	9.81	m/s^2			
$\rho_{\text{air laut}}$	=	1.025	$\text{ton}/\text{m}^3 = 1025 \text{ kg}/\text{m}^3$			

➤ Menghitung Volume Displacement Kapal

$$\begin{aligned} \nabla &= L_{wl} \times B \times T \times C_{b_{wl}} \\ \nabla &= 55.19 \times 8.10 \times 2.60 \times 0.40 \\ \nabla &= 464.92 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

➤ Menghitung Displacement Kapal

$$\begin{aligned} \Delta &= \nabla \times \rho_{\text{air laut}} \\ \Delta &= 464.92 \text{ m}^3 \times 1.025 \text{ ton}/\text{m}^3 \\ \Delta &= 476.54 \text{ ton} \end{aligned}$$

➤ **Menghitung Bilangan Froude Number (Fn)**

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

$$Fn = \frac{14.40}{\sqrt{9.81 \times 54.97}}$$

$$Fn = 0.620$$

➤ **Menghitung Angka Reynold Number (Rn)**

$$Rn = \frac{v \times Lwl}{\nu_k}$$

$$Rn = \frac{14.40 \times 55.19}{1.1883 \times 10^{-6}}$$

$$Rn = 668.949.430$$

➤ **Menghitung Nilai dari C_f (Koefisien Tahanan Gesek)**

$$c_f = \frac{0.075}{(\text{Log. } Rn - 2)^2}$$

$$C_f = 0.075 / ((\log) \times 668.949.430) - 2^2)$$

$$C_f = 0.00286$$

➤ **Menghitung Tahanan Gesek (RF)**

Dalam menghitung tahanan gesek dengan metode holtrop ini harus diperhatikan beberapa parameter perhitungan sesuai formula yang tertera pada formula Tahanan total kapal J. Holtrop :

$$R_{total} = RF (1 + k1) + RAPP + RW + RB + RTR + RA$$

Maka RF dapat dihitung dengan perincian sebagai berikut :

a) Menghitung Length Of Run (L_R)

$$LR = L \left[\frac{(1 - Cp) + (0,06 \times Cp \times Lcb)}{(4Cp - 1)} \right]$$

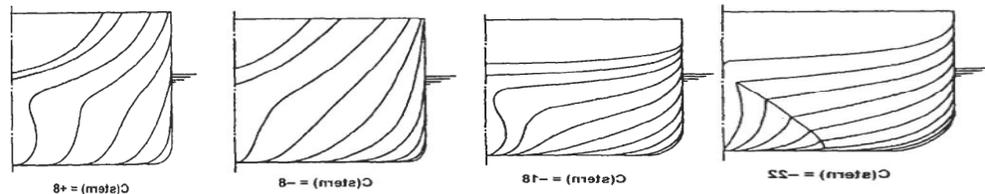
$$LR = L \left[\frac{(55.19 \times (1 - 0.61) + (0.06 \times 0.61 \times (-0.20))}{(4 \times 0.61) - 1} \right]$$

$$LR = 14.51 \text{ m}$$

b) Menghitung faktor C_{14}

$$C_{14} = 1 + 0.011 \times C_{\text{Stern}}$$

Dimana C_{Stern} bisa didapatkan nilainya tergantung oleh bentuk body plan yang dirancang, untuk kapal cepat 60 m ini menggunakan (-10) after body with V sections



$C_{\text{stern}} = -25$ to -20 barge-shaped forms
 $= -10$ after body with V sections
 $= 0$ normal shape of after body
 $= +10$ after body with U sections

Maka nilai C_{14} didapatkan sebagai berikut :

$$C_{14} = 1 + 0.011 \times C_{\text{Stern}}$$

$$C_{14} = 1 + 0.011 \times (-10)$$

$$C_{14} = 0.89$$

c) Menghitung Form Factor (1+K1)

Dimana Form Factor bisa didapatkan nilainya menggunakan formula sebagai berikut :

$$1 + k = 0.93 + 0.487118 C_{14} (B/L)1.06806 (T/L)0.46106 (L/LR)0.121563 (L3/\nabla)0.36486 (1-CP)-0.604247$$

$$1 + k = (0.93 + (0.487118 \times 0.89 \times 0.129 \times 0.244 \times 1.176 \times 8.578 \times 1.772)$$

$$1 + k = 1.17$$

d) Menghitung Luas Permukaan Basah Kapal (S)

$$S = L (2T + B) \sqrt{CM} (0.453 + 0.4425 CB - 0.2862 CM - 0.003467 B/T + 0.3696 CWP) + 2.38 ABT/CB$$

$$S = 55 (2 \times 2.60) + 8.10 \times (0.60^{0.5}) \times (0.4530 + (0.4425 \times 0.40) - (0.2862 \times 0.60) - (0.003467 \times 3.12) + (0.3696 \times 0.70) + (2.38 \times (0/0.40)$$

$$S = 446.62 \text{ m}^2$$

e) Menghitung Tahanan Gesek $R_F (1+K_1)$

$$\begin{aligned}
 R_F(1+k_1) &= \frac{1}{2} \times \rho_{\text{air laut}} \times C_f \times S \times v_s^2 \\
 R_F &= \frac{1}{2} \times \rho_{\text{air laut}} \times C_f \times S \times v_s^2 \times (1+k_1) \\
 R_F &= (0.5 \times 1.025 \times 0.00286 \times 446.62 \times 14.403^2) \times (1.17) \\
 R_F &= 159.44 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

➤ **Menghitung Tahanan Tambahan (R_{APP})**

Dalam menghitung tahanan tambahan dengan metode holtrop ini harus diperhatikan beberapa parameter perhitungan sesuai formula yang tertera pada formula Tahanan tambahan kapal J. Holtrop :

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \times \rho_{\text{air laut}} \times S_{APP} \times v_s^2 \times (1+k_2) \times C_f$$

Maka R_{APP} dapat dihitung dengan perincian sebagai berikut :

a) Menghitung Luasan Tambahan Permukaan Basah Kapal (S_{APP})

b) Dari nilai C diatas diambil nilainya sebagai berikut :

- $C_1 = 1.0$ Kapal umum dan $\Delta < 50000$ ton
- $C_2 = 1.0$ Tipe kemudi kapal umum
- $C_3 = 1.0$ Profil NACA dan Kemudi Plat
- $C_4 = 1.0$ Untuk Kemudi di belakang propeller

Sehingga

$$\begin{aligned}
 S_{APP} &= C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 (1.75 L \times T / 100) \\
 S_{APP} &= 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 (1.75 \times 55.19 \times 2.60 / 100) \\
 S_{APP} &= 2.5111 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

c) Menghitung nilai $(1+K_2)_{eq}$

$$(1+K_2)_{eq} = \frac{\sum(1 + k_2) S_{APP}}{\sum S_{APP}}$$

(digunakan apabila ada penambahan beberapa bentuk tambahan kapal)

$$(1+K_2)_{eq} = 2.8$$

Nilai ini di ambil dari tabel dibawah ini :

Tabel 4.4 nilai $(1+K_2)_{eq}$

Approximate 1 + K2 Values		
No	Item	Values
1	Rudder Behind Skeg	1.5 – 2.0
2	Rudder Behind Stern	1.3 – 1.5
3	Twin-screw Balance Rudder	2.8
4	Shaft Bracket	3
5	Skeg	1.5 – 2.0
6	Strut Bossing	3
7	Hull Bossing	2
8	Shafts	2.0 – 4.0
9	Stabilizer Fins	2.8
10	Dome	2.7
11	Bilge Keels	1.4

d) Menghitung Nilai Tahanan Tambahan Kapal (R_{APP})

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \times \rho_{air\ laut} \times S_{APP} \times v_s^2 \times (1+k_2) \times C_f \dots\dots\dots (kN)$$

$$R_{APP} = 0.5 \times (1.025 \times 2.5111 \times 14.403^2 \times 26.497 \times 0.00286)$$

$$R_{APP} = 20.23 \text{ kN}$$

➤ **Menghitung Tahanan Gelombang**

Dalam menghitung tahanan gelombang dengan metode holtrop ini harus diperhatikan beberapa parameter perhitungan sesuai formula yang tertera pada formula Tahanan tambahan kapal J. Holtrop :

$$R_W = C_1 \times C_2 \times C_5 \times \nabla \times \rho_{Air\ Laut} \times g \times \exp\{m_1 \times Fn^d + m_2 \times \cos(\lambda \times Fn^{-2})\} \dots\dots\dots N$$

Maka R_W dapat dihitung dengan perincian sebagai berikut :

a) Menghitung Nilai C_1

$$C_1 = 2223105 \times 0.78613 \times \left(\frac{T}{B}\right)^{1.07961} \times (90 - t_E)^{-1.37565}$$

$$C_1 = 2223105 \times 0 \times 0.29 \times 0$$

$$C_1 = 1.07$$

b) Menghitung Nilai C_2

Dimana C_2 didapatkan nilainya menggunakan formula sebagai berikut

$$C_2 = \exp(-1.89\sqrt{C_3})$$

Sebelum mencari nilai C_2 maka harus menghitung nilai C_3 terlebih dahulu menggunakan formula sebagai berikut :

$$C_3 = \frac{0.56 \times A_{BT}^{1.5}}{\{BT(0.3\sqrt{A_{BT}} + T_f - H_d)\}}$$

$$C_3 = 0.18$$

Sehingga C_2 dapat dihitung sebagai berikut

$$C_2 = \exp(-1.89\sqrt{C_3})$$

$$C_2 = \exp(-1.89\sqrt{0.18})$$

$$C_2 = 0.45$$

c) Menghitung Nilai Lambda (λ)

Dimana Lambda (λ) didapatkan nilainya menggunakan formula sebagai berikut :

Tabel 4.5 nilai lambda

Approximate λ Values		
No	Nilai	Ketika
1	$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 Lwl/B$	$Lwl/B < 12$
2	$\lambda = 1.446 C_p - 0.36$	$Lwl/B > 12$

$$(\lambda) = (1.446 \times 0.61) - (0.03 \times 6.81)$$

$$(\lambda) = 0.68$$

d) Menghitung Nilai m_1

Dimana m_1 didapatkan nilainya menggunakan formula sebagai berikut :

$$m_1 = \left(0.0140407 \frac{Lwl}{T}\right) - \left(1.75254 \times \frac{\nabla^{\frac{1}{3}}}{Lwl}\right) + \left(4.79323 \times \frac{B}{Lwl}\right) - c_{16}$$

Dimana sebelum menghitung m_1 harus menghitung c_{16} terlebih dahulu menggunakan formula sebagai berikut :

$$c_{16} = (8.07981 \times Cp) - (13.8673 \times Cp^2) + 6.984388 \times Cp^3$$

$$C_{16} = (8.07981 \times 0.61) - (13.8673 \times 0.61^2) + (6.984388 \times 0.61^3)$$

$$C_{16} = 1.35$$

Sehingga m_1 dapat dihitung sebagai berikut :

$$m_1 = \left(0.0140407 \frac{Lwl}{T}\right) - \left(1.75254 \times \frac{\sqrt[4]{3}}{Lwl}\right) + \left(4.79323 \times \frac{B}{Lwl}\right) - C_{16}$$

$$m_1 = (0.0140407 \times 21.23) - (1.75254 \times 0.14) + (4.79323 \times 0.15) - 1.35$$

$$m_1 = -0.60$$

e) Menghitung Nilai m_2

Tabel 4.6 Formula range penentuan nilai C_{15}

Approximate c_{15} Values		
No	Nilai	Ketika
1	$C_{15} = -1.69385$	$L^3/\nabla \leq 512$
2	$C_{15} = 0.0$	$L^3/\nabla \geq 1727$
3	$C_{15} = -1.69385 + \left(\frac{Lwl}{1} - 8\right)/2.36$	$512 < L^3/\nabla < 1727$

Maka nilai $C_{15} = -1.69385$

Sehingga :

$$m_2 = c_{15} \times Cp^2 \times \exp(-0.1 \times Fn^{-2})$$

$$m_2 = -1.69385 \times 0.37^2 \times \exp(-0.1 \times 2.59942)$$

$$m_2 = -0.4891$$

f) Menghitung C_5

$$c_5 = 1 - 0.0A_T / (B \times T \times Cm)$$

$$C_5 = (1 - 0.8 \times 5.41) / (8.10 \times 2.60 \times 0.60)$$

$$C_5 = 0.6578$$

g) Menghitung Nilai Tahanan Gelombang Kapal (RW)

Dimana tahanan gelombang pada kapal bisa didapatkan nilainya menggunakan formula sebagai berikut :

$$R_W = C_{(1)} \times C_{2} \times C_{5} \times \bar{v} \times \rho_{(Air\ Laut)} \times g \times \exp\{m_1 \times [Fn]^d + m_2 \times \cos(\lambda \times [Fn])\}$$

$$R_W = 1.07 \times 0.45 \times 0.66 \times 465 \times 1.025 \times 9.81 \times 0.44029$$

$$R_W = 650 \text{ N}$$

$$R_W = 0.65 \text{ kN}$$

h) Menghitung Nilai C_4

$$C_4 = TF / L$$

$$C_4 = 2.60 / 55.19$$

$$C_4 = 0.04$$

i) Menghitung Nilai C_A

$$C_A = 0.006(Lwl + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \sqrt{\frac{Lwl}{7.5}} \times CB^4 \times c_2 \times (0.04 - c_4)$$

$$C_A = 0.0006 \times (55.19 + 100)^{0.16} - (0.00205 + (0.003 \times 2.71 \times 0.03 \times 0.45 \times (0.04 - 0.04))$$

$$C_A = 0.0006$$

j) Menghitung Nilai R_A (Tahanan Model Ship Correlation)

$$R_A = 0,5 \times \rho_{\text{air laut}} \times V S^2 \times S \times C_A$$

$$R_A = 0,5 \times 1.025 \times 14.40^2 \times 446.62 \times 0.0006$$

$$R_A = 29.762 \text{ kN}$$

➤ **Menghitung Tahanan Total Kapal (R_T)**

$$R_{\text{total}} = R_F + R_{\text{APP}} + R_W + R_A$$

$$R_{\text{total}} = 159.44 + 20.23 + 0.65 + 29.762$$

$$R_{\text{total}} = 210.09 \text{ kN}$$

➤ **Menghitung Tahanan Dinas Kapal (R_{TS})**

Dalam menghitung tahanan total kapal menggunakan metode holtrop ditambahkan dengan sea margin dengan formula sebagai berikut :

$$R_t (\text{dinas}) = (1+15\%) \times R_T$$

$$R_t (\text{dinas}) = (1+15\%) \times 210.09$$

$$R_t (\text{dinas}) = 241.60 \text{ kN}$$

Maka nilai tahanan dengan menggunakan formula holtrop – mennen's pada kapal cepat 60 m yaitu **241.60 kN**.