



Pemodelan dan Simulasi Separasi Bom Jatuh-Bebas dengan Pendekatan *Quasi-Steady*

Handoko¹, Yorgi Ardiano Ndaomanu², Ilman Putra Pamungkas³, Indra Permana⁴

¹ Dinas Penelitian dan Pengembangan TNI AU, Bandung, Indonesia

^{2,3,4} PT Regio Aviasi Industri, Bandung, Indonesia

e-mail : handoko.khanza@gmail.com

Abstrak— Bom jatuh-bebas merupakan persenjataan udara yang sering digunakan untuk keperluan latihan dan pertempuran. Desain dari bom tersebut harus memenuhi standar aspek keamanan dan prestasi terbang yang baik dan akurat, sehingga misi bisa diselesaikan dengan baik. Salah satu aspek keamanan yang perlu diidentifikasi dalam desain bom adalah lintasan bom ketika sesaat setelah diluncurkan dari pesawat atau lebih dikenal dengan fenomena *Store Separation*. Fenomena ini perlu dikaji dengan baik, sehingga bom dapat melintas dengan lintasan yang diinginkan dan tidak berakibat fatal terhadap pesawat dan kru didalamnya. Studi kali ini mengkaji tentang fenomena *store separation* pada Bom MK-82 ketika dilepaskan dari Sayap Pesawat F-16. Beberapa faktor yang mempengaruhi lintasan bom sesaat setelah dilepaskan dari pesawat antara lain adalah gaya dan momen aerodinamika bom serta efek interferensinya dengan sayap pesawat. Selain itu, karakteristik inersia bom dan *ejector* bom juga berperan penting dalam menentukan lintasan bom. Dalam studi kali ini, gaya dan momen aerodinamika Bom serta efek interferensi dengan Sayap Pesawat diprediksi dengan menggunakan CFD dengan analisis *steady*. Koefisien aerodinamika tersebut kemudian dijadikan input untuk model 6 derajat kebebasan Bom untuk melihat bagaimana lintasan terbang Bom sesaat setelah dilepaskan dari pesawat. Tiga kasus manuver pelepasan bom dianalisis dalam studi kali ini, yaitu *Level Bombing*, *Dive Bombing*, dan *Toss Bombing*.

Kata Kunci— bom jatuh-bebas, CFD, *store-separation*, 6 *Degree of Freedoms*

I. PENDAHULUAN

Bom jatuh-bebas sering disebut juga *unguided bomb* atau bom tanpa pemandu. Bom jenis ini diluncurkan dari pesawat terbang tanpa menggunakan sistem pemandu sehingga jatuh menuju sasaran mengikuti trayektori gerak parabola. Akurasi bom ini dalam menemui sasaran hanya ditentukan oleh karakteristik aerodinamika bom dan sikap serta kecepatan pesawat saat bom ini dilepaskan. Keunggulan bom jenis ini adalah biaya produksi yang murah. Hal ini karena bom jenis ini tidak memerlukan sistem yang kompleks, sehingga sering digunakan untuk keperluan latihan dan untuk pertempuran dengan target yang bernilai rendah. Contoh bom jatuh-bebas yang banyak digunakan adalah *Mark 82 General Purpose Bomb* (US) dan *OFAB-250* (Russia).

Hal penting yang perlu di analisis dalam desain sebuah bom adalah fenomena *Store Separation*. Fenomena ini merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan keamanan pilot, pesawat, dan kesuksesan misi yang dilakukan. *Store* merupakan perangkat didalam atau diluar pesawat yang terpasang pada alat pelepasan (*release equipment*), seperti misil, bom, tangki bahan bakar eksternal, dan sebagainya. *Store Separation* merupakan proses pelepasan *store* dari pesawat yang mencakup studi tentang lintasan gerak dan sikap bom ketika dilepaskan dari

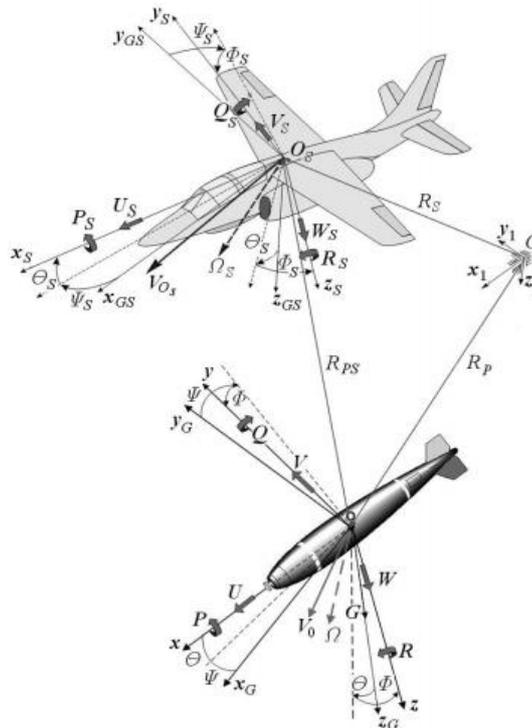
pesawat. Tujuan dari studi tentang *Store Separation* ini adalah untuk melakukan prediksi kemungkinan lintasan bom ketika dilepaskan supaya aman dalam arti tidak menabrak pesawat atau *store* lainnya.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis store separation adalah simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan simulasi gerak 6 *Degree of Freedoms* (DOF). Simulasi CFD dilakukan untuk menghasilkan data-data aerodinamika bom yang berinteraksi dengan aerodinamika pesawat. Data aerodinamika berupa koefisien gaya dan momen selanjutnya menjadi input gaya pada model gerak 6 DOF. Kombinasi dua metode ini dapat digunakan untuk memprediksi gerakan dan sikap bom sesaat setelah Bom dilepaskan dari pesawat.

II. LANDASAN TEORI

A. Model Gerak 6 Derajat Kebebasan

Asumsi utama dalam mendefinisikan model gerak enam derajat kebebasan adalah benda diasumsikan kaku dan tidak mengalami deformasi selama bergerak. Model gerak enam derajat kebebasan dilakukan pada sumbu koordinat benda. Model gerak enam derajat kebebasan pada sumbu koordinat benda mengakomodasi tiga gerakan translasi pada sumbu koordinat benda dan tiga gerakan rotasi pada sumbu koordinat benda. Sikap benda terhadap sumbu koordinat horizon lokal dinyatakan dalam sudut-sudut Euler. Sikap benda terhadap sumbu koordinat angin dinyatakan dalam sudut serang dan sudut sideslip. Seluruh komponen gerak bom dan pesawat diilustrasikan pada Gambar 1. Semua gaya dan momen yang membuat benda bergerak didefinisikan pada CG benda dengan mengikuti orientasi sumbu koordinat benda seperti diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Koordinat Benda Bom dan Pesawat [9]

B. Model Gerak 6 Derajat Kebebasan Bom

Model gerakan translasi bom berdasarkan Hukum Newton pada sumbu koordinat benda bom dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\begin{bmatrix} \dot{u}_{Bom} \\ \dot{v}_{Bom} \\ \dot{w}_{Bom} \end{bmatrix} = \frac{1}{m_{Bom}} \begin{bmatrix} F_{XBom} \\ F_{YBom} \\ F_{ZBom} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} q_{Bom}w_{Bom} - r_{Bom}v_{Bom} \\ r_{Bom}u_{Bom} - p_{Bom}w_{Bom} \\ p_{Bom}v_{Bom} - q_{Bom}u_{Bom} \end{bmatrix}$$

Model gerakan rotasi bom berdasarkan Hukum Newton pada sumbu koordinat benda bom dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_{Bom} \\ \dot{q}_{Bom} \\ \dot{r}_{Bom} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{XXBom} & 0 & 0 \\ 0 & I_{YYBom} & 0 \\ 0 & 0 & I_{ZZBom} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_{XBom} \\ M_{YBom} \\ M_{ZBom} \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} I_{XXBom} & 0 & 0 \\ 0 & I_{YYBom} & 0 \\ 0 & 0 & I_{ZZBom} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 & -r_{Bom} & q_{Bom} \\ r_{Bom} & 0 & -p_{Bom} \\ -q_{Bom} & p_{Bom} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{XXBom} & 0 & 0 \\ 0 & I_{YYBom} & 0 \\ 0 & 0 & I_{ZZBom} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{Bom} \\ q_{Bom} \\ r_{Bom} \end{bmatrix}$$

Kecepatan Bom pada sumbu koordinat horison lokal didapatkan dengan melakukan transformasi dari kecepatan bom pada sumbu koordinat benda bom.

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_{NBom} \\ \dot{X}_{EBom} \\ \dot{X}_{DBom} \end{bmatrix} = T_{1Bom} \begin{bmatrix} u_{Bom} \\ v_{Bom} \\ w_{Bom} \end{bmatrix} = T_{BomI}^{-1} \begin{bmatrix} u_{Bom} \\ v_{Bom} \\ w_{Bom} \end{bmatrix}$$

Transformasi dari sumbu koordinat horizon lokal (inersial) ke sumbu koordinat benda bom ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$T_{BomI} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix}$$

dengan

$$\begin{aligned} A &= (e_{0Bom}^2) + (e_{1Bom}^2) - (e_{2Bom}^2) - (e_{3Bom}^2) & F &= 2(e_{2Bom}e_{3Bom} + e_{0Bom}e_{1Bom}) \\ B &= 2(e_{1Bom}e_{2Bom} + e_{0Bom}e_{3Bom}) & G &= 2(e_{0Bom}e_{2Bom} + e_{1Bom}e_{3Bom}) \\ C &= 2(e_{1Bom}e_{3Bom} - e_{0Bom}e_{2Bom}) & H &= 2(e_{2Bom}e_{3Bom} - e_{0Bom}e_{1Bom}) \\ D &= 2(e_{1Bom}e_{2Bom} - e_{0Bom}e_{3Bom}) & I &= (e_{0Bom}^2) - (e_{1Bom}^2) - (e_{2Bom}^2) + (e_{3Bom}^2) \\ E &= (e_{0Bom}^2) - (e_{1Bom}^2) + (e_{2Bom}^2) - (e_{3Bom}^2) \end{aligned}$$

Persamaan kinematik bom ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_{0Bom} \\ \dot{e}_{1Bom} \\ \dot{e}_{2Bom} \\ \dot{e}_{3Bom} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & -p_{Bom} & -q_{Bom} & -r_{Bom} \\ p_{Bom} & 0 & r_{Bom} & -q_{Bom} \\ q_{Bom} & -r_{Bom} & 0 & p_{Bom} \\ r_{Bom} & q_{Bom} & -p_{Bom} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{0Bom} \\ e_{1Bom} \\ e_{2Bom} \\ e_{3Bom} \end{bmatrix}$$

$$\phi_{Bom} = \tan^{-1} \left(\frac{2(e_{2Bom}e_{3Bom} + e_{0Bom}e_{1Bom})}{(e_{0Bom}^2) - (e_{1Bom}^2) - (e_{2Bom}^2) + (e_{3Bom}^2)} \right)$$

$$\theta_{Bom} = \sin^{-1} \left(-2(e_{1Bom}e_{3Bom} - e_{0Bom}e_{2Bom}) \right)$$

$$\psi_{Bom} = \tan^{-1} \left(\frac{2(e_{1Bom}e_{2Bom} + e_{0Bom}e_{3Bom})}{(e_{0Bom}^2) + (e_{1Bom}^2) - (e_{2Bom}^2) - (e_{3Bom}^2)} \right)$$

C. Model Gaya dan Momen Eksternal Bom

Model gaya eksternal bom diberikan dalam persamaan berikut. Gaya *ejector* didefinisikan pada sumbu koordinat benda pesawat.

$$\begin{bmatrix} F_{XBom} \\ F_{YBom} \\ F_{ZBom} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \rho V_{Bom}^2 S_{Bom} \begin{bmatrix} C_{FX} \\ C_{FY} \\ C_{FZ} \end{bmatrix} + T_{B_{BomI}} T_{IBAC} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_{ZEjector} \end{bmatrix} + T_{B_{BomI}} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ m_{Bom} g \end{bmatrix}$$

Model momen eksternal bom diberikan dalam persamaan berikut. Momen *ejector* didefinisikan pada sumbu koordinat benda pesawat.

$$\begin{bmatrix} M_{XBom} \\ M_{YBom} \\ M_{ZBom} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \rho V_{Bom}^2 S_{Bom} \begin{bmatrix} l_{LatDir} C_{MX} \\ l_{Longi} C_{MY} \\ l_{LatDir} C_{MZ} \end{bmatrix} + T_{B_{BomI}} T_{IBAC} \begin{bmatrix} 0 \\ M_{YEjector} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Koefisien-koefisien aerodinamika bom didefinisikan sebagai koefisien aerodinamika bom saat *freestream* ditambahkan dengan perubahan koefisien aerodinamika bom ketika ada efek interferensi dengan sayap pesawat.

$$\begin{aligned} C_{FX} &= C_{FX \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{FX \text{ Interference}}(r_{Z \text{ BomAC}}, \theta_{rel}, \psi_{rel}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{FY} &= C_{FY \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{FY \text{ Interference}}(r_{Z \text{ BomAC}}, \theta_{rel}, \psi_{rel}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{FZ} &= C_{FZ \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{FZ \text{ Interference}}(r_{Z \text{ BomAC}}, \theta_{rel}, \psi_{rel}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{MX} &= C_{MX \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{MX \text{ Interference}}(r_{Z \text{ BomAC}}, \theta_{rel}, \psi_{rel}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{MY} &= C_{MY \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{MY \text{ Interference}}(r_{Z \text{ BomAC}}, \theta_{rel}, \psi_{rel}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{MZ} &= C_{MZ \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{MZ \text{ Interference}}(r_{Z \text{ BomAC}}, \theta_{rel}, \psi_{rel}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \end{aligned}$$

III. METODOLOGI DAN DATA MASUKAN

A. Metodologi

Simulasi 6DOF *Store Separation* dari Bom MK-82 akan dilakukan dalam 3 kasus: *Level Bombing*, *Dive Bombing*, dan *Toss Bombing*. Selama simulasi berlangsung, pesawat diasumsikan berada pada kondisi *steady*, artinya kecepatan, sudut serang, *sideslip*, dan sudut lintas terbang pesawat konstan sama seperti kondisi awal. Kondisi awal untuk tiap kasus ditampilkan pada tabel berikut.

TABEL I
KONDISI AWAL PESAWAT SEBELUM BOM DILEPASKAN

Kasus	Kecepatan (kts)	Ketinggian (ft)	Alpha (deg)	Sideslip (deg)	Flight Path (deg)
<i>Level Bombing</i>	400	1500	0	0	0
<i>Dive Bombing</i>	400	1500	0	0	-40
<i>Toss Bombing</i>	400	1500	0	0	10

Data koefisien aerodinamika bom untuk data masukan simulasi 6 DOF didapatkan dari simulasi CFD dengan kondisi *steady*. Dalam studi ini, hanya model sayap *clean* yang dimodelkan untuk mendapatkan koreksi interferensi. Efek interferensi dengan fuselage, *pylon*, dan bagian pesawat lainnya diabaikan dalam studi ini.

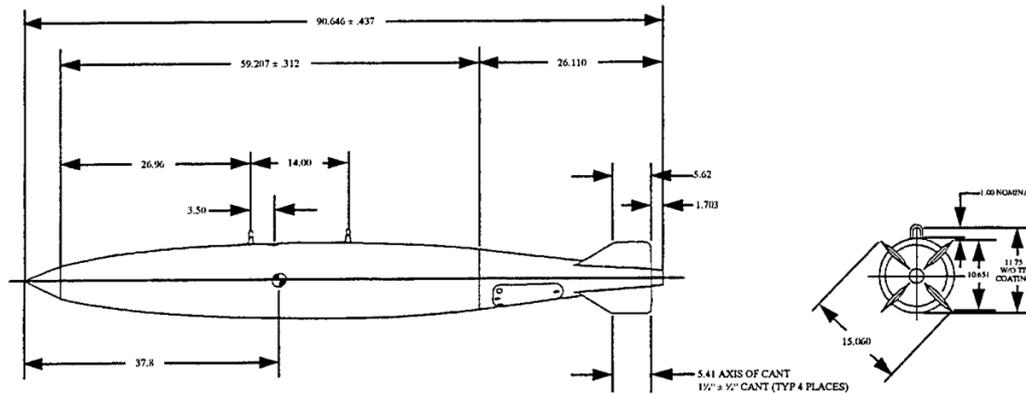
Dalam studi ini, beberapa asumsi yang digunakan untuk mendefinisikan koefisien gaya dan momen aerodinamika pesawat adalah sebagai berikut:

1. Mach Number konstan karena diasumsikan tidak ada perubahan Mach Number yang signifikan selama fenomena *store separation* ini terjadi sehingga simulasi CFD hanya dilakukan untuk 1 Mach Number,
2. koefisien aerodinamika hanya fungsi dari jarak vertikal antara bom dan sayap pesawat, sudut *pitch* dan *yaw* relatif bom terhadap sayap,
3. tidak ada perubahan koefisien aerodinamika ketika bom bergerak secara lateral dan ke belakang, serta ketika bom memiliki perubahan sudut *roll* relatif terhadap sayap,

4. sudut serang dan sudut *sideslip* pesawat diasumsikan konstan 0 derajat sepanjang simulasi.

B. Geometri Bom

Bom yang digunakan dalam studi ini adalah Bom *Mark 82 General Purpose Bomb* (MK-82) yang merupakan salah satu jenis bom konvensional tanpa pemandu yang digunakan untuk sasaran umum dengan gaya hambat rendah. Bom ini merupakan bom standar yang digunakan dalam operasi dan latihan serangan udara-ke-darat oleh pesawat-pesawat NATO [8]. Data geometri bom tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 dan TABEL II.



Gambar 2. Data Geometri Bom MK-82 (satuan dalam inch) [3]

TABEL II
KARAKTERISTIK FISIK BOM MK-82 [3]

<i>Parameter</i>	<i>Imperial Units</i>	<i>Metric Units</i>
<i>Length, Assembled</i>	90.65 in.	2.30 m
<i>Body diameter</i>	10.65 in.	0.27 m
<i>Fin (conical type)</i>		
<i>Span</i>	15.1 in.	0.3835 m
<i>Chord</i>	10.6 in.	0.2692 m
<i>Weight</i>	24 lb	10.9 kg
<i>Total weight (nominal)</i>	531 lb	240.9 kg
<i>Explosive Weight (nominal)</i>	192 lb	87.1 kg
<i>Case weight (nominal)</i>	311 lb	141.1 kg
<i>Center of Gravity (from nose)</i>	37.8 in.	0.96 m
<i>Moments of Inertia</i>		
<i>Pitch</i>	36.7 slug.ft ²	49.8 kg.m ²
<i>Yaw</i>	36.7 slug.ft ²	49.8 kg.m ²
<i>Roll</i>	1.5 slug.ft ²	2.0 kg.m ²

C. Geometri Sayap Pesawat

Sayap pesawat yang digunakan dalam studi ini adalah Sayap Pesawat F-16. Pesawat F-16 adalah pesawat tempur multi-peran dengan mesin tunggal yang memiliki kemampuan tempur udara-ke-udara dan udara-ke-tanah. Dimensi dan karakteristik sayap Pesawat F-16 ini ditunjukkan dalam Tabel III.

TABEL III
DIMENSI DAN KARAKTERISTIK SAYAP PESAWAT F-16 [4]

Parameter	Nilai
Wing Area	300 ft ²
Span	30 ft
Aspect Ratio	3.0
Taper Ratio	0.2275
Sweep (Leading Edge)	40°
Dihedral	0°
Airfoil	NACA64A204
Incidence	0°

D. Karakteristik Ejector

Idealnya, *store ejector* dimodelkan sebagai fungsi dari beberapa faktor yang mempengaruhi, seperti karakteristik tekanan *ejector*, massa dan inersia bom, dan juga gaya aerodinamika bom untuk mendapatkan gaya *ejector*. Pada simulasi ini, gaya dan momen *ejector* diasumsikan konstan dalam waktu tertentu, yaitu:

$$FZ_{\text{ejector}} = 8200 \text{ N} \quad [5]$$

$$MY_{\text{ejector}} = 19.8 \text{ Nm} \quad [5]$$

$$t = 0.12 \text{ seconds} \quad [5]$$

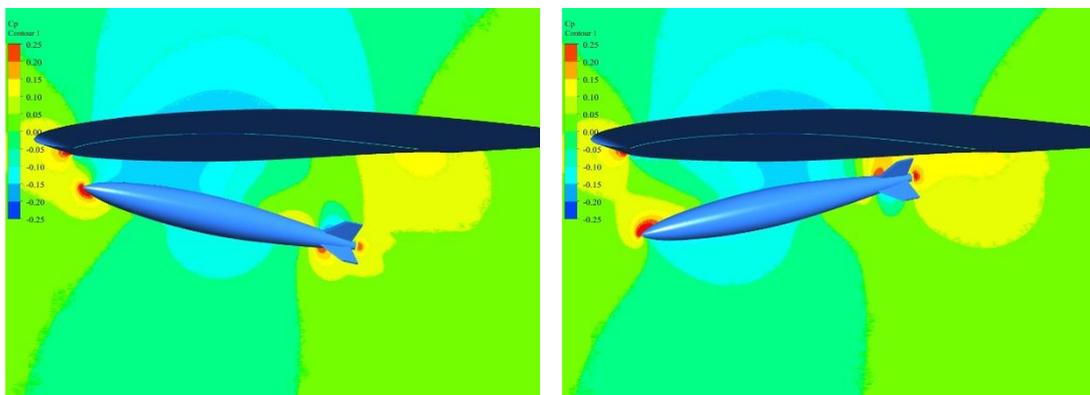
IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Simulasi CFD

Simulasi CFD dilakukan untuk mendapatkan koefisien gaya dan momen aerodinamika bom. Ada dua tipe simulasi yang dilakukan, yaitu simulasi aliran udara bom dan sayap untuk mendapatkan efek interferensi dan simulasi bom di *freestream* untuk mendapatkan karakteristik aerodinamika bom tanpa interferensi.

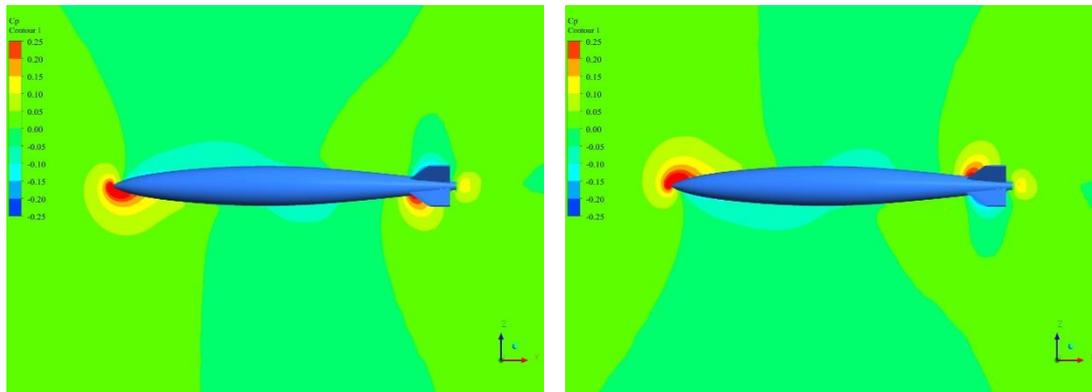
Ada 15 konfigurasi yang disimulasikan untuk menangkap interferensi antara bom dan sayap yang merupakan fungsi dari jarak vertikal antara CG bom dengan *Chordline* sayap, sudut *pitch* relatif bom dengan sayap, dan sudut *yaw* relatif bom dengan sayap. Semua kasus disimulasikan untuk Mach Number 0.6, sudut serang pesawat 0 derajat, dan sudut *sideslip* pesawat 0 derajat.

Hasil simulasi digunakan untuk mendapatkan koefisien gaya dan momen aerodinamika Bom sebagai input pada simulasi 6 DOF untuk menentukan lintasan terbang bom. Kontur tekanan aerodinamika pada bom untuk kasus jarak vertikal 0.4 m, sudut *pitch* relatif bom 10 dan -10 derajat, dan sudut *yaw* relatif bom 0 derajat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kontur Koefisien Tekanan Kasus Jarak Vertikal 0.4 m, Sudut *Yaw* relatif 0 derajat, dan Sudut *pitch* relatif 10 derajat (kiri) dan -10 derajat (kanan)

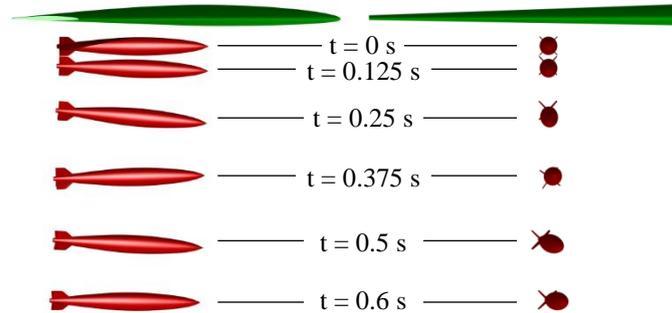
Simulasi bom dalam kondisi *freestream* dilakukan sebagai fungsi dari sudut serang dan sudut *sideslip* untuk Mach Number 0.6. Kontur koefisien tekanan bom untuk kasus *freestream* dengan sudut serang 10 dan -10 derajat ditunjukkan pada Gambar 4.



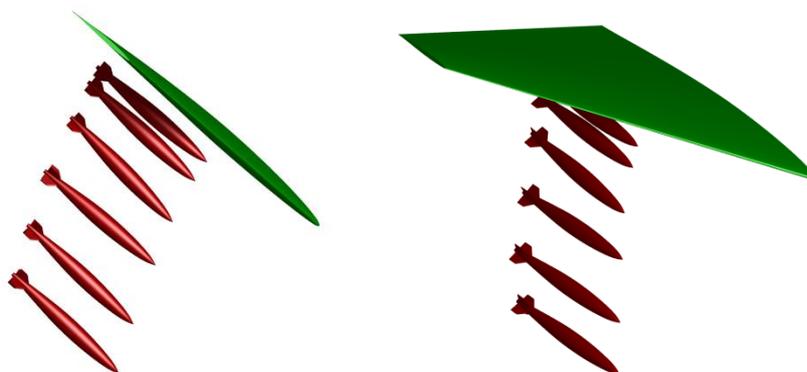
Gambar 4. Kontur Koefisien Tekanan Bom Kasus *Freestream* dengan Sudut Serang 10 Derajat (kiri) dan -10 Derajat (kanan)

B. Simulasi Separasi Bom dengan Model Gerak 6 Derajat Kebebasan

Tiga kasus manuver pelepasan bom disimulasikan dalam studi kali ini. Hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 5 untuk kasus *level bombing*, Gambar 6 untuk kasus *dive bombing*, dan Gambar 7 untuk kasus *toss bombing*. Posisi bom ditunjukkan dengan posisi relatif bom terhadap sayap di tiap waktu. Hasil simulasi dari tiga kasus manuver tersebut menunjukkan bahwa lintasan bom setelah separasi aman jatuh ke bawah dan tidak mengenai pesawat.



Gambar 5. Posisi Bom Setelah Separasi untuk Kasus *Level Bombing*



Gambar 6. Posisi Bom Setelah Separasi untuk Kasus *Dive Bombing*



Gambar 7. Posisi Bom Setelah Separasi untuk Kasus *Toss Bombing*

V. KESIMPULAN

Simulasi separasi Bom MK-82 dari Sayap Pesawat F-16 telah dilakukan dengan memodelkan persamaan 6 derajat kebebasan Bom sebagai fungsi dari gaya dan momen aerodinamika *steady* Bom dan efek interferensinya dengan Sayap Pesawat. Ada tiga kasus yang disimulasikan, yaitu *Level Bombing*, *Dive Bombing* dengan sudut *dive* pesawat sebesar 40 derajat, dan *Toss Bombing* dengan sudut *climb* pesawat sebesar 10 derajat. Hasil simulasi menunjukkan Bom dapat jatuh ke arah bawah tanpa mengenai pesawat. Aspek keamanan saat fenomena *store separation* terjadi untuk 3 kasus tersebut dapat terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allerton, D., "Principles of Flight Simulation", John Wiley & Sons, Ltd., 2009.
- [2] Durham, W., "Aircraft Flight Dynamics and Control", John Wiley & Sons, Ltd., 2013.
- [3] Khrisnamoorthy, L.V., Kirk, D.R., and Glass, R., "An Aerodynamic Database for The MK-82 General Purpose Low Drag Bomb", Melbourne: DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-TR-0554, 1997.
- [4] Lockheed Martin Corporation, "T.O. GR1F-16CJ-1 Flight Manual F-16C/D", 1996.
- [5] Shilo, M.A., "Six Degree of Freedom Flight Dynamic Model of a MK-82 Store", Melbourne: DSTO Aeronautical Research Laboratory, 1994.
- [6] Siouris, G.M., "Missile Guidance and Control Systems", Springer-Verlag New York, Inc., 2004.
- [7] Stevens, B.L., Lewis, F.L., and Johnson, E.N., "Aircraft Control and Simulation", Third Edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [8] Yogaswara, Y.H., "Pemodelan dan Simulasi Terbang Bom MK-82 LDGP", Prosiding SIPTEKGAN XVI-2012, 01-33, 267-276.
- [9] Zyluk, A., "Experimental Validation of Mathematical Model Describing External Stores Separation", Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 43, 4, pp. 855-873, Warsaw, 2005.



Industri, Bandung).

Kapten Tek Handoko, S.T., M.T. adalah lulusan Sekolah Pertama Perwira Prajurit Karier (Sepa Pa PK TNI) tahun 2006. Gelar Sarjana teknik (S.T.) diraih di Institut Teknologi Bandung, Bandung tahun 2014. Gelar Magister Teknik diraih dengan predikat *Cum Laude* di Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung 2019. Bidang penelitian yang sedang ditekuni saat ini adalah bidang senjata di Dinas Penelitian Angkatan Udara. Penulis saat ini berdinasi sebagai Kepala Unit Senjata Laboratorium Senjata dan Munisi Dislitbangau. Penelitian kolaborasi ini dibuat bersama Yorgi Ardiano Ndaomanu, S.T., M.T., Indra Permana, S.T., M.T., dan Ilman Putra Pamungkas, S.T., M.T. (PT Regio Aviasi