

**PERANCANGAN ALAT BACA LIFT DAN DRAG
TIPE PEGAS ULIR DENGAN KAPASITAS 0 – 2,245 Lbs. PADA TEROWONGAN
ANGIN KECEPATAN 14,493 Fps – 41,838 Fps.**

Wira Gauthama⁽¹⁾

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang.

Abstrak: Terowongan angin model terbuka laboratorium fluida Prodi Teknik Pesawat Udara PPI Curug digunakan untuk pembelajaran pola aliran udara berbagai model airfoil. Studi awal menunjukkan kecepatan udara di ruang uji memiliki rentang 14,493 fps – 41,838 fps, laminar sehingga memenuhi syarat diperlengkapi alat baca Lift dan Drag. Metode timbangan *overhead* digunakan dan lendutan pegas ulir baja tahan karat berdiameter 0,8 mm untuk Lift 0 – 2,5 lbs dan 0,2 mm untuk Drag 0 – 0,4 lbs. Setiap mm lendutan pegas membaca 0,0122 lbs Lift dengan akurasi 0,02 mm sama dengan 0,000244 lbs, dan membaca 0,0022 lbs Drag dengan akurasi pada vernier 0,02 mm. Beban maksimum pada pegas dihitung berdasarkan gaya terbesar pada model uji NACA 0012, NACA 2424 dan NACA 4412. Hasil penelitian memperlihatkan alat baca dapat mengukur rentang Lift negatif terbesar terjadi dengan model NACA 0012 sebesar 2,2642 lbs dan Lift positif terbesar terjadi pada NACA 4412 sebesar 1,839 lbs. dengan lendutan maksimum pegas 199,47 mm. Beban tarik pegas terbesar mengukur nilai Drag terjadi pada model NACA 4412 sebesar 0,0393 Lbs dengan lendutan maksimum pegas 18 mm.

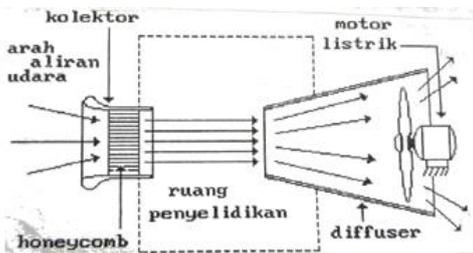
Kata Kunci: Alat baca Lift Drag, akurasi, airfoil NACA, lendutan pegas ulir

Abstract: *Open type wind tunnel within the fluid laboratory of Prodi Teknik Pesawat Udara PPI Curug was utilized solely for training purpose to examine the variation of airflow over many kinds of airfoil model. Preliminary research showed the airspeed in the test chamber exhibits the laminar flow with the velocity range of 14.493 – 41.838 fps, and was technically met with the requirements to be equipped with Lift and Drag balance. The design adopted the simple overhead trolley type balance with stainless steel coil spring as the main components with 0.8 mm diameter to measure 0 – 2.5 lbs Lift and a 0.2 mm diameter to measure 0 – 0.4 lbs Drag. With the 0.02 mm accuracy. For each mm spring deflection results in reading capability of 0.0122 lbs Lift equal to 0.000244 lbs calculated Lift, and 0.0022 lbs Drag equal to 0.000009 lbs calculated Drag. Maximum load is analyzed referred to the highest force possessed by NACA 0012, 2424 and 2412 airfoil model. Research study shows the balance is capable to measure the range of aerodynamic force of 2.2642 lbs highest negative Lift with NACA 0012 and 1.839 lbs highest positive Lift with NACA 4412 producing maximum spring deflection of 199.47 mm. Maximum spring tension of Drag measurement is 0.0393 lbs force possessed by NACA 4412 with 18 mm deflection.*

Keyword: *Accuracy, coil spring deflection, Lift and Drag balance, NACA airfoil model*

Pendahuluan

Terowongan angin model lama tipe terbuka (Kermode, 1972, p. 47) Prodi TPU Politeknik Penerbangan Indonesia Curug adalah media praktikum aerodinamika untuk pola aliran udara model airfoil. Pola tersebut teramati melalui asap *smoke generator* melalui ruang uji. Kecepatan udara diperoleh dari *propeller* yang dikendalikan oleh motor DC dengan kecepatan 0 – 1500 rpm. Pengukuran besaran *Lift* dan *Drag* tidak dapat dilakukan karena tidak tersedia alat ukur.



Gambar 1. Skematik Terowongan Angin Tipe Terbuka

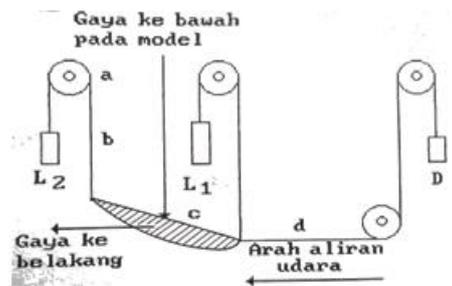
Riset pendahuluan dilakukan untuk menganalisis kelayakan kecepatan dan karakteristik udara ruang uji jika diperlengkapi dengan alat baca. Standar *Internasional Standard Atmosphere* (ISA) digunakan dengan menganggap posisi terowongan angin berada pada ketinggian *sea level*. Berdasarkan ISA (McCormick, 1994, p. 33; McKinley, James L ; Bent, 1978, p. 84), maka adalah Tekanan udara Statis ruang (**P**) 2116 lbs/ft², Kerapatan udara (ρ) 0,002378 slug/ft³, Temperatur (**t**) 15 °C dan Viskositas kinematic (ν) 0,001687 ft²/sec (fps). Uji kecepatan Manometer U menghasilkan rentang nilai 14,493 – 41,838 fps, digunakan udara ruang uji menggunakan untuk

mengukur besar *Lift* dan *Drag* pada *angle of attack* yang bervariasi.

Dengan perancangan alat baca, pengukuran *Lift* dan *Drag* dapat dilakukan untuk meningkatkan pemahaman konsep – konsep aerodinamika. Besar gaya yang diukur kemudian diurai menjadi koefisien gaya aerodinamika C_L dan C_D yang dikonversi menjadi diagram kutub dengan *angle of attack* sebagai variabelnya sehingga diperoleh suatu *slope* kurva yang membuktikan konsistensi C_L dan C_D . Pengukuran lain yang dapat dilakukan adalah pembuktian hubungan antara kecepatan udara dengan bantuan manometer U dengan terhadap C_L dan C_D .

Metode

Pendekatan perancangan alat mengadopsi metode penimbangan gaya jenis *overhead* (Kermode, 1972, hlm. 49), dipilih setelah riset pendahuluan memperlihatkan data – data fisik dan karakteristik udara memenuhi kualifikasi metode tersebut. Penimbangan gaya dilakukan dengan menggantung model airfoil NACA 4 digits (Abbot, 1960, p. 111; McCormick, 1994, p. 72) pada pegas ulir di atas terowongan angin. Setelah dikurangi berat model, anak timbangan (*jockey weight*) L_1 dan L_2 (*Lift*) akan dimodifikasi menjadi satu titik tangkap gaya ukur pada titik *Aerodynamic Center* (AC) model dan dihubungkan dengan timbangan. Timbangan bergerak bebas pada rel di atas suatu troli dengan mengabaikan gesekan antara roda troli dan rel.



Gambar 2. Timbangan Jenis *Overhead*

Analisis perhitungan dilakukan terhadap sifat aliran udara dalam ruang uji, analisis gaya pada alat baca untuk menentukan dimensi utama alat dan analisis pengujian rancangan, untuk membuktikan konsistensi dan ketelitian alat baca.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data terdiri dari:

1. Observasi dan Riset Pendahuluan
Observasi untuk mendapatkan data fisik. Riset pendahuluan untuk mendapatkan data karakteristik udara ruang uji.
2. Studi literatur
Fokus pada konsep – konsep mekanika fluida, aerodinamika dasar, bagian – bagian mesin dan dokumen model airfoil yang tersedia.
3. Komparasi data hasil pengujian alat
Data setelah alat diuji, yaitu nilai Lift, Drag, *angle of attack*, dan kecepatan udara, diplot dalam kurva pergerakan Lift dan Drag terhadap kecepatan dan *angle of attack* untuk membuktikan konsistensi alat dan akurasi.

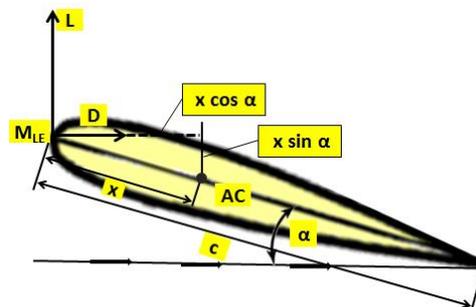
Metode Analisis Data

1. Observasi dan Riset Pendahuluan
Data fisik hasil pengukuran ruang uji

diolah secara kuantitatif untuk menentukan dimensi alat dan model airfoil. Data kecepatan udara diperoleh dari analisis hasil pengukuran kecepatan udara menggunakan Manometer U, menggunakan turunan persamaan Bernoulli $U = \sqrt{2 \frac{(\rho m - \rho) g h}{\rho}}$

Titik *Aerodynamic Center AC* (John D. Anderson, 2001, p. 279) model airfoil yang tersedia diperoleh dari hasil analisis pengukuran model dengan formulasi

$$\frac{x}{c} = \frac{(C_{MAC} - C_{MLE})}{(C_L \cos \alpha - C_D \sin \alpha)}$$



Gambar 3. Notasi Analisis Lokasi *Aerodynamic Center*

2. Data dimensi desain alat baca diperoleh dari analisis kecepatan udara, karakteristik udara ISA dan karakteristik model airfoil NACA. Kecepatan udara dan karakteristik udara ISA digunakan untuk menghitung besar Lift ($L = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_L \cdot S$) dan Drag ($D = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_D \cdot S$) pada model airfoil NACA. Data perhitungan digunakan untuk menentukan Gaya input *tension-compression* pada pegas ulir ukur, sehingga dapat diperoleh panjang lendutan dan kompresi maksimum pada pegas ulir.

3. Analisis dan Komparasi Hasil Uji Alat

Analisis grafis dilakukan untuk membuktikan kesesuaian bentuk pengukuran yaitu detektor – transduser, tahap antara (*coupling*) dan tahap penunjukan. Analisis tingkat akurasi pembacaan dilakukan dengan menggunakan standar skala vernier. Analisis Lift dan Drag terbaca menggunakan formulasi Lift $L = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_L \cdot S$ dan Drag $D = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_D \cdot S$, dengan *angle of attack* α konstan dan kecepatan udara yang bervariasi pada tiga model airfoil uji. Hasil pengamatan diplot dalam kurva Kecepatan V versus Lift L dalam *spreadsheet*, sehingga diperoleh tren hubungan yang dapat dikomparasi dengan hasil perhitungan.

Kerangka Pikiran

Untuk menghasilkan gaya aerodinamika pada benda, udara harus memiliki Kecepatan V , Kerapatan udara ρ , dan berbentuk airfoil, koefisien aerodinamika Lift C_L , Drag C_D dan luas sayap S serta *angle of attack* α tertentu (Dole, 2017, p. 49; Hurt Jr., 1965, p. 16; Kermode, 1972, p. 83; Von Karman, 1954, p. 31). Sebagai suatu gaya, Lift dan Drag pada model airfoil dapat diukur dengan timbangan yang dipasang di ruang uji.

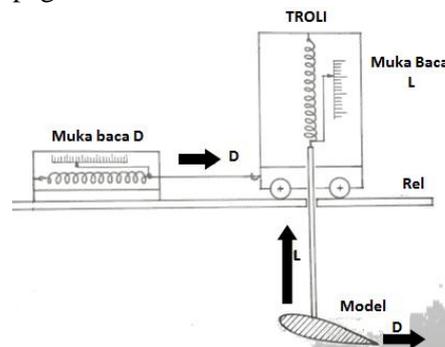
Aliran udara diidentifikasi laminar, dan pengukuran dengan Manometer U menghasilkan kecepatan dengan rentang 14 – 42 *fps* memenuhi syarat menghasilkan gaya pada model airfoil NACA. Analisis karakteristik Lift dan Drag pada model NACA dilakukan untuk mengetahui Lift dan Drag maksimum untuk menghitung

besar lendutan dan tekanan pada pegas ulir. Titik tangkap gaya di model, ditentukan

dengan formulasi Momen *Pitching* dan lokasi *Aerodynamic Center* (AC). Titik tersebut adalah titik yang transmisi gaya aerodinamika ke pegas ulir dan muka baca. Gaya maksimum diperoleh dengan analisis perhitungan model NACA mana dengan gaya terbesar. Lift maksimum akan menjadi tekanan pegas ulir dan Drag maksimum menjadi lendutan pegas ulir. Dengan asumsi distribusi gaya pada pegas ulir adalah sebanding dengan lendutannya, maka besar gaya maksimum dibagi dengan lendutan akan menghasilkan satuan lendutan pegas yang mewakili satuan gaya yang ditimbang. Skala vernier akan digunakan untuk menentukan tingkat akurasi alat baca.

Konsep Rancangan

Prinsip pengukuran gaya berdasarkan timbangan model *overhead* yang dimodifikasi dengan mengganti *jockey weight* (anak timbangan) dengan pegas ulir ukur.



Gambar 4. Konsep Rancangan

Pada kecepatan udara yang dikontrol dan *angle of attack* tertentu, Lift dan Drag yang dihasilkan oleh model akan ditransmisikan sesuai arah

gaya. Lift (**L**) bergerak vertikal ke atas dan bawah, Drag (**D**) akan bergerak mendatar dan akan memberikan gaya lendutan pada pegas ulir di muka baca **L** dan **D**. Gerakan pegas ulir dikonversi menjadi satuan panjang (**mm**), dengan asumsi gaya – gaya tersebut akan

memberikan pembesaran yang proporsional pada setiap **mm** lendutan pegas. Berdasarkan asumsi tersebut, maka setiap mm lendutan pegas ulir dapat membaca besaran nilai Gaya yang bekerja pada model airfoil.

Analisis Perhitungan dan Perancangan

1. Pengukuran Kecepatan Udara Ruang Uji (Shemmeri, 2012, p. 26)

Pada **RPM propeller** 100 RPM, perbedaan tinggi tekan (**h**) = **1,22 mm (0,00122 m)**

Kerapatan air (ρ_{air}) - Kerapatan udara (ρ_{udara}) = **995,7 kg/m³ - 1,2 kg/ m³ = 994,5 kg/ m³**

$$Head\ Pressure\ (H) = h \cdot (\rho_a - \rho_u)$$

$$= 0,0012\ m \times \frac{994,5\ kg/m^3}{1,2\ kg/m^3}$$

$$= 0,995\ m$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan } V &= \sqrt{H \cdot 2 \cdot G} \\ &= \sqrt{0,995 \times 2 \times 9,81} \\ &= 4,417\ m/det \\ &= 14,493\ ft/sec\ (fps) \end{aligned}$$

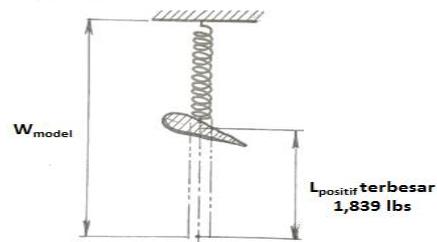
Pengukuran dilakukan sampai dengan **RPM=1000**, menghasilkan kecepatan maksimum **41,838 fps**

2. Perhitungan Lift **L** pada Model (Perkins & Hage, 1959, p. 25)

Model NACA 0012 dengan $\alpha = -8^\circ$ pada $V_1 = 14,493\ fps$, $S_{model} = 0,6055\ ft^2$, $\rho = 0,002378\ lb \cdot sec^2/ft^4$ dan C_L model pada $-8^\circ = 0,8$ maka

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_L \cdot S \\ &= \frac{1}{2} (0,002378) \cdot (14,492)^2 \cdot (0,8) \cdot (0,6055) \end{aligned}$$

$$L = - 1,210 \times 10^{-1}\ lbs, \text{ arah gaya ke bawah}$$



Gambar 5. Perhitungan L Terbesar

Perhitungan dilakukan untuk 10 keadaan dengan **V** dan α yang bervariasi

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa Lift terendah pada NACA 0012 = $- 6,05 \times 10^{-2}\ lbs$ pada $\alpha = -4$ dan $V = 14,493\ fps$. Lift tertinggi model ini = $1,2603 \times 10^0\ lbs$ pada $\alpha = 12^\circ$ dan $V = 41,838\ fps$.

Perhitungan dengan cara yang sama dilakukan pada **Model NACA 2424** dan **NACA 4412** dan ditabulasikan pada **Tabel 1** di bawah ini.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan L dan D Terbesar dan Terkecil

No	Model Airfoil	Lift, L (lbs)		Drag D (lbs)	
		Terkecil	Terbesar	Terkecil	Terbesar
1	NACA 0012	0,065	1,2603	0,0014	0,0227
2	NACA 2424	0,0151	1,5127	0,0019	0,0328
3	NACA 4412	0,0039	1,8349	0,0017	0,0393

3. Perhitungan Drag **D** pada Model (Perkins & Hage, 1959, p. 25)

Model NACA 0012 dengan $\alpha = -8^\circ$ pada $V_1 = 14,493$ fps, $S_{model} = 0,6055$ ft², $\rho = 0,002378$ lb.sec²/ft⁴ dan C_D model pada $-8^\circ = 0,018$ maka

$$D = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_D \cdot S$$

$$= \frac{1}{2} (0,002378) \cdot (14,493)^2 \cdot (0,018) \cdot (0,6055)$$

$$D = - 2,7 \times 10^{-3} \text{ lbs}$$

Perhitungan dilakukan untuk 10 keadaan dengan **V** dan α yang bervariasi

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa Drag terendah pada NACA 0012 = $1,48 \times 10^{-3}$ lbs pada $C_D = 0,0098$ dan $V = 14,493$ fps. Drag tertinggi model ini = $2,27 \times 10^{-2}$ lbs pada $C_D = 0,018$ dan $V = 41,838$ fps

Perhitungan dengan cara yang sama dilakukan pada **Model NACA 2424** dan **NACA 4412** dan ditabulasikan pada **Tabel 1** di atas.

4. Perhitungan Lift **L** pada pegas ulir dengan tambahan Berat model
Beban tarik pada pegas menggunakan formulasi :

$W_{model} + L_{negatif}$ maksimum sehingga:

$$NACA\ 0012 = 2,2642 \text{ lbs}$$

$$NACA\ 2424 = 2,0672 \text{ lbs}$$

$$NACA\ 4412 = 1,8398 \text{ lbs}$$

Beban tarik pegas ulir maksimum pada NACA 0012 (**2,2642 lbs**)

$$NACA\ 0012 = 1,2603 \text{ lbs}$$

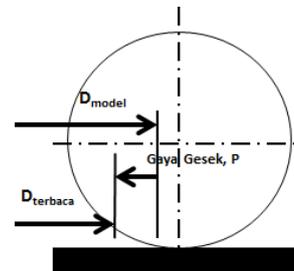
$$NACA\ 2424 = 1,5123 \text{ lbs}$$

$$NACA\ 4412 = 1,8349 \text{ lbs}$$

5. Perhitungan Drag **D** dengan Pertimbangan Gaya Gesek Troli
Gaya gesek pada roda Troli dihitung dengan batasan:

Koefisien gesek (μ) = 1×10^{-5} , gaya normal **Q** dihitung pada satu roda pada saat $L_{negatif} = W_{model} + W_{troli} + L_{negatif}$, berat troli = 0,249 lbs, dimensi roda Troli dia = 12,7 mm (r = 6,35 mm). Untuk NACA 0012 dengan $Q = 1,626$ lbs, $\mu = 1 \times 10^{-5}$, maka $P = \mu \cdot Q / R = 0,00078$ lbs.

Untuk model NACA seri lain dihitung sesuai dengan formulasi tersebut.



Gambar 6. Nilai D dengan Mempertimbangkan Gaya Gesek

6. Perhitungan Momen Pitching dan Lokasi *Aerodynamic Center* (AC) pada Model Airfoil

a. Momen Pitching. Dengan **S** (semua model) = 0,6055 ft², **chord length**

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Pegas Lift **L** dan Drag **D**

L	W ₁ (kg)	Hf (mm)	δ (mm)	HI (mm)	Hc (mm)	Cs (mm)	CI (mm)	D (mm)	d (mm)	n (mm)
Tarik	1,1	244,45	199,47	443,92	109,89	1,77	2,43	8	0,8	136
Tekan	0,9	353,55	163,20	190,35	109,89	1,77	0,59			
D										
Tarik	0,018	224	18	242	37,70	0,99	1,08	2	0,2	187,5

Beban kompresi pegas ulir maksimum pada NACA 4412 (**1,8349 lbs**)

NACA 0012 dan 2424 = 0,401 ft, NACA 4412 = 0,4263 ft, $\rho = 0,002378 \text{ sec}^2/\text{ft}^4$, C_M untuk NACA 0012 pada $\alpha = -8^\circ$ dan $C_L = 0,8$ adalah = **0**, $V = 14,493 \text{ fps}$, dan Tek dinamis $q = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 = 0,249 \text{ lb/ft}^2$ maka **Momen** = $C_M \cdot q \cdot S \cdot c$

= $0 \times 0,249 \times 0,6055 \times 0,4101$
= **0 lb.ft** (tidak ada Momen)

Momen model NACA lain dihitung sesuai formulasi tersebut.

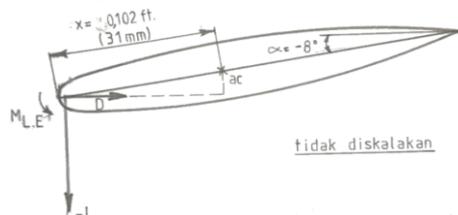
- b. *Aerodynamic Center* NACA 0012 dengan pada $\alpha = 8^\circ$, $C_L = 0,8$ dan $C_D = 0,018$, $C_{MLE} = -0,198$, $C_{MAC} = 0,0$, maka posisi AC

$$\underline{x} = \frac{(C_{MAC} - C_{MLE})}{c}$$

$$c = (C_L \cos \alpha - C_D \sin \alpha)$$

= **0,250** (25 % chord dari LE) atau
= $0,250 \times 0,125 \text{ m} = 0,031 \text{ m}$ (**0.102 ft**) dari LE.

Lokasi AC model NACA lain dihitung sesuai formulasi tersebut.



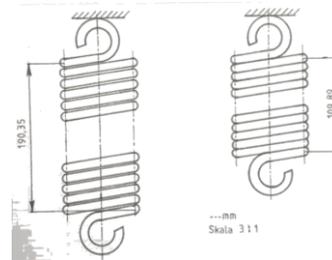
Gambar 7. AC untuk NACA 0012

7. Perhitungan Konstruksi Pegas Ukur (Khurmi, 2005, p. 821)

- a. Perhitungan Lendutan Pegas Ukur Lift pada Model

Lendutan maksimum dengan Beban model NACA 0012 maks $W_1 = 1,1 \text{ kg}$ (2,262 lbs), indeks pegas c ditaksir 10, Faktor tegangan **Wahl**, $K = 1,14$, Tegangan geser $\tau = 50,09$

kg/mm^2 , bahan pegas Baja Tahan Karat no 1 ($\tau_a = 69 \text{ kg/mm}^2$, modulus Geser $G = 7,5 \times 10^3$, Tegangan geser maks $\tau_{ai} = 55,2 \text{ kg/mm}^2$, Tegangan rencana $\tau_d = \tau_{ai} = 55,2 \text{ kg/mm}^2$, $\tau : \tau_d = 50,09 \text{ kg/mm}^2 < 55,2 \text{ kg/mm}^2$, jumlah lilitan yang bekerja, $n = 136$, lendutan $\delta = 199,47 \text{ mm}$, tinggi bebas $H_f = 244,45 \text{ mm}$, tinggi awal terpasang $H_s = 353,55 \text{ mm}$, konstanta pegas $k = 0,0055 \text{ kg/mm}$, lendutan awal terpasang $\delta_D = 109,09 \text{ mm}$, Beban awal terpasang $W_0 = 0,6 \text{ kg}$, lendutan efektif $\delta - \delta_D = 90,38 \text{ mm}$,



Gambar 8. Lendutan Maksimum dan Kompresi Pegas Ulir

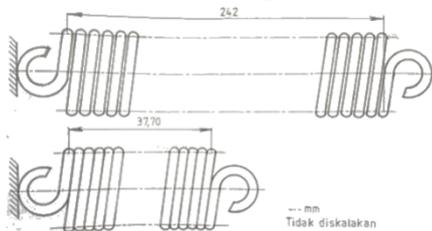
Tinggi pada lendutan maksimum $H_I = H_f - \delta = 443,92 \text{ mm}$, jumlah lilitan mati = 1, tinggi tertekan penuh $H_c = 109,89 \text{ mm}$, kelonggaran antara kawat $C_s = 1,77 \text{ mm}$, kelonggaran lendutan maks $C_I = 2,43 \text{ mm}$

Perhitungan untuk NACA 2424 dan 4412 dilakukan dengan cara yang sama dan menghasilkan tabulasi Hasil Perhitungan Pegas Lift pada **Tabel 2**

- b. Perhitungan Lendutan Pegas Ukur Drag pada Model

Pegas ulir Drag hanya terjadi beban Tarik, dengan maksimum terjadi pada NACA 4412 dengan $W_1 = 0,018 \text{ kg}$ (0,0393 lbs), lendutan

rencana $\delta = 18$ mm., Diameter $D = 2$ mm, indeks pegas c ditaksir 10, diameter kawat $d = 0,2$ mm, Faktor tegangan **Wahl**, $K = 1,14$, Tegangan geser $\tau = 13,11$ kg/mm², bahan pegas Baja Tahan Karat no 1 ($\tau_a = 70$ kg/mm², modulus Geser $G = 7,5 \times 10^3$, Tegangan geser maks $\tau_{ai} = 56$ kg/mm², Tegangan rencana $\tau_a = \tau_{ai} = 56$ kg/mm²), $\tau : \tau_a = 13,11$ kg/mm² < 56 kg/mm², jumlah lilitan yang bekerja, $n = 187,50$, lendutan $\delta = 18$ mm, tinggi bebas $H_f = 224$ mm, tinggi awal terpasang $H_s = 224$ mm, konstanta pegas $k = 0,001$ kg/mm, lendutan awal terpasang $\delta_D = 0$ mm, Beban awal terpasang $W_o = 0$ kg, lendutan efektif $\delta - \delta_D = 18$ mm,



Gambar 9. Beban Tarik dan Kompresi Maksimum Pegas Ulir Drag

Tinggi pada lendutan maksimum $H_I = H_f - \delta = 242$ mm, jumlah lilitan mati = 1, tinggi tertekan penuh $H_c = 37,70$ mm, kelonggaran antara kawat $C_s = 0,99$ mm, kelonggaran lendutan maks $C_I = 1,08$ mm
Perhitungan untuk NACA 2424 dan 4412 dilakukan dengan cara yang sama dan menghasilkan tabulasi Hasil Perhitungan Pegas Drag pada **Tabel 3**

8. Skala Ukur Lendutan Pegas

Panjang lendutan efektif $\delta = H_I - H_f = 18$ mm, sehingga panjang skala mm. Lendutan tersebut terjadi pada ukur = 18 mm/18, maka 1 bag = 1 beban maksimum 0,0081 lbs, sehingga 1 bagian skala mewakili 0,00045 lbs.

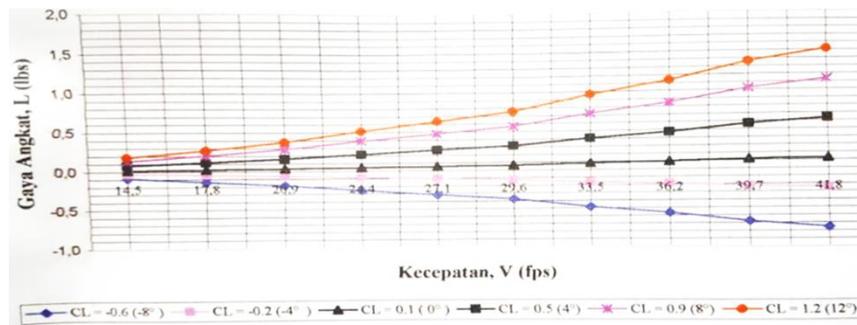
Diskusi

1. Bentuk Pengukuran (Morris & Langari, 2016, p. 4)

Deskriptif pengamatan uji : **Tahap detektor – tranduser** : model dan batang penghubung, terlihat mentransmisikan gaya dari model ke pegas baca. **Tahap antara** : pegas ulir ukur, dengan lendutan yang proporsional dengan dengan gaya kerja. Penguatan sinyal ukur bisa dilakukan pada pegas yang lebih sensitif atau fleksibel tetapi perlu analisis yang lebih mendalam. **Tahap akhir (penunjuk)** : jarum penunjuk menunjuk nilai gaya dengan ketelitian 0,02 mm skala vernier.

2. Ketelitian Muka Baca

Skala vernier membantu akurasi muka baca. **Muka baca Lift** : dengan jangkau baca = 253,58 mm dan 1 bagian mewakili beban 0,0122 lbs. Dengan akurasi skala vernier = 0,02 mm, maka perhitungan teoritis pegas = 0,0002 lbs digunakan untuk analisis gerakan pegas ulir. **Muka baca Drag** : jangkau baca = 18 mm



Gambar 10. Plotting Hasil Alat Baca Kurva V versus L Pada Konstan α

dan 1 bagian mewakili beban 0,00045 lbs, maka muka baca dapat mengukur (teoritis) beban terkecil 0,000009 lbs. Jika Drag terkecil adalah 0,00148 lbs dengan lendutan 0,67 mm, akan terbaca 0,66 – 0,68 mm dan memerlukan pengamatan yang lebih detil tanpa *parallax error*.

3. Gaya – Gaya Yang Terbaca

a. Lift (L) model NACA 0012 ,4412 dan 2424 memperlihatkan hubungan yang erat kecepatan (V) pada C_L masing – masing yaitu semakin besar C_L akan semakin besar L , dan kuadratis dari kecepatan (V^2) terlihat signifikan terhadap besar L . Gaya L adalah gaya bersih yang terukur dari model. Tekukan pegas dan gesekan antara batang hubung akan berakibat L akan terbaca lebih rendah.

b. Drag D terbaca dalam setiap perubahan V pada masing – masing model sesuai dengan C_D nya. Hubungan ini memperlihatkan semakin besar C_D dan kuadratis dari kecepatan (V^2) maka D semakin besar. Perbedaan terjadi dihasilkan akibat gaya gesek Troli dan rel.

Hasil uji D memperlihatkan :

1) selisih antara Drag model (D_m) dengan Drag akibat gesekan troli

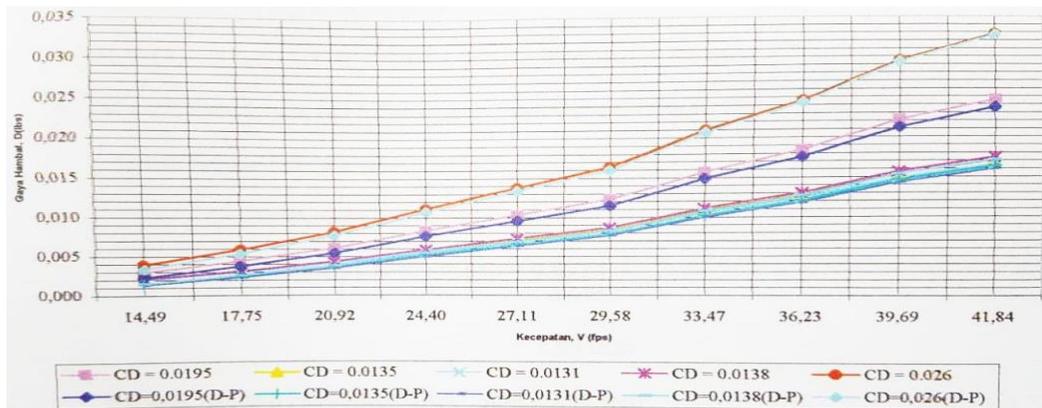
(D_g). Kebalikannya, semakin besar L positif, selisih D_m dan D_g (δD) mengecil

2) NACA 0012 dan NACA 2424 memperlihatkan δD stabil pada kisaran 0,0008 lbs – 0,0002 lbs.

3) NACA 4412 memperlihatkan δD pada kisaran 0,0008 lbs – (-0,0002 lbs) dengan kecenderungan sama dengan NACA lainnya. Pada 4412, dengan C_D 0,019 dan $V = 39,691$ fps, gaya gesek dapat diabaikan, dan pada $C_D = 0,030$ dan $V = 39,691$ sampai 41, 838 Troli akan terangkat sehingga gaya gesek benar benar diabaikan. Contoh selisih pembacaan Nilai D seperti pada Gambar 11.

4. Lendutan Pegas

Lendutan pegas ulir baik untuk L maupun D sebanding dengan beban. Lendutan pada NACA 0012 dengan $V = 14,493$ fps, $L_1 = 0,1210$ adalah 9,98 mm. Pada $V = 17,750$ fps, $L_2 = 0,1815$ adalah 14,47 mm. Selisih beban $L_2 - L_1 = 0,0605$ lbs dan selisih lendutan = 4,99 mm. Periksa selisih beban dan selisih lendutan = $0,0605/0,0122$ kg/mm = 4,99 mm. Pemeriksaan terhadap konsistensi



Gambar 11. Selisih Baca D pada Model NACA 4412

lendutan pada model lain memperlihatkan kemantapan yang sama dengan NACA 0012.

Kesimpulan

1. Lift L negatif terbesar terjadi pada model NACA 0012 sebesar 2,2642 lbs dengan lendutan maksimum pegas 199,47 mm dan konstanta pegas 0,0055 kg/mm
2. L positif terbesar terjadi pada NACA 4412 sebesar 1,8349 lbs, terjadi kompresi pada pegas ulir Lift.
3. Beban tarik maksimum Drag D terjadi pada NACA 4412 sebesar 0,0393 lbs dengan tarikan maksimum pegas 18 mm dengan konstanta pegas 0,001 kg/mm.
4. Gaya gesek rel mempengaruhi ketepatan baca Drag D. Gaya gesek bervariasi tergantung gaya normal P karena Lift negatif atau positif
5. Alat baca dapat mengukur model dengan berat awal maksimum 1,311 lbs (0,6 kg)
6. Ketelitian baca dengan bantuan skala vernier mempermudah perhitungan hasil baca.
7. Kalibrasi alat dengan dinamometer pegas dengan ketelitian sama atau lebih tinggi.

Daftar Pustaka

Abbot, I. H. (1960). *Theory of Wing Sections*. Dover Publication.

Dole, C. E. (2017). *Flight Theory and Aerodynamics*. A Wiley-Interscience Publication.

Hurt Jr., H. H. (1965). *Aerodynamics for Naval Aviators*. University of Southern California.

John D. Anderson, J. (2001). *Fundamentals of Aerodynamics*. McGraw_Hill Series.

Kermode, A. (1972). *Mechanics of Flight*. Pitman Publishing.

Khurmi, R. . (2005). *A Text Book of Machine Design*. Eurasia Publishing House (PVT). LTD.

McCormick, B. W. (1994). *Barnes W. McCormick-Aerodynamics_ Aeronautics_ and Flight Mechanics*. Wiley & Sons.

McKinley, James L ; Bent, R. D. (1978). *Basic Science for Aerospace Vehicles* (C. F. Baker (ed.); Fourth). Northrop Institute of Technology.

Morris, A. S., & Langari, R. (2016). *Measurement and Instrumentation*. Academic Press.

Perkins, C., & Hage, R. (1959). *Airplane performance stability and control*. John Wiley & Sons.

Shemmeri, T. Al. (2012). *Engineering Fluid Mechanics*. In *T. Al-Shemmeri & Ventus Publishing ApS*.

Von Karman, T. (1954). *Aerodynamics*. Cornell University Press.