

Analisis Desain Layar 3D Menggunakan Pengujian Pada *Wind Tunnel*

Danang Priambada, Aries Sulisetyono

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: sulisea@na.its.ac.id

Abstrak—Jurnal ini merupakan hasil analisis design layar menggunakan konsep dasar NACA 0012 dengan memprediksi perilaku dinamika fluida pada model layar rigid. Sarana yang dapat digunakan untuk memprediksi perilaku fluida udara yaitu menggunakan pengujian model pada *wind tunnel*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh bentuk layar dengan faktor variasi desain berupa perbedaan penampang samping layar dengan aspek ratio yang sama serta pengaruh sudut serang terhadap gaya dorong yang dihasilkan. Analisis data dilakukan melalui pengujian *wind tunnel subsonic*. Pengujian dilakukan pada sudut serang 10°, 15°, 20°. Dari pengujian model layar pada *wind tunnel subsonic* akan dihasilkan data-data yang berpengaruh pada layar seperti *lift*, *drag*, dan gaya resultan. Sehingga dapat dilakukan analisis terhadap model layar untuk mendapatkan desain layar yang memiliki gaya dorong yang paling optimal. Berdasarkan analisis dari *wind tunnel* maka didapatkan titik *Stall* pada sudut serang 15°. Nilai koefisien *lift* terbesar terjadi pada model 3 sudut serang 15°. Efisiensi layar terbesar juga terjadi pada model 3 yaitu sebesar 5,149.

Kata Kunci : *Desain Layar, Sudut Serang, Titik stall, Wind Tunnel*

I. PENDAHULUAN

Salah satu teknologi perkapalan yang sedang dikembangkan oleh negara-negara maju saat ini adalah alat transportasi laut yang menggunakan sumber energi terbarukan. Hal ini disebabkan dampak semakin mahalnya bahan bakar fosil (minyak) yang berpengaruh terhadap besarnya biaya operasi kapal. Belum lagi dampak penggunaannya yang tidak ramah lingkungan. Sisa pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan berbagai macam polusi baik itu polusi udara maupun polusi di laut. Polusi tersebut yang terjadi secara terus menerus menyebabkan pencemaran lingkungan dan akhirnya terjadi pemanasan global (*global warming*). Oleh karena itu dilakukan langkah antisipasi dengan cara mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan mulai beralih untuk memanfaatkan energi terbarukan seperti sinar matahari, angin atau air.

Khusus pada layar sebagai penggerak utama kapal, sudah banyak eksperimen yang sudah dilakukan dan teori-teori yang menunjukkan bahwa gaya dorong kapal yang dihasilkan oleh layar dipengaruhi oleh factor alam (kecepatan, density udara), keterampilan operator (posisi layar terhadap angin/*angle of*

attack), dan desain layar. Semua factor tersebut sebenarnya dapat dimodelkan melalui pengujian layar pada *wind tunnel*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan tentang tipe-tipe layar dan teori desain layar yang mencakup bentuk atau geometri layar, gaya-gaya aerodinamika yang bekerja termasuk *Drag*, *Lift* dan Gaya Resultan, serta istilah-istilah lain yang digunakan dalam desain layar. Juga dilakukan studi khusus tentang teori dan metode analisis pada *wind tunnel*.

Hukum Newton menyatakan bahwa massa dari suatu benda adalah merupakan fungsi dari berat benda tersebut dibagi dengan gravitasi [1] :

$$m = \frac{w}{g} \quad (1)$$

Maka jenis udara dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$\rho A = \frac{\gamma A}{w} \quad (2)$$

γA = Berat jenis udara

g = percepatan gravitasi

Kecepatan udara menyebabkan udara memiliki energi kinetic yang besarnya :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3)$$

Jika energi kinetic ini dinyatakan dalam satuan per unit volume, maka dinamakan tekanan dinamis (*dynamic pressure*). Besarnya tekanan dinamis adalah :

$$q = \frac{\frac{1}{2} \gamma A v^2}{g} \quad (4)$$

q = tekanan dinamis (dynamic pressure)

v = kecepatan angin

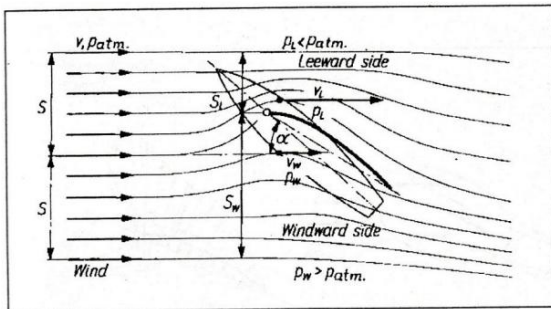
Menurut persamaan Bernoulli hubungan antara tekanan statis dan dinamis adalah [2] :

$$p + q = p_1 + q_1 = \text{total head (konstan)} \quad (5)$$

Aliran di sekitar layar yang terdiri dari dua bagian aliran, yaitu aliran yang melewati *lee side* dan aliran yang melewati *windward side*.

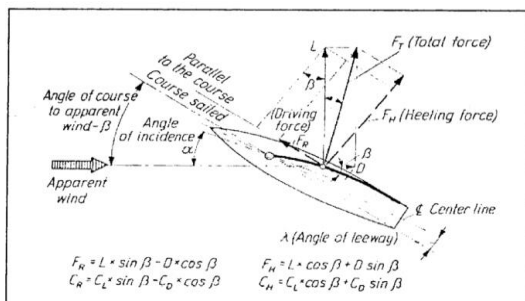
Aliran yang melewati *lee side* mengecil dari S ke S Kecepatan angin pada daerah ini (v_L) lebih besar daripada

kecepatan angin pada *free stream* (aliran jauh dari layar), v . Menurut persamaan Bernoulli bahwa penambahan percepatan akan mengurangi tekanan statik (p_L) pada lee side. Perubahan kecepatan yang besar terjadi pada daerah *leading edge* (ujung depan layar) pada layar. Dengan analisa yang sama, pada *wheater side/windward side* didapatkan kecepatan local angin v_w rendah dan tekanan statik p_w meningkat sebagai akibat dari perubahan energi kinetik. Oleh karena itu pada windward side didapatkan tekanan total lebih besar daripada tekanan atmosfer dan tekanan pada *lee side* kurang dari tekanan atmosfer. Tekanan ini menghasilkan suatu resultan gaya F_T yang mempunyai arah e terhadap garis yang tegak lurus arah angin dan berada pada titik yang dinamakan dengan *centre of effort* (CE). Hal ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Aliran Fluida di Sekitar Layar (6)

Ketika kapal layar bergerak melawan dari arah angin, maka usaha yang dilakukan adalah untuk memperbesar nilai F_R (Driving Force), yaitu gaya yang searah dengan arah kapal berlayar dan mengurangi besarnya F_H (Heeling Force), yaitu gaya yang tegak lurus dengan arah kapal berlayar. Besarnya F_R dan F_H tergantung dari besarnya arah kapal berlayar terhadap arah angin (*apparent wind angle*, β); gaya samping/lift (*cross wind force*, L); dan hambatan aerodinamis (*drag*, D). Perlu diketahui bahwasanya gaya lift (L) dan gaya drag (D) sendiri diperoleh dari total gaya (F_T) seperti yang terlihat pada Gambar 2. Untuk selanjutnya diharapkan gaya lift akan lebih besar dari gaya drag.



Gambar. 2 Gaya-gaya yang bekerja pada layar (6)

Besarnya F_R dan F_H dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_R = L \sin \beta - D \cos \beta \quad (6)$$

$$F_H = L \cos \beta + D \sin \beta \quad (7)$$

B. Pemilihan NACA Series

NACA foil adalah bentuk foil yang dikembangkan oleh National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau thickness serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain. foil yang saat ini umum digunakan sangat dipengaruhi oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh NACA ini. Oleh karena yang dipakai adalah foil simetris tanpa chamber maka digunakan NACA 0012 (1).

C. Geometri Layar

Dimensi layar *rigid* yang akan dilakukan pengujian memiliki panjang *span* 20 meter dan *main Chord* (c) = 10 meter. Dengan variasi penampang samping dan aspek ratio yang sama. Layar menggunakan NACA 0012. Ukuran ini selanjutnya dimodelkan sesuai variasi penampang samping yang telah ditentukan.

Pada pengujian ini layar dilakukan skala model menurut teori blockage ratio, bahwa luasan model sebaiknya sekitar 10% luasan *test section wind tunnel* (AT) untuk menghindari efek dinding yang disebabkan oleh *boundary layer* pada dinding *wind tunnel*, maka luasan penampang samping model harus lebih kecil dari AT = (300 x 300) mm². Dalam percobaan ini hal tersebut terpenuhi dengan pemilihan berskala 1:166 berdasarkan ukuran sebenarnya. Perbandingan ukuran layar sebenarnya dengan model dapat dilihat pada tabel 1.

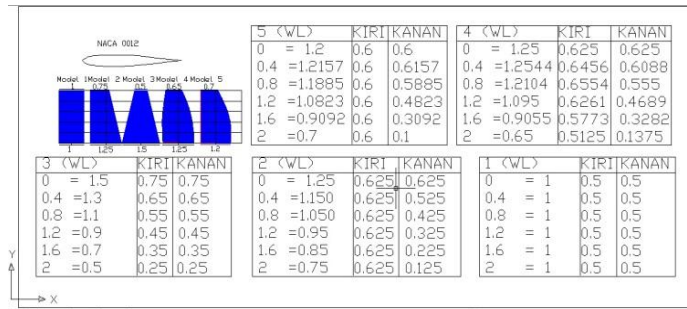
Tabel 1. Geometri Model Layar Pada Wind Tunnel

Id	Layar (m)	Model 3D
Main Chord (c)	10	0.06 m
Span (l)	20	0.12 m
Luasan $c \cdot l$ (A)	200	0.0072 m ²
Main Chord (c)	10	0.06 m
Span (l)	20	0.12 m
Luasan $c \cdot l$ (A)	200	0.0072 m ²
Main Chord (c)	10	0.06 m
Span (l)	20	0.12 m
Luasan $c \cdot l$ (A)	200	0.0072 m ²

$$A \text{ (Luasan Frontal Model)} = c \times l = 7200 \text{ mm}^2$$

Luasan A memenuhi batas 10% blockage ratio dari luasan test section AT = 90000 mm². Sedangkan bahan model terbuat dari aluminium dengan variasi desain seperti gambar 3.

Dalam pengujian ini dibuat lima variasi model layar. Variasi model 1 berbentuk kotak. Model 2 berbentuk trapesium, Model 3 berbentuk segitiga, model 4 berbentuk asimetris dan model 5 berbentuk huruf D seperti pada gambar 3.



Gambar. 3 Geometri layar

D. Pengujian wind tunnel

Wind tunnel (terowongan angin) adalah salah satu alat yang digunakan dalam penelitian aerodinamik. Wind tunnel digunakan untuk mempelajari efek aliran udara yang melewati benda solid. Saat ini pengujian terowongan angin sudah banyak diaplikasikan pada mobil, aerofoil dan benda uji lainnya termasuk layar.

Ada dua tipe dasar dari wind tunnel, yaitu Open Circuit Tunnel dan Closed Circuit Tunnel. Sedangkan berdasarkan kecepatan udara, wind tunnel dibedakan atas Subsonic wind tunnel ($v < 0,3$ Mach), Transonic wind tunnel (0,8 Mach – 1,2 Mach), Supersonic wind tunnel ($v > 1,2$ Mach), Hypersonic wind tunnel ($v > 5$ Mach).

Percobaan dilakukan dalam sebuah Open Circuit Tunnel (subsonic wind tunnel), dengan kapasitas kecepatan udara antara 20 Hz sampai 50 hz Seperti terlihat pada gambar 4. Terowongan angin tersebut mempunyai ukuran panjang 2980 mm dengan test section berbentuk bujur sangkar berukuran 300 x 300 mm² dan panjang 450 mm. Gaya model layar diukur dengan menggunakan timbangan gaya aerodinamik (*aerodynamic force balance*) yang mempunyai ketelitian sebesar 1 mN [3].



Gambar 4. Open Circuit Subsonic Wind Tunnel Teknik Mesin ITS

Prosedur pengujian layar pada wind tunnel adalah sebagai berikut :

1. Persiapan dan pemasangan instrumen dan model layar.
2. Perhitungan kondisi atmosfer (densitas, temperatur, angka Reynolds)
3. Mencari frekuensi untuk kecepatan freestream.
4. Mencatat nilai gaya lift dan drag pada pengujian model layar.
5. Analisis hasil pengujian dan faktor error.

III. ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Setelah dilakukan pengujian model layar pada wind tunnel didapatkan gaya-gaya yang bekerja pada layar yaitu gaya lift dan drag hasil dari pengukuran pada timbangan wind tunnel. Dari gaya-gaya yang bekerja pada layar maka bisa didapatkan koefisien gaya. Koefisien lift dan drag dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

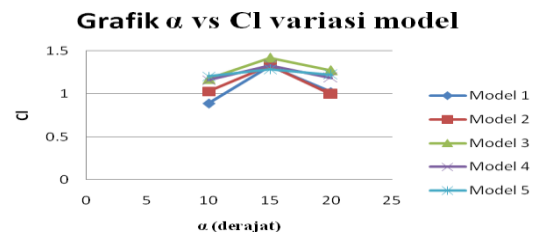
$$C_L = \frac{FL}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \tag{8}$$

$$C_D = \frac{FD}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \tag{9}$$

Dimana, P = massa jenis udara = 1,173 kg/m³. V= kecepatan freestream udara = 1,087 m/s. Dan A = luas penampang layar = 7200 mm² = 7.2 10⁻³m.

A. Hubungan α vs C_L dengan Variasi Model

Pada gambar 5 dapat diketahui hubungan antara α dengan nilai C_L . Bahwa setiap model mengalami kecenderungan kenaikan nilai koefisien lift pada sudut 10° ke sudut 15°. Dan mengalami kecenderungan penurunan nilai koefisien lift setelah melewati sudut 15°.



Gambar 5 Grafik α dengan C_L variasi Model

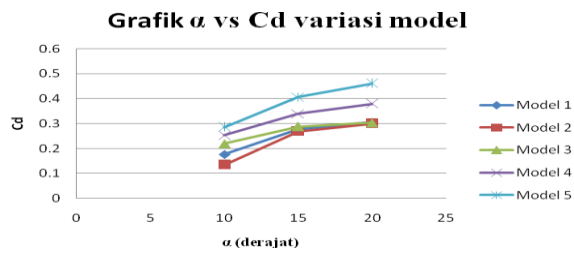
Pada kondisi inilah layar mengalami apa yang dinamakan *stall*. *Stall* terjadi ketika melewati sudut serang tertentu dan menyebabkan aerofoil kehilangan gaya terbangnya, dalam kasus layar gaya tersebut adalah gaya lift. Gaya lift berkontribusi besar untuk menghasilkan gaya dorong (*driving force*), sehingga penurunannya menyebabkan gaya dorong yang menurun juga. Kondisi *stall* hanya terjadi pada aerofoil. Kondisi *stall* dalam penelitian ini diperkirakan terjadi antara sudut 15° sampai 18° menurut NACA [1],[4].

B. Hubungan α vs C_D dengan Variasi Model

Dari percobaan di wind tunnel didapatkan hubungan antara α dan C_D seperti terlihat pada gambar 6. Hubungan antara α dan C_D adalah semakin besar sudut serang yang dialami model maka nilai C_D cenderung mengalami kenaikan nilai. Hal ini dapat dilihat pada grafik di gambar 6.

Peningkatan nilai CD dari sudut 10° menuju sudut 15° cenderung lebih signifikan dibandingkan peningkatan nilai CD pada sudut serang 15° ke sudut serang 20°

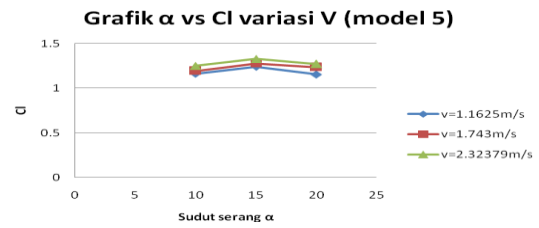
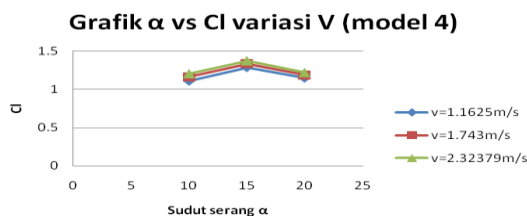
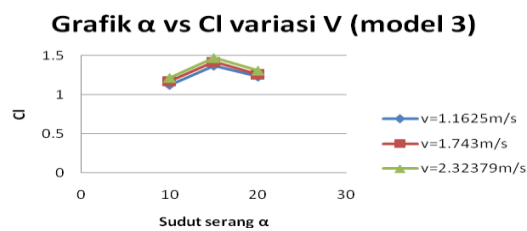
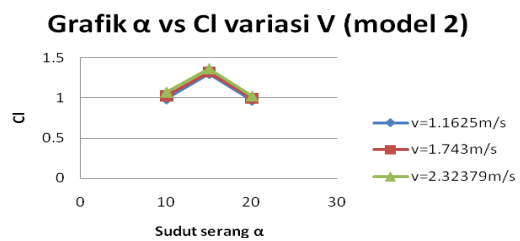
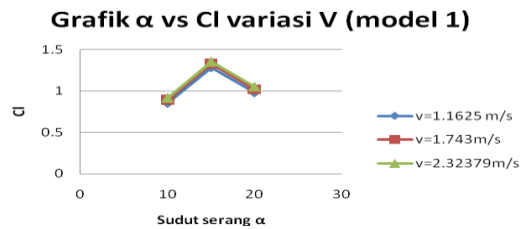
Nilai Cd mengalami peningkatan dengan meningkatnya sudut serang. Nilai Cd tertinggi pada model 5 pada sudut 20°.



Gambar 6 Grafik α dengan C_D Variasi Model

C. Hubungan α vs C_L dengan Variasi V Tiap Model

Pada gambar 7 terlihat bahwa kecepatan angin yang diterima layar berpengaruh terhadap nilai koefisien lift. Dengan adanya variasi kecepatan angin yang diberikan pada masing-masing model dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya kecepatan maka nilai koefisien lift cenderung mengalami peningkatan.



Gambar 7 Grafik Perbandingan α dan C_L pada model 1,2,3,4 dan 5

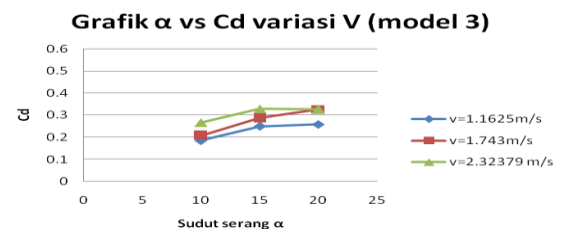
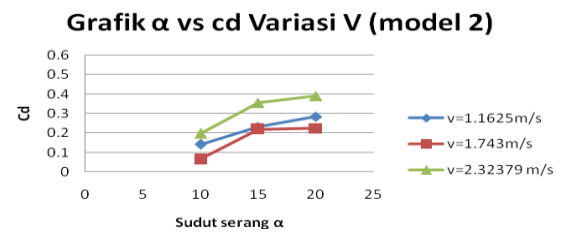
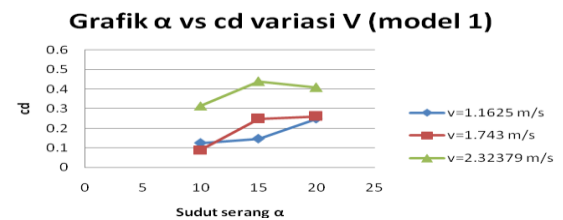
Dari grafik hubungan α dan C_L dengan Variasi kecepatan memiliki kecenderungan peningkatan nilai dari sudut 10^0 ke sudut 15^0 dan mengalami penurunan nilai dari 15^0 ke sudut 20^0 . Nilai C_L berbanding lurus dengan kecepatan.

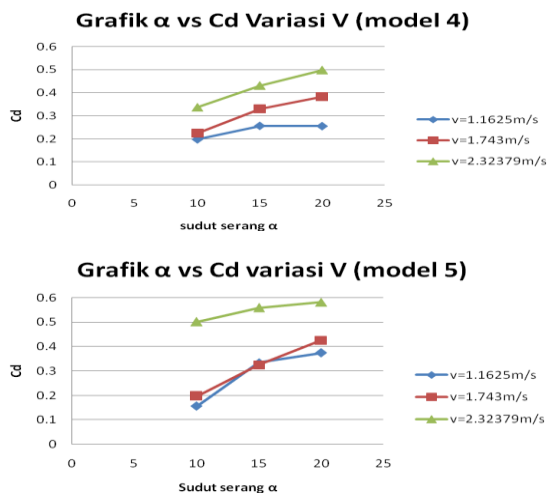
Semakin tinggi kecepatan maka nilai C_L semakin meningkat. Hal ini terjadi karena dengan penambahan kecepatan maka nilai Re juga meningkat. Nilai Re berbanding lurus dengan C_L sampai mencapai nilai Re yang disehingga dengan meningkatnya kecepatan akan meningkatkan Re dan meningkatkan Nilai C_L .

Pada setiap model apabila mengalami peningkatan kecepatan maka akan mengalami peningkatan nilai koefisien lift. Peningkatan koefisien lift rata-rata dari semua model dari kecepatan 1,1625 ke kecepatan 1,743 adalah 3,59 %. Sedangkan peningkatan rata-rata dari kelima model dari kecepatan 1.743 ke kecepatan 2,32379 adalah 3,5 %

Nilai C_L tertinggi pada kecepatan 2.324 m/s pada sudut 15^0 pada model 3 yaitu 1.469 dan nilai C_L terendah adalah 0.855 pada model 1 dengan sudut serang 10^0 .

D. Hubungan α vs C_D dengan Variasi V Tiap Model





Gambar 8 Grafik Perbandingan α dan C_D pada model 1,2,3,4, dan 5

Hubungan antara α dengan C_D pada variasi kecepatan di masing-masing sudut terlihat pada gambar 8. Dari grafik ini didapatkan kecenderungan peningkatan nilai C_D dengan bertambahnya kecepatan angin yang mengenai layar. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya kecepatan angin maka nilai Re juga ikut meningkat.

Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa peningkatan rata-rata pada setiap model pada sudut serang 10° ke sudut serang 15° adalah 66.9 % dan peningkatan nilai rata-rata pada sudut 15° ke sudut serang 20° adalah 13.1 % Nilai C_d tertinggi pada model 5 saat kecepatan 2.32379m/s pada sudut 20° yaitu 0.582309. dan nilai C_D terendah adalah pada model 2 saat kecepatan 1.743 pada sudut 15° yaitu 0.065127.

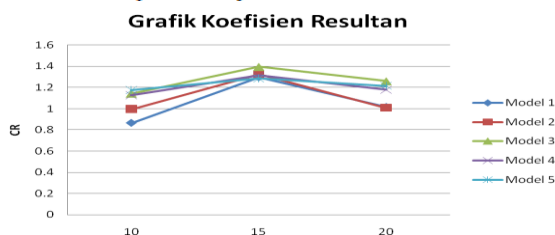
Dari semua grafik 8 terlihat dengan meningkatnya kecepatan maka nilai C_D cenderung meningkat. Nilai C_D terjadi kecenderungan peningkatan sampai dengan sudut serang dengan bertambahnya sudut serang. Pada sudut serang 10° nilai koefisien drag pada semua kecepatan memiliki nilai terendah bila dibandingkan dengan sudut 15° dan sudut 20° .

Dari nilai rata-rata peningkatan nilai koefisien Drag pada sudut 10° terhadap sudut 15° maka dapat dilihat bahwa rata-rata peningkatan nilai koefisien Drag adalah sebesar 24.3 %. Sedangkan peningkatan nilai koefisien Drag pada sudut 15° terhadap sudut 20° adalah sebesar 14.9 %.

E. Hubungan α vs Koefisien Resultan

Gambar 9 menunjukkan grafik koefisien resultan pada masing-masing model. Koefisien resultan merupakan penjumlahan dari koefisien lift dan koefisien drag. Nilai koefisien resultan dapat dicari dari persamaan :

$$C_{FT} = \sqrt{(C_L + C_D)} \tag{10}$$



Gambar 9 Grafik Koefisien Resultan

Grafik koefisien resultan ini memiliki *Trendline* yang menyerupai grafik koefisien lift dimana nilai koefisien terbesar pada masing-masing model terjadi pada saat sudut serang 15° .

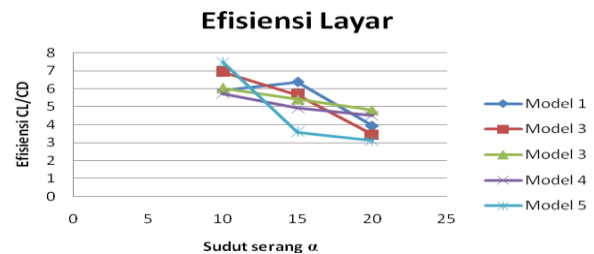
Nilai koefisien resultan tertinggi juga terjadi pada sudut 15° di model 3. Dan nilai terendah dari koefisien resultan terjadi pada sudut 10° pada model 1. Hal ini juga terjadi pada grafik koefisien lift. Dapat dikatakan bahwa nilai koefisien resultan berbanding lurus dengan nilai koefisien lift.

Pada percobaan ini titik *stall* terjadi pada sudut serang 15° hal ini disebabkan karena dalam pengujian yang dilakukan pada wind tunnel hanya dilakukan pada tiga sudut serang yaitu 10° , 15° , dan 20° . Titik *stall* pada foil NACA 0012 sebenarnya terjadi pada sudut antara 15° sampai dengan sudut 18° .

Pada percobaan ini model yang memiliki gaya dorong yang paling besar pada saat puncak nilai koefisien lift terjadi pada model 3. Hal ini disebabkan karena pada layar arah aliran udara yang dari atas juga akan mengikuti arah kebawah sehingga pada bagian bawah layar akan menghasilkan gaya dorong yang besar sehingga koefisien gaya dorong pada model ini menjadi besar.

F. Efisiensi Layar

Gambar 10 menunjukkan tentang efisiensi layar pada masing-masing model. Efisiensi layar adalah perbandingan antara nilai C_L dan C_d . Efisiensi ini sangat mempengaruhi gaya dorong yang dihasilkan oleh layar.



Gambar 10 Grafik Efisiensi Layar

Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian yang dilakukan pada wind tunnel efisiensi layar cenderung berbanding terbalik dengan meningkatnya sudut serang. Dengan meningkatnya sudut serang layar maka nilai efisiensi layar cenderung mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa layar mengalami peningkatan koefisien drag yang lebih besar dibandingkan dengan peningkatan koefisien lift.

G. Gaya Dorong

Besarnya gaya dorong dapat dinyatakan dalam bentuk koefisien gaya, dimana layar yang memiliki koefisien gaya dorong yang terbesar berarti layar tersebut memiliki gaya dorong terbesar pula. Untuk menunjukkan besarnya kecenderungan gaya dorong dapat dinyatakan dalam bentuk koefisien *driving force* C_R dan *heeling force* C_H . Agar mendapatkan model layar dengan daya dorong optimal tanpa mengganggu stabilitas melintang kapal, maka diusahakan

menggunakan layar dengan nilai C_R sebesar mungkin dan nilai C_H sekecil mungkin. Namun itu tidak mungkin terjadi karena semakin besar nilai C_R maka semakin tinggi pula C_H . Oleh karena itu yang dapat dilakukan adalah memilih nilai C_R yang paling besar dengan tetap memperhatikan nilai C_H untuk perhitungan stabilitas melintang kapal. Perhitungan koefisien *driving force* C_R dan *heeling force* C_H .

$$\text{Dimana } C_R = C_L \sin \beta - C_D \cos \beta \quad (11)$$

$$C_D = C_L \cos \beta + C_D \sin \beta \quad (12)$$

Selanjutnya diberikan tiga variasi sudut arah angin terhadap kapal (*apparent wind angle*) sebesar 30° , 60° dan 90° untuk mengetahui besar C_R dan C_H pada masing-masing model per sudut serang seperti pada Tabel 2.

Dari tabel 2 terlihat bahwa layar model 3 memiliki gaya dorong paling optimal pada semua variasi *apparent wind angle*. Pada layar model 3 memiliki nilai CR yang lebih tinggi di dibandingkan dengan model yang lainnya.

Tabel 2 Koefisien *Driving Force* dan *Heeling Force*

Model	α	B = 30°		B = 60°		B = 90°	
		C_R	C_H	C_R	C_H	C_R	C_H
Model 1	10°	0.389	0.764	0.777	0.613	0.980	0.142
	15°	0.607	1.113	1.175	0.874	1.454	0.170
	20°	0.365	0.950	0.842	0.821	1.139	0.290
Model 2	10°	0.454	0.889	0.906	0.713	1.141	0.165
	15°	0.580	1.230	1.202	1.010	1.546	0.274
	20°	0.345	0.997	0.843	0.879	1.170	0.340
Model 3	10°	0.525	1.084	1.075	0.883	1.372	0.227
	15°	0.588	1.273	1.232	1.051	1.592	0.294
	20°	0.505	1.160	1.090	0.973	1.430	0.298
Model 4	10°	0.524	1.106	1.084	0.907	1.392	0.243
	15°	0.553	1.256	1.187	1.050	1.553	0.315
	20°	0.480	1.145	1.057	0.969	1.400	0.311
Model 5	10°	0.521	1.108	1.145	0.882	1.432	0.191
	15°	0.441	1.233	1.058	1.081	1.457	0.407
	20°	0.383	1.218	0.990	1.092	1.403	0.450

Dengan nilai koefisien C_R dan C_H maka dapat dihitung juga besar *driving force* dan *heeling force* pada kondisi layar sesungguhnya (*full scale*) pada model 3. Untuk mendapatkan nilai gaya yang sesungguhnya, koefisien tersebut dikalikan dengan tekanan dinamis aliran bebas dan luasan layar atau dapat juga dihitung dengan menggunakan (6) dan (7).

Tabel 3 Gaya *Driving Force* dan *Heeling Force* model 3

Model	α ($^\circ$)	B = 30°		B = 60°		B = 90°	
		F_R	F_H	F_R	F_H	F_R	F_H
Model 3	10	1858.6	4031.1	3764.0	3041.1	4780.2	751.7
	15	2155.4	5010.3	4495.4	3809.6	5797.9	1051.5
	20	1811.9	4595.4	3927.8	3525.8	5164.5	1089.5

Tabel 3 menunjukkan gaya dorong yang dihasilkan oleh layar model 3. Nilai gaya dorong terbesar pada layar model 3 dengan nilai *driving force* sebesar 5797.9 N, dan nilai *heeling force* sebesar 1051.5 N.

IV. KESIMPULAN

Dari analisis yang dilakukan pengujian model layar pada *wind tunnel* menunjukkan bahwa:

1. Semakin meningkatnya sudut serang sebelum sudut serang 15° mengalami kenaikan nilai koefisien *lift* dan koefisien *drag* setelah sudut 15° mengalami penurunan nilai *lift* akan tetapi bertambah nilai koefisien *drag*.
2. Titik *stall* dalam percobaan ini pada semua model terjadi pada sudut serang 15° .
3. efisiensi perbandingan C_L/C_D pada model 1 5.399, model 2 sebesar 5.342, model 3 sebesar 5.42, dan model 4 sebesar 5.052, sedangkan model 5 sebesar 4.730
4. Model yang paling optimal menghasilkan gaya dorong adalah model 3 dengan nilai *driving force* sebesar 5797.9 N pada saat *apparent wind angle* 90° dan *angle of attack* 15° .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abbot, I.H. dan Doenhoff, A.E.,(1959),*Theory of Wing Section*, the McGraw-Hill Book Company, Canada.
- [2] Marchaj C. A. (1982), *Sailing Theory and Practice*, New York, United State.
- [3] Wibowo, A.F.,(2010), Tugas Akhir, Analisis Desain layar Menggunakan simulasi CFD dan Pengujian Pada Wind Tunnel, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS Surabaya.
- [4] Sulisetyono A.,Nasirudin A., dan Wibowo A.F., (2010), Wind Sail Analysis Using Computational Fluid Dynamics Simulation, MARTEC, Bangladesh.