
ANALISIS SIMULASI PROSES *IRONING* UNTUK MENGETAHUI KETINGGIAN DINDING BERDASARKAN VARIASI REDUKSI KETEBALAN DINDING

M. Nushron Ali Mukhtar¹⁾ dan Sagita Rochman²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Industri ; Fakultas Teknologi Industri

²⁾Program Studi Elektro ; Fakultas Teknologi Industri

Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

Email: nushron@unipasby.ac.id

Abstrak

Proses ironing merupakan salah satu proses metal forming. Aplikasi dari proses ini diantaranya pada proses pembuatan selongsong peluru, dimana ketinggian dari dinding tergantung pada reduksi ketebalan yang digunakan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengetahui berapakan ketinggian dinding berdasarkan variasi reduksi ketebalan dinding sehingga didapatkan ketinggian yang sesuai dengan kebutuhan dalam pembuatan selongsong peluru. Material yang digunakan untuk selongsong peluru kaliber 20 mm adalah kuningan Cu30% Zn 70% berbentuk cup diameter luar awal 33,5 mm, tebal 3 mm dan tinggi 37 mm. Berdasarkan perhitungan kekuatan material, maka didapat reduksi ketebalan dinding maksimum yang diijinkan pada proses ironing adalah 26,7%. Selanjutnya dengan reduksi tersebut dilakukan simulasi menggunakan metode elemen hingga pada variasi sudut die $\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ dan 25° . Hasil simulasi proses ironing pada masing-masing sudut die α dan prosentase reduksi ketebalan dinding 26,7%, menunjukkan, bahwa selongsong peluru belum dapat melawati die. Setelah dilakukan penambahan gaya pada proses simulasi dan dengan variasi reduksi 5%,10%,15%, 20% dan 25%, menghasilkan untuk reduksi 5% :39mm ,10% : 42mm ,15% : 45mm, 20% :51mm dan 25% : 55mm.

Kata kunci: Simulasi Ironing, Ketinggian Dinding, Reduksi ketebalan dinding

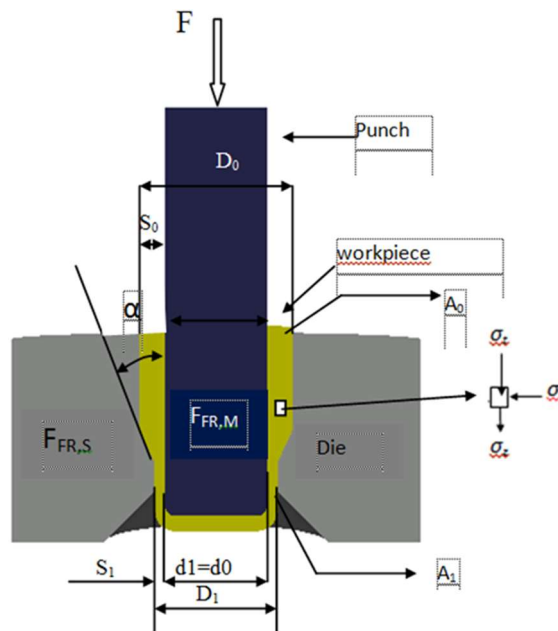
Abstract

Ironing process is one of the metal forming, the application of this process among others in the process of making bullet case, where the height of the wall depends on the reduction of wall thickness. In this study, a simulation is conducted to find out what is the height of the wall based on the variation reduction of wall thickness so as to obtain the height corresponding to the requirement in making bullet case. The material used for bullet case caliber 20 mm is brass Cu30% Zn 70% early-shaped cup with 33.5 mm outer diameter, 3 mm thick and 37 mm high. Based on material strength calculation, the maximum allowable wall reduction thickness in the ironing process is 26.7%. The simulation is carried out using finite element method on a variety of die corner as $\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ and 25° . The results of the simulation of the ironing process at each angle die α and the percentage of wall thickness reduction of 26.7%, indicates, that the bullet casings have not been able to pass the die. After the addition of force on the simulation process and with variation of 5%, 10%, 15%, 20% and 25% reduction, yield for 5%: 39mm, 10%: 42mm, 15%: 45mm, 20%: 51mm and 25% reduction %: 55mm.

Keywords: Simulation Ironing, high wall, reduction of wall thickness

PENDAHULUAN

Pada dasarnya proses *ironing* sama dengan proses penekan (*ekstrusion*) untuk memperoleh dimensi tertentu. Proses *ironing* biasa digunakan untuk pembuatan kaleng minuman berbahan aluminium, silinder bertekanan tinggi, rumah untuk pompa dan rumah untuk *shock absorber* (Adamovic *et al.*,2010). Disamping itu proses *ironing* dapat dimanfaatkan untuk membuat selongsong peluru, seperti terlihat pada gambar 1. Proses *ironing* diawali dengan membuat bentuk material seperti mangkok silinder/*cup*, kemudian untuk pembuatan silinder panjang tanpa sambungan dengan cara menekan bagian dalam *cup* dengan *punch*, hingga seluruh bagian dari *cup* dapat keluar dari *die*. Kampus dkk (Kampus.Z *et al.*,2002) menggunakan teori plastisitas untuk memodelkan proses *ironing*, penelitiannya menggunakan diagram kemampuan kerja untuk mendiskripsikan daerah tegangan-regangan. Mereka menggunakan teori tersebut untuk membuat *cup* dengan bentuk ketebalan dinding yang tidak seragam, pengamatan dilakukan dengan *FEM* dengan bantuan *software* untuk mengetahui perubahan gaya. Menurut Sucy ivana (2006) besarnya reduksi maksimum dalam proses *ironing* adalah 50%.



Gambar 1. Skema proses ironing

Wang,Z (2001) memvariasikan prosentase reduksi 5% sampai 20% dengan rentang 5%. Beberapa penelitian seperti Adamovic *et al.*,(2010), Wang,Z (2001) dan Chang, D.

(1998) menetapkan besarnya sudut *die* (α) pada penelitiannya sebesar 5°, 10°, 15°, 20° dan 25°.

Pada proses *ironing* terdapat peristiwa penekanan, dan terjadi penipisan dinding yang dilakukan oleh *punch* dan *dies*. Pada dasarnya proses *ironing* hampir sama dengan proses ekstrusi, kedua proses tersebut sama-sama menyebabkan terjadinya perubahan geometri dengan cara memaksa benda kerja agar masuk ditekan oleh *punch* pada lubang *dies* (Suryaningrat, R.,2012). Pada proses ekstrusi, *ironing* disebut juga dengan *forward hollow extrusion* (proses ekstrusi bagian luar dengan dimensi material berbentuk tubular) (Schuler.,1998). Oleh karena itu, pada proses *ironing* dapat dilakukan pendekatan dengan proses *forward hollow extrusion*.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui ketinggian dinding berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dibandingkan dengan hasil perhitungan, dengan memvariasikan reduksi ketebalan dinding dan sudut ring ironing die. Gaya total ironing $F_{i,tot}$ merupakan penjumlahan dari gaya ideal (F_{id}), gaya gesek pada die shoulder ($F_{FR,S}$), dan gaya geser (F_{Sh}) dikurangi dengan gaya gesek pada mandrel ($F_{FR,M}$) (Lange,K.,1985),. Pernyataan tersebut dapat ditulis seperti berikut:

$$F_{i,tot} = F_{id} + F_{FR,S} - F_{FR,M} + F_{Sh} \quad (1)$$

Seperti terlihat pada gambar 1, jika masing-masing gaya diatas diuraikan, maka persamaan gaya ironing total adalah sebagai berikut (Schuler : 1998)

$$F_{i,tot} = A_1 \sigma_{f,m} \left[\left(1 + \frac{2\mu_s}{\sin 2\alpha} - \frac{2\mu_m}{\tan \alpha} \right) \phi_{max} + \frac{1}{2} \hat{\alpha} \right] \quad (2)$$

Dimana A_1 adalah luas penampang setelah *ironing*, σ_{fm} adalah aliran tegangan rata-rata, ϕ_{max} adalah Regangan maksimum, μ_s adalah koefisien gesek pada *die shoulder* = 0.07, μ_m adalah koefisien gesek pada *mandrel* dan α adalah sudut *die*. Karena pendekatan yang dilakukan sesuai dengan proses ekstrusi, dimana gaya gesek yang terjadi adalah penjumlahan dari gaya gesek pada die shoulder dan gaya gesek pada mandrel yang dinyatakan sebagai berikut:

$$F_{Fr} = F_{FR,S} + F_{FR,M} \quad (3)$$

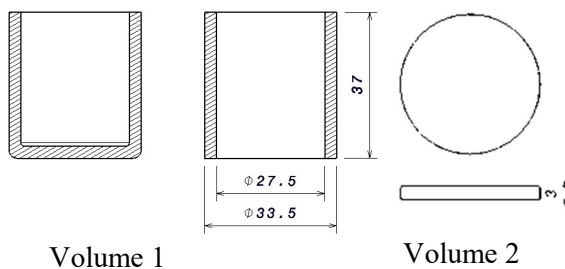
Apabila persamaan (1) dan (3) digabungkan, maka $F_{i,tot}$ menjadi:

$$F_{i,tot} = F_{tot} + F_{FR,M} = F_{id} + F_{FR,S} + F_{Sh}$$

Selanjutnya gaya total proses *ironing* dapat ditulis seperti:

$$F_{tot} = A_1 \sigma_{f.m} \left[\left(1 + \frac{2\mu_s}{\sin 2\alpha} \right) \phi_{max} + \frac{1}{2} \bar{\alpha} \right]$$

Setelah didapatkan nilai reduksi diameter *cup* pada setiap tahap, maka dilakukan perhitungan ketinggian yang dicapai pada setiap tahapan. Karena pada proses *ironing* tidak terjadi perubahan pada *volume* produk, maka ketinggian yang dicapai di setiap tahapan dapat dicari dengan persamaan *volume*. Ketinggian pada tiap reduksi yang diterapkan tentunya berbeda-beda, semakin besar penipisannya maka akan semakin banyak material yang akan terbawa sehingga ketinggian juga akan semakin bertambah. Seperti pada gambar 2 berikut dimana volume 1 adalah hasil proses *ironing*, sedangkan volume 2 adalah berupa lembengan pelat.



Gambar 2 Penyederhanaan volume

Persamaan volume 1

$$V_1 = \left(\frac{\pi}{4} \times D_1^2 \times L \right) - \left(\frac{\pi}{4} \times d_1 \times L \right)$$

Persamaan volume 2

$$V_2 = \left(\frac{\pi}{4} \times D_1^2 \times t \right)$$

Dimana D_1 adalah diameter cup sebelum *ironing* dan D_2 adalah diameter cup setelah *ironing* dan d_1 adalah diameter punch/mandrel. t merupakan tebal pelat sebelum dibentuk cup. Maka total volume adalah:

$$V_{tot} = V_1 + V_2$$

sehingga

$$V_{tot} = \left(\frac{\pi}{4} \times D_1^2 \times L \right) - \left(\frac{\pi}{4} \times D_p^2 \times (L - t) \right)$$

METODE

Pada proses analisis simulasi, deformasi yang terjadi pada benda kerja, diasumsikan seperti pada kejadian *plane strain* (*workpiece* bersifat(4) *flexible*), sedangkan untuk *Die* dan *punch* bersifat *rigid*. *Punch* bergerak ke bawah / searah dengan arah aksial. Material yang digunakan adalah kuningan (*brass cartridge*). Dengan sifat mekanik dan spesifikasi seperti(5) yang tertulis di dalam tabel. 1 berikut.

Tabel 1. Dimensi Benda Kerja(BK)

Keterangan (BK)	Simbol	Dimensi	Satuan
Tinggi awal	t_0	37	mm
Tebal Awal	h_0	3	mm
Diameter Luar Cup	D_0	33.5	mm
Diameter dalam Cup	d_1	27.5	mm

Tabel 2. Mechanical Properties BK

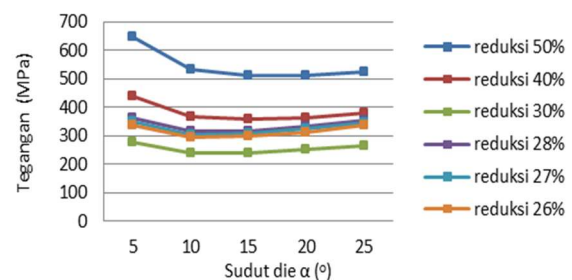
Keterangan (BK)	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Young Modulus</i>	E	110	MPa
<i>Poisson Ratio</i>	ν	0.35	
<i>Yield Strength</i>	σ	113	MPa
<i>Density</i>		8216	

Tabel 3. Boundary Condition

Keterangan (BK)	Simbol	Nilai
<i>Sudut Ironing Die</i>	α	5°,10°,15°,20°,25°
<i>Reduksi</i>	R	5%,10%, 15%,20%,25%,
<i>Koefisien Reduksi</i>	μ	0.07

Penentuan Reduksi Ketebalan Dinding

Sebagai langkah awal ditentukan reduksi ketebalan dinding selongsong maksimum yang dapat dicapai pada proses *ironing*. Untuk itu dilakukan perhitungan tegangan yang terjadi pada reduksi mulai 50%, 30%, 28%, 27% dan 26%, pada setiap perubahan sudut die mulai dari 5°, 10°, 15°, 20°, dan 25°. Selanjutnya tegangan yang terjadi pada setiap variasi sudut die dibandingkan dengan *ultimate tensile strength* (UTS) material beda kerja. Grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 3. Dari hasil analisa perhitungan, dapat diketahui pada reduksi 26%, material benda kerja masih aman.



Gambar 3 Grafik tegangan dari hasil perhitungan

Selanjutnya reduksi dinaikan menjadi 26,7%, dan dihitung secara teoritis besarnya gaya ironing yang dibutuhkan pada sudut die 5°, 10°, 15°, 20°, dan 25°. Berdasarkan reduksi 26,7% tegangan yang terjadi pada proses dihitung dan dianalisa, yaitu dibandingkan

dengan tegangan material yang diijinkan (UTS). Dari analisa yang dilakukan, dapat diketahui, bahwa tegangan yang terjadi pada variasi sudut 5° sampai 25°, lebih kecil daripada UTS material cup. Artinya reduksi maksimal yang memungkinkan proses berhasil adalah dengan reduksi 26,7%,

Tabel 4 Gaya dan tegangan yang terjadi pada proses *ironing*

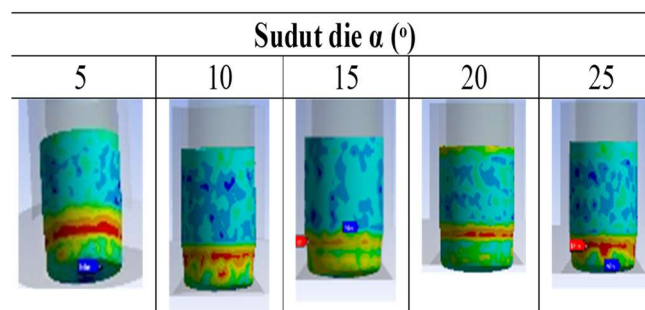
No	Die Angle α (°)	Required Forming Force (Kn)	Result of Stress (MPa)	Compare With UTS	Annotation
1	5	50.01	332.25	$\sigma_i < \sigma_{UTS}$	Succesfull
2	10	43.46	298.65	$\sigma_i < \sigma_{UTS}$	Succesfull
3	15	43.91	302.57	$\sigma_i < \sigma_{UTS}$	Succesfull
4	20	46.25	319.31	$\sigma_i < \sigma_{UTS}$	Succesfull
5	25	49.56	335.43	$\sigma_i < \sigma_{UTS}$	Succesfull

Simulasi Proses *Ironing* dengan Input Gaya Teoritis.

Seperti terlihat pada tabel 4, gaya terbesar yang dibutuhkan adalah pada sudut 5° yaitu 50 kN, sedangkan gaya yang paling kecil dibutuhkan pada sudut 10°, yaitu sebesar 43,46 kN. Selanjutnya gaya-gaya seperti yang tertera pada tabel 2 digunakan sebagai input

pada proses simulasi. Simulasi dilakukan dengan menempatkan gaya pada bagian atas *punch* sesuai dengan besar gaya pada masing-masing sudut die α . *Punch* terletak di dalam cup dan ujungnya bejarak 2 mm dari dasar bagian dalam *cup*. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 5 Hasil simulasi dengan input gaya teoritis



Dari Tabel 5 dapat diketahui, bahwa dengan gaya teoritis, *cup* belum dapat melewati *die*. Artinya selongsong belum terbentuk dengan sempurna. Ada 2 alternatif yang mungkin dapat dilakukan, agar proses berjalan baik dan berhasil, yaitu menurunkan reduksi ketebalan dinding atau menaikkan besarnya gaya ironing.

Dari hasil simulasi dapat diketahui, bahwa proses *ironing* belum berhasil untuk dapat membentuk *cup* sampai melewati *die*. Hal tersebut mungkin disebabkan karena input gaya teoritis belum cukup untuk dapat membentuk *cup*.

Simulasi Proses *Ironing* Berdasarkan Perubahan Reduksi Ketebalan Dinding.

Sesuai dengan proses ironing secara umum reduksi ketebalan dinding diturunkan dari 26,7% menjadi 5%, 10%, 15% 20% dan 25%. Dan dengan bantuan software ANSYS dilakukan simulasi proses ironing pada sudut *die* α 5°, 10°, 15°, 20° dan 25°. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.

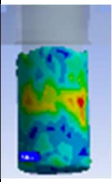
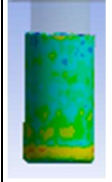
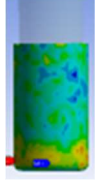
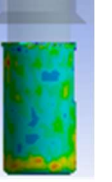
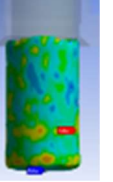
Alternatif Simulasi Proses *Ironing* dengan Penambahan Gaya.

Simulasi penambahan gaya dilakukan dengan menambah gaya yang telah dihitung sebelumnya dengan penambahan berturut-turut 5%,10%,50%,100% dan 200%. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar gaya yang dibutuhkan pada proses *ironing* mulai dari penekanan awal sampai akhir, hingga *cup* dapat keluar dari *die*.

Hasil simulasi penambahan gaya *ironing*, menunjukkan bahwa dengan prosentase 5% belum terjadi perubahan bentuk *cup*. *Cup* mulai dapat berubah bentuk pada saat gaya di tambah hingga 50%. Pada sudut 5° dan 25° ,

cup baru dapat melewati *die* setelah prosentase penambahan gaya 200%, artinya pada sudut 5° gaya total yan diberikan mencapai 150,03 kN, sedangkan pada sudut 25° gaya total yang diberikan adalah 148,68 kN.

Tabel 6 Hasil simulasi proses *ironing* dengan penambahan gaya

Sudut die α				
5	10	15	20	25
Gaya (kN)				
138	148	162	157	149
				

Namun berbeda dengan penambahan gaya pada sudut *die* lainnya, meskipun dengan penambahan prosentase gaya yang sama, *cup* belum dapat melewati *die*. Hal tersebut disebabkan, karena gaya yang diberikan masih kurang besar. Dengan demikian besar gaya yang diperlukan untuk membentuk *cup* pada kondisi tersebut juga belum dapat diketahui, sehingga pada sudut α 10°, 15° dan 20° perlu

dilakukan penambahan prosentase gaya hingga *cup* dapat melewati *die*.

PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan teoritis untuk variasi reduksi yang digunakan yaitu 5%, 10%, 15% 20% dan 25% . Didapatkan hasil seperti pada tabel 7 berikut.

Tabel 7 hasil perhitungan ketinggian teoritis berdasarkan variasi reduksi

Reduksi (%)				
25	20	15	10	5
Perubahan D_1 dari Ø 33.5 mm ke				
Ø32.105	Ø32.4	Ø32.67	Ø32.95	Ø33.23
Tinggi dinding (mm)				
53	50	47	44	42

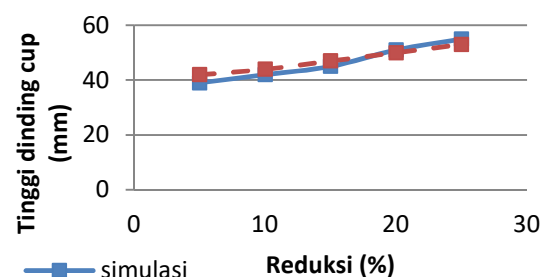
Berdasarkan hasil simulasi diatas jika dibandingkan dengan hasil perhitungan, maka akan terlihat berbeda. Namun perbedaan yang terjadi tidak terlalu jauh. Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan ketinggian *cup* setelah *ironing* dapat dilihat pada gambar 4.

Delarbre dan Montmitonnet (1999), melakukan analisis simulasi proses *ironing* untuk memperoleh ketinggian dan membandingkan hasil simulasi dengan analisis studi. Material yang digunakan adalah aluminium dengan ketebalan awal 0.25mm untuk dijadikan *cup* dengan ketebalan 0.18mm. Dari hasil penelitian menunjukkan jika hasil analisis studi untuk perhitungan ketinggian dinding lebih lebih besar dari pada hasil simulasi.

Begitu juga dengan penelitian Nam dan Han (2000), yang menganalisis dengan

metode analisis elemen hingga/*finite element analysis* pada material baja untuk pembuatan kaleng minuman. Pada penelitian tersebut juga dibandingkan dengan hasil dari experinment. Dimana hasil dari penelitian menunjukkan bahwa ketinggian hasil teoritis cenderung berubah seiring dengan variasi sudut. Namun berbeda ketika saat simulasi dan hasil eksperimen.

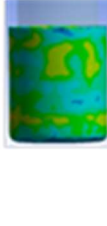
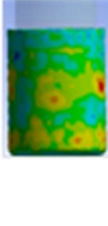

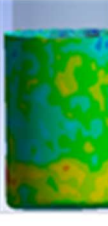

Sedangkan pada penelitian ini adalah seperti pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 perbandingan ketinggian dinding hasil teoritis dan simulasi
 Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa tinggi dinding hasil simulasi lebih tinggi dari pada hasil perhitungan. Pada reduksi 5% hasil simulasi memang labih rendah, namun saat mencapai reduksi 20%, hasil dari perhitungan dapat dilampaui, dan pada reduksi 25% antara

keduanya selisih 2mm. dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa baik dengan perhitungan maupun dengan simulasi hasil yang didapatkan tidak jauh berbeda. Oleh karenanya dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan tinggi dinding dari hasil proses ironing. Hasil gambar dari simulasi tinggi dinding dengan reduksi dapat dilihat pada tabel 8

Tabel 8. ketinggian cup Hasil simulasi

Reduksi (%)				
5	10	15	20	25
				
39mm	42mm	45mm	51mm	55mm

Analisa dan Evaluasi Hasil Simulasi Penambahan Gaya.

Agar didapatkan besar gaya *ironing* yang minimum, dan selongsong terbentuk dengan sempurna, dilakukan evaluasi terhadap penambahan gaya (Ali mukhtar dkk: 2016). Jika pada sudut α tertentu *cup* belum keluar dari *die*, maka dilakukan penambahan gaya hingga *cup* dapat keluar dari *die*.

Seperti terlihat pada tabel 6, pada sudut 5°, dengan penambahan gaya 200%, *cup* sudah dapat melewati *die*. Kemungkinan untuk mendapatkan nilai gaya yang lebih kecil dari prosentase dapat dilakukan, yaitu pada prosentase 175% atau dengan gaya sebesar 138 kN, ternyata *cup* sudah dapat melewati *die*. Disamping itu pada kondisi tersebut tegangan material yang terjadi adalah 336,06 MPa, dan berada dibawah UTS material.

Pada sudut 10°, *cup* baru dapat melewati *die* pada penambahan gaya 250%. Namun demikian, kemungkinan untuk memperkecil gaya masih dapat dilakukan, yaitu menjadi 240%. Dengan pengurangan tersebut, gaya minimum sudah dapat tercapai, artinya *cup* sudah dapat melewati *die*, yaitu sebesar 148

Kn. Tegangan yang terjadi adalah 334,71 MPa, dan masih dibawah UTS material.

Penambahan prosentase terbesar terjadi pada sudut 15°, yaitu 270% atau dengan gaya 163 kN. Namun demikian *cup* belum terbentuk. Disamping itu tegangan yang terjadi adalah 341,84 MPa, lebih besar daripada tegangan ijin material.

Pada sudut 20° *cup* berhasil melewati *die* setelah dilakukan penambahan gaya sebesar 240 % atau dengan gaya sebesar 157 kN. Namun demikian, besarnya tegangan yang terjadi adalah 338,74 Mpa, hampir sama besarnya dengan batas atas tegangan yang diijinkan.

Pada penambahan gaya hingga 200% atau dengan sudut $\alpha=25^\circ$, *cup* dapat melewati *die*, tetapi tegangan yang terjadi adalah 345,52 Mpa dan tidak merata.

Berdasarkan atas hasil simulasi diatas, dapat disusun sebuah hasil analisa hasil proses ironing, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 9.

Dari tabel 7 terlihat, bahwa pada sudut *die* 5° dan 10° menunjukkan, bahwa hasil simulasi proses ironing berhasil, artinya dapat terbentuk selongsong dengan spesifikasi tertentu.

Tabel 9 Analisis proses ironing pada penambahan gaya pembentukan

No	Die Angle α (°)	Force Required (Kn)	Result of Stress (MPa)	Comparing With UTS	Annotation
1	5	138	336.06	$\sigma_i < UTS$	Succesfull
2	10	148	334.71	$\sigma_i < UTS$	Succesfull
3	15	162	341.48	$\sigma_i < UTS$	Unsuccesfull
4	20	157	338.74	$\sigma_i < UTS$	Succesfull
5	25	149	345.52	$\sigma_i < UTS$	Unsuccesfull

Disamping itu pada kedua kondisi tersebut tegangan maksimum material (UTS) yang diijinkan lebih kecil daripada tegangan yang terjadi. Sebaliknya pada sudut 15°, 20°, dan 25°, tegangan yang terjadi lebih besar daripada tegangan material yang diijinkan, sehingga pada kondisi tersebut dapat dinyatakan proses ironing gagal (Adamović *et al.*:2009). Berdasarkan analisis ketinggian hasil simulasi menunjukkan pada reduksi 20 % dan 25 % didapatkan hasil yang lebih tinggi dari hasil perhitungan teoritis.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan gaya pembentukan pada selongsong peluru kaliber 20 mm, dengan material Cu Zn 7-30 dapat diketahui bahwa reduksi maksimal ketebalan dinding adalah 26,7%. Dengan gaya pembentukan sebesar 138 kN pada sudut 5°,

dan 148 kN pada sudut 10° dapat disimpulkan proses ironing berhasil, yaitu benda kerja dapat keluar melewati die, tegangan maksimum yang terjadi pada kedua kondisi tersebut lebih kecil daripada tegangan maksimum material (UTS) benda kerja. Berdasarkan variasi reduksi yang diterapkan, dapat dilihat bahwa ketinggian cup hasil simulasi menunjukkan tingkat perbedaan pada sudut 20° dan 25° yaitu 51mm dan 55mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini telah mendapatkan dukungan dari dekan, ketua jurusan Teknik Industri, dan teknik elektro. kepala laboratorium Teknik Industri Universitas PGRI Adi Buana Surabaya atas kesediaannya memfasilitasi penelitian ini di ruang laboratorium multi media.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamovic, D., Mandic, V., Jurkovic, Z., dkk. (2010), “*An Experimental Modelling And Numerical FE Analysis Of Steel-Strip Ironing Process*”, Vol. 4, Hal. 435 - 444.
- Adamović, D., Stefanović, M., Gulišija Z., Aleksandrović, S., Živković, M., Devedžić, G., (2009), “*Changing Of Tension Stress Of Ironed Aluminium Work Piece Wall* “., Journal for Technology of Plasticity, Vol. 34 Number 1-2.
- Chang, D. (1998), “*An analytical model of ironing process including redundant work effect*”, Journal of Materials Processing Technology 75 (1998) 253-258
- Delarbre, D., Montmitonne, P. (1999), “*Experimental and numerical study of the ironing of stainless steel Cups*”, Journal of Materials Processing Technology 91, 95 – 104
- Nam, J., Han K, S., (2000),” Finite Element Analysis of Deep Drawing and Ironing Process in the Steel D & I Can making”, ISIJ International, Vol. 40 (2000), No. 12, pp. 1223–1229.
- Kampus, Z. and Nardin, B. “Improving workability in ironing”, Journal of Materials Processing Technology 130-131 (2002) 64-68
- Lange Kurt, (1985), *Handbook of Metal Forming*, Mc Graw-Hill inc, Michigan
- Mukhtar Ali, M. N., I. M. L. Batan, B. Pramujati, A. S. Pramono., (2016), *Simulation of Ironing Process for Bullet Case to Get Minimum Forming Force with Variation of Die Angle and Reduction Wall Thickness*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 836, pp. 197-202.
- Sucy Ivana, (2006), *Handbook Of Die Design*, 2nd edition, Mc Graw-Hill. New york
- Suryaningrat, Rianto . (2012), *Intelligence Precise Manufacturing (Ironing Process)*., BBPT.
- Schuler. (1998), *Metal Forming Handbook* (c) Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Wang, Z., Dohda, K., Jeong, Y. (2001),” *FEM simulation of surface smoothing in the ironing process*”, Journal of Materials Processing Technology 113 (2001) 705-709.