

HIGH SPEED SHIP TOTAL RESISTANCE CALCULATION (AN EMPIRICAL STUDY)

Dimas Endro W¹

¹Staf Pengajar Politeknik Pekapalan Negeri Surabaya– ITS
dimasend@yahoo.com

Abstrak

High speed design studies became very intense studies. One of the subject that can be explore is obtaining total resistance. A high speed ship has four stages of condition when she operates. Starting from low speed condition until development of dynamics lift force.

These four states that happened on high speed ship when she cruise on her operational speed, make a specific consideration on predicting her total resistance. As high speed ship become more widely built and operate in Indonesia, the study of the state of art of high speed vessel especially for obtaining total resistance has become more challenging

In this paper is focused on proposing an applicative methods for high speed resistance calculation based on savitsky method. Result which obtained form empirical study is compared to numerical software.

Result of this study shows that there are no significant differences between empirical method and result form software application. Considering of sea margin would be effective to made the empirical method would be applicable. There is a 128,0812 KN of total resistance using empirical method, by considering sea margine factor, and a 128,512 KN of total resistance resulted form software calculation.

Keyword: High Speed Ship, Resistance ,Empiric, Resistance coefficient, Sea Margin.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan kapal cepat khususnya kapal cepat ukuran kecil dengan jenis lambung tunggal (*Mono Hull*) belakangan ini mulai marak digunakan di Indonesia. Banyak instansi baik pemerintah maupun swasta yang menggunakan kapal cepat untuk berbagai tujuan. Kapal yang selama ini diasosiasikan oleh orang kebanyakan yang hanya pada mulanya sebagai alat transportasi, belakangan ini mulai meluas fungsinya tidak hanya sebagai alat transportasi, akan tetapi juga sebagai alat penunjang inspeksi keamanan, keselamatan laut, perikanan, rekreasi bahkan pertahanan.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan kapal cepat tersebut, juga mengakibatkan meningkatnya jumlah dan kapasitas produksi galangan kapal untuk dapat memproduksi kapal cepat guna memenuhi kebutuhan pangsa pasar yang ada.

Sejauh ini pada tahap desain khususnya pada galangan kapal skala kecil yang memproduksi

kapal cepat, pada penentuan nilai harga tahanan total (*Total Resistance*), perencana kapal cepat pada umumnya menggunakan software aplikasi yang dapat secara singkat dan mudah memberikan hasil perhitungan khususnya pada penentuan nilai tahanan total.

Meskipun sejauh ini penggunaan software dapat membantu para desainer galangan kapal kecil untuk memperkirakan tahanan total yang bekerja pada kapal cepat yang dirancangnya, akan tetapi banyak desainer tersebut, masih belum mengetahui parameter lain yang menjadi karakteristik pada kapal cepat.

Pada suatu kondisi air yang tenang, suatu fenomena hidrodinamik yang terjadi pada kapal yang dirancang sebagai kapal *water planning* seperti halnya yang terjadi pada kapal cepat, terjadi kondisi kondisi sebagai berikut [1] : a. Lambung memiliki sifat sebagai lambung displasemen (pada kondisi lambung memiliki kecepatan nol atau pada kecepatan rendah). b. Sebagaimana kecepatan meningkat, lambung akan mendapatkan pengaruh dinamik dari aliran,

dikarenakan terjadi peningkatan kecepatan aliran. c. Pada kecepatan yang lebih tinggi hingga tercapai koefisien kecepatan antara 0,5 hingga 1,5, maka gaya dinamik tersebut akan berkontribusi menjadi daya angkat (lift). Serta d. Pada koefisien kecepatan yang lebih besar dari 1,5 suatu lambung kapal cepat yang dirancang secara baik akan ikut membangkitkan gaya angkat dinamik, yang berpengaruh pada kenaikan titik pusat grafitasi (kenaikan pada lambung).

Bertolak dari kondisi yang terjadi pada lambung kapal tersebut, khususnya pada jenis kapal cepat, maka penyesuaian parameter dan koefisien dikarenakan adanya pengaruh gaya dinamik dan fungsi kecepatan dinas kapal serta pengaruh lainnya menjadi penting untuk dikaji dan dibahas. Diharapkan dengan adanya kajian dan pembahasan tersebut maka dapat menghasilkan metode empiris untuk memprediksi besar tahanan total yang bekerja pada kapal cepat serta dapat diketahui parameter lain yang berpengaruh.

1.2. Perumusan Masalah

Dikarenakan terjadinya fenomena hidrodinamik pada kapal cepat, maka perlu untuk dirancang suatu metode aplikatif yang digunakan sebagai acuan untuk penentuan nilai tahanan total pada kapal cepat ukuran kecil dengan jenis lambung tunggal (*Mono Hull*).

Selain itu juga masih sedikitnya referensi yang berkenaan dengan kapal cepat yang membahas secara praktis parameter yang terjadi untuk penentuan besar tahanan total pada kapal cepat ukuran kecil jenis lambung tunggal di Indonesia.

1.3. Tujuan

Sebagaimana telah disampaikan pada latar belakang, maka tujuan dari penulisan ini ialah : untuk mendapatkan suatu metode perhitungan aplikatif untuk penentuan nilai tahanan total pada kapal cepat ukuran kecil jenis lambung tunggal (*Mono Hull*). Selain itu juga diharapkan dapat sebagai tambahan referensi bagi para desainer pada galangan kapal kecil khususnya bagi galangan yang memproduksi kapal cepat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Cepat

Suatu kapal cepat khususnya pada kapal cepat dengan ukuran kecil ketika dioperasikan akan mengalami kondisi berikut [1]: a. Pada

kondisi saat kapal diam dan bergerak pada kecepatan rendah, kapal cepat (*planning boat*) tersebut memiliki sifat sebagai layaknya lambung displasemen (*Displacement Hull*). Pada kondisi ini keseluruhan gaya angkat (*lift*) yang bekerja pada lambung berasal dari gaya apung (*Bouyant forces*). b. Sebagaimana kecepatan yang meningkat, akan berdampak pada koefisien kecepatan yang merupakan fungsi dari lebar rata rata kapal dan kecepatan serta percepatan grafitasi. Pada saat kapal berada pada nilai koefisien kecepatan mencapai 0,5, akan terjadi penurunan resultan gaya hidrodinamik. Bila dibandingkan dengan gaya statis murni dikaitkan dengan letak tinggi sarat dan trim kapal. c. Pada koefisien kecepatan antara 0,5 hingga 1,5 pengaruh dinamik menghasilkan nilai tambah yang positif terhadap gaya angkat (*lift*), meskipun pada sebagian besar kasus, tidak terjadi kenaikan yang signifikan pada pusat grafitasi atau kenaikan pada bagian depan haluan. d. Pada koefisien kecepatan yang lebih besar dari 1,5, suatu kapal cepat akan memiliki gaya angkat dinamik yang akan menghasilkan kenaikan yang signifikan pada pusat grafitasi, trim, dan semakin meningginya haluan.

Koefisien kecepatan oleh Savitsky dinyatakan dengan [1]:

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{g \cdot b}} \quad (1)$$

Dimana :

C_v = Koefisien Kecepatan

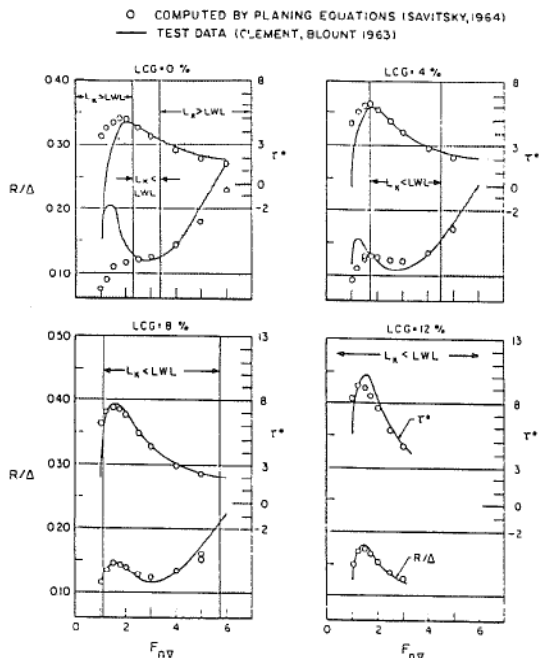
V = Kecepatan Kapal (m/s)

g = Percepatan Grafitasi (9,81 m/s²)

b = Maximum Beam Over Chine (m).

2.2. Volume Froude Number

Salah satu karakteristik kapal cepat ialah adanya Bilangan Froude (*Froude Number*). Tidak seperti pada kebanyakan Bilangan Froude yang sudah dikenal pada kapal displasemen, bilangan froude pada kapal cepat merupakan fungsi dari kecepatan dan volume displasemen. Pada gambar 1, ditunjukkan suatu data dari hasil percobaan model kapal *series 62 planning* yang dibuat oleh Clement dan Blount [2]. Pada gambar tersebut tahanan dan trim yang terjadi pada air tenang diplot terhadap fungsi bilangan froude volume, pada harga rasio panjang (*Length*) terhadap lebar (*Breadth*) $L/B = 2$. Pada kasus ini nilai $F_n \sim 1,5 C_v$.



Gambar 1. Grafik tahanan dan trim terhadap fungsi Bilangan Froude Volume ($F_n \nabla$), series 62, $L/B = 2,0$, $A_p/\nabla^{2/3} = 7,0$ $\Delta = 100,00$.

Pada data yang diperoleh tersebut terdapat bagian yang tidak dihitamkan pada plot kurva. Bagian tersebut menunjukkan batasan kecepatan dimana panjang keel yang tercelup sebagaimana diukur pada model kurang dari panjang *Length of Water Line* (LWL). Lingkaran yang terdapat pada grafik, menunjukkan nilai dari trim dan tahanan sebagaimana yang dihitung oleh Savitsky untuk kasus lambung *planning*. Lebih lanjut penentuan nilai bilangan Froude pada kapal cepat berdasar hasil yang diperoleh dari grafik tersebut dinyatakan dengan [1]:

$$F_{n\nabla} = \frac{v}{\sqrt{g \nabla^{1/3}}} \quad (2)$$

Dimana :

$F_{n\nabla}$ = Bilangan Froude Volume

v = Kecepatan Kapal (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (9,81 m/s²)

∇ = Displasemen Volume (m³)

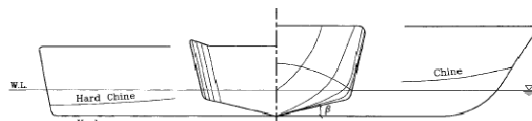
2.3. Fungsi Kecepatan dan Bentuk Lambung

Pada suatu batasan kecepatan tertentu, dimana kapal dalam kondisi *planning*, yang mana

aliran yang terjadi telah terpisah dari *chine* dan *transom*, serta panjang daerah lunas yang basah lebih kecil daripada LWL, maka haluan akan mengalami pengangkatan.

Selain itu pada kapal cepat bila dilihat dari bentuk konstruksi desainnya memiliki sudut *deadrise* (*angle of deadrise*). Menurut Savitsky [3] bila gaya angkat mendekati nol, maka demikian pula sudut trim yang dibentuk, juga akan mendekati nol. Sehingga sudut trim memiliki fungsi yang serupa dengan sudut serang pada teori hidrodinamik. Lebih jauh bila gaya angkat menurun secara linear, maka akan meningkatkan sudut *deadrise*. Sehingga dapat diketahui bahwa sudut *deadrise* memiliki hubungan langsung dengan gaya angkat (lift).

Pada Gambar 2, ditunjukkan letak dari sudut *deadrise* (β) suatu kapal cepat.



Gambar 2. Letak Sudut *Deadrise* (β) pada suatu kapal cepat.

Ketika terjadi kondisi sudut *deadrise* yang terbentuk sama dengan nol, ($\beta = 0$), maka koefisien angkat dinyatakan dengan [1]:

$$C_{l0} = \frac{\Delta}{2 \rho V^2 \cdot B_{px}^2} \quad (3)$$

Dimana :

C_{l0} = Koefisien Angkat (*Lift Coeficient*)

ρ = Massa Jenis Air Laut (Slug/Cu.Ft)

V = Kecepatan Kapal (ft/sec)

B_{px} = Maximum *Chine Beam* (ft)

Δ = Displasemen (lb)

Sedangkan displasemen Volume dapat dihitung dengan menggunakan rumus [4]:

$$\nabla = L \cdot B \cdot T \cdot C_b \quad (4)$$

Dimana :

L = Panjang Kapal (Lwl, m)

B = Lebar Kapal (m)

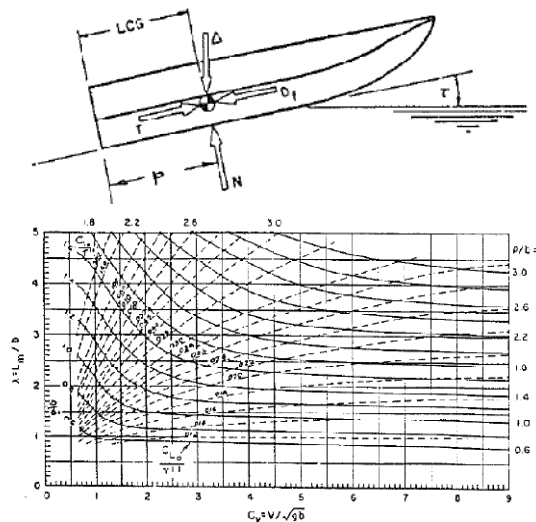
T = Tinggi Sarat (m)

C_b = Koefisien Blok

∇ = Displasemen Volume (m³)

Nilai λ yang merupakan nilai rata rata perbandingan antara panjang dan lebar pada area basah kapal. Savitsky mengambil asumsi bentuk

lambung yang prismatis (prismatic hull form). Asumsi ini membawa konsekuensi berupa nilai sudut dead rise merupakan angka yang konstan sepanjang lambung kapal. Sehingga Penggunaan Grafik Equilibrium planning digunakan untuk mengetahui besarnya sudut trim (τ) yang bekerja pada kapal.



Gambar 3. Grafik Equilibrium Planning Condition untuk $\beta = 0$ derajat .

Lebih lanjut Savitsky melakukan pendekatan untuk mengetahui nilai Bilangan Reynold dengan [1] :

$$Rn_b = \frac{V_1 \lambda b}{\nu} \quad (5)$$

Dimana :

Rn_b = Bilangan Reynold

λ = Nilai rata rata perbandingan antara panjang dan lebar pada area basah kapal

b = Maximum Chine Beam (m)

V_1 = Kecepatan Kapal (m/s)

ν = Viskositas Air laut (m^2/s)

Kemudian penentuan koefisien tahanan gesek Savitsky menggunakan metode Schoenherr. [1]. Schoenherr memperkirakan bahwa koefisien tahanan gesek dinyatakan dengan [5] :

$$C_f = \frac{1}{(3,5 \text{Log} Re - 5,96)^2} \quad (6)$$

Dimana :

C_f = Koefisien tahanan gesek

Tahanan Total hitung dengan [1]:

$$R_T = \Delta \tan \tau + \frac{1/2 \rho V^2 \lambda b^2 C_{FO}}{\cos \tau \cos \beta} \quad (7)$$

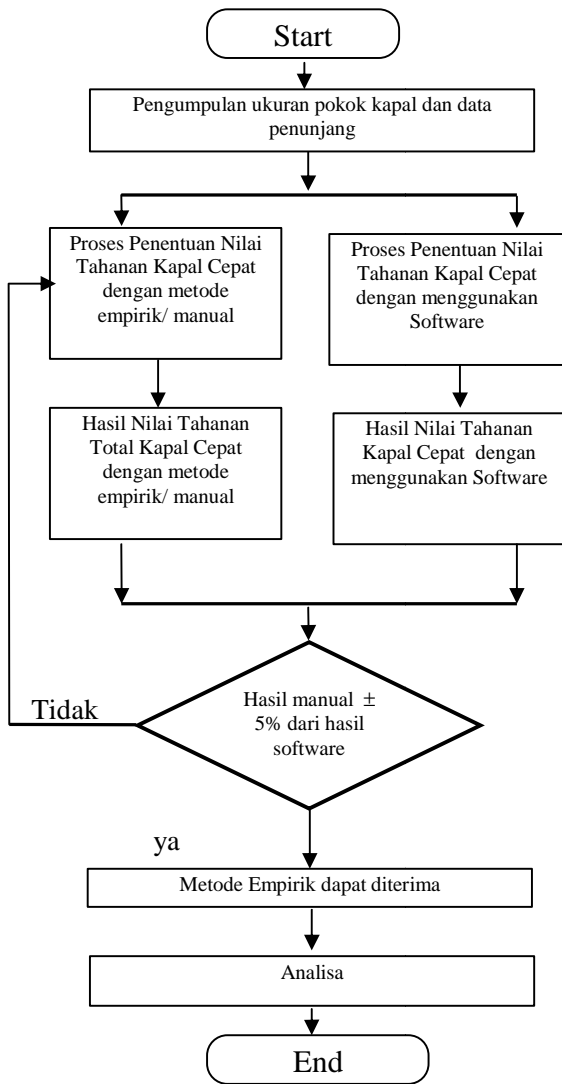
Dimana :

R_T = Tahanan Total (KN).

Terkadang pada keperluan praktis, disesuaikan dengan daerah pelayaran, harga tahanan total (R_T) tersebut ditambahkan dengan faktor daerah pelayaran (*Sea Margin*) [7]. Pada daerah Asia Timur, nilai Sea Margin ditambahkan antara (15-18)%.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada paper ini metode yang digunakan digambarkan pada diagram alir berikut :



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

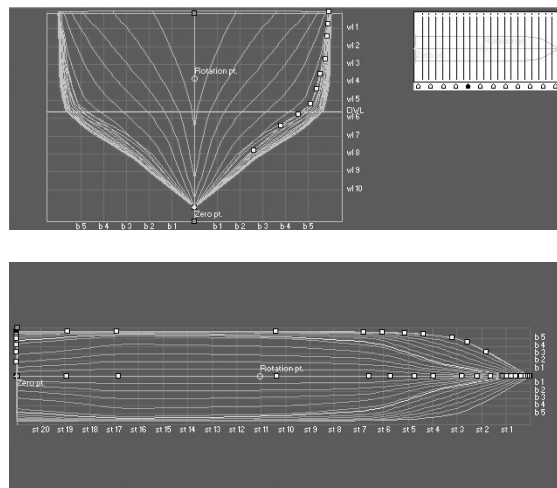
4.1. Pengolahan Data

Data kapal yang digunakan sebagai bahan analisa merupakan jenis kapal cepat yang digunakan sebagai kapal patroli. Parameter lebih detail dapat dilihat pada Gambar 4.

		Value	Units	Savitsky pre-planing Pre-planing	Savitsky planing Planing
1	LWL	37,725	m	37,725	37,725
2	Beam	6,608	m	6,608	6,608
3	Draft	1,89	m	--	--
4	Displaced volume	180,829	m ³	180,829	180,829
5	Wetted area	248,049	m ²	248,049	--
6	Prismatic coeff.	0,71	--	--	--
7	Waterplane area coeff.	0,741	--	--	--
8	1/2 angle of entrance	11,36	deg.	11,36	--
9	LCG from midships(+ve for	-3,663	m	--	-3,663
10	Transom area	6,752	m ²	6,752 (high)	--
11	Transom wl beam	6,608	m	--	--
12	Transom draft	1,89	m	--	--
13	Max sectional area	6,752	m ²	6,752 (low)	--
14	Bulb transverse area	0,04	m ²	--	--
15	Bulb height from keel	0	m	--	--
16	Draft at FP	1,9	m	--	--
17	Deadrise at 50% LWL	32,44	deg.	--	32,44
18	Hard chine or Round bilge	Hard chine	--	--	--
19					
20	Frontal Area	0	m ²		
21	Headwind	0	mts		
22	Drag Coefficient	0			
23	Air density	1,293	kg/m ³		
24	Appendage Area	0	m ²		
25	Nominal App. length	0	m		
26	Appendage Factor	1			
27					
28	Correlation allow.	0,00040			
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m ² /s		
30	Water Density	1025,9	kg/m ³		

Gambar 4. Data Kapal

Secara umum gambar desain dari kapal tersebut terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Desain Garis Air Kapal

Pada Tabel 1, disajikan hasil perhitungan untuk nilai Bilangan Froude dan Koefisien kecepatan

Tabel 1. Harga Bilangan Froude dan Koefisien kecepatan

C_v	$F_n \nabla$
1,86	1,95

Sebelum diperoleh harga nilai rata rata perbandingan antara panjang dan lebar pada area basah kapal (λ), terlebih dahulu perlu dicari harga sudut trim (τ). Penentuan sudut trim dilakukan

dengan mencari harga C_{D0} ($\tau^{1,1}$). Dengan mengiterasi nilai τ . Hasil dari iterasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Iterasi antara harga C_{D0} ($\tau^{1,1}$). terhadap nilai τ

No	τ	$C_{D0}/\tau^{1,1}$	Ket
1	2	0,181061141	Terbaca
2	2,1	0,171599897	Terbaca
3	2,2	0,163039674	Terbaca
4	2,3	0,155259301	Terbaca
5	2,4	0,148158264	Terbaca
6	2,5	0,141652498	Terbaca
7	2,6	0,135671168	Terbaca
8	2,7	0,130154176	Terbaca
9	2,8	0,125050206	Terbaca
10	2,9	0,120315187	Terbaca
11	3	0,115911057	Terbaca
12	3,1	0,111804783	Terbaca
13	3,2	0,107967556	Terbaca
14	3,27	0,10542794	Tidak Terbaca

Selanjutnya harga nilai rata rata perbandingan antara panjang dan lebar pada area basah kapal (λ) diketahui dari hasil pembacaan grafik pada gambar 3. Pada Tabel 3 berikut ini disajikan harga harga λ

Tabel 3. Nilai rata rata perbandingan antara panjang dan lebar pada area basah kapal (λ)

No	τ	$C_{D0}/\tau^{1,1}$	λ
1	2	0,181061141	1,5
2	2,1	0,171599897	1,5
3	2,2	0,163039674	1,25
4	2,3	0,155259301	1,25
5	2,4	0,148158264	1,2
6	2,5	0,141652498	1,2
7	2,6	0,135671168	1,1
8	2,7	0,130154176	1
9	2,8	0,125050206	1
10	2,9	0,120315187	1
11	3	0,115911057	0,9
12	3,1	0,111804783	0,85
13	3,2	0,107967556	0,78

Sedangkan untuk nilai Bilangan Reynolds untuk setiap harga λ yang bersesuaian terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Bilangan Reynolds untuk harga (λ)

No	λ	v	Rn
1	15,000	1,05372E-06	1,25481E+08
2	15,000	1,05372E-06	1,25481E+08
3	12,500	1,05372E-06	1,04567E+08
4	12,500	1,05372E-06	1,04567E+08
5	12,000	1,05372E-06	1,00384E+08
6	12,000	1,05372E-06	1,00384E+08
7	11,000	1,05372E-06	9,20191E+07
8	10,000	1,05372E-06	8,36537E+07
9	10,000	1,05372E-06	8,36537E+07
10	10,000	1,05372E-06	8,36537E+07
11	0,9000	1,05372E-06	7,52883E+07
12	0,8500	1,05372E-06	7,11057E+07
13	0,7800	1,05372E-06	6,52499E+07

Setelah Bilangan Reynold diketahui, maka kita dapat mengetahui koefisien tahanan gesek yang terjadi. Pada Tabel 5, diberikan nilai Koefisien Tahanan Gesek untuk Bilangan Reynold yang bersesuaian

Tabel 5. Nilai Koefisien Tahanan Gesek untuk Bilangan Reynold yang bersesuaian

No	Rn	CF
1	1,25481E+08	0,001440798
2	1,25481E+08	0,001440798
3	1,04567E+08	0,001471596
4	1,04567E+08	0,001471596
5	1,00384E+08	0,001478626
6	1,00384E+08	0,001478626
7	9,20191E+07	0,001493782
8	8,36537E+07	0,001510652
9	8,36537E+07	0,001510652
10	8,36537E+07	0,001510652
11	7,52883E+07	0,001529635
12	7,11057E+07	0,001540084
13	6,52499E+07	0,001555997

Berdasarkan dari nilai koefisien tahanan gesek

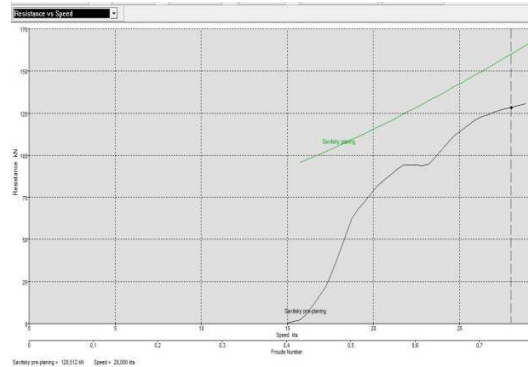
yang telah diketahui, maka dapat dihitung nilai tahanan total (Rt). Harga dari nilai tahanan total (Rt) dirinci pada Tabel 6.

Tabel 6. Harga dari nilai tahanan total (Rt)

No	τ (deg)	CF	RT (KN)
1	2	0,001440798	7,438,422,696
2	2,1	0,001440798	7,759,671,531
3	2,2	0,001471596	7,929,064,437
4	2,3	0,001471596	8,250,393,281
5	2,4	0,001478626	854,100,668
6	2,5	0,001478626	8,862,430,594
7	2,6	0,001493782	9,121,942,328
8	2,7	0,001510652	9,380,875,632
9	2,8	0,001510652	9,702,449,647
10	2,9	0,001510652	1,002,408,074
11	3	0,001529635	1,028,246,856
12	3,1	0,001540084	1,057,227,134
13	3,2	0,001555997	108,490

Bertolak dari hasil yang diperoleh dari Tabel 6, dapat diketahui bahwa model kapal bergerak dengan sudut trim maksimum sebesar 3,2 derajat. Hal ini dapat diketahui dari hasil pembacaan untuk menentukan besarnya nilai τ , pada grafik equilibrium.

Hasil perhitungan tahanan total (Rt) yang terdapat pada Tabel 6, ialah sebesar 108,49KN. Bila ditambahkan dengan adanya pengaruh daerah pelayaran Asia Timur, sebesar (15-18)%, maka Nilai tahanan total menjadi 128,0812 KN. Angka ini merupakan angka pendekatan empirik, bila dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari software sebesar 128,512KN, yang terlihat pada Gambar 6, sehingga secara umum selisih perbedaan antara hitungan empirik dengan software ialah sebesar 0,1%. Sehingga perhitungan empirik dapat diterima.



Gambar 5. Grafik Tahanan Total Pada kecepatan kapal 28 Knots.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil nilai tahanan total (Rt) dengan menggunakan perhitungan secara empirik sebesar 128,0812 KN. Nilai tahanan total tersebut sudah memperhitungkan adanya pengaruh daerah pelayaran sebesar 18%.

Sedangkan hasil yang diperoleh dari menggunakan software ialah sebesar 128,512KN. Hasil tersebut memiliki selisih sebesar 0,1% dari perhitungan dengan menggunakan metode empirik.

Sehingga dapat dikatakan secara praktis bahwa metode empirik yang diusulkan dapat sejalan dengan hasil yang diberikan oleh software, tentunya memperhatikan faktor kondisi daerah pelayaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Savitsky Daniel, Ward Brown P. *“Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water“*, Marine Technology, Vol 13 No.4 (1976).
- [2] Clement E.P, Blount D, “Resistance Test of Systematic Series of Planning Hull Forms.” Tans., SNAME Vol 71, (1963).
- [3] Faltinsen, O.M, *“Hydrodynamics of High Speed Marine Vessel“*Cambridge University Press, New York (2005).
- [4] Rawson,KJ , Tupper, EC. *“Basic Ship Theory”* Vol 1. Butterworth-Heinemann 5th edition, India (2001).
- [5] Molland, AF, Turnock, SR, Hudson DA. *“Ship Resistance and Propulsion”*, 1st Edition, Cambridge University Press, New York , (2011)
- [6] Harvald, SV, *“Tahanan dan Propulsi Kapal”*, Airlangga University Press,Surabaya, (1993).