

Analisa Pengaruh Variasi Tekanan terhadap Distribusi Tegangan pada *Frangible Bullet* dengan Metode Elemen Hingga

Eka Nurul Falah, Widyastuti, dan Vania Mitha Pratiwi

Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: wiwid@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—*Frangible bullet* harus memiliki karakteristik sesuai dengan standar. Untuk menganalisa karakteristik proyektil dapat dilakukan secara eksperimen dan simulasi menggunakan metode elemen hingga. Simulasi pada proyektil dapat menganalisa pengaruh tekanan terhadap distribusi tegangan yang terjadi pada proyektil. Untuk memproduksi proyektil digunakan mesin kompaksi hidrolik 4 kolom yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Pada jurnal ini dilakukan analisa pengaruh variasi tekanan terhadap distribusi tegangan pada proyektil. Berdasarkan hasil simulasi semakin tinggi variasi tekanan yang diberikan, semakin tinggi distribusi tegangan yang terjadi pada proyektil. Hasil simulasi menunjukkan pada variasi tekanan yang diberikan diperoleh hasil distribusi tegangan maksimal yaitu 240 Mpa. Nilai distribusi tegangan tersebut masih dibawah nilai *yield strength* material yang sebesar 280 MPa sehingga kekuatan tekan proyektil dapat mencapai lebih dari variasi tekanan yang diberikan.

Kata Kunci—Distribusi Tegangan, *Frangible Bullet*, Mesin Kompaksi 4 Kolom, Metode Elemen Hingga, Tekanan.

I. PENDAHULUAN

FRANGIBLE *Bullet* merupakan jenis peluru yang didesain agar mudah pecah menjadi fragmen-fragmen kecil saat menghantam target yang lebih keras [1]. *Frangible bullet* diproduksi menggunakan metode metalurgi serbuk dengan material komposit Cu-Sn. Hasil dari produk peluru ini harus memiliki karakteristik uji tembak yaitu nilai densitas dengan rentang 7,1-8,5 g/cm³, kekerasan pada kisaran 44-119 HV dan kekuatan tekan sebesar 31-310 MPa [2]. Penelitian secara eksperimental terkait pengujian karakteristik *frangible bullet* menunjukkan hasil yang berbeda. Pada pengujian *frangible bullet* dengan tekanan kompaksi 700 MPa hanya menghasilkan kekuatan tekan sebesar 110 MPa, sedangkan pada penelitian lainnya yang menggunakan tekanan kompaksi 300, 400, dan 500 MPa menghasilkan kekuatan tekan pada kisaran 143,86-275,72 MPa [3-4]. Hasil pengujian ini tidak hanya dipengaruhi oleh tekanan kompaksi, namun dapat dipengaruhi oleh kinerja mesin kompaksi yang digunakan.

Selain penelitian secara eksperimental, dapat dilakukan penelitian secara simulasi salah satunya menggunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan teknik komputasi yang digunakan untuk menganalisa suatu objek dengan nilai batasan masalah yang ditentukan [5]. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan menggunakan metode ini yaitu analisa sifat balistik peluru berdasarkan desain proyektil, dan analisa *center of pressure* pada *angle of attack* [6]. Untuk penelitian ini dapat dilakukan analisa struktural dari *frangible bullet* dengan menggunakan variasi tekanan yang diberikan pada peluru berdasarkan karakteristik

uji tekan yang sudah dilakukan secara eksperimental pada penelitian-penelitian sebelumnya. Metode ini dapat digunakan untuk menganalisa secara spesifik pengaruh tekanan pada *frangible bullet* dengan memberikan kondisi batas pada proses pemodelan yang dilakukan. Hasil dari pemodelan ini berupa distribusi tegangan yang terjadi pada *frangible bullet* yang dapat digunakan untuk menganalisa perilaku material *frangible bullet*.

Proses kompaksi yang berperan penting dalam mempengaruhi sifat mekanik dan karakteristik peluru dilakukan menggunakan mesin kompaksi. Mesin kompaksi yang digunakan untuk memproduksi *frangible bullet* harus memiliki tingkat akurasi yang tinggi agar dapat menghasilkan peluru dengan karakteristik yang sesuai standar. Dari hasil penelitian tingkat akurasi dari beberapa jenis mesin kompaksi, nilai persentase aspek teknis dan ekonomis dari mesin kompaksi hidrolik 4 kolom tertinggi diantara 2 mesin kompaksi hidrolik lainnya yaitu mencapai 99% [7]. Sehingga mesin kompaksi hidrolik 4 kolom dapat digunakan untuk memproduksi *Frangible bullet* dengan kualitas yang lebih baik. Oleh karena itu pada penelitian ini perlu dilakukan analisa pengaruh distribusi tegangan pada *frangible bullet* dan pemodelan desain mesin kompaksi hidrolik 4 kolom menggunakan metode elemen hingga.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Frangible Bullet*

Frangible Bullet adalah jenis peluru yang didesain agar mudah pecah menjadi fragmen-fragmen kecil ketika menghantam target yang lebih keras sehingga dapat mengurangi resiko dan mencegah terjadinya *richocet* dan *backsplash* [8]. *Frangible bullet* diproduksi menggunakan material komposit Cu-Sn agar memiliki sifat *frangibility* yang tinggi. Hal ini dikarenakan, pada komposit Cu-Sn akan membentuk partikel Cu yang rapuh sehingga akan meningkatkan *frangibility* dan partikel Sn yang telah meleleh akan membasahi serbuk tembaga dan membentuk lapisan yang rapuh [4]. *Frangible bullet* diproduksi dengan metode metalurgi serbuk. Metode metalurgi serbuk merupakan suatu proses pembuatan produk dengan *raw material* berupa serbuk logam atau non logam melalui proses kompaksi di dalam cetakan kemudian dipanaskan (*sintering*) agar menghasilkan produk solid dengan bentuk sesuai dengan cetakan. Tekanan yang lebih besar menghasilkan produk dengan densitas yang lebih tinggi, sehingga kekuatannya bertambah. Densitas produk dapat ditingkatkan dengan membuat serbuk yang lebih halus. Pada proses *sintering* harus dilakukan pada temperatur di bawah titik leleh serbuk. Proses ini akan meningkatkan kekuatan

Tabel 1.
Nilai kekuatan tekan *frangible bullet* pada penelitian sebelumnya

Peneliti	Metode			Kekuatan Tekan (MPa)
	Mesin kompaksi	Material	Tekanan kompaksi (MPa)	
(Faizah, 2021)	Tipe 4 Kolom	Cu - 15% Sn	550, 600, 650	230 - 350
(Salma, 2020)	Tipe H	Cu - 12% Sn	400, 500, 600	50 - 150
(Vicko, 2014)	Mekanik	Cu - 15% Sn	330, 450, 550	150 - 280

dan memperbaiki struktur kristal produk. Tahapan dalam metalurgi serbuk terdiri dari preparasi material, pencampuran (*mixing*), penekanan (*compacting*), dan pemanasan (*sintering*).

Frangible bullet memiliki beberapa karakteristik sifat mekanik yang harus dimiliki agar memenuhi standar uji tembak. Salah satu karakteristik *frangible bullet* yaitu kekuatan tekan material. Nilai kekuatan tekan *frangible bullet* dipengaruhi oleh proses kompaksi. Sehingga proyektil yang dikompaksi dengan jenis mesin kompaksi yang berbeda akan memiliki kekuatan tekan yang berbeda pula. Mesin kompaksi yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi akan menghasilkan produk kompaksi yang memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan produk kompaksi dari mesin kompaksi yang memiliki tingkat akurasi yang rendah. *Frangible bullet* sudah diproduksi dengan jenis mesin kompaksi yang berbeda-beda pada penelitian-penelitian sebelumnya. Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil pengujian kekuatan tekan *frangible bullet* yang sudah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

Nilai kekuatan tekan pada Tabel 1 akan dijadikan acuan untuk variasi tekanan yang diinput pada proses simulasi metode elemen hingga *frangible bullet* untuk menganalisa distribusi tegangan yang terjadi pada peluru tersebut. Variasi tekanan yang akan diinput pada simulasi yaitu 150, 250, dan 300 Mpa. Selain itu, *engineering data* dari material *frangible bullet* yang diinput pada *software* ANSYS ditunjukkan pada Tabel 2.

Desain *frangible bullet* yang digunakan untuk simulasi *static structural* pada ANSYS ditunjukkan pada Gambar 1[9].

B. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan teknik komputasi yang digunakan untuk dapat memperkirakan solusi dengan nilai batasan dari suatu masalah dalam bidang teknik[5]. Salah satu proses dalam metode elemen hingga adalah proses pembagian (dekritisasi) yaitu pembagian suatu sistem yang kontinu menjadi beberapa bagian yang lebih kecil (*subregion*) atau bisa disebut elemen hingga. Dari elemen hingga ini dapat dilakukan pendekatan bagian demi bagian menggunakan polinomial dimana masing-masing terdefinisi pada elemen yang kecil dan dinyatakan dalam titik simpul (*node*) dari fungsi tersebut[10]. Tujuan utama analisa dari metode elemen hingga ini adalah untuk memperoleh pendekatan tegangan dan perpindahan (*displacement*) pada suatu struktur.

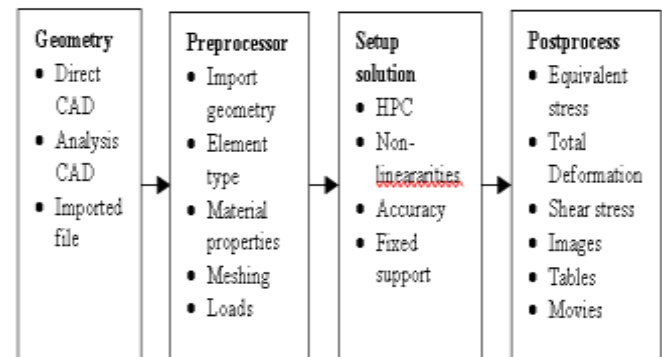
Program analisa elemen hingga yang banyak digunakan untuk analisa material atau suatu komponen adalah *software* ANSYS. ANSYS WORKBENCH dapat melakukan

Tabel 2.
Engineering data material komposit Cu-Sn

Spesifikasi	Nilai
Material	Cu-Sn 15%wt
Massa proyektil (gr)	5
Densitas peluru (g/cm ³)	8
Yield Strength	280 MPa
Modulus Elastisitas (MPa)	5300
Energi kinetic batas (J)	34
Frangibility factor	12
Poisson Ratio	0.3



Gambar 1. Desain *frangible bullet*.



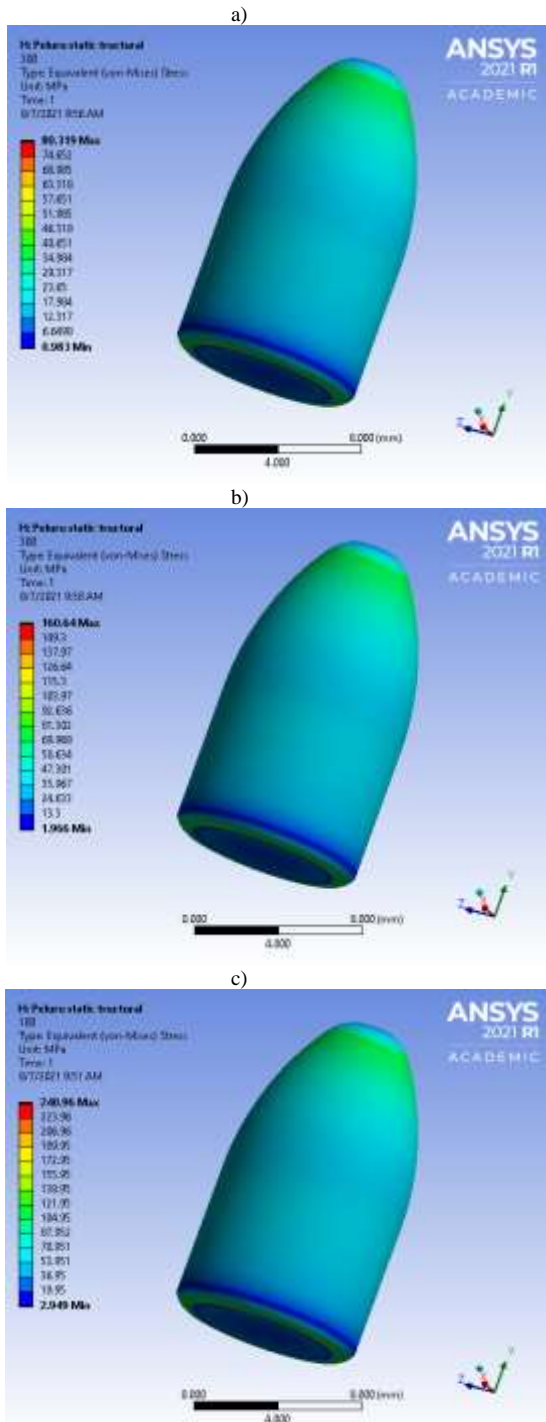
Gambar 2. Skema proses analisa struktural menggunakan ANSYS.

beberapa macam tipe simulasi seperti *structural*, *thermal*, mekanika fluida, dan analisa elektromagnetik. Pada Gambar 2 ditunjukkan proses analisa struktural menggunakan ANSYS[11].

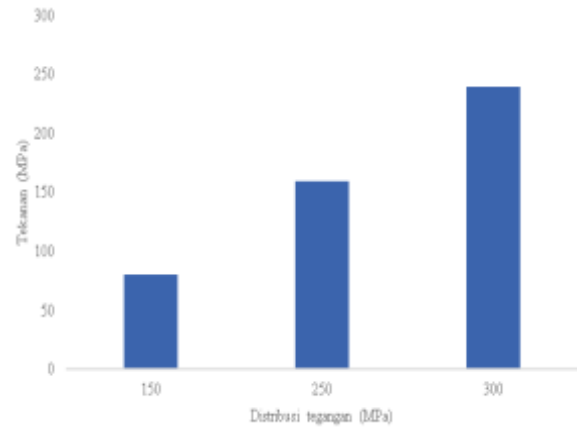
Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan pada proses simulasi struktural menggunakan ANSYS yaitu sebagai berikut:

1) *Geometry*

- Semua tipe dan bentuk objek dapat disimulasikan
- Nilai ketebalan (*thickness*) dimasukkan pada *Details Surface Body*
- Penampang melintang dan orientasi dari *line bodies* ditentukan pada *Design Modeler*
- Point mass* dapat ditambahkan pada model untuk mensimulasikan bagian-bagian struktur yang tidak dimodelkan secara eksplisit[12].



Gambar 4. Hasil distribusi tegangan pada tekanan (a) 150 MPa, (b) 250 Mpa, (c) 300 MPa.



Gambar 3. Hubungan antara variasi tekanan dan tegangan maksimal pada *frangible bullet*.

2) *Preprocessor*

- a. Tekanan diaplikasikan pada permukaan bidang dengan arah menuju bidang bernilai positif dan arah keluar dari bidang bernilai negatif
- b. Gaya dapat diaplikasikan pada *vertex*, *edge* atau permukaan dengan kekuatan didistribusikan secara merata di semua entitas yang dapat ditentukan melalui vektor maupun komponen[12].

3) *Setup solution*

- a. *Fixed support* diaplikasikan untuk membatasi semua derajat kebebasan pada *vertex*, *edge*, *surface*
- b. *Displacement* diaplikasikan untuk kemungkinan perpindahan translasi yang dikenakan dalam *x,y,z*.

- c. Memasukkan nilai 0 pada *displacement* berarti arah dibatasi, dan tidak memasukkan nilai arah berarti arah bebas[12].

Simulasi pada modul *static structural* dapat menghasilkan data berupa total deformasi, tegangan-regangan, *safety factor*, *lifecycle*, dll. Total deformasi dari model dapat didefinisikan pada persamaan berikut.

$$U_{total} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad (1)$$

Tegangan dan regangan elastis memiliki enam komponen (*x,y,z,xy,yz,xz*) sedangkan regangan termal memiliki tiga komponen (*x,y,z*). Untuk tegangan dan regangan, komponen dapat dihasilkan tegangan-regangan normal (*x,y,z*) dan tegangan-regangan geser (*xy,yz,xz*).

Safety factor pada analisa tegangan disesuaikan berdasarkan teori berikut:

1. *Ductile theories* yaitu *maximum equivalent stress* dan *maximum shear stress*
2. *Brittle theories* yaitu *mohr-coulomb stress* dan *maximum tensile stress*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa pengaruh variasi tekanan terhadap distribusi tegangan pada *frangible bullet* seluruhnya dilakukan menggunakan modul simulasi *static structural* pada ANSYS. Batasan-batasan yang menjadi variabel konstan pada penelitian ini yaitu desain dan spesifikasi *frangible bullet* diasumsikan optimal, pengaruh fisik eksternal (temperatur, korosi, dll) pada *frangible bullet* diabaikan, dan proses kompaksi diasumsikan sempurna.

A. *Simulasi static structural frangible bullet*

Pada simulasi *frangible bullet* ini desain proyektil dikonversikan pada bentuk file *space claim* maupun *design modeler* agar dapat diimport pada *model static structural*. Desain *frangible bullet* yang disimulasikan dapat dilihat pada Gambar 1. Pada proses pemodelan *frangible bullet*, pada geometri diaplikasikan *meshing* untuk menyatukan elemen-elemen sehingga simulasi dapat dilakukan pada seluruh bagian geometri. Simulasi menggunakan *software* ANSYS pada modul *static structural* untuk mengetahui pengaruh tekanan pada *frangible bullet* secara struktural. Selanjutnya, variabel tekanan yang dimasukkan mengacu pada rata-rata kekuatan tekan *frangible bullet* yaitu 150

Tabel 3.

Hasil pengujian kekuatan tekan peluru *frangible* komposit Cu- 15%Sn

Tekanan Kompaksi (MPa)	Dwelling Time (detik)	Kekuatan Tekan (MPa)
650	10	290
	180	330
	600	350
	1800	320
	2700	230

Tabel 4.

Hasil distribusi tegangan dengan variasi tekanan berdasarkan hasil eksperimen

Tekanan Kompaksi (MPa)	Dwelling Time (detik)	Kekuatan Tekan (MPa)	Distribusi Tegangan Maksimal (MPa)
650	10	290	180
	180	330	200
	600	350	260
	1800	320	206
	2700	230	150

MPa, 250 MPa, dan 300 Mpa dengan arah menuju bidang. Selain itu, pada desain geometri tersebut akan diterapkan tumpuan pada bagian bawah *frangible bullet*. Simulasi menggunakan *software* ANSYS pada modul *static structural* untuk mengetahui pengaruh tekanan pada *frangible bullet* secara struktural. Hasil simulasi *frangible bullet* ditunjukkan pada Gambar 3.

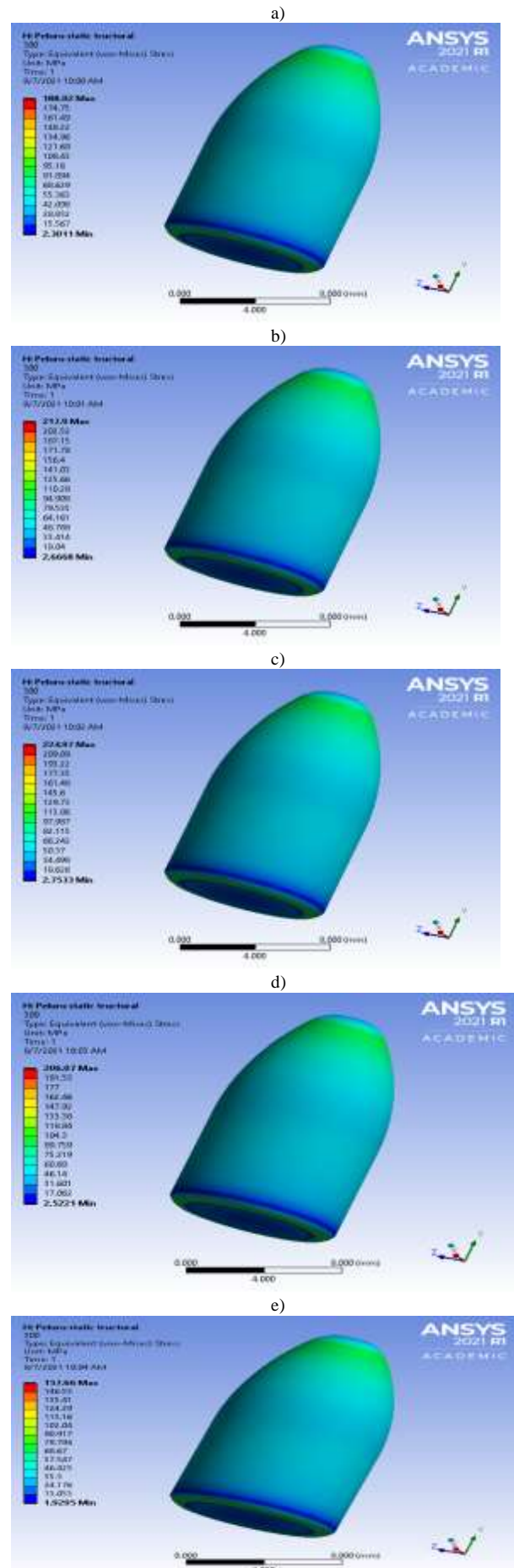
Berdasarkan hasil simulasi diatas, dapat dilihat tegangan tertinggi pada bagian bawah proyektil dan distribusi tegangan merata pada sisi selimut proyektil dengan pada bagian atas proyektil distribusi tegangan lebih besar. Hasil simulasi *static structural* diatas menunjukkan semakin tinggi nilai tekanan yang dimasukkan semakin tinggi nilai tegangan maksimal yang dialami *frangible bullet*. Hal ini ditunjukkan pada grafik hubungan variasi tekanan terhadap tegangan maksimal yang terjadi seperti pada Gambar 4.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, diperoleh nilai tegangan proyektil tertinggi pada tekanan 300 MPa, dan nilai tegangan terendah pada tekanan 150 MPa. Pada tekanan 300 MPa dengan nilai tegangan tertinggi sebesar 240 MPa masih dibawah batas *yield strength* material *frangible bullet* sehingga dapat dikatakan *frangible bullet* dapat mencapai kekuatan tekan diatas 300 MPa.

Pada spesifikasi mesin kompaksi hidrolik 4 kolom, proses kompaksi *frangible bullet* dilakukan dengan tekanan kompaksi sebesar 650 MPa dengan *dwelling time* 10 detik. Untuk mengetahui efektifitas mesin kompaksi hidrolik 4 kolom dalam mengkompaksi *frangible bullet* dilakukan pengujian-pengujian karakteristik material baik secara eksperimen maupun dengan simulasi metode elemen hingga.

Secara eksperimen, untuk menentukan kekuatan tekan *frangible bullet* mengacu pada standar ASTM D695 sehingga bentuk sampel berupa pellet dengan perbandingan diameter dan tinggi sebesar 1:2 [13]. Pengujian kekuatan tekan pada *frangible bullet* menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Hasil pengujian kekuatan tekan *frangible bullet* komposit Cu-Sn yang diproduksi menggunakan mesin kompaksi hidrolik 4 kolom dengan variasi lama *dwelling time*, dapat dilihat pada Tabel 3.

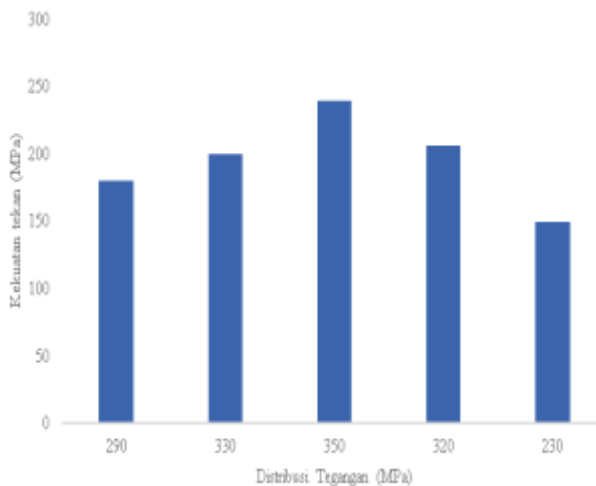
Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan tersebut *range* kekuatan tekan *frangible bullet* yang dikompaksi



Gambar 5. Hasil distribusi tegangan pada kekuatan tekan, (a) 290MPa, (b) 330MPa, (c) 350 MPa, (d) 320 MPa, (e) 230 MPa.

Tabel 5.
Rangkuman hasil simulasi pengaruh tekanan terhadap distribusi tegangan pada peluru *frangible*

Variasi Tekanan (MPa)	Distribusi Tegangan Maksimal (MPa)
Produk mesin	150
kompaksi manual dan Tipe H	250
	300
	290
Produk mesin	330
kompaksi hidrolik 4 kolom	350
	320
	230



Gambar 6. Hubungan antara kekuatan tekan material dengan distribusi tegangan yang terjadi pada *frangible bullet*.

menggunakan mesin kompaksi hidrolik 4 kolom berkisar 230-350 MPa. Simulasi *static structural* ini menggunakan desain dan parameter simulasi yang sama dengan simulasi *static structural* dengan variasi tekanan pada Gambar 3. Distribusi tegangan yang terjadi pada kisaran kekuatan tekan tersebut, dapat dilihat pada Gambar 5.

Secara umum, distribusi tegangan yang terjadi pada *frangible bullet* pada hasil simulasi pada Gambar 3 dan Gambar 5 tidak jauh berbeda. Pada simulasi struktural tersebut distribusi tegangan tertinggi terjadi pada bagian bawah bidang, dan merata pada sisi selimut bidang.

Hasil simulasi struktural *frangible bullet* dengan variasi tekanan berdasarkan nilai kekuatan tekan sampel yang didapatkan secara eksperimen tersebut, dapat dilihat pada Tabel 4.

Kekuatan tekan tertinggi dicapai pada variasi *dwelling time* selama 600 detik yaitu sebesar 350 Mpa. Hubungan antara kekuatan tekan material hasil pengujian kekuatan tekan tersebut dengan nilai distribusi tegangan tertinggi berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 5 yang ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 6.

Pada nilai tekanan tertinggi yang disimulasikan yaitu 350 MPa diperoleh distribusi tegangan maksimal sebesar 260 MPa, dimana nilai distribusi tegangan tersebut masih dibawah nilai *yield strength* material komposit Cu-Sn yang sebesar 280 MPa. Sehingga dapat dikatakan kekuatan tekan material komposit Cu-Sn masih dapat mencapai nilai lebih dari 350 Mpa. Untuk mencapai nilai kekuatan tekan *frangible bullet* yang tinggi dapat dipengaruhi oleh proses

produksi yang dilakukan mulai dari proses pencampuran serbuk Cu-Sn, proses kompaksi, dan proses sintering. Secara eksperimen, dengan proses pencampuran serbuk dan proses *sintering* proyektil yang sama, nilai kekuatan tekan *frangible bullet* yang dikompaksi menggunakan mesin kompaksi hidrolik 4 kolom lebih stabil dibandingkan proyektil yang dikompaksi menggunakan mesin kompaksi mekanik dan tipe H dimana mencapai nilai 350 MPa. Sehingga mesin kompaksi hidrolik 4 kolom yang digunakan untuk proses kompaksi *frangible bullet* saat ini lebih optimal dibandingkan produk kompaksi dari mesin kompaksi yang digunakan sebelumnya.

Rangkuman hasil simulasi *static structural* secara keseluruhan dari *frangible bullet* berdasarkan nilai kekuatan tekan material terhadap distribusi tegangan yang terjadi pada *frangible bullet* ditunjukkan pada Tabel 5.

IV. KESIMPULAN

Pengaruh variasi tekanan pada distribusi tegangan yang terjadi pada *frangible bullet* yaitu semakin tinggi tekanan yang diterapkan semakin besar tegangan yang terjadi pada peluru. Tegangan tertinggi terjadi pada variasi tekanan sebesar 300 Mpa yaitu sebesar 240 Mpa. Nilai distribusi tegangan yang paling mendekati nilai *yield strength* material yaitu sebesar 260 Mpa pada kekuatan tekan sebesar 350 MPa yang dikompaksi menggunakan mesin kompaksi hidrolik 4 kolom.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Hibah Penelitian Dana Riset Produktif (RISPRO LPDP).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. U. Azmi, "Desain Proses Produksi Proyektil Frangible dengan Proses Metalurgi Serbuk Mifta Ulul Azmi." Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
- [2] S. Kruachaturrat, C. Thanomsilp, and S. Wattanasiriwech, "Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets," The 3rd Thailand Metallurgy Conference (TMETC-3): Metallurgical Research for Thailand Development. Bangkok, Thailand, 2009.
- [3] S. Nurhidayah, "Analisis Kinerja Dan Efisiensi Mesin Kompaksi Hidrolik Otomatis Tipe H Untuk Aplikasi Produksi Frangible Bullet," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [4] V. G. Anugrah and D. Susanti, "Pengaruh komposisi Sn dan variasi tekanan kompaksi terhadap densitas dan kekerasan komposit Cu-Sn untuk aplikasi proyektil peluru *frangible* dengan metode metalurgi serbuk," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. F102–F107, 2014.
- [5] D. V Hutton, *Fundamentals Of Finite Element Analysis*. McGraw-Hill Education, New York, 2003.
- [6] H. Pratiwi, "Analisis Pengaruh Desain Proyektil dan Muzzle Velocity Terhadap Terminal Balistik Gelatin Peluru Frangible Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [7] R. Adhianto, M. I. Fauzan, and E. Patriatna, "Studi Perancangan Mesin Press Hidrolik 50 ton dengan Metode VDI 2222," in *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa)*, 2019, no. 4, pp. 193–203.
- [8] J. M. Tambunan, "Studi Rancang Bangun Dan Temperatur Zona Continuous Furnace Sintering Material Frangible Cu-5Wt% Sn." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [9] M. M. Jati, "Analisis Tegangan Proyektil Frangible Pada Proses Ejeksi Dengan Variasi Koefisien Gesek Dan Penambahan Split Cetakan Menggunakan Metode Elemen Hingga." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [10] R. D. Cook, *Concepts And Applications Of Finite Element Analysis*. John Wiley & Sons, Hoboken, 2007.
- [11] G. M. Mudennavar, G. Chalageri, P. A. Patil, M. Tech Scholar, and

- D. Engineer, "Design and analysis of 12 ton hydraulic pressing machine," *Int. J. Sci. Dev. Res.*, vol. 3, no. 8, pp. 109–117, 2018.
- [12] I. ANSYS, "ANSYS Workbench - Mechanical Introduction Chapter 4 Static Structural Analysis," ANSYS Inc, Canonsburg, 2009.
- [13] Zainab Raheem, "Designation: D695 – 15 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics 1," ASTM International, United States, 2015, pp. 19428–2959, doi: 10.1520/D0695-15.