

Simulasi Separasi Bom *Single Release* dengan Pendekatan *Quasi-Steady* pada Pesawat EMB-314 Super Tucano

Handoko¹, Sapta Jengkar¹, Yorgi Ardiano Ndaomanu,
Ilman Putra Pamungkas, Indra Permana

¹ Dinas Penelitian dan Pengembangan TNI AU, Bandung, Indonesia
e-mail : handoko.khanza@gmail.com

Abstrak — Bom Latih *unguided* merupakan persenjataan udara yang sering digunakan untuk keperluan latihan dan *proficiency*. Desain dari bom harus memenuhi standar aspek keamanan dan prestasi terbang yang baik dan akurat, sehingga misi bisa diselesaikan dengan baik. Salah satu aspek kewanamanan yang perlu diidentifikasi dalam desain bom adalah lintasan bom ketika sesaat setelah dirilis 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. Analisis yang dilakukan adalah melakukan simulasi tentang separasi (*store separation*) pada Bom Latih ketika dilepaskan dari Sayap Pesawat EMB-314 Super Tucano. Beberapa faktor yang mempengaruhi lintasan bom sesaat setelah dilepaskan dari pesawat antara lain adalah gaya dan momen aerodinamika bom serta efek interferensinya terhadap 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 *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan analisis *steady*. Koefisien aerodinamika tersebut kemudian dijadikan input untuk model *6 Degree of Freedom* (6 DoF) 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* secara *single release*.

Kata Kunci— simulasi, bom *unguided*, CFD, *store-separation*, *6 Degree of Freedoms*

I. PENDAHULUAN

om Latih kaliber 125 kg merupakan bom latih yang merupakan pengembangan dari bom MK-81 tanpa pemandu yang sering dikenal dengan unguided bomb. Bom jenis ini diluncurkan dari pesawat tempur 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, dikarenakan bom jenis ini tidak memerlukan sistem yang kompleks, sehingga sering digunakan untuk keperluan latihan dalam kegiatan proficiency Penerbang Tempur yang merepresentasikan Bom Live sekelasnya.

Hal yang paling penting untuk di analisis dalam suatu desain sebuah bom adalah fenomena Store Separation. Fenomena ini merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan keamanan pilot, pesawat, dan kesuksesan/ keberhasilan misi yang dilakukan. Store merupakan perangkat di dalam atau di luar 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 sesaat dari pesawat. Tujuan dari analisis tentang Store Separation ini adalah untuk melakukan prediksi kemungkinan lintasan bom ketika dilepaskan secara single dalam memenuhi Top Level Requirement yaitu Safety Requirement (safe release) dalam suatu desain bom.

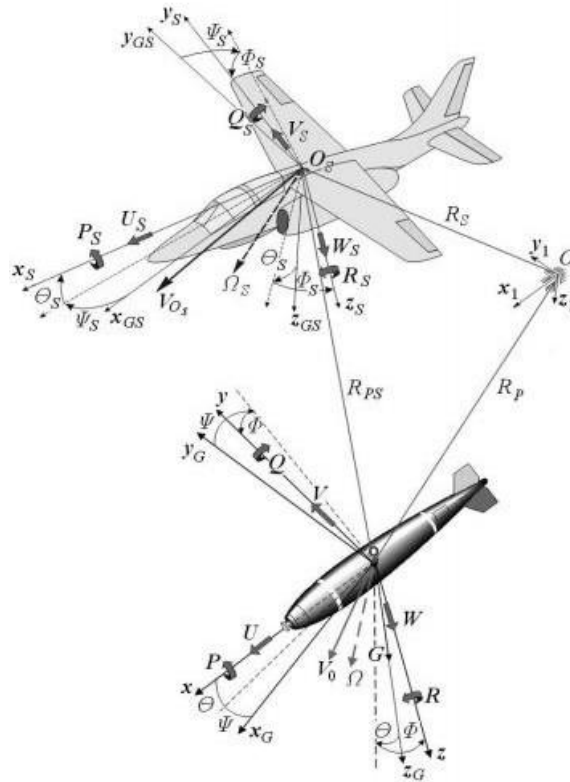
Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis store separation bom secara single release adalah simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dan simulasi gerak 6 Degree of Freedoms (DoF). Simulasi CFD dilakukan untuk menghasilkan data-data aerodinamika bom yang berinteraksi dengan aerodinamika 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 (6 DoF)

Asumsi utama dalam mendefinisikan model gerak 6 derajat kebebasan adalah benda diasumsikan rigid/kaku dan tidak mengalami deformasi selama bergerak. Model gerak 6 derajat kebebasan dilakukan pada sumbu koordinat benda. Model gerak 6 derajat kebebasan pada sumbu koordinat benda mengakomodasi 3 gerakan translasi pada sumbu koordinat benda dan 3 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 [7]

B. Model Gerak 6 Derajat Kebebasan Bom

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

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

Model gerakan rotasi bom berdasarkan Hukum Newton pada sumbu koordinat benda

bom dituliskan dalam persamaan berikut.

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

Kecepatan Bom pada sumbu koordinat horison lokal didapatkan dengan melakukan

transformasi dari kecepatan bom pada sumbu koordinat benda bom.

$$\begin{bmatrix} X_{NBom} \\ X_{EBom} \\ T_{IBom} \\ X_{DBom} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{Bom} \\ v_{Bom} \\ T_{Bom} \\ w_{Bom} \end{bmatrix} = T^{-1} \begin{bmatrix} u_{Bom} \\ v_{Bom} \\ w_{Bom} \end{bmatrix}$$

Transformasi dari sumbu koordinat horizon lokal (inersial) ke sumbu koordinat benda

bom ditunjukkan oleh persamaan berikut.

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

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.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{e}_{0Bom} \\ \dot{e}_{1Bom} \\ \dot{e}_{2Bom} \\ \dot{e}_{3Bom} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & -p_{Bom} & -q_{Bom} & -r_{Bom} \\ p_{Bom} & r_{Bom} & -q_{Bom} & e_{0Bom} \\ q_{Bom} & -r_{Bom} & 0 & p_{Bom} \\ r_{Bom} & q_{Bom} & -p_{Bom} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{0Bom} \\ e_{1Bom} \\ e_{2Bom} \\ e_{3Bom} \end{bmatrix} \\ \phi_{Bom} &= \tan^{-1} \left(\frac{2(e_{2Bom}e_{3Bom} + e_{0Bom}e_{1Bom})}{(e_{0Bom}^2) - (e_{1Bom}^2) - (e_{2Bom}^2) + (e_{3Bom}^2)} \right) \\ \theta_{Bom} &= \sin^{-1} (-2(e_{1Bom}e_{3Bom} - e_{0Bom}e_{2Bom})) \\ \psi_{Bom} &= \tan^{-1} \left(\frac{2(e_{1Bom}e_{2Bom} + e_{0Bom}e_{3Bom})}{(e_{0Bom}^2) + (e_{1Bom}^2) - (e_{2Bom}^2) - (e_{3Bom}^2)} \right) \end{aligned}$$

C. Model Gaya dan Momen Eksternal Bom

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

$$\begin{bmatrix} F_{XBom} \\ F_{YBom} \\ F_{ZBom} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{Bom} \begin{bmatrix} C_{FX} \\ C_{FYY} \\ C_{FZZ} \end{bmatrix} + T_{Bom} \begin{bmatrix} T_{IB} \\ T_{AC} \\ F_{ZZEjector} \end{bmatrix} + T_{Bom} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ m_{Bom}g \end{bmatrix}$$

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

$$\begin{bmatrix} M_{XBom} \\ M_{YBom} \\ M_{ZBom} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{Bom} \begin{bmatrix} l_{LatDir} C_{MX} \\ l_{LonLi} C_{MYY} \\ l_{LatDir} C_{MZZ} \end{bmatrix} + T_{Bom} \begin{bmatrix} 0 \\ M_{YYEjector} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Koefisien-koefisien aerodinamika bom didefinisikan sebagai koefisien aerodinamika bom saat freestream ditambahkan dengan

perubahan koefisien aerodinamika bom ketika ada efek interferensi dengan sayap pesawat.

$$\begin{aligned} C_{FX} &= C_{FX \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{FX \text{ Interference}}(r_{ZZ \text{ BomAC}}, \theta_{\text{rel}}, \psi_{\text{rel}}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{FYY} &= C_{FYY \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{FYY \text{ Interference}}(r_{ZZ \text{ BomAC}}, \theta_{\text{rel}}, \psi_{\text{rel}}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{FZZ} &= C_{FZZ \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{FZZ \text{ Interference}}(r_{ZZ \text{ BomAC}}, \theta_{\text{rel}}, \psi_{\text{rel}}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{MX} &= C_{MX \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{MX \text{ Interference}}(r_{ZZ \text{ BomAC}}, \theta_{\text{rel}}, \psi_{\text{rel}}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{MYY} &= C_{MYY \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{MYY \text{ Interference}}(r_{ZZ \text{ BomAC}}, \theta_{\text{rel}}, \psi_{\text{rel}}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \\ C_{MZZ} &= C_{MZZ \text{ Free Stream}}(\alpha_{Bom}, \beta_{Bom}) + dC_{MZZ \text{ Interference}}(r_{ZZ \text{ BomAC}}, \theta_{\text{rel}}, \psi_{\text{rel}}, \alpha_{AC}, \beta_{AC}) \end{aligned}$$

III. METODOLOGI DAN DATA MASUKAN

A. Metodologi

Simulasi 6 DoF Store Separation single release dari Bom Latih Kaliber 125 kg 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. Simulasi dilakukan yang masing-masing kasusnya ditentukan berdasarkan kombinasi dari beberapa parameter berikut seperti yang ditunjukkan pada Tabel I:

TABEL I
KONDISI AWAL PESAWAT SEBELUM BOM DILEPASKAN

Kasus	Kecepatan (kts)	Ketinggian (ft)	Alpha (deg)	Sideslip (deg)	Flight Path (deg)
<i>Level Bombing</i>	200 s.d 280	1.000 s.d 10.000	-5,0,5	0	0
<i>Dive Bombing</i>	200 s.d 280	1.000 s.d 10.000	-5,0,5	0	-60 s.d -20
<i>Toss Bombing</i>	200 s.d 280	1.000 s.d 10.000	-5,0,5	0	20 s.d 40

Data koefisien aerodinamika bom untuk data masukan simulasi 6 DoF didapatkan dari simulasi CFD dengan kondisi *steady*. Dalam analisis ini, hanya model sayap *clean*

yang dimodelkan untuk mendapatkan koreksi interferensi. Efek interferensi dengan *fuselage*, *pylon* dan bagian pesawat lainnya tidak dimodelkan dalam analisis ini.

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

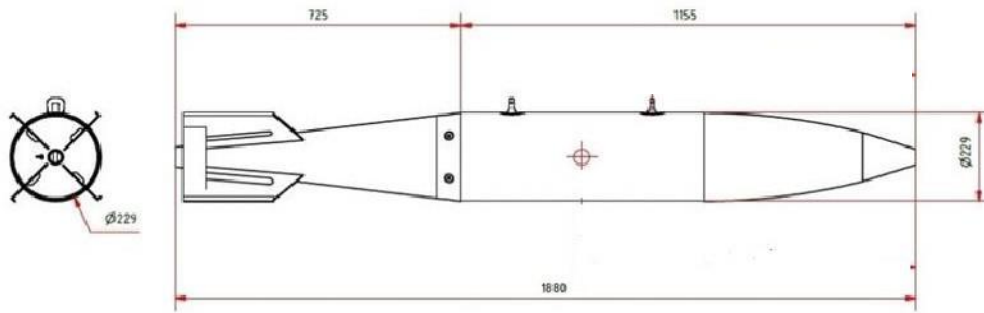
1. Simulasi aerodinamika dilakukan pada suatu Bilangan Mach Number 0.5 dan satu Bilangan Reynolds Number $Re_{20 \times 10^6}$.
2. Koefisien aerodinamika hanya fungsi dari jarak vertikal antara bom dan sayap pesawat, sudut pitch dan yaw relatif bom terhadap sayap.

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. Efek interferensi dengan fuselage, bagian lain pesawat tidak dimodelkan/diabaikan.
5. Efek propeller slip stream diabaikan.

B. Geometri Bom

Bom yang digunakan dalam analisis ini adalah Bom Latih kaliber 125 Kg yang merupakan pengembangan dari MK-Series General Purpose Bomb (MK-81) 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 [7]. Data geometri dan karakteristik bom tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 dan TABEL II.



Gambar 2. Data Geometri Bom Latih Kaliber 125 Kg (satuan dalam mm)

TABEL II
KARAKTERISTIK FISIK BOM KALIBER 125 KG

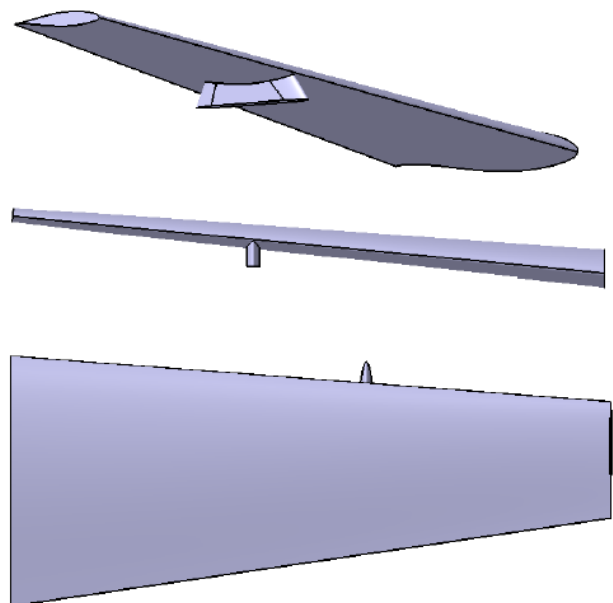
No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Massa	121.30	kg
2	Jarak CG dari Nose	804.8	mm
3	Ixx	1.1011	kg.m ²
4	Iyy	21.6657	kg.m ²
5	Izz	21.6657	kg.m ²
6	Ixy	4.3594E-4	kg.m ²
7	Ixz	4.5648E-3	kg.m ²
8	Iyz	1.9235E-5	kg.m ²

Karakteristik inersia bom tersebut didapatkan dari perhitungan menggunakan *software CAD* dengan material yang digunakan adalah AISI

4130 Steel yang memiliki massa jenis 7850 kg/m³.

C. Geometri Sayap Pesawat

Sayap pesawat yang digunakan dalam studi ini adalah Sayap Pesawat EMB-314 Super Tucano. Pesawat EMB-314 Super Tucano adalah merupakan pesawat tempur taktis menggunakan mesin turboprop yang memiliki kemampuan tempur udara ke udara dan udara ke permukaan. Gambar isometri dan karakteristik sayap Pesawat Super Tucano ini ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel III.



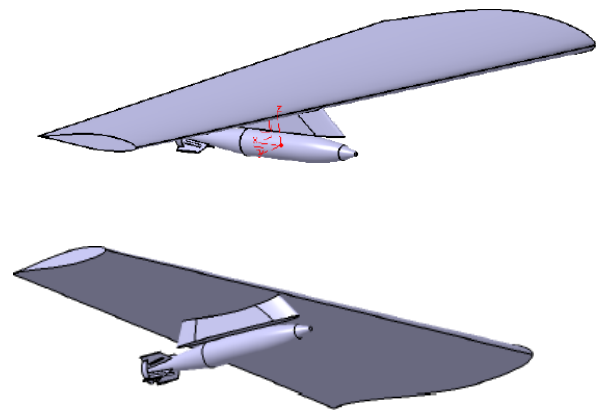
Gambar 3. Tampak Isometri Depan dan Atas Sayap Pesawat Super Tucano EMB-314

TABEL III
DIMENSI DAN KARAKTERISTIK SAYAP PESAWAT SUPER TUCANO EMB-314

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Root Airfoil	NACA-63415	-
2	Tip Airfoil	NACA-63212	-
3	Wing Span	11.1	m
4	Root Chord	2.3	m
5	Tip Chord	1.07	m
6	Dihedral	5.5	deg
7	Leading Edge Swept	4.33	deg

D. Assembly Model dari Sayap dan Bom

Sayap pesawat EMB-314 Super Tucano memiliki *inboard* dan *outboard pylon* yang dapat digunakan untuk membawa *store*. Dalam simulasi ini, bom diposisikan pada *outboard store*. Posisi bom terhadap sayap dapat dilihat pada gambar 4. Posisi ini digunakan sebagai acuan posisi awal bom sebelum dilepaskan dalam analisis aerodinamika dan simulasi 6 DoF.



Gambar 4. Assembly Model Bom dan Sayap Pesawat EMB-314 Super Tucano

E. 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:

$$\begin{aligned}
 FZ_{ejector} &= 8200 \text{ N} & [3] \\
 MY_{ejector} &= 19.8 \text{ Nm} & [3] \\
 MX_{ejector} &= 94.3 \text{ Nm} & [3] \\
 t &= 0.12 \text{ seconds} & [3]
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan efek/pengaruh ejector forces, maka dalam analisis ini dilakukan simulasi 6 DoF menggunakan gaya dan *momen ejector* ($Fz_{ejector} = 8200 \text{ N}$, $MY_{ejector} = 19.8 \text{ Nm}$, $MX_{ejector} = 94.3 \text{ Nm}$ dan $t=0.12 \text{ sec}$) dan tanpa gaya dan momen *ejector* ($Fz_{ejector} = 0$, $MY_{ejector} = 0$ dan $MX_{ejector} = 0$).

IV. HASIL DAN ANALISIS

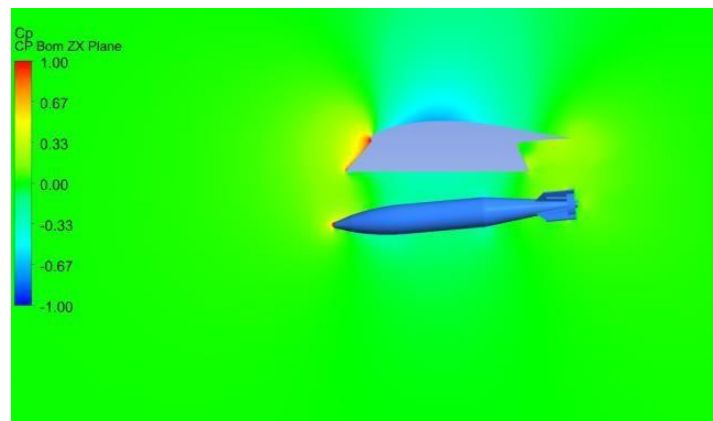
A. Simulasi CFD

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.

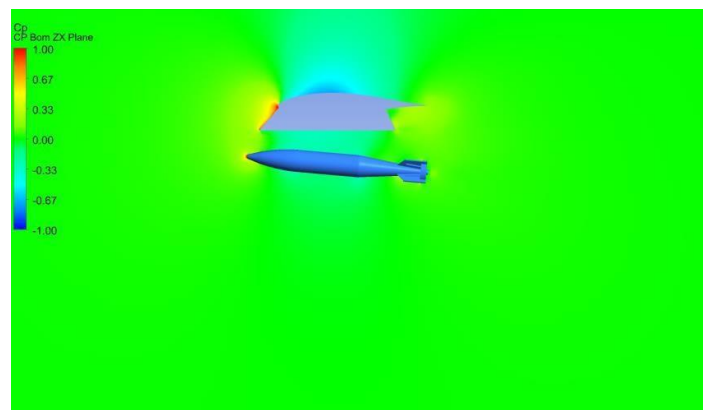
Ada 45 konfigurasi yang disimulasikan untuk menangkap interferensi antara bom dan sayap yang merupakan fungsi dari jarak vertikal antara *Center of Gravity* (CG) bom dengan *Chordline sayap*, sudut *pitch* relatif bom dengan sayap, dan sudut yaw relatif bom

dengan sayap. Semua kasus disimulasikan untuk Mach Number 0.5, sudut serang pesawat -5,0,5 derajat, dan sudut *sideslip* pesawat 0 derajat.

Hasil simulasi digunakan untuk memperoleh koefisien gaya dan momen aerodinamika Bom sebagai input pada simulasi 6 DoF untuk menentukan lintasan terbang bom. Kontur tekanan aerodinamika disekitar bom untuk kasus jarak vertikal (dZ)= 0.2 m, sudut *pitch* (θ) relatif bom -5 dan 0 derajat, dan sudut yaw relatif bom 0 derajat ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)

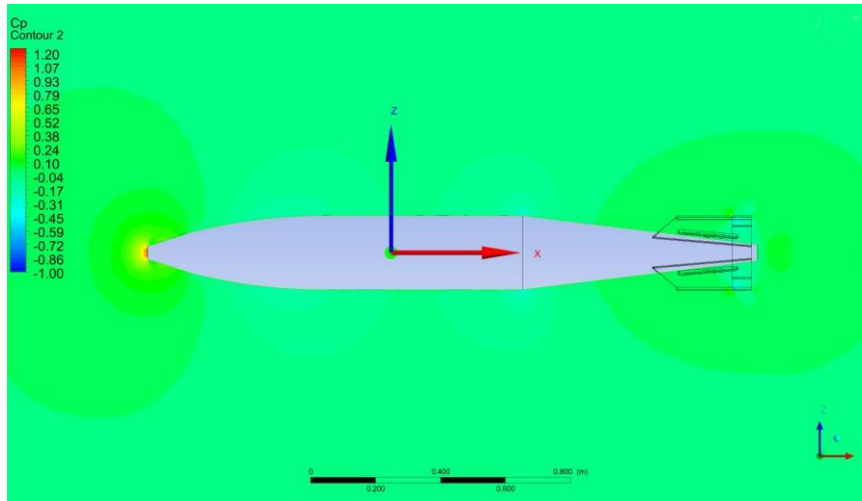


(b)

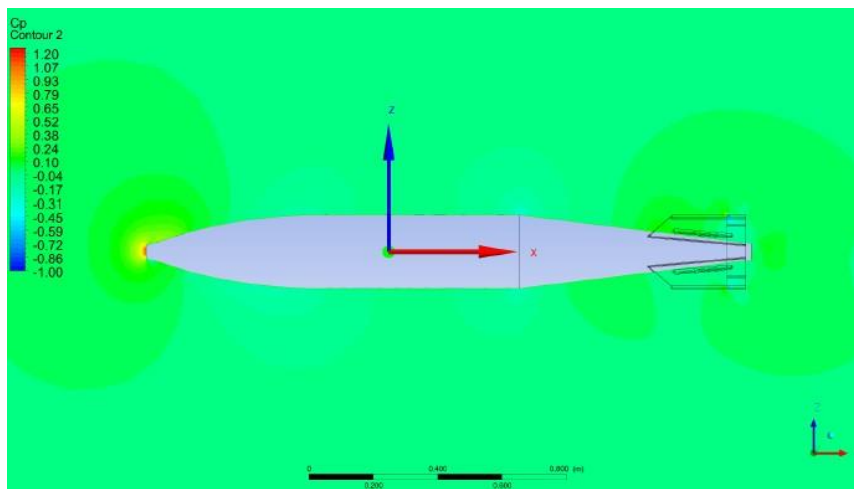
Gambar 5. Kontur Koefisien Tekanan Kasus Jarak Vertikal (dZ)=0.2 m (a) Sudut *pitch* relatif -5 derajat dan (b) 0 derajat

Simulasi bom dalam kondisi *freestream* dilakukan sebagai fungsi dari sudut serang dan sudut *sideslip* untuk Mach Number 0.5.

Kontur koefisien tekanan bom untuk kasus *freestream* dengan sudut serang -5 dan 0 derajat ditunjukkan pada Gambar 6.

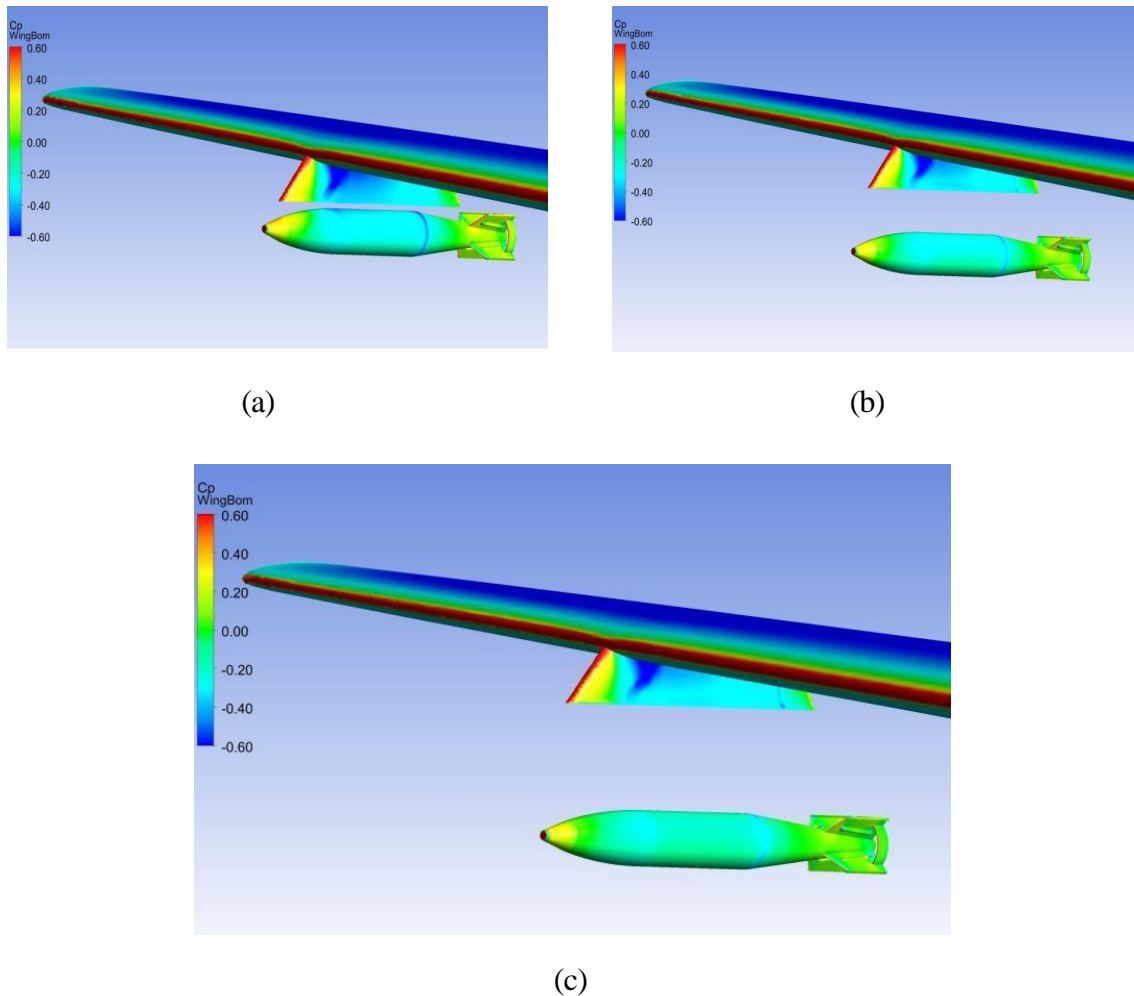


(a)



(b)

ntur Koefisien Tekanan Bom Kasus *Freestream* (a) Sudut *pitch* relatif -5 dan (b) 0 derajat

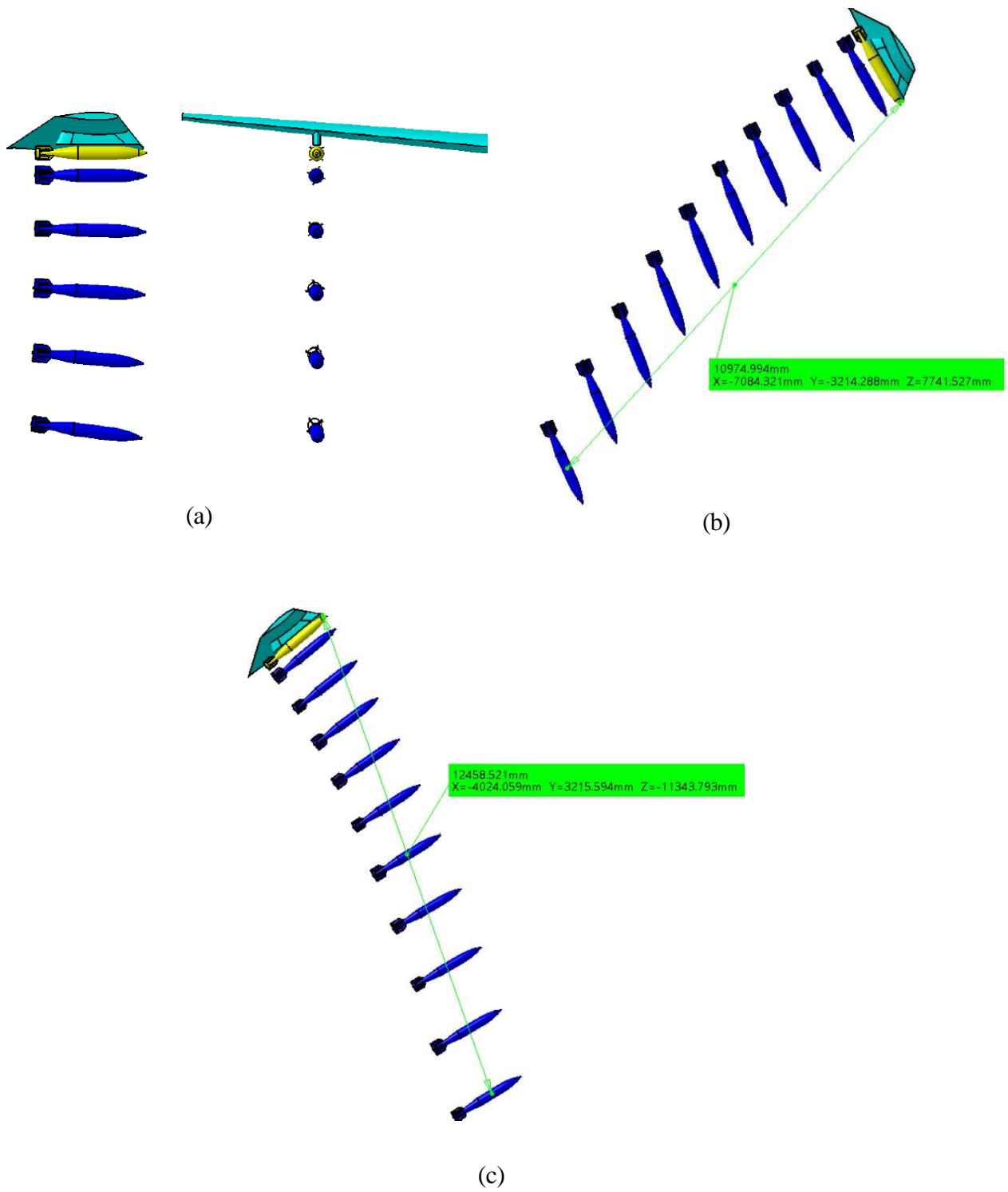


Gambar 7. Visualisasi Distribusi Tekanan pada Permukaan Bom (a) $dZ=0$ m, (b) $dZ=0.2$ m dan (c) $dZ=0.4$ m

B. Simulasi Separasi Bom dengan Model Gerak 6 Derajat Kebebasan

Simulasi 6 DoF dilakukan untuk total 3240 kasus yang merupakan kombinasi dari variasi parameter kecepatan terbang pesawat, sudut lintas terbang pesawat, sudut serang pesawat dan gaya serta momen ejector forces. Dari hasil simulasi yang dilakukan, semua kasus kritis terjadi pada kondisi tanpa adanya gaya dan momen ejector forces. Analisis tanpa adanya gaya dan momen ejector forces dilakukan untuk mensimulasikan kemungkinan jika terjadi kegagalan pada ejector forces.

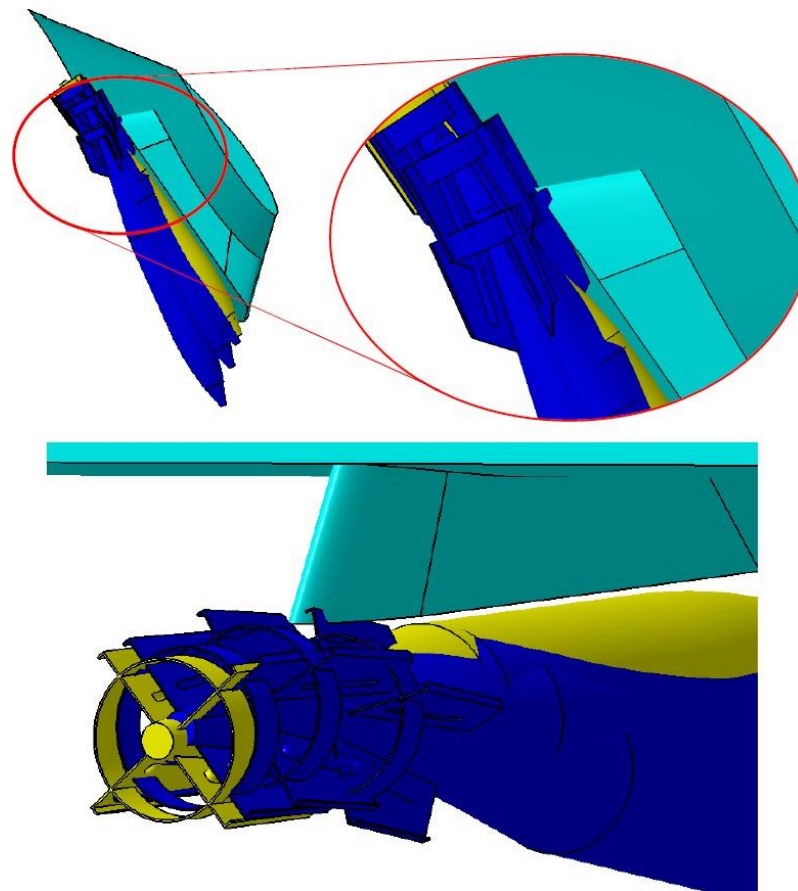
Dari simulasi yang dilakukan, dengan menggunakan gaya dan momen ejector forces tidak terdapat kasus yang kritis atau gagal (tidak berpotensi menabrak sayap pesawat). Gambar 8 menunjukkan beberapa kasus sukses/normal atau yang dianggap tidak kritis karena trayektori pelepasan bom tidak menunjukkan kecenderungan untuk mendekati ke sayap pesawat yaitu Level Bombing, Dive Bombing (-60°) dan Toss Bombing (40°) pada sudut serang 0° , ketinggian 3000 ft dan kecepatan 250 KTAS menggunakan momen dan gaya ejector forces.



Gambar 8. Plot Kasus Sukses atau Normal (a) *Level Bombing* (b) *Dive Bombing -60°*
(c) *Toss Bombing 40°* dengan *Ejector Forces*

Sedangkan pada simulasi tanpa ejector forces, kasus kritis terjadi ketika manuver Dive Bombing dengan sudut pitch -60° , sudut serang 0° pada kecepatan 280 KTAS dan ketinggian 3000 ft. Kasus kritis lainnya, pada sudut serang 5° kasus kritis cukup banyak yaitu berjumlah 145 dari 540 yang didominasi ketika manuver Dive Bombing

sebanyak 92 kasus, Toss Bombing 50 kasus dan Level Bombing sebanyak 3 kasus. Gambar 9 menunjukkan ekor menabrak pylon/sayap pesawat pada 0.3 detik dengan manuver Dive Bombing -60° pada kecepatan 280 KTAS, ketinggian 3000 ft, sudut serang 5° tanpa ejector forces.



Gambar 9. Plot Kasus Kritis pada *Dive Bombing*, 280 KTAS, Alpha 5° tanpa *Ejector Forces*

Tabel IV menunjukkan fenomena store separation kasus yang menabrak/kritis pada ketinggian 3000 ft dengan parameter kondisi awal yang telah diuraikan sebelumnya.

TABEL IV
KASUS KRITIS (GAGAL) STORE SEPARATION PADA KETINGGIAN TERBANG 3000 FT

No	Manuver	Sudut Lintas Terbang	Kecepatan Pesawat	Ketinggian Terbang	Sudut serang Pesawat	Dengan/Tanpa Ejection Forces
1	Level	0°	280 KTAS	3000 ft	5	Tanpa
2	Toss	40°	250 KTAS	3000 ft	5	Tanpa
3	Toss	40°	280 KTAS	3000 ft	5	Tanpa
4	Dive	-60°	280 KTAS	3000 ft	0	Tanpa
5	Dive	-60°	250 KTAS	3000 ft	5	Tanpa
6	Dive	-60°	280 KTAS	3000 ft	5	Tanpa

V. KESIMPULAN

Simulasi separasi Bom Kaliber 125 Kg dari Sayap Pesawat EMB-314 Super Tucano telah dilakukan untuk 3240 kasus yang tiap kasusnya ditentukan dari kombinasi kondisi awal pelepasan Bom, yaitu kecepatan terbang pesawat antara 200 s.d 280 KTAS, ketinggian terbang antara 1000 s.d 10.000 ft, Manuver (Level, Dive dan Toss Bombing) dengan variasi sudut serang -5o, 0o dan 5o serta dengan dan tanpa Ejector Forces. Hasil

simulasi menunjukkan semua kasus kritis terjadi untuk kondisi tanpa adanya Ejector Forces. Hal ini menunjukkan bahwa Ejector Forces memiliki pengaruh yang sangat penting karena mempengaruhi trayektori dan keamanan pelepasan (safe release) bom sesaat dari pesawat.

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] Shilo, M.A., "Six Degree of Freedom Flight Dynamic Model of a MK-82 Store", Melbourne: DSTO Aeronautical Research Laboratory, 1994.
- [4] Siouris, G.M., "Missile Guidance and Control Systems", Springer-Verlag New York, Inc., 2004.
- [5] Stevens, B.L., Lewis, F.L., and Johnson, E.N., "Aircraft Control and Simulation", Third Edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [6] Yogaswara, Y.H., "Pemodelan dan Simulasi Terbang Bom MK-82 LDGP", Prosiding SIPTEKGAN XVI-2012, 01-33, 267-276.
- [7] Zyluk, A., "Experimental Validation of Mathematical Model Describing External Stores Separation", Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 43, 4, pp. 855-873, Warsaw, 2005.