

## ANALISA KECEPATAN SISA PROYEKTIL BERHIDUNG LANCIP DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

\*Pujo Wahyu Utomo<sup>1</sup>, Ismoyo Haryanto<sup>2</sup>, Rusnaldy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [Pujo\\_wahyuutomo@yahoo.com](mailto:Pujo_wahyuutomo@yahoo.com)

### Abstrak

Pengujian balistik dimaksudkan untuk mengetahui fenomena yang terjadi akibat penetrasi proyektil pada suatu material target. Pada saat ini pengembangan uji balistik ditujukan untuk merancang suatu material anti peluru agar mampu mereduksi semaksimal mungkin energi proyektil yang dihasilkan oleh proses penembakan. Telah dilakukan simulasi 3D untuk mempelajari ketahanan balistik pada target ulet yang bertumbukan dengan proyektil berhidung lancip pada tumbukan normal, yaitu sudut yang dibentuk antara pelat target dan proyektil saat kontak membentuk sudut 90°. Simulasi Pelat aluminium Proyektil dengan *caliber-radius-head* (CRH) 3,0 dengan material stell 4340 dengan massa 81,06 gram dan panjang 88,9 mm dan diameter 12,9 mm. Proyektil ini bertumbukan dengan plat target yang memiliki material aluminium 6061-T6 dengan ketebalan 26,3 mm. Simulasi Pelat target Baja Weldok 460 E dengan ketebalan 12 mm dan diameter 500 mm bertumbukan dengan proyektil *hardened Arne tool steel* dengan diameter 20 mm panjang 98 mm. Dan simulasi pelat aluminium 608 mm dengan panjang sisi pelat adalah 608 mm. Hasil dari simulasi ini adalah kecepatan batas balistik, dan hasilnya nanti di bandingkan dengan jurnal referensi untuk simulasi pelat aluminium di dapatkan batas balistik 233 m/s, dan untuk simulasi pelat Weldox 460 E di dapat kecepatan batas balistik 227 m/s, dan simulasi pelat aluminium 608 mm didapatkan kecepatan batas balistik 230 m/s. Kegagalan yang terjadi pada pelat aluminium 608 mm adalah *spalling* karena pada permukaan belakang pelat terjadi refleksi gelombang. Untuk peneliti selanjutnya diharapkan untuk meneliti dengan sudut tembak lainnya.

**Kata kunci:** batas balistik, hidung lancip, simulasi numerik, tumbukan.

### Abstract

*Ballistic tests are needed to determine the phenomenon that occurs due to the penetration of bullets on the target material. Nowadays the development of ballistic tests aimed to design a bullet-proof material to be able to reduce as much as possible bullets energy which generated by the firing process. 3D simulation has been performed to study the ballistic resistance of ductile target collides with projectile with conical nose at normal collision. The angle formed between the target sheet and the projectile is 90°. The first simulation used 81,06 grams 4340 aluminum steel projectile which has Caliber-Radius-Head (CRH) 3,0, with 88.9 mm long and 12.9 mm in diameter. This projectile collides with the target plate which has a 6061-T6 aluminum material with a thickness of 26.3 mm. The second simulation used Weldok 460 E steel plate as a target with a thickness of 12 mm and a diameter of 500 mm, collides with hardened Arne projectile with 20 mm in diameter and 98 mm in length. The third simulation used 608 mm aluminum plate with 608 mm length of the plate. The results of this simulation are the ballistic limit velocities, and the results are later compared with the reference journal. The simulation of aluminum plate had 233 m/s ballistic limit velocity, the simulation of Weldox 460 E plate had 227 m/s ballistic limit velocity, and the simulation of 608 mm aluminum plate had 230 m/s ballistic limit velocity. Failures that occur on the aluminum plate 608 mm is because the rear surface of the plate occurs wave reflection. For further research is expected to examine ballistic limit velocity with other firing angle.*

**Keywords:** ballistic limit, numerical simulation, ogive nose, penetration

## 1. PENDAHULUAN

Penelitian tentang uji balistik telah banyak dilakukan oleh para peneliti di dunia, dan pada saat ini pengujian balistik tersebut masih terus dikembangkan. Pengujian balistik merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui fenomena dari suatu proyektil yang ditembakkan pada pelat target. Dari pengujian balistik kita dapat mengetahui karakteristik dari peluru dan pelat, yang kemudian bisa dikembangkan sebuah material anti peluru agar energi proyektil yang dihasilkan dari penembakan dapat direduksi semaksimal mungkin.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut maka dibutuhkan penyelesaian dengan pendekatan numerik yang dikenal dengan metode elemen hingga (*finite element method*). Metode elemen hingga (*finite element method*) adalah metode penyelesaian dengan membagi objek yang rumit menjadi bagian-bagian yang kecil dan sederhana. Hasil dari metode ini pada permasalahan balistik adalah penggambaran distribusi tegangan-regangan yang terjadi. Dari distribusi tegangan-regangan ini, maka dapat diketahui kondisi pada material saat mengalami pembebanan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut guna mengetahui distribusi tegangan-regangan pada material oleh beban impact sehingga bisa diketahui dimensi optimal untuk mengurangi kegagalan dan mencapai rancangan terbaik. Keuntungan dari penggunaan metode elemen hingga ialah kita bisa bebas memvariasikan parameter-parameter yang berhubungan dengan pengujian balistik seperti jenis material, properti material, ketebalan material, bentuk hidung proyektil dan lain-lain, serta biaya penelitian yang lebih murah dan hasil yang optimal.

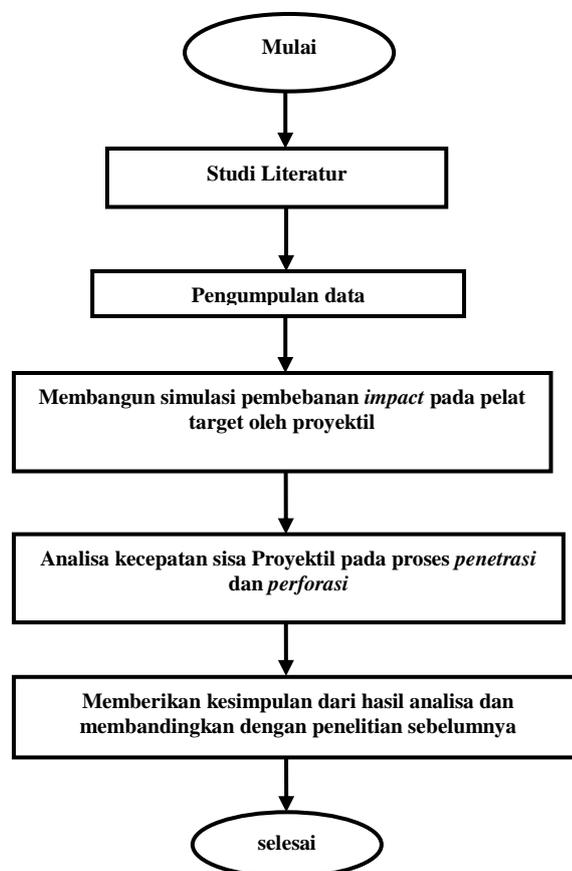
Borvik T. dkk juga melakukan penelitian pada tahun 2003 dengan melakukan eksperimen, investigasi analitik dan numerik pada *penetrasi* dan *perforasi* pelat baja Weldok 460 E dengan variasi ketebalan yang bertumbukan dengan proyektil tumpul dengan variasi kecepatan awal. Ketebalan pelat target divariasikan antara 6 mm sampai dengan 30 mm. Dari hasil eksperimen tersebut didapatkan kesimpulan bahwa kecepatan sisa proyektil meningkat seiring peningkatan dari kecepatan awal proyektil. Kecepatan batas balistik meningkat seiring peningkatan ketebalan pelat target. Hasil dari investigasi analitik menunjukkan perbedaan yang cukup besar antara hasil analitik dengan hasil eksperimen, tetapi pada investigasi numerik menunjukkan hasil yang hampir sama dengan hasil eksperimen [1].

Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Prasetyo Adi Prabowo, dan Ismoyo Hartanto dengan judul “Analisa Kecepatan Sisa Proyektil Berhidung Tumpul yang Ditembakkan pada Baja Weldox 460 E” [2]. Dan untuk penelitian ini melanjutkan dari penelitian sebelumnya. Dengan mengubah bentuk hidung proyektil tumpul menjadi proyektil berhidung lancip dengan menggunakan software Abaqus 6.10-1. Tujuan dari simulasi ini adalah Melakukan simulasi numerik untuk mendapatkan nilai kecepatan batas balistik pada proses performansi. Membandingkan hasil simulasi numerik yang diperoleh dengan hasil eksperimen dan simulasi numerik yang dilakukan oleh peneliti lain. Mengetahui kegagalan dari hasil simulasi pelat aluminium 608 mm.

## 2. PEMODELAN

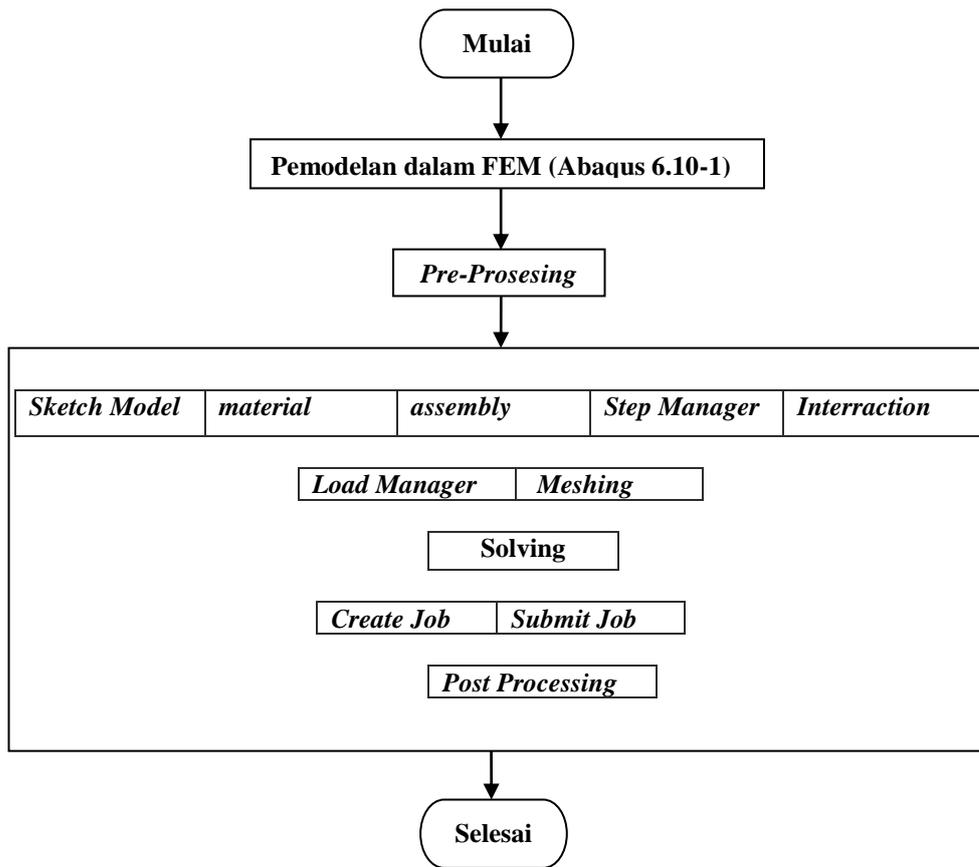
### 2.1 Diagram Alir Penelitian dan Pemodelan dalam Abaqus 6.10-1

Diagram alir untuk menggambarkan bagaimana jalannya proses penelitian tersebut mulai dari awal hingga akhir yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini :



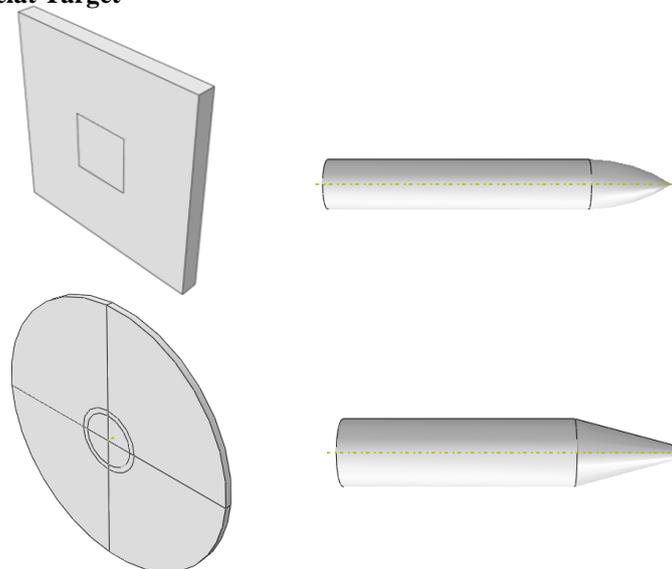
Gambar 1. Diagram alir Penelitian

Pemodelan secara software Abaqus 6.10-1 yang di jabarkan di *diagram alir* pada Gambar 2 dibawah ini.



**Gambar 2.** Diagram Pemodelan Abaqus 6.10-1

## 2.2 Geometri Peluru dan Pelat Target



**Gambar 3.** Bentuk Proyektil dan Pelat Target

Pada Gambar 3 proyektil yang digunakan berbentuk silindris berhidung lancip dengan ukuran peluru Steel 4340, C-30 lebar 12,9 mm panjang 67,5 mm + 21,4 mm, sudut 38,7, massa peluru dengan 81,06 gram dan pelat Aluminium 6061 -T6 dengan panjang sisi pelat 304 mm dan 608 mm, tebal 26,3 mm. Peluru Hardened Arne tool-steel dengan panjang 68 mm + 30 mm, lebar 20 mm, lebar hidung lancip 2 mm, massa 197 gram dan pelat dengan diameter 500 mm tebal 12 mm.

### 2.3 Material

Berikut ini disertakan material dari peluru dan pelat target pada Tabel 1 dan 2

**Tabel 1.** Material untuk Simulasi Pelat Aluminium dan Aluminium 608 mm [3].

MATERIAL	A (MPa)	B (MPa)	n	$\Theta_{melt}$ (K)	$\Theta_{transition}$ (K)	m	c	$\epsilon_0$
Aluminium 6061 –T6 (Pelat Target)	324,1	113,8	0,42	925	293,2	1,34	0,002	1
Steel 4340, C-30 (PProyektil)	729	510	0,26	1793	293,2	1,03	0,014	1

**Tabel 2.** Material untuk Simulasi Pelat Wieldox 460 E [4]

Proyektil	E (Mpa)	$\nu$	P (kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma_0$ (Mpa)	E <sub>t</sub> (Mpa)	Mean $\epsilon_t$ (%)
Hardened Arne tool-steel	204,000	0,33	7850	1900	15,000	2,15

Material Pelat Target Weldok 460 E	
Modulus of elasticity, E (N/mm <sup>2</sup> )	2 x 10 <sup>5</sup>
Poisson's ratio, $\nu$	0,33
Density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	7850
Yield stress, A (N/mm <sup>2</sup> )	490
B (N/mm <sup>2</sup> )	383
n	0,45
reference strain rate $\epsilon_0$ (s <sup>-1</sup> )	5 x 10 <sup>-4</sup>
C	0,0114
m	0,94
T <sub>melt</sub> (K)	1800
T <sub>0</sub> (K)	293
Specifik heat, C <sub>p</sub> (j/kgK)	452
Inelastic heat fraction, $\alpha$	0,9
D <sub>1</sub>	0,0705
D <sub>2</sub>	1,732
D <sub>3</sub>	-0,54
D <sub>4</sub>	-0,01
D <sub>5</sub>	0,0

### 3. HASIL DAN ANALISA

Berikut ini merupakan hasil dari simulasi 3D dengan menggunakan Abaqus 6.10-1 yang berupa kecepatan sisa proyektil setelah proses *penetrasi* dan *perforasi* pada simulasi pelat aluminium, simulasi pelat weldok 460 E, dan simulasi pelat aluminium 608 mm, dimana kecepatan sisa pada proyektil diperoleh dengan menggunakan persamaan kecepatan sisa dan hasilnya disajikan dalam Tabel 3 dan 4 berikut.

#### 3.1 Hasil Simulasi Pelat Aluminium

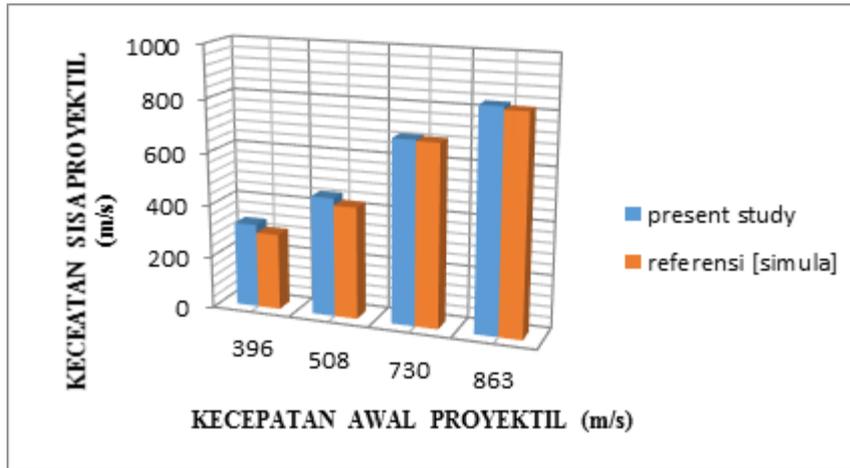
**Tabel 3.** Perbandingan hasil simulasi Pelat aluminium dengan referensi

NO	V <sub>i</sub> (m/s)	V <sub>r</sub> referensi (simula) (m/s)	V <sub>r</sub> Present Study (m/s)
1	396	290,224	320,198
2	508	425,152	451,414
3	730	687,685	691,817
4	863	819,346	830,951

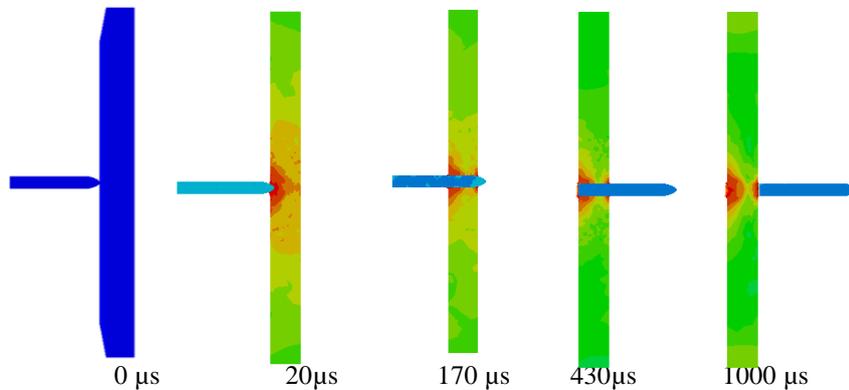
Dari hasil simulasi di dapatkan kecepatan batas balistik 233 m/s. Pada simulasi yang hasilnya di tampilkan pada Tabel 3. hasil kecepatan sisa antara simulasi dan jurnal referensi menunjukkan persentase perbedaan yang kecil. Kemudian hasil tersebut di plot pada grafik yang disajikan pada Gambar 4 berikut ini.

Pada Gambar 3 didapat bahwa hasil dari simulasi dan referensi tidak jauh beda dan mendekati dengan jurnal pada kecepatan tinggi.

Pada Gambar 5 di bawah ini adalah waktu didalam simulasi yang diperlukan oleh proyektil untuk dapat menembus pelat target. Dan efek yang timbul saat melakukan *penetrasi*, diantaranya dapat kita lihat bahwa warna merah yang terlihat pada gambar 5 pada waktu 20 $\mu$ s lebih besar di dibandingkan yang lainnya itu di sebabkan karena proyektil sedang melakukan *penetrasi* awal sehingga panas yang di timbulkan lebih besar, dan semakin dalam proyektil menembus pelat maka panas yang dihasilkan akan berkurang. Dan deformasinya dapat dilihat pada warna kuning hampir diseluruh pelat tegangan yang terjadi, ini dikarenakan karena material ini ulet.



Gambar 4. Grafik Perbandingan hasil simulasi pelat alumunium dengan hasil referensi



Gambar 5. Proses Penetrasi dan Perforasi Proyektil terhadap Pelat Target dalam Simulasi

### 3.2 Hasil Simulasi Pelat Weldox 460 E

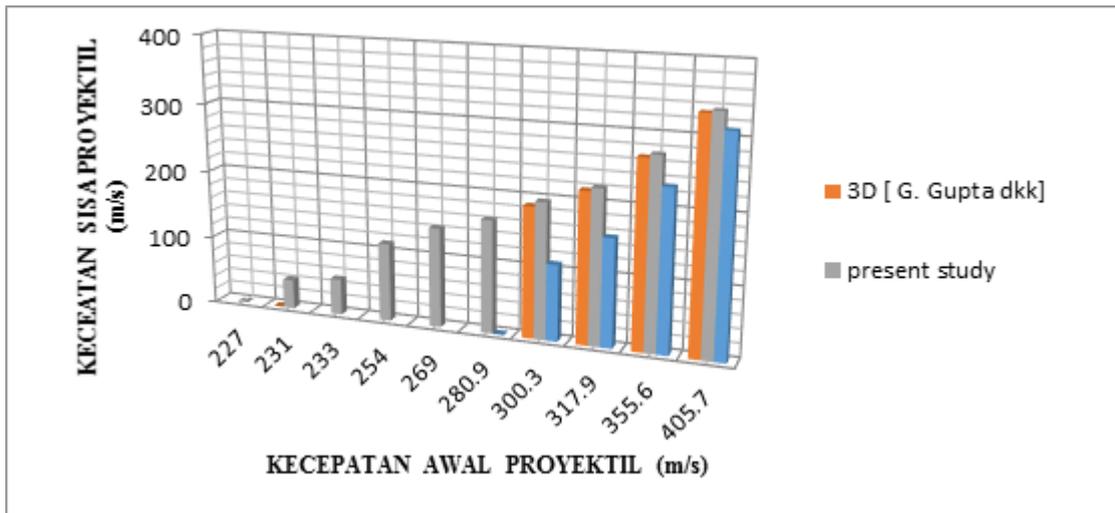
Tabel 4. Perbandingan hasil eksperimen dan 3D Borvik dkk dan simulasi pelat weldox 460 E

NO	$V_i$ (m/s)	$V_r$ eksperimen [Borvik dkk] (m/s)	$V_r$ 3D [G. Gupta dkk] (m/s)	$V_r$ Present Study (m/s)
1	227			0
2	231		0	42,80
3	233			52,54
4	254			113,96
5	269			144,33
6	280,9	0	154,36	163,92
7	300,3	110,3	188,95	196,60
8	317,9	155,8	217,39	222,56
9	355,6	232,3	268,82	273,72
10	405,7	312	332,64	336,25

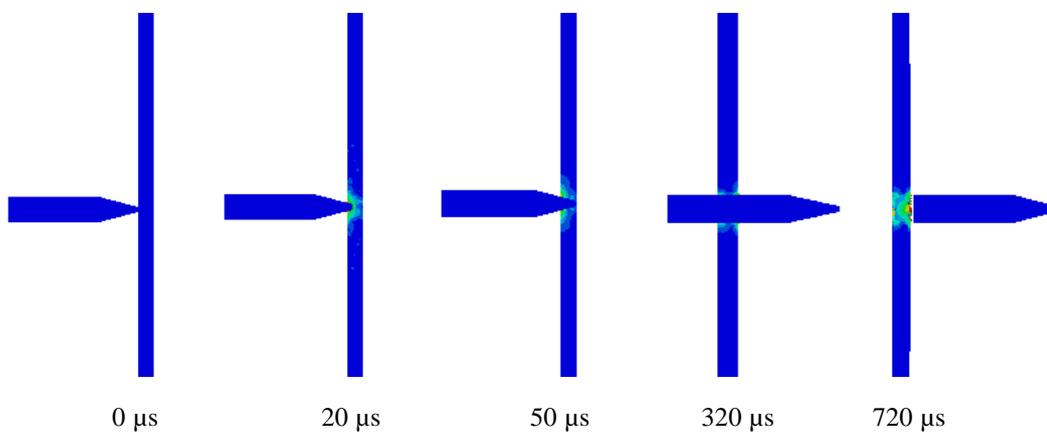
Dari data di atas kecepatan batas balistik antara  $V_r$  eksperimen adalah 280 m/s. sedangkan kecepatan batas balistik  $V_r$  3D adalah 231 m/s. dan kecepatan batas balistik untuk  $V_r$  Abaqus adalah 227 m/s.

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil percobaan secara eksperimen, 3D dan menggunakan Abaqus 6.10-1. Pada grafik diatas menjelaskan bahwa dengan meningkatnya kecepatan awal proyektil maka meningkat pula kecepatan sisa proyektil. Dan pada kecepatan awal proyektil tertinggi menunjukkan ketiganya hampir menyatu pada satu titik, itu menunjukkan bahwa kecepatan sisa tidak jauh beda hasilnya.

Pada Gambar 7 menunjukkan proses penetrasi dan perforasi terhadap pelat target, dan dapat kita lihat efek yang timbul dari proses tersebut yaitu pada warna hijau pada gambar 7 pada waktu 720  $\mu$ s warna hijaunya tidak menyebar luas atau sebesar proyektil dikarenakan jenis material yang digunakan lebih getas dari simulasi Alumunium.



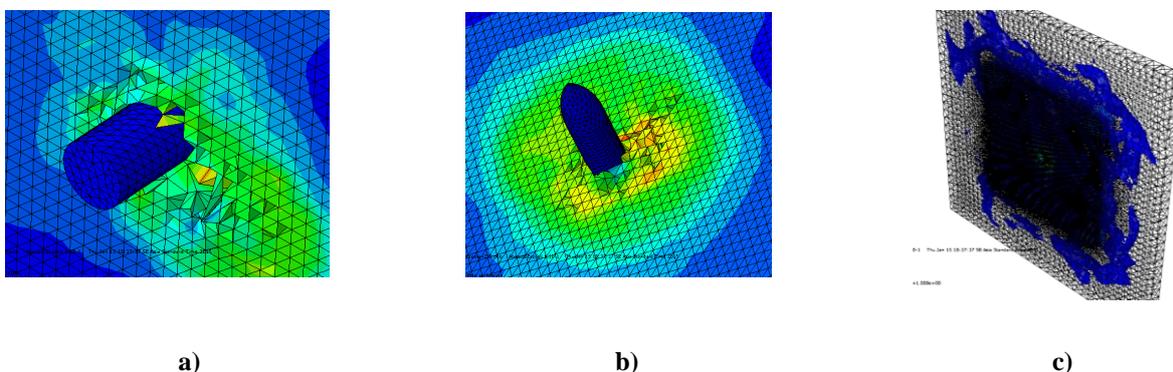
Gambar 6. Grafik Perbandingan hasil antara eksperimen, 3D dan Abaqus



Gambar 7 Proses Penetrasi dan Perforasi Proyektil terhadap Pelat Target dalam Simulasi

### 3.3 Simulasi Pelat Aluminium 608 mm

Pada simulasi ini menggunakan material dan bentuk peluru sama dengan simulai 4.1 yaitu simulasi pelat aluminium, akan tetapi pelat yang digunakan di perbesar yaitu menjadi 608 mm. Dari simulasi ini didapatkan hasil adalah kecepatan batas balistik 230 m/s.



Gambar 8. Simulasi Pelat Aluminium 608 mm a) permukaan belakang, b) permukaan depan, c) distribusi tegangan

Pada Gambar 8 di atas menunjukkan kegagalan pengujian dan deformasi yang terjadi pada pelat. Kegagalan yang terjadi pada Gambar 8 adalah kegagalan *spalling* dikatakn kegagalan *spalling* karena di permukaan belakang pelat terjadi refleksi gelombang atau permukaannya tidak rata seperti pada Gambar 8. a. Untuk Gambar 8 c distribusi tegangan yang hampir merata si seluruh permukaan pelat.

#### 4. KESIMPULAN

1. Nilai kecepatan batas balistik pada simulasi 3D Abaqus didapatkan hasilnya adalah untuk simulasi pelat aluminium 233 m/s, untuk simulasi pelat Weldom 460 E 227 m/s.
2. Untuk simulasi pelat aluminium hasil simulasinya di bandingkan dengan referensi perbedaan terbesar adalah pada kecepatan awal 396 m/s hasil simulasi lebih besar 10.3 % dari referensi. Sedangkan terkecil adalah pada kecepatan awal 863 m/s yaitu lebih besar simulasi 1,4 % dibandingkan referensi. Untuk simulasi pelat Weldom 460 E hasil kecepatan batas balistik eksperimen adalah 280m/s, untuk 3D kecepatan batas balistik adalah 231 m/s dan untuk simulasi Abaqus adalah 227 m/s.
3. Kegagalan yang terjadi adalah *spalling* karena pada permukaan belakang pelat terjadi refleksi gelombang.

#### 5. REFERENSI

- [1] Borvik, T., Langseth, M., Hopperstad, O.S., Malo, K.A. 2003. Effect of target thickness in blunt projectile penetration of Weldom 460 E steel plate. *International journal of impact engineering* 28, pp. 413-464.
- [2] Adi, P.P., dan Hartanto, I. 2014. Analisa Kecepatan Sisa Projektil Berhidung Tumpul yang Ditembakkan pada Baja Weldom 460 E.
- [3] Simulation of the ballistic perforation of aluminium plates with Abaqus/Explicit. Visit the SIMULIA Resource Center for similar materials. [www.3ds.com/simulia-resource-center](http://www.3ds.com/simulia-resource-center). Jurnal dari Simulia.
- [4] Iqbal, M.A., Gubta, G., Gubta, N.K. 2010. 3D numerical simulation of ductile target subjected to oblique impact by sharp nosed projectiles.