

PENELITIAN DAN PENGUJIAN KARAKTERISTIK AERODINAMIKA BOM LATIH PERCOBAAN BLP-500 DAN BLP 25

Agus Aribowo, Sulisty Atmadi *(
Yus Kadarusman Marias ")

•) Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Tcrapan, LAPAN
" | Peneliti Pusat Teknologi Wahana Dirgantara. LAPAN

ABSTRACT

Research and aerodynamic testing of BLP-500 and BLP-25 have been conducted in both subsonic and supersonic wind tunnel. Aerodynamic characteristics such as C_L , C_d and C_m for these types of bomb we obtained. By knowing the aerodynamic characteristics, the stability and trajectory of the bomb can be determined. Both analytical calculation and real tests in the wind tunnel were performed and compared. The results showed that for its static stability, the location of the centre of gravity of BLP-500 and BLP-25 to be less than 115.1 cm and 31.9 cm respectively.

ABSTRAK

Penelitian dan pengujian aerodinamika bom latihan BLP-500 dan BLP-25 pada Terowongan Angin Subsonik dan Supersonik telah dilakukan. Pengujian ini untuk mengetahui karakteristik aerodinamika yang terdiri dari C_d , C_L , dan C_m kedua jenis bom tersebut. Dengan diketahuinya karakteristik aerodinamika kedua bom tersebut maka akan dapat dipelajari karakteristik, stabilitas dan trayektori terbangnya. Analisa dilakukan dengan menggunakan rumus aerodinamika untuk kecepatan subsonik maupun supersonik serta dilakukan pengujian langsung pada Terowongan angin. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa agar model bom stabil, maka letak pusat gravitasi (X_{cg}) harus lebih kecil dari 115.1 cm untuk BLP-500 dan lebih kecil dari 31.9 cm untuk BLP-25.

1 PENDAHULUAN

Penelitian dan pengujian aerodinamika Bom Latihan Percobaan BLP-25 dan BLP-500 merupakan hasil kerja sama LAPAN dengan TNI-AU dan PT. PINDAD yang dilaksanakan di Laboratorium Aerodinamika LAPAN.

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh karakteristik Aerodinamika dan Trayektori yang di miliki Bom Latihan BLP-25 dan BLP-500, meliputi koefisien gaya angkat (C_L) C_L , koefisien gaya hambat [*drag*] C_d , dan koefisien gaya momen angguk (pitch) C_m . Ketiganya diperlukan dalam perhitungan trayektori bom tersebut.

Selain itu juga mengetahui Pusat Tekanan (*Center of Pressure*) CP dan Statik Margin (OP) daripada benda uji (BLP-25 dan BLP-500) dalam berbagai variasi kecepatan dan sudut serang. Ini

dipergunakan untuk menentukan stabil dan tidaknya bom tersebut dalam kondisi terbang sebenarnya.

2 DATA PENELITIAN DAN PENGUJIAN

2.1 Date Benda Uji

Untuk meneliti karakteristik aerodinamika Bom Latihan BLP-25 dan BLP 500 pada terowongan angin supersonic LAPAN, diperlukan model berskala kecil (maksimal diameter model 50.0 mm), mengingat terowongan angin LAPAN hanya mempunyai ruang uji seluas 900 cm^2 .

Model BLP-500 dibuat dengan skala 1:10, model BLP-25 dibuat dengan skala 1:5. Keduanya dibuat dari bahan *stainless steel*

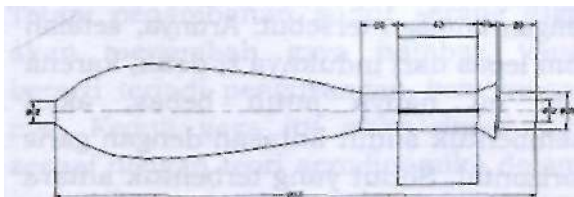
Untuk model subsonik dilakukan pengujian skala penuh. Untuk BLP-25 dilakukan pengujian dengan benda uji

sebenarnya. Sedangkan untuk BLP-500, karena bobot matinya melebihi batas maksimum berat benda uji pada alat pengukur *External Balance*, yang berkisar ± 100.0 kg, dibuatkan model dengan skala yang sama 1:1 dari kayu utuh dengan bobot mati di bawah batas maksimum berat benda uji pada *External Balance*.

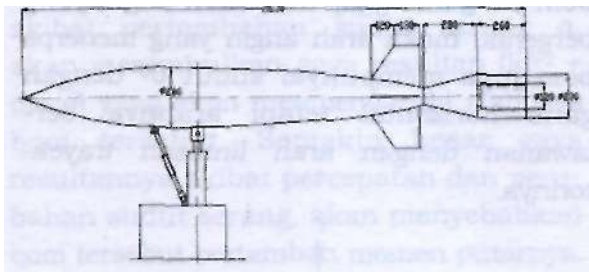
Model supersonik skala 1:10 Bom Latih BLP-500 ditunjukkan pada Gambar 2-1, model supersonik skala 1:5 Bom Latih BLP-25 ditunjukkan pada Gambar 2-2, model subsonik skala 1:1 Bom Latih BLP-500 ditunjukkan pada Gambar 2-3, model subsonik skala 1:1 Bom Latih BLP-25 ditunjukkan pada Gambar 2-4.



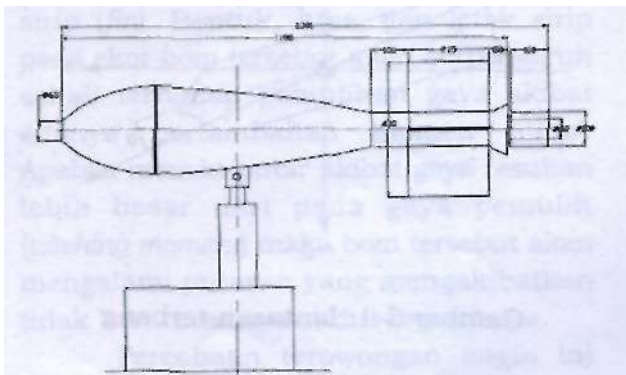
Gambar 2-1: Model Supersonik BLP-500



Gambar 2-2: Model Supersonik BLP-25



Gambar 2-3: Model Subsonik BLP-500



Gambar 2-4: Model Subsonik BLP-25

2.2 Data Terowongan Angin

2.2.1 Terowongan angin subsonik

Spesifikasi:

- Panjang 1000 cm
- Luas penampang $(225 \times 75) \text{cm}^2 = 39375 \text{cm}^2$
- Kecepatan aliran udara 0 ~ 40 m/det
- Ketebalan lapisan batas 7 cm
- Perbandingan kontraksi 9.3
- Bilangan Reynolds 6.64×10^6

Instrumentasi

- 6 komponen gaya *External Balance*, sebagai alat ukur gaya dan momen aerodinamika.
- *Pitot tube* dan multimeter manometer untuk mengukur kecepatan aliran udara pada seksi uji.
- Data aquisisi
- Voltmeter model 3600

2.2.2 Terowongan angin Supersonik

Spesifikasi :

- Tipe *Blow down* dengan *variable* lubang nosel (sistem balok geser)
- Penampang seksi uji 300 x 300 (mm)
- Bilangan Mach $M = 1.2-4.2$
- Waktu operasi 40 detik pada $M = 2.0$
- Diameter model max. 40 ~ 45 (mm)

Instrumentasi :

- Pengukuran gaya dan momen oleh *Internal Balance*
- Data aquisisi HP 3025A kapasitas 20 kanal.
- Voltmeter HP 345A
- Scanner HP 341A

3 METODA PENELITIAN

3.1 Prosedur Pengujian Terowongan Angin Subsonik.

Data yang diperoleh *strain gauge* pada *External Balance*, yang berupa arus listrik, dibaca oleh volt meter dan juga dibaca oleh scanner (pemindai) data akuisisi. Untuk mengubah arus ke konversi gaya digunakan faktor koreksi gaya. Dalam hal ini digunakan faktor konversi hasil kalibrasi, untuk :

Lift 107.8 11 v/ kg
Drag 442 p^v/ kg
Side Force 151.8 p v/ kg
Picking Moment 44.0 p^v/ kg-cm
Yawing Moment 45.3 p. v/ kg-cm
Rolling Moment 43.3 p v/ kg-cm
 (berbasis voltase 6.0 Volt)

Pengujian dilakukan pada 9 regim kecepatan, yaitu 10 m/det, 15 m/det, 20 m/det, 25 m/det, 30 m/det, 35 m/det, 40 m/det, 45 m/det, dan 50 m/det dengan variasi sudut serang (*angle of attack*) 0°, 3°, 6°, 9°, 11°, 13°, dan 15°. (Gambar 3-3)

3.2 Prosedur pengujian Terowongan Angin Supersonik.

Data yang akan diperoleh sama dengan percobaan terowongan angin subsonik. Faktor konversi yang digunakan adalah :

Axial	37.3 p V/ lb
Normal 1	24.3 p V/ lb
Normal 2	23.1 p V/ lb
<i>Rolling Moment</i>	34.9 p V/ lb
Jarak N1 dan N2	6.02 cm

Percobaan yang dilakukan antara 1.6 hingga 2.6 pada bilangan Mach (1 Mach = 340.294 m/det.) (Gambar 3-4)

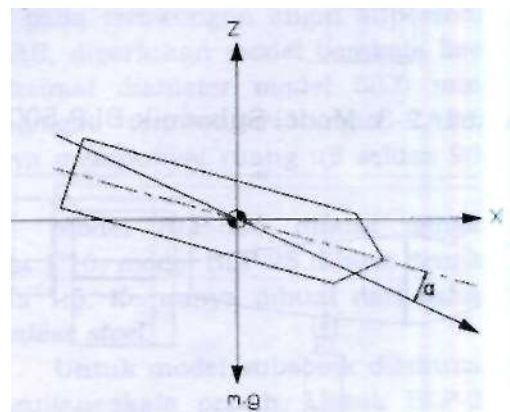
Khusus untuk kecepatan supersonik, akan diperoleh data Koefisien drag sebagai referensi yang digunakan untuk mengetahui batas aman kekuatan ulir pengait terhadap maksimum *drag force* pada saat pesawat pembawa melaju dengan kecepatan supersonik (> 1 Mach).

3.3 Landasan Teori

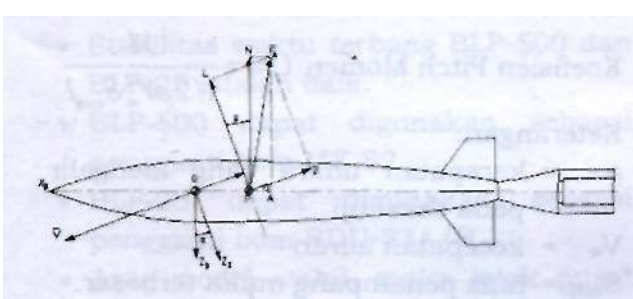
Sebuah wahana terbang seperti pesawat dan roket, dalam melakukan pergerakan dinamisnya akan memperoleh gaya yang bersifat mendukung dan gaya yang bersifat menghambat laju gerakannya. Gaya yang bersifat mendukung, seperti gaya angkat (*lift*), dimanfaatkan sedemikian rupa sehingga wahana tersebut dapat mengangkat badannya sendiri. Sedangkan gaya yang bersifat menghambat, seperti gaya hambat (*drag*), akan mengurangi gaya gerak dinamisnya.

Untuk wahana berupa bom/benda yang hanya dijatuhkan dari pesawat induknya (jatuh bebas atau tidak mempunyai daya dorong/*trust*), hanya mempunyai percepatan gravitasi saja. Tetapi tetap mengalami hal yang sama, yaitu gaya dukungan berupa gaya angkat yang akan memperpanjang waktu terbangnya, selain itu akan mengalami juga pengurangan percepatan/laju dinamis oleh gaya hambat. Hal ini berarti terjadi pengurangan jarak datar (*bom range*).

Bom yang sedang terbang akan menerima gaya dan momen gaya seperti Gambar 3-1 dan 3-2. Untuk memudahkan menganalisa gaya dan moment aerodinamikanya, diambil satu sampel wilayah terbang (*flight field*) pada saat ti detik bom tersebut melakukan pemisahan (separasi) dari pesawat induknya. Seperti terlihat pada Gambar 3-1, bom menuju ke titik sasaran dengan melintasi garis trayektorinya. Pada lintasan trayektori tersebut arah angin dianggap sejajar dengan lintasan tersebut. Artinya, setelah bom lepas dari induknya ti detik, karena bom ini hanya jatuh bebas, akan membentuk sudut lintasan dengan garis horizontal. Sudut yang terbentuk antara garis lintasan dengan garis horizontal, dimisalkan dengan sudut 9°. Apabila bom yang dianggap diam dan angin yang bergerak, maka arah angin yang menerpa bom juga mempunyai sudut 8° dengan garis horizontal tetapi arahnya berlawanan dengan arah lintasan trayektorinya.



Gambar 3-1: Lintasan terbang



Gambar 3-2: Diagram gaya dan momen aerodinamik

Selain itu, bom pada saat terbang mengalami juga perubahan sudut serang (*angle of attack*) α . Sudut serang bukan sudut yang terbentuk antara bom dengan garis horizontal, tetapi sudut yang terbentuk antara garis busur (*chord*) bom dengan garis lintasan trayektorinya. Perubahan sudut serang ini akan berpengaruh terhadap gaya angkat, gaya hambat dan gaya momen *pitchingnya*. Semakin besar sudut serang akan menambah gaya angkat yang berarti akan memperpanjang waktu terbangnya. Tetapi penambahan sudut serang juga akan menambah gaya hambat, yang berarti terjadi pengurangan *bom range-nya*. Kedua gaya itu akan dipadukan sesuai dengan teori aerodinamika dalam pengolahan data untuk menentukan trayektori yang dimiliki bom tersebut.

Sedangkan gaya-gaya yang timbul akibat pertambahan sudut serang α , akan menimbulkan gaya resultan ($lift^2 + drag^2$) yang akan mempengaruhi stabilitas bom tersebut. Semakin besar gaya resultannya akibat percepatan dan perubahan sudut serang, akan menyebabkan bom tersebut bertambah momen putarnya. Untuk mengurangi pertambahan momen putar, pada bagian belakang bom dipasang sirip (*fin*). Bentuk, luas, dan letak sirip pada ekor bom tersebut akan berpengaruh sekali terhadap pemulihan gaya akibat adanya pertambahan momen putar. Apabila momen putar akibat gaya resultan lebih besar dari pada gaya pemulihan (*pitching moment*) maka bom tersebut akan mengalami putaran yang mengakibatkan tidak beraturannya sudut *impact-nya*.

Percobaan terowongan angin ini mensimulasikan bom sama kondisinya

saat terbang sebenarnya. Pada waktu bom tersebut terbang sebenarnya, angin dianggap dalam posisi diam dan bom yang bergerak searah dengan lintasannya. Sedangkan untuk simulasi pada terowongan angin, keadaan tersebut dibalik menjadi posisi bom dalam keadaan diam (diam pada dudukan *External Balance*) dan anginlah yang bergerak. Posisi model pada terowongan angin baik pada terowongan angin subsonik maupun pada terowongan angin supersonik.

Definisi gaya dan momen aerodinamik Gambar 3-2 melukiskan diagram gaya dan momen aerodinamik sebuah bom.

Sumbu koordinat gaya :

- a. Sumbu benda : titik pusat di titik berat o
 XB : sumbu simetri benda positif ke depan
 ZB : tegak lurus sumbu XB , terletak pada bidang yang dibentuk oleh vektor kecepatan gerak VB dan sumbu X . Positif ke bawah.
- b. Sumbu kestabilan : titik pusat di titik berat o
 Xs : sejajar arah vektor kecepatan, positif ke depan.
 Zs : tegak lurus sumbu Zs , terletak dalam bidang $XBOZB$. Positif ke bawah.
 Ys : tegak lurus $XsOzZs$ dan berorientasi tangan kanan.
- c. Orientasi sumbu benda dan sumbu kestabilan.
 Dengan asumsi: wahana bom bergerak pada bidang simetrik yang tegak lurus dengan bumi, maka sudut orientasi sistem $XBOZB$ dan $XsOZs$ adalah sudut serang (*Angle of attack*) α , yaitu sudut arah angin V dengan sumbu XB .

Gaya dan momen aerodinamik :

- a. Gaya lift (gaya angkat)
 Gaya angkat L bertitik tangkap di titik pusat aerodinamik. L tegak lurus sumbu Xs , dengan arah Zs negatif.
- b. Gaya Drag (gaya hambat)

Gaya drag D bertitik tangkap di pusat aerodinamik. D sejajar dengan sumbu X_S dengan arah X_S negatif.

c. Titik pusat aerodinamik P

Titik pusat aerodinamik P adalah titik tangkap gaya total aerodinamik F_A
 $F_A^2 = L^2 + D^2$

d. Statik Margin OP

Statik margin adalah jarak sepanjang sumbu X_S dari titik pusat aerodinamik P hingga titik berat wahana O. Persyaratan kestabilan statik mengharuskan Statik Margin bernilai negatif. Statik Margin SM \propto OP Stabil Statik $\phi \rightarrow$ SM < 0

e. Momen tukik aerodinamik M

Momen tukik (*pitching momen*) aerodinamik adalah momen gaya aerodinamik F_A terhadap titik berat wahana O. Momen pitch dinotasikan sebagai M, jadi $\overline{M} = \overline{OP} \times \overline{F_A}$ arah momen pitch M sepanjang sumbu Y_B (Y) negatif.

f. Gaya axial aerodinamik A

Gaya axial aerodinamik A, adalah uraian gaya aerodinamik total F_A pada sumbu X_B

g. Gaya normal aerodinamik N

Gaya normal aerodinamik N, adalah uraian gaya aerodinamik total F_A pada sumbu Z_B .

h. Hubungan antara gaya axial dan normal terhadap gaya angkat dan gaya hambat

$$D = A \cos \alpha + N \sin \alpha$$

Atau

$$A = D \cos \alpha - L \sin \alpha$$

$$N = L \cos \alpha + D \sin \alpha$$

Momen pitch M dinyatakan dalam L, D atau N

$$M = OP (L \cos \alpha + D \sin \alpha)$$

$$= OP (N)$$

Koefisien gaya dan koefisien momen aerodinamik

Koefisien gaya dari koefisien momen aerodinamik adalah besaran-besaran tanpa dimensi yang diberikan sebagai berikut :

$$\text{Koefisien Lift } Cl = \frac{L}{1/2 \rho V_\infty^2 S_{mid}}$$

$$\text{Koefisien Drag } Cd = \frac{D}{1/2 \rho V_\infty^2 S_{mid}}$$

$$\text{Koefisien Pitch Momen } Cm = \frac{M}{1/2 \rho V_\infty^2 S_{mid} l}$$

Keterangan:

ρ = kerapatan udara yang mengalir pada seksi uji.

V_∞ = kecepatan aliran

S_{mid} = luas penampang muka terbesar.

$$\text{Koefisien gaya Axial } C_A = \frac{A}{1/2 \rho V_\infty^2 S_{mid}}$$

$$\text{Koefisien gaya normal } C_N = \frac{N}{1/2 \rho V_\infty^2 S_{mid}}$$

Selain itu, berlaku pula persamaan berikut :

$$Cd = C_A \cos \alpha + C_N \sin \alpha$$

$$Cl = C_N \cos \alpha - C_A \sin \alpha$$

Atau

$$C_A = Cd \cos \alpha - Cl \sin \alpha$$

$$C_N = Cl \cos \alpha + Cd \sin \alpha$$

Dan

$$C_M = \overline{OP} (Cl \cos \alpha + Cd \sin \alpha) = \overline{OP} \cdot C_N$$

$$\text{Dengan } \overline{OP} = \frac{OP}{l}$$

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Suatu wahana terbang dinyatakan stabil apabila titik berat (cg) berada di depan pusat gaya-gaya aerodinamik (ac), atau Statik Margin (OP) berharga negatif, atau rasio perubahan *pitching moment* dengan perubahan *angle of attack* negatif ($C_{ma} < 0$)

Dari hasil pengujian dapat ditentukan :

- Titik Berat (X_{cg}): 97.50 cm (BLP-500) 15.36 cm (BLP-25)
- Pusat Gaya Aerodinamika (X_{ac}): 115.1 cm (BLP-500) 31.9 cm (BLP-25)
- Statik Margin (OP): -17.60 cm (BLP-500) -16.54 cm (BLP-25)
- C_{ma} : -0.25936 (BLP-500) -0.86211 (BLP-25)

5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pengujian BLP-500 dan BLP-25 pada laboratorium Aerodinamika LAPAN, dapat diambil kesimpulan bahwa

- Stabilitas waktu terbang BLP-500 dan BLP-25 adalah baik.
- BLP-500 dapat digunakan sebagai pengganti bom MK-82
- BLP-25 dapat digunakan sebagai pengganti bom BDU-33A/B
- Agar model stabil, maka letak pusat gravitasi (X_{cg}) harus lebih kecil dari 115.1 cm untuk BLP-500 dan untuk BLP-25 harus lebih kecil 31.9 cm.

DAFTAR RUJUKAN

- Alan Pope, John J. Harper, 1966. *Low Speed Wind Tunnel Testing*, John Willey & Sons. Inc. New York.
- Alan Pope, 1978. *High Speed Wind Tunnel Testing*, Robert E. Krieger Publishing, New York.
- Shijiro Shindo, 1992. *Low Speed Wind Tunnel Testing Technique*, Corona Publishing, Tokyo-Japan.
- , *Manual Pemncangan Roket Kendall*, Pusat Roket dan Satelit LAPAN, Jakarta.

**TABEL TRAYEKTORI
BOMBING TABLES FOR BLP-500 463.6-LB**

DIVE ANGLE DEG	ALTITUDE FT	VELOCITY KTS	BOMB RANGE FT	TIME OF FLIGHT SEC	IMPACT ANGLE DEG
0	1000	360	4625	7.45	21.86
		400	5156	7.45	19.79
		440	5685	7.45	18.05
		480	6240	7.40	16.55
		520	6777	7.40	15.14
		560	7357	7.35	13.87
0	1500	360	5741	9.20	26.09
		400	6406	9.20	23.70
		440	7064	9.15	21.55
		480	7742	9.15	19.78
		520	8430	9.10	18.11
		560	9135	9.05	16.56
0	2000	360	6675	10.65	29.35
		400	7455	10.65	26.74
		440	8211	10.60	24.38
		480	9059	10.60	22.39
		520	9825	10.50	20.42
		560	10715	10.40	18.57
0	2500	360	7422	11.80	32.00
		400	8293	11.80	29.31
		440	9148	11.75	26.79
		480	10039	11.70	24.55
		520	10950	11.60	22.41
		560	11945	11.45	20.29
0	3000	360	8141	12.90	34.37
		400	9102	12.90	31.47
		440	10054	12.85	28.82
		480	11008	12.75	26.55
		520	12053	12.65	24.06
		560	13207	12.50	21.78

BLP-500

LAB AERO →

**TABEL TRAYEKTORI
BOMBING TABLES FOR BLP-500 476.2-LB**

DIVE ANGLE DEG	ALTITUDE FT	VELOCITY KTS	BOMB RANGE FT	TIME OF FLIGHT SEC	IMPACT ANGLE DEG
0	1000	360	4622	7.45	21.87
		400	5152	7.45	19.81
		440	5681	7.45	18.06
		480	6242	7.45	16.56
		520	6768	7.40	15.15
		560	7324	7.35	13.89
5	1000	360	3720	6.05	22.75
		400	4074	5.95	20.80
		440	4381	5.80	19.14
		480	4672	5.65	17.68
		520	4952	5.50	16.41
		560	5224	5.35	15.30
10	1000	360	3626	5.60	24.39
		400	3735	4.8	22.76
		440	3815	4.6	21.25
		480	3873	4.59	19.92
		520	3907	4.19	18.79
		560	3869	4.04	17.80
15	1000	360	2484	4.19	27.14
		400	2599	3.94	25.44
		440	2719	3.74	24.11
		480	2813	3.54	22.99
		520	2883	3.54	22.02
		560	2929	3.14	21.17
20	1000	360	2055	3.54	30.13
		400	2137	3.34	28.78
		440	2178	3.09	27.47
		480	2226	2.89	26.49
		520	2292	2.74	25.73
		560	2341	2.59	25.07

BLP-500

LAB AERO →

**TABEL TRAYEKTORI
BOMBING TABLES FOR BLP-500 500-LB**

DIVE ANGLE DEG	ALTITUDE FT	VELOCITY KTS	BOMB RANGE FT	TIME OF FLIGHT SEC	IMPACT ANGLE DEG
0	1000	360	4618	7.45	21.89
		400	5146	7.45	19.81
		440	5683	7.45	18.08
		480	6232	7.45	16.59
		520	6754	7.40	15.18
		560	7356	7.40	14.00
0	1500	360	5730	9.20	26.13
		400	6391	9.20	23.74
		440	7065	9.20	21.71
		480	7715	9.15	19.84
		520	8392	9.10	18.18
		560	9125	9.05	16.65
0	2000	360	6659	10.65	29.40
		400	7433	10.65	26.80
		440	8225	10.65	24.54
		480	9002	10.60	22.47
		520	9822	10.55	20.60
		560	10685	10.45	18.76
0	2500	360	7405	11.80	32.15
		400	8267	11.80	29.38
		440	9114	11.75	26.87
		480	9995	11.70	24.64
		520	10932	11.65	22.60
		560	11899	11.50	20.51
0	3000	360	8118	12.90	34.44
		400	9076	12.90	31.55
		440	10013	12.85	28.91
		480	10997	12.80	26.54
		520	12015	12.70	24.27
		560	13130	12.55	22.03

BLP-500

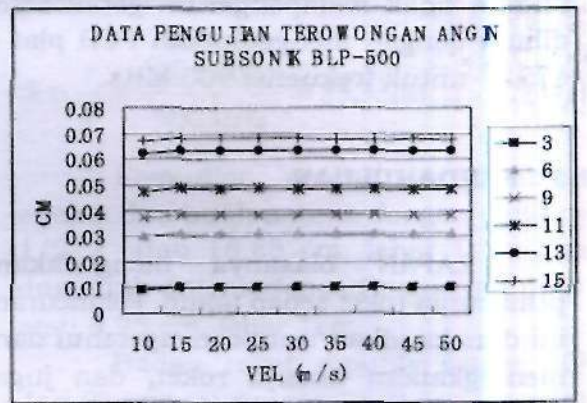
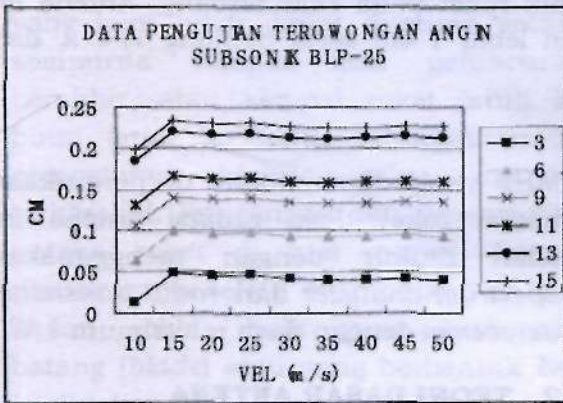
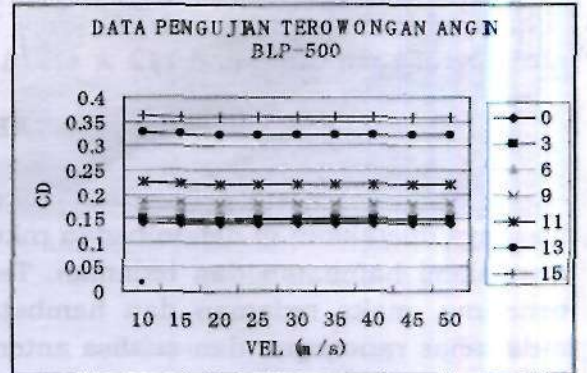
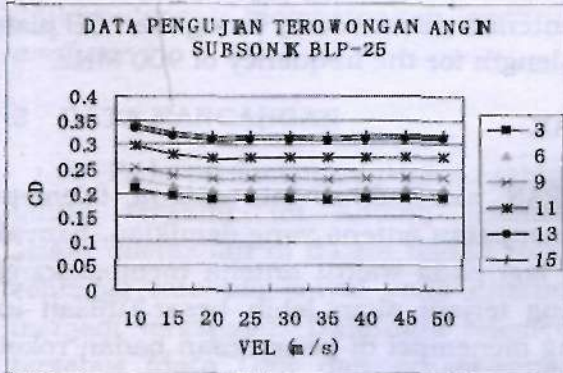
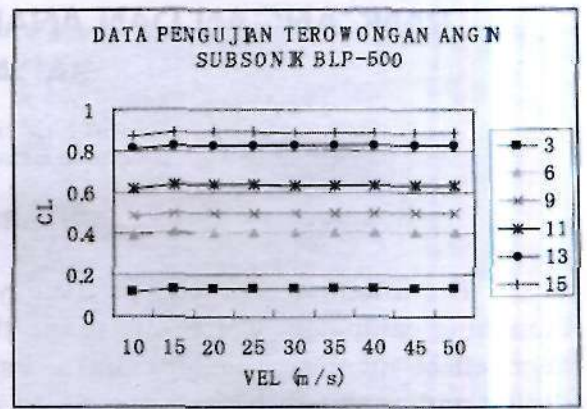
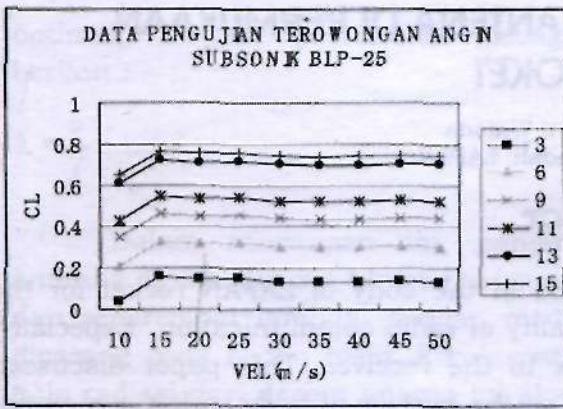
LAB AERO →

**TABEL TRAYEKTORI
BOMBING TABLES FOR BLP-25 25-LB**

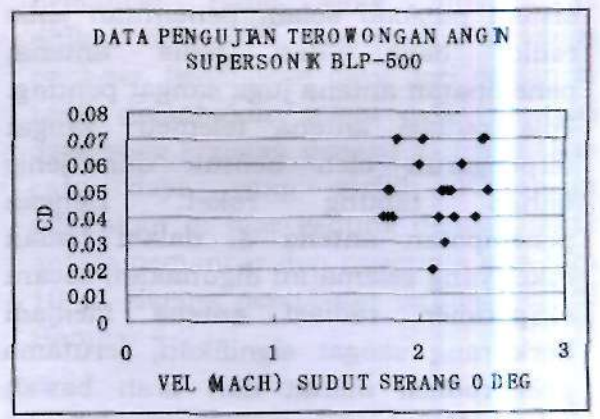
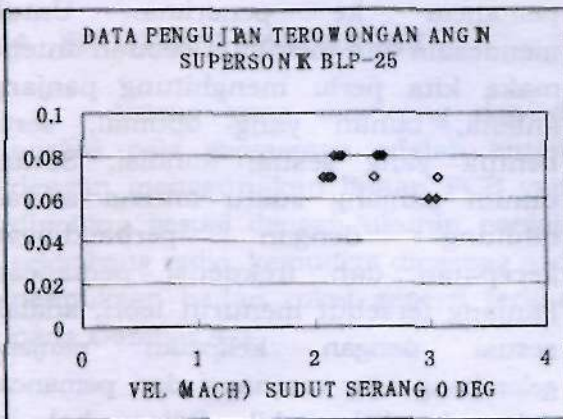
DIVE ANGLE DEG	ALTITUDE FT	VELOCITY KTS	BOMB RANGE FT	TIME OF FLIGHT SEC	IMPACT ANGLE DEG
0	1000	360	4353	6.80	21.39
		400	4841	6.75	19.22
		440	5345	6.70	17.38
		480	5825	6.60	15.66
		520	6397	6.50	14.08
		560	7018	6.35	12.52
0	1500	360	5484	8.45	25.17
		400	6125	8.40	22.67
		440	6758	8.30	20.40
		480	7460	8.20	18.35
		520	8220	8.00	16.24
		560	9064	7.80	14.35
0	2000	360	6328	9.65	28.22
		400	7050	9.55	25.38
		440	7822	9.45	22.86
		480	8678	9.30	20.44
		520	9544	9.00	17.95
		560	10585	8.80	15.89
0	2500	360	7084	10.70	30.68
		400	7919	10.60	27.65
		440	8780	10.45	24.84
		480	9745	10.20	22.03
		520	10806	9.90	19.56
		560	12000	9.70	17.17
0	3000	360	7745	11.60	32.78
		400	8688	11.50	29.59
		440	9650	11.30	26.52
		480	10740	11.00	23.44
		520	11990	10.70	20.63
		560	13292	10.45	18.30

BLP-25

LAB AERO →



Gambar 3-3: Data pengujian terowongan angin subsonik



Gambar 3-4: Data pengujian terowongan angin supersonik