

## HASIL PENGUJIAN MODEL UJI PTTA/PUNA MALE PADA TEROWONGAN ANGIN

### RESULT FROM THE STUDY OF MODEL TEST OF UAV/PUNA MALE ON WIND TUNNEL

Eko Misrianto

Puslitbang Iptekhan Balitbang Kemhan

Jl. Jati No. 1, Pondok Labu, Jakarta

ekomisrianto@yahoo.com

#### ABSTRAK

Kegiatan pembuatan model uji Pesawat Terbang Tanpa Awak (PTTA)/Puna Medium Altitude Long Endurance (MALE) tidak terlepas dari sistem koreksi nilai pada pengujian beberapa parameter. Pengujian awal menggunakan simulasi perangkat lunak Computational Fluids Dynamic (CFD). Data yang diperoleh dibandingkan dengan data terowongan angin dengan menggunakan model uji. Kemudian, dilakukan analisis kesesuaian antara momen aerodinamika, tekanan, temperatur, tegangan pada model, dan medan magnet di sekitar model, yang terkait dengan gaya hambat dan gaya angkat yang optimal sesuai standar aerodinamika yang telah ditentukan. Untuk melakukan uji pada terowongan angin, dibuat model uji dari bahan aluminium foil. Pengujian dilakukan dengan mempergunakan sistem terowongan subsonik, sistem tertutup, kecepatan angin 70 m/s, ruangan seksi uji 3 x 4 m, dengan skala 1:5,5. Model uji ini menggunakan strut pada sayap PTTA dengan instalasi upside down. Dari hasil analisis model uji diperoleh  $CL_{max}$  sebesar 1,35 (dari target sebesar 1,55), untuk  $CL/CD$  maksimum sebesar 21 (dari target sebesar 22). Dengan demikian, diperlukan perubahan drawing dan model uji pada bentuk badan pesawat, dari 75% menjadi 25% semakin ke bawah mendekati ground. Begitu juga dengan ekor V, dari bentuk V dengan sudut kecil menjadi agak melebar.

**Kata kunci:** Model Uji; CFD; Subsonik; Badan Pesawat

#### ABSTRACT

The making of model test of Unmanned Aerial Vehicle (UAV)/Puna Medium Altitude Long Endurance (MALE) can not be separated from value correction system in the testing of some parameters. Initial testing uses simulation provided by Computational Fluids Dynamic (CFD). The resulted data will be compared with data gained from model test in wind tunnel. Afterwards, we analyze the compatibility between aerodynamics moment, pressure, temperature, model's strain, and magnetic field around the model, related to optimal drag force and lift force according to determined aerodynamics standard. In order to administrate the testing on wind tunnel, we build model test from aluminium foil. The testing was held using closed subsonic tunnel with speed of 70 m/s, test section of 3 x 4 m, and 1:5.5 scale. This model test uses strut on UAV's wings with upside down instalation. The analysis of model test resulted  $CL_{max}$  of 1.35 (with targeted value 1.55), for maximum  $CL/CD$  21 (with targeted value 22). Therefore, we need to change the drawing and model test, especially on its fuselage's shape, from 75% become 25% lower to the ground. As for the V tail, we need to widen its angle.

**Keywords:** Model Test; CFD; Subsonic; Fuselage

#### PENDAHULUAN

Koreksi dan evaluasi nilai parameter dalam sistem pengujian sangat diperlukan untuk menentukan apakah satuan ukur yang telah dibuat sudah mencapai nilai standar yang telah ditentukan. Satuan ukur yang diperoleh akan dibandingkan dengan satuan standar yang telah ditetapkan. Nilai parameter yang telah terukur digunakan sebagai *base data* dalam melakukan perubahan struktur dan wahana serta model yang telah dibuat. Salah satu uji yang tidak dapat

dilewatkan dalam dunia penerbangan adalah *flight physics* yang melibatkan uji terowongan angin. Uji terowongan angin menyimulasikan kondisi udara sebenarnya dengan gaya aerodinamis yang terjadi pada pesawat. Uji ini digunakan untuk melakukan studi analisis dan verifikasi terhadap hasil perhitungan aerodinamika dari operasi pesawat yang sedang dikembangkan.

Gaya aerodinamis meliputi gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*) yang memberikan kontribusi besar agar pesawat dapat terbang serta memiliki kinerja dan kestabilan yang baik.

Sebelum uji terowongan angin dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengujian *Computational Fluids Dynamic* (CFD), yaitu sistem pengujian simulasi dengan menggunakan perangkat lunak serta tampilan visual parameter yang akan diukur gaya dan momennya. Hasil pengukuran simulasi dengan CFD kemudian diperbandingkan dengan nilai parameter pengujian yang dilakukan terhadap model uji (*model test*) dalam uji terowongan angin. Pengujian dengan uji terowongan angin akan lebih baik dibandingkan dengan CFD. Hal ini dikarenakan parameter yang diperoleh dari CFD belum menggambarkan kondisi riil pesawat saat melakukan penerbangan di udara, sedangkan pengukuran dengan terowongan angin hampir mendekati kondisi yang sebenarnya dengan melibatkan beberapa faktor yang memengaruhi kondisi pesawat di lapangan. Dalam pengukuran parameter, model uji dibuat dari material *aluminium foil*. Model uji ini mempergunakan sistem terowongan subsonik tertutup dengan kecepatan angin 70 m/s, ruangan seksi uji (*test section*) 3 x 4 m dengan skala 1:5,5. Model uji ini menggunakan *strut* pada sayap PTTA dengan instalasi *upside down*.

Model uji yang akan diuji dilapisi dengan *oil* serta diberi tanda *strip* atau *spot* pada daerah yang ekstrem. Pemberian trip atau model uji ini untuk melihat pengaruh gaya angkat dan gaya hambat pada sistem aerodinamika yang terjadi pada saat pesawat melakukan lepas landas (*take off*), pendaratan (*landing*), dan terbang (*flight*) di udara. Besaran aliran *laminar* pada permukaan yang rata serta aliran turbulensi pada permukaan yang tidak rata mengakibatkan aliran turbulensi. Besaran aliran *laminar* dan turbulensi dieliminasi menjadi sekecil mungkin untuk memperoleh sistem aerodinamika yang optimal.

Pembuatan model uji PTTA/Puna MALE tidak terlepas dari penilaian beberapa parameter gaya hambat dan gaya angkat agar optimal. Hasil yang diperoleh, baik dari CFD maupun terowongan angin (*wind tunnel*/WT), disesuaikan dengan standar penerbangan. Apabila belum memenuhi target standar nilai aerodinamika, perlu dilakukan beberapa perubahan model uji yang terkait dengan perubahan badan pesawat (*fuselage*), sayap (*wing*), dan ekor V (*V tail*) berikut *Conceptual Design Review* (CDR).

## METODOLOGI PENELITIAN

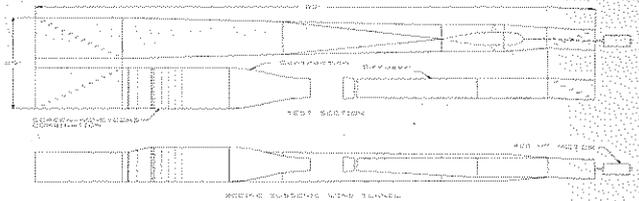
Kegiatan penelitian analisis hasil pengujian model uji PTTA/Puna MALE dengan menggunakan CFD dan terowongan angin ini menggunakan teknik analisis data berupa analisis deskriptif, penelitian laboratorium dengan simulasi, serta analisis dengan menggunakan perangkat lunak *Advanced Analysis Aircraft* (AAA), *XPlane*, dan *Wind Tunnel*.

### Rancang Bangun Model Uji PTTA Jenis Pengujian pada Pembuatan PTTA/Puna MALE

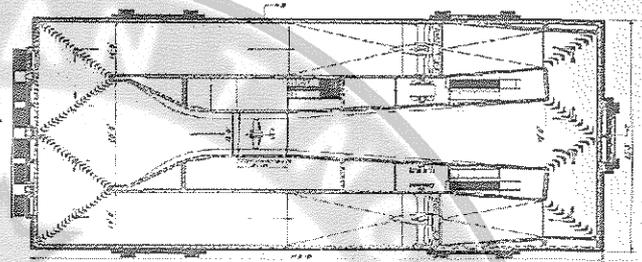
Dalam proses pembuatan konfigurasi data parameter yang penting adalah data terkait *flight physics* pada uji terowongan angin (*wind tunnel test*). Uji terowongan angin akan menyimulasikan kondisi udara yang akan menghasilkan gaya-gaya hambat dan angkat pada aerodinamika yang terjadi pada wahana pesawat. Data momen gaya hambat dan angkat akan digunakan untuk melakukan studi analisis dan verifikasi perhitungan aerodinamika dari pesawat yang sedang dikembangkan. Hal ini penting, dikarenakan gaya aerodinamis memberikan kontribusi besar agar pesawat dapat terbang serta memiliki kinerja dan kestabilan yang baik. Pengujian dengan uji terowongan angin lebih baik dibandingkan dengan *Computational Fluids Dynamic* (CFD) tanpa melibatkan faktor luar. Hal ini karena parameter yang diperoleh dari CFD belum menggambarkan kondisi real pesawat saat melakukan penerbangan di udara. Uji terowongan angin membantu menganalisis efek angin yang bergerak di sekitar objek padat. Gaya-gaya aerodinamis akan memengaruhi persamaan gerak sebuah pesawat yang terdiri dari tiga buah persamaan translasi dan tiga buah persamaan sumbu koordinat. Dengan demikian, dapat dikatakan pesawat memiliki enam derajat kebebasan (*degree of freedom*).

Jenis terowongan angin dapat dibedakan berdasarkan lintasan atau jalur udara menjadi *open jet*, *closed return*, *double return*, dan *annular return*. Adapun berdasarkan kecepatan angin yang dihasilkan, terowongan angin dapat dibedakan menjadi terowongan subsonik (*subsonic tunnel/low speed*) dengan kecepatan angin 0,8 Mach, terowongan transonik (*transonic tunnel*) dengan kecepatan angin 0,8–1,2 Mach, terowongan

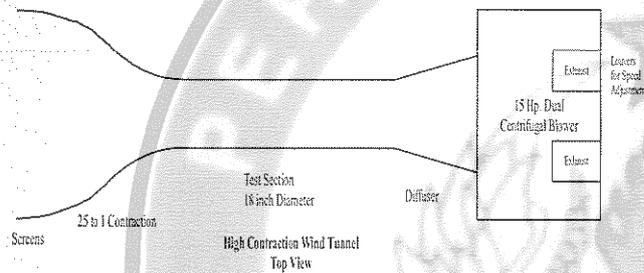
supersonik (*supersonic tunnel*) dengan kecepatan angin 1,2–1,5 Mach, dan terowongan hipersonik (*hypersonic tunnel*) dengan kecepatan angin lebih besar dari 5 Mach. Di Indonesia digunakan rangkaian terbuka (*open circuit tunnel*) dan rangkaian tertutup (*close circuit tunnel*). Pada jenis terowongan angin rangkaian terbuka, udara mengikuti jalur lurus yang masuk melalui kontraksi ke seksi uji, diikuti *diffuser*, rumah *fan*, dan saluran keluar udara. Adapun terowongan angin rangkaian tertutup mempunyai jalur yang kontinu untuk udara. Sebagian besar tipe ini adalah jalur tunggal (*single return*).



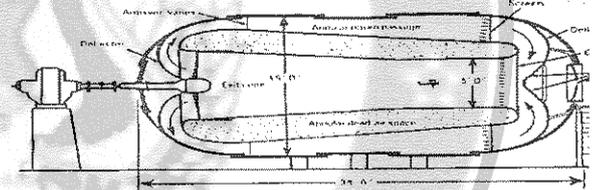
Gambar 2. Uji Terowongan Angin Sistem Tertutup  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016



Gambar 3. Uji Terowongan Angin *Double Return*  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016  
WIND TUNNELS OF NASA



Gambar 1. Uji Terowongan Angin *Open jet*  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016



Gambar 4. Uji Terowongan Angin *Annular Return*  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Tabel. Kelebihan dan kekurangan terowongan angin

Nama WT	Kelebihan	Kekurangan
Terowongan Rangkaian Terbuka ( <i>Open Circuit Tunnel</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Biaya kontribusi rendah.</li> <li>-Tidak ada masalah bila ingin menjalankan motor pembakaran dalam atau melakukan banyak visualisasi aliran jika <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> keluaranya terbuka ke atmosfer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Membutuhkan angin yang lebih banyak untuk ukuran dan kecepatan tertentu.</li> <li>-Perlu ada tambahan penyaringan pada <i>inlet</i> apabila diletakkan di ruangan.</li> <li>-Terpengaruh dengan angin dan cuaca di luar.</li> <li>-Secara umum berisik.</li> </ul>
Terowongan Rangkaian Tertutup ( <i>Close Circuit Tunnel</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Lebih mudah mengontrol kualitas aliran angin dengan menggunakan <i>corner turning vanes</i>.</li> <li>-Memerlukan angin yang lebih sedikit untuk ukuran dan kecepatan seksi uji tertentu.</li> <li>-Tidak terlalu berisik.</li> <li>-Tidak terpengaruh cuaca luar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Biaya kontribusi Tinggi.</li> <li>-Perlu ditambah peralatan khusus untuk uji motor pembakaran atau asap.</li> </ul>

Pada prinsipnya, terowongan angin akan menyimulasikan aliran udara dan melihat efeknya pada suatu benda yang dilalui aliran udara tersebut. Hal ini bisa diibaratkan dengan sebuah benda yang bergerak pada suatu kondisi udara yang diam. *Feel* aliran udara inilah yang akan menghasilkan gaya-gaya aerodinamis. Aliran udara yang terjadi dapat dibedakan menjadi beberapa tipe aliran fluida (dalam hal ini udara). Tipe aliran udara ini tergantung dari sebuah parameter yang dikenal dengan nama bilangan Reynolds, yang terbagi antara lain:

1. *Aliran laminar*. Aliran *laminar* merupakan aliran fluida yang bergerak secara halus dan lancar dengan kecepatan rendah serta viskositasnya tinggi. Apabila sebuah aliran mengalami gangguan akibat getaran, ketidakteraturan permukaan batas, dan sebagainya, gangguan tersebut akan relatif lebih cepat terendam oleh viskositas fluida. Dalam hal ini, fluida dapat dianggap menyerupai lapisan-lapisan (*lamina*) dengan pertukaran molekuler yang terjadi hanya di antara lapisan-lapisan yang berbatasan, di mana nilai bilangan Reynoldsnnya kurang dari 2.300.

2. *Aliran transisi*. Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran *laminar* ke aliran turbulen. Ketika kecepatan aliran itu bertambah atau viskositasnya berkurang akibat temperatur meningkat, misalnya, maka gangguan akan terus teramati dan semakin membesar serta kuat, berakhir pada tercapainya suatu keadaan peralihan. Keadaan peralihan itu tergantung pada viskositas fluida, kecepatan yang menyangkut geometri aliran, di mana nilai bilangan Reynoldsnnya antara 2.300–4.000.

3. *Aliran turbulensi*. Aliran turbulensi merupakan pergerakan dari partikel-partikel fluida yang sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida lain dalam skala yang besar. Nilai bilangan Reynoldsnnya lebih besar dari 4.000. Dalam hal ini, turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata di seluruh fluida, sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

Secara umum, ukuran seksi uji (*test section*) untuk terowongan angin kecil dibandingkan keadaan yang sebenarnya. Selain itu, untuk mengurangi biaya pembuatan model dan daya listrik yang dibutuhkan, ukuran model pun dibuat lebih kecil dari ukuran pesawat yang sesungguhnya. Sebagai akibat dari penskalaan ini, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Adapun yang perlu diperhatikan ketika menggunakan data hasil uji terowongan angin dalam model yang lebih kecil dari ukuran sebenarnya meliputi bilangan Reynolds, bilangan Mach, dan bilangan Froude.

a. Bilangan Reynolds (Re)

$$Re = \frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Viscous}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\mu V l} = \frac{\rho V l}{\mu}$$

Angka Mach (M):

$$M = \frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Elastisitas}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\rho a^2 l^2} = \frac{V}{a}$$

Angka Froude (Fr):

$$Fr = \sqrt{\frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Gravitasi}}} = \sqrt{\frac{\rho l^2 V^2}{\rho l^3 g}} = \sqrt{\frac{V^2}{lg}}$$

b. Bilangan Mach (M)

$$Re = \frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Viscous}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\mu V l} = \frac{\rho V l}{\mu}$$

Angka Mach (M):

$$M = \frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Elastisitas}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\rho a^2 l^2} = \frac{V}{a}$$

Angka Froude (Fr):

$$Fr = \sqrt{\frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Gravitasi}}} = \sqrt{\frac{\rho l^2 V^2}{\rho l^3 g}} = \sqrt{\frac{V^2}{lg}}$$

c. Bilangan Froude (Fr)

$$Re = \frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Viscous}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\mu V l} = \frac{\rho V l}{\mu}$$

Angka Mach (M):

$$M = \frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Elastisitas}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\rho a^2 l^2} = \frac{V}{a}$$

Angka Froude (Fr):

$$Fr = \sqrt{\frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Gravitasi}}} = \sqrt{\frac{\rho l^2 V^2}{\rho l^3 g}} = \sqrt{\frac{V^2}{lg}}$$

$$Re = \frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Viscous}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\mu V l} = \frac{\rho V l}{\mu}$$

Angka Mach (M):

$$M = \frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Elastisitas}} = \frac{\rho l^2 V^2}{\rho a^2 l^2} = \frac{V}{a}$$

Angka Froude (Fr):

$$Fr = \sqrt{\frac{\text{Gaya Inertia}}{\text{Gaya Gravitasi}}} = \sqrt{\frac{\rho l^2 V^2}{\rho l^3 g}} = \sqrt{\frac{V^2}{lg}}$$

Dengan:

- $\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- $l$  = panjang (m)
- $V$  = kecepatan (m/s)
- $\mu$  = coefficient viscosity ( $\frac{kg}{ms}$ )
- $a$  = kecepatan suara (m/s)
- $g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Dengan:

- $\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- $l$  = panjang (m)
- $V$  = kecepatan (m/s)
- $\mu$  = coefficient viscosity ( $\frac{kg}{ms}$ )
- $a$  = kecepatan suara (m/s)
- $g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Dengan:

- $\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- $l$  = panjang (m)
- $V$  = kecepatan (m/s)
- $\mu$  = coefficient viscosity ( $\frac{kg}{ms}$ )
- $a$  = kecepatan suara (m/s)
- $g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

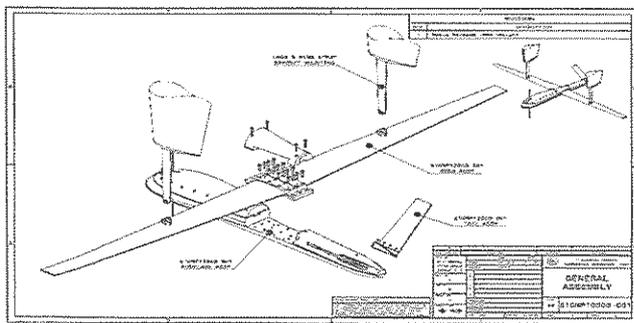
Dengan:

- $\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- $l$  = panjang (m)
- $V$  = kecepatan (m/s)
- $\mu$  = coefficient viscosity ( $\frac{kg}{ms}$ )
- $a$  = kecepatan suara (m/s)
- $g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

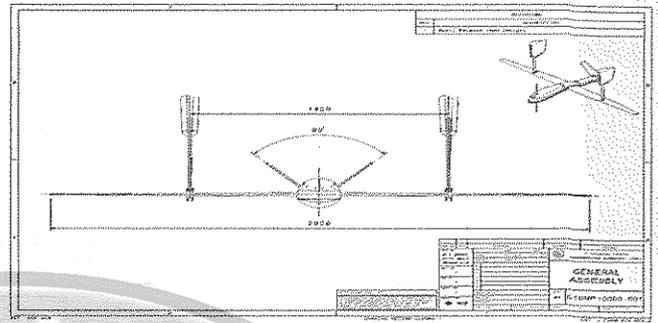
uji terbang. Semakin mirip nilai parameter di atas saat uji terowongan angin dengan saat uji terbang, maka semakin mirip pula data aerodinamika hasil uji terowongan angin dengan hasil uji terbang. Parameter bilangan Froude ( $Fr$ ) hanya berpengaruh ketika uji terowongan angin melibatkan uji dinamika (*dynamic test*), di mana model bergerak secara dinamis dan pada saat bersamaan model juga mendapat gaya aerodinamis eksternal.

### Model Uji pada Terowongan Angin.

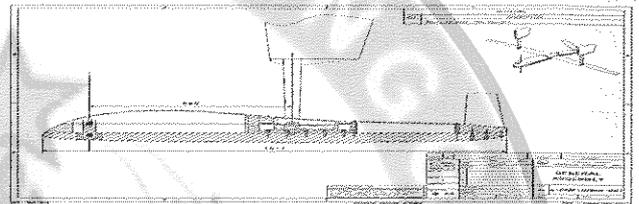
Salah satu bagian yang penting dalam melakukan uji terowongan angin adalah membuat model yang akan diuji. Model untuk uji terowongan angin harus dibuat semirip mungkin dengan aslinya, khususnya dari bentuk luar (*external shape*), karena bentuk inilah yang akan memengaruhi gaya-gaya aerodinamik yang terjadi. Model uji terowongan angin harus diperkecil sesuai dengan skala ukuran seksi uji (*test section*) yang terdapat pada terowongan angin tersebut. Semakin besar ukuran model, tentunya akan semakin baik pula dalam melakukan simulasi menggunakan terowongan angin. Hanya saja, efek dari dinding seksi uji tetap harus diperhatikan. Model yang diuji tidak boleh terlalu pas dengan seksi uji, karena akan terkena dampak dari lapisan batas (*boundary layer*) pada dinding sesi uji. Hal ini akan memengaruhi nilai hasil uji. Hal lain yang harus diperhatikan adalah memilih jenis penopang (*strut*) untuk model tersebut ketika diletakkan di dalam seksi uji. Pemegang uji (*support system*) yang biasa digunakan dalam pengujian ada bermacam macam jenis, tergantung pada bentuk model serta kebutuhan pengujian, seperti *sting support*, *wing strut support*, dan *three strut support system*.



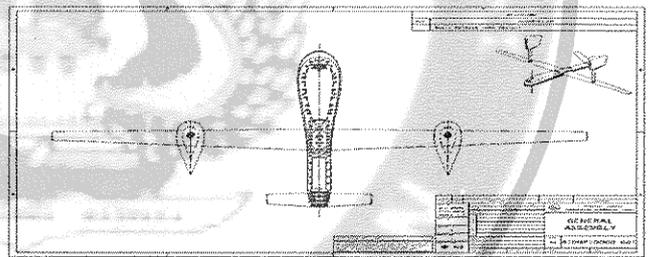
Gambar 5. Desain Model uji PTTA/Puna MALE  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016



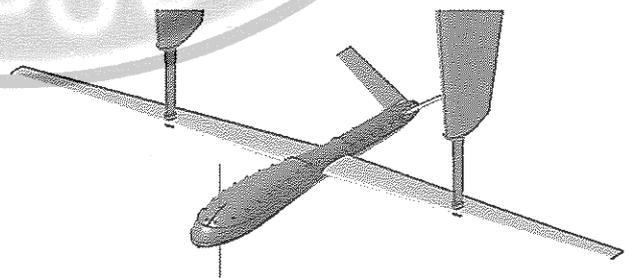
Gambar 6. Desain Model Uji Tampak Depan  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016



Gambar 7. Desain Model Uji Tampak Samping  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016



Gambar 8. Desain Model Uji Tampak Atas  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016



Gambar 9. Drawing Model Uji PTTA/Puna MALE  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Model uji pada terowongan angin dipergunakan untuk melihat pengaruh gaya atau beberapa parameter aerodinamika yang terjadi pada saat pesawat melakukan lepas landas, pendaratan, dan terbang di udara. Model uji mempergunakan

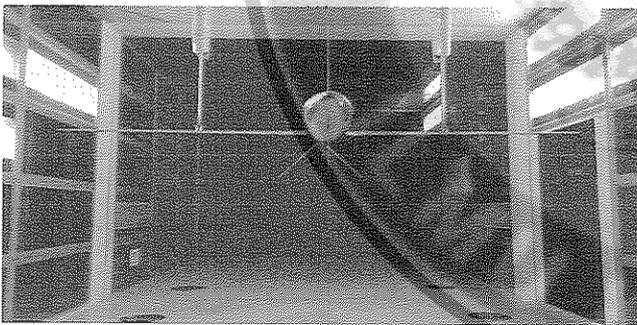
kecepatan angin terowongan subsonik, *closed turned*, dengan kecepatan angin yang digunakan 70 m/s, ukuran seksi uji 3 x 4 m, dan skala 1:5,5. Sebagai penopang untuk model uji, digunakan *strut* pada sayap PTTA dengan instalasi *upside down*.

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan uji terowongan angin, dilakukan pengujian dengan CFD. Berdasarkan hasil CFD, dilakukan pembuatan model uji untuk uji terowongan angin. Pengujian dengan uji terowongan angin lebih baik daripada dengan CFD. Hal ini dikarenakan parameter yang diperoleh dari CFD belum menggambarkan kondisi riil pesawat saat melakukan penerbangan di udara.

#### 1. Model Uji pada Terowongan Angin

Model terowongan angin dibuat sesuai dengan model aslinya dengan skala 1:5,5. Dari model tersebut, dilakukan pengujian data aerodinamis untuk memperoleh gaya-gaya aerodinamis yang maksimal.



Gambar 10. Model Uji PTTA/Puna MALE Tampak Depan

Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

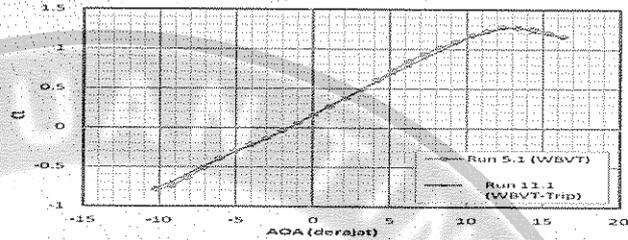


Gambar 11. Model Uji PTTA/Puna MALE Tampak Samping

Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

#### 2. Pengujian Model Uji

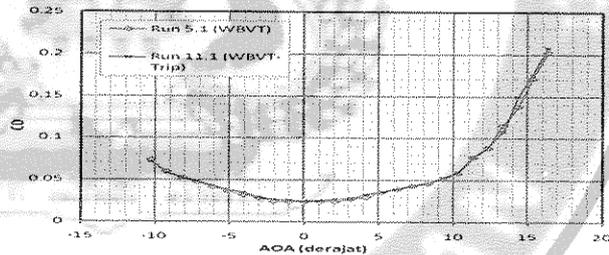
Pada grafik hasil *Computation Fluid Dynamic* (CFD) dengan terowongan angin dapat dilihat bahwa grafik  $C_L$  pesawat naik condong ke kanan. Hal ini menunjukkan kenormalan dengan maksimum 1,3.



Gambar 12. Grafik  $C_L$  CFD dan WT

Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

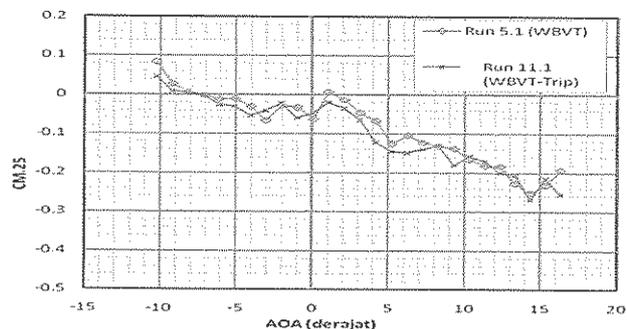
Pada grafik hasil *Computation Fluid Dynamic* (CFD) dengan terowongan angin dapat dilihat bahwa grafik  $C_D$  pesawat menunjukkan kenormalan dengan minimum 0,075 dan maksimum 16.



Gambar 13. Grafik  $C_D$  CFD dengan WT

Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

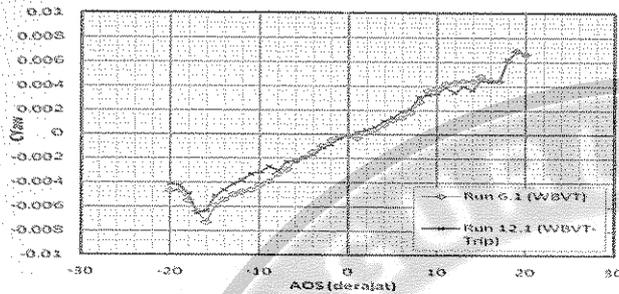
Pada grafik hasil *Computation Fluid Dynamic* (CFD) dengan terowongan angin dapat dilihat bahwa grafik  $C_M$  drag pesawat menurun ke arah kanan. Hal ini menunjukkan kestabilan pesawat.



Gambar 14. Grafik  $C_M$  CFD dengan WT

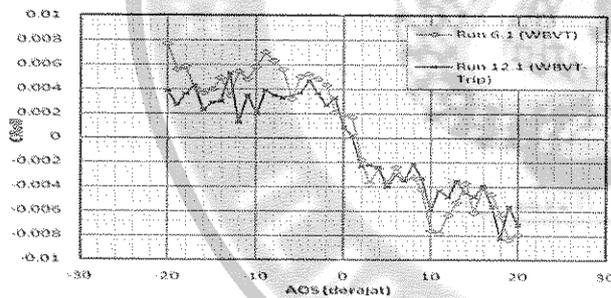
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Pada grafik hasil *Computation Fluid Dynamic* (CFD) dengan terowongan angin dapat dilihat bahwa grafik  $C_{Yaw}$  pesawat naik ke arah kanan. Hal ini menunjukkan gaya anguk kestabilan pesawat baik.



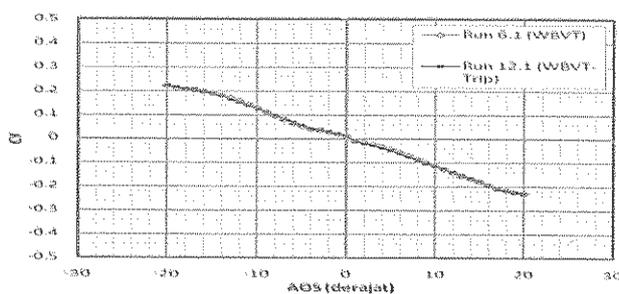
Gambar 15. Grafik  $C_{Yaw}$  CFD dengan WTT  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Pada grafik hasil *Computation Fluid Dynamic* (CFD) dengan terowongan angin dapat dilihat bahwa grafik  $C_{Roll}$  pesawat turun ke arah kanan. Hal ini menunjukkan gaya *rolling* pesawat baik.



Gambar 16. Grafik  $C_{Y_{Roll}}$  CFD dengan WTT  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Pada grafik hasil *Computation Fluid Dynamic* (CFD) dengan terowongan angin dapat dilihat bahwa grafik  $C_{Pitch}$  pesawat turun ke arah kanan. Hal ini menunjukkan gaya geleng pesawat baik.



Gambar 17. Grafik  $C_{Pitch}$  CFD dengan WTT  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Pada model uji dengan uji terowongan angin dilakukan pemasangan *trip* atau *spot* titik-titik sepanjang badan pesawat untuk melihat besaran gaya hambat dan gaya angkat pesawat pada saat lepas landas, pendaratan, dan terbang.



Gambar 18. Trip Bagian Depan Badan Pesawat  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Pada model uji dengan terowongan angin dilakukan pemasangan *trip* atau *spot* titik-titik sepanjang daerah *V tail* untuk melihat besaran gaya hambat pesawat pada saat lepas landas, pendaratan, dan terbang.



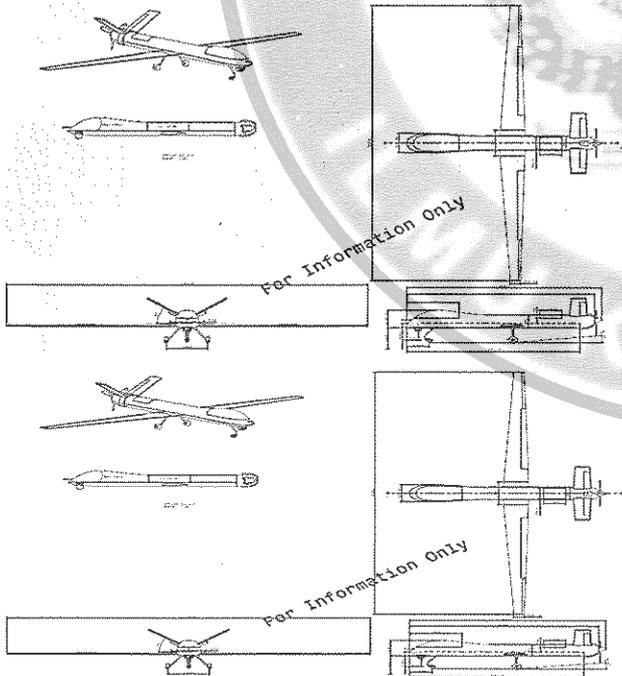
Gambar 19. Trip Bagian Belakang *V Tail*  
Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Pada pengujian model uji dengan terowongan angin dilakukan pemasangan *trip* atau *spot* titik-titik sepanjang badan pesawat untuk melihat besaran gaya hambat pesawat pada saat lepas landas, pendaratan, dan terbang.



Gambar 20. Trip Bagian Badan Pesawat  
 Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Analisis aerodinamika menggunakan pemasangan *trip* dilakukan dengan melihat dan memastikan lokasi transisi lapisan batas, menentukan ukuran terkecil yang efektif. Pemasangan *trip* ini dilakukan pada badan pesawat, sayap, dan *V tail*. Pengukuran parameter diupayakan dengan menggunakan pengaruh gaya hambat yang sekecil mungkin.



Gambar 21. Desain Perubahan Struktur  
 Sumber: Penelitian model uji di PT. DI Bandung 2016

Hasil pengujian menunjukkan nilai  $C_{Lmax}$  sebesar 1,35 (dari target sebesar 1,55), sementara  $C_L/C_D$  maksimum sebesar 21 (dari target sebesar 22). Oleh karena

itu, perlu dilakukan beberapa perubahan, meliputi perbaikan rancangan sayap (*airfoil*), perbesaran ukuran ekor untuk memperbaiki kestabilan pesawat, serta pengujian lanjutan yang lebih detail untuk mengetahui efek *flaps*, efek *aileron*, efek *ruddervator*, dan efek *downwash*.

### KESIMPULAN

Pengujian menghasilkan nilai  $C_{Lmax}$  sebesar 1,35 (dari target sebesar 1,55) dan  $C_L/C_D$  maksimum sebesar 21 (dari target sebesar 22). Oleh karena itu, diperlukan perubahan *drawing* dan model uji pada bentuk badan pesawat, dari 75% menjadi 25% semakin ke bawah mendekati *ground*. Begitu juga dengan *V tail*, dari bentuk V dengan sudut kecil menjadi bentuk V dengan sudut lebih melebar.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Dokumen Uji CFD FTMD ITB Bandung 2016.
2. Dokumen konfigurasi Model PTTA/Puna MALE PT. DI Bandung.
3. Dokumen Hasil Uji Model di LAAG, PT. DI Bandung.