

Studi Eksperimental *Micro Deep Drawing* Sistem Pneumatik dan Analisis Cacat Pada Material *Brass 70/30*

R. Diwihagso* dan M. Mahardika

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta 55281 Telp. +62-274-521673

E-mail: *montevinar@gmail.com

Abstrak

Microforming adalah merupakan salah satu teknologi kunci untuk tren miniaturisasi produk di bidang industri. Teknologi *Micro deep drawing* memiliki banyak keunggulan seperti kemampuan untuk mengolah logam dengan potensi produksi masal, kualitas produk yang tinggi dan fabrikasi produk logam 3D yang lebih rumit. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *cup* dari material *brass* untuk dianalisis kedalaman *cup* dan cacat akibat di pengaruh besarnya tekanan dan kecepatan *punch* dalam proses *micro deep drawing*. Studi eksperimental ini meliputi tahap persiapan material *brass* C26000 yang berupa lembaran dipotong menjadi strip untuk dibuat *blank*, pembuatan *specimen* untuk *tensile test* dan mikrostruktur, membuat desain *punch* dan *die* untuk di manufaktur, eksperimen proses *micro deep drawing* dari *blank* menjadi bentuk *cup* dan analisis cacat, data kedalaman *cup*, prosentase penipisan dinding *cup* dari hasil eksperimental. Dalam studi ini telah dilakukan eksperimen dengan variasi tekanan kompresor angin sebesar 2, 4, 6 Bar dan kecepatan *drawing* sebesar 20 mm/s, 40 mm/s, 60 mm/s. Kesimpulan studi eksperimental ini adalah proses *micro deep drawing* telah dilakukan telah menghasilkan *cup* dengan kedalaman optimum pada tekanan 2 bar dengan kecepatan 40 mm/s didapatkan $H_l = 2,595$ mm dan $H_s = 2,265$ mm. Hasil tersebut merupakan hasil terbaik karena tidak terdapat cacat pada sisi dinding maupun bawah *cup*.

Kata kunci: *micro deep drawing, punch dan die, tekanan dan kecepatan.*

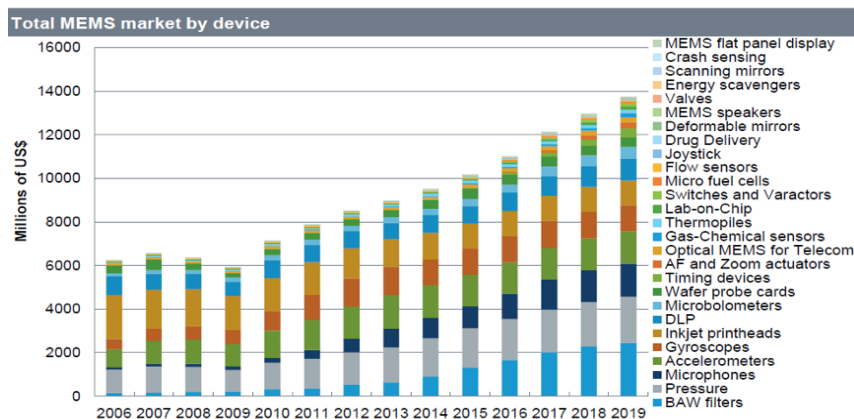
Abstract

Microforming is one of the key technologies for product miniaturization trends in the industrial field. *Micro deep drawing* technology has many advantages such as the ability to process metals with mass production potential, high product quality and fabrication of more complicated 3D metal products. This study aims to make a *cup* from *brass* material to be analyzed for *cup* depth and defects due to the influence of the amount of pressure and *punch* velocity in drawn blanks. This experimental study includes the preparation phase of C26000 *brass* material in the form of sheets cut into strips to be made *blank*, making specimens for tensile tests and microstructures, making *punch* and *die* designs for manufacturing, experimenting with *micro deep drawing* processes from blanks to *cup* shapes and defect analysis, *cup* depth data, percentage of *cup* wall depletion from experimental results. In this study, an experimental variation of *brass* compressor pressure of 2, 4, 6 Bar and *drawing* velocity of 20 mm/s, 40 mm/s, 60 mm/s has been carried out. The conclusion of this experimental study is that the process of *micro deep drawing* has been carried out to produce a *cup* with optimum depth at 2 bar pressure with a velocity of 40 mm / s obtained $H_l = 2.595$ mm and $H_s = 2.265$ mm. These results are the best results because there are no defects on the sides of the wall or under the *cup*.

Keywords: *micro deep drawing, punch dan die, pressure dan velocity.*

1. PENDAHULUAN

Pasar global untuk sistem mikro-elektromekanis, yang mencakup produk-produk seperti *airbag system, display system* dan kartrid inkjet berjumlah \$ 62 juta pada tahun 2006 menurut *Global MEMS / Microsystems Markets and Opportunities*, sebuah laporan penelitian dari SEMI dan diperkirakan akan mencapai \$ 138 juta pada 2019. Dalam beberapa tahun terakhir permintaan akan komponen mikrometalik terus menerus meningkat bersamaan dengan pesatnya perkembangan mikroelektronika, teknologi mikrosistem, energi baru, dan biomedis.



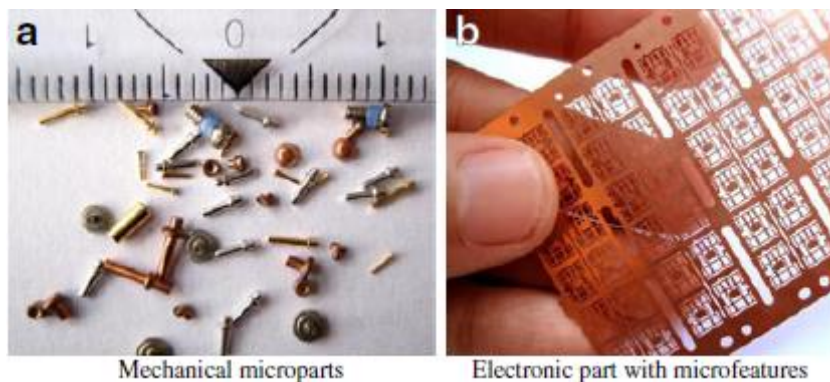
Gambar 1. Perkiraan pasar produk tertentu dengan komponen mikro
(sumber : <https://semiengineering.com/health-growth-ahead-in-mems>, 17 juni 2019)

Menurut Fu dan Chan (2013) perkembangan cepat miniaturisasi produk telah mendorong penelitian signifikan di bidang *microforming*, terutama dalam produksi komponen mikro untuk mengurangi berat dan volumenya. Berbeda dari proses pembentukan dalam skala makro, perilaku deformasi material dalam proses pembuatan mikro tidak dapat hanya dipahami dengan pengetahuan tradisional karena efek skala mikro. Karena itu, untuk memberikan pemahaman yang mendalam tentang perilaku material dalam deformasi plastis dalam skala mikro banyak upaya telah dilakukan dalam proses *microforming* khas seperti *micro deep drawing, blanking, bulging, stamping, forging*.

Menurut Sridhar dkk (2015) faktor penting dalam proses pembentukan mikro adalah *Blank holder force (BHF)* dan *optimisation BHF, Punch force dan Punch velocity, Friction, Blankshape, Forming Limits, Stress dan Strain Distribution, Thickness variation, Defects*. Kekuatan *blank holder* yang optimal sangat penting dalam pembentukan produk *micro deep drawing* dengan kualitas tinggi. Kerutan dan fraktur akan terjadi ketika gaya *blank holder* yang diberikan terlalu kecil atau terlalu tinggi untuk kecepatan *drawing* yang diberikan. Batas atas awal tekanan yang diijinkan *blank holder* meningkat dengan meningkatnya kecepatan *punch*. Koefisien gesekan dalam *micro deep drawing* menurun dengan meningkatnya kecepatan *punch* seperti yang diketahui pada *deep drawing* makro sehingga pengaruh koefisien gesekan tergantung kecepatan *punch* (Vollertsen dkk, 2004). Misalnya, dalam pembentukan tembaga, tepi *cup* akan berkerut ketika BHF kurang dari 4,2 N dan ketika BHF lebih tinggi dari 5,6 N bagian bawah *cup* akan retak. Dalam penelitian Irthiea dkk (2014) pengaruh kondisi gesekan dipelajari melalui simulasi numerik dengan menggunakan

model gesekan Coulomb dengan nilai yang berbeda secara terpisah untuk setiap koefisien gesekan pada bagian antarmuka *blank/holder*, *blank/rubber* dan *blank/contact punch*. Mengenai efek koefisien gesekan (μ_{BH}) pada antarmuka *blank/holder*, nilai-nilai 0 dan 0,25 didefinisikan untuk koefisien gesekan pada bagian *blank/rubber* dan antarmuka *blank/punch*. Pada penelitian Saotome dkk (2001) tentang *drawability* dilakukan menggunakan baja lembaran sangat tipis dengan ketebalan 0,05, 0,1, 0,2 dan 1,0 mm. Diameter *punch* D_p berkisar 0,5 hingga 40 mm. Diameter *punch* relatif terhadap ketebalan D_p/t dipilih sebagai parameter eksperimental penting dan dipilih dari 10 hingga 100. *Drawability* dievaluasi, dan hukum kesamaan dalam *deep drawing* adalah telah diperiksa. Dan hasilnya adalah sebagai berikut: (1) dalam rentang dari $D_p/t = 10$ hingga 100, LDR $\beta = D_s/D_p$ berkurang dengan meningkatnya D_p/t , (2) hukum persamaan dari *deep drawing* logam tipis adalah diadaptasi dalam kisaran di atas $D_p/t = 40$. Mekanisme *drawing* di bawah $D_p/t = 20$ harus berbeda dari D_p/t di atas 40., (3) Untuk $D_p/t = 10$ dan $R_d/t = 5,0$, yang dominan adalah bending mekanisme pembentukan karena efek tekanan *blank holder* pada *drawability* ditemukan minimal dan tekanan tidak berpengaruh pada kerja materi selama paruh kedua proses *drawing*.

Untuk menghasilkan komponen mikro dengan fitur yang lebih kompleks dan standar kualitas dan fungsionalitas yang tinggi di perlukan penelitian dan pengembangan proses *micro forming* yang terbaru dan inovatif sehingga dapat memenuhi permintaan pasar.



Gambar 2. Micropart industri

Teknologi *micro deep drawing* memiliki banyak keuntungan seperti kemampuan untuk mengolah logam metal dengan potensi produksi masal, kualitas produk yang tinggi dan fabrikasi produk logam 3D yang lebih kompleks.

Metode pembentukan logam mikro dengan material lembar tipis dengan sistem pneumatik belum banyak dilakukan. Proses *micro deep drawing* dari logam tipis dapat diekstrusi pada suhu ruangan tanpa mengurangi kualitas permukaan *cup* dengan proses *micro deep drawing* pneumatik. Selama proses *micro deep drawing* pneumatik dengan kondisi tekanan dan kecepatan *drawing* sangat berpengaruh terhadap perilaku deformasi *brass*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat *cup* dari material *brass* untuk dianalisis kedalaman *cup* dan cacat akibat di pengaruh besarnya tekanan dan kecepatan *punch* dalam proses *micro deep drawing*.

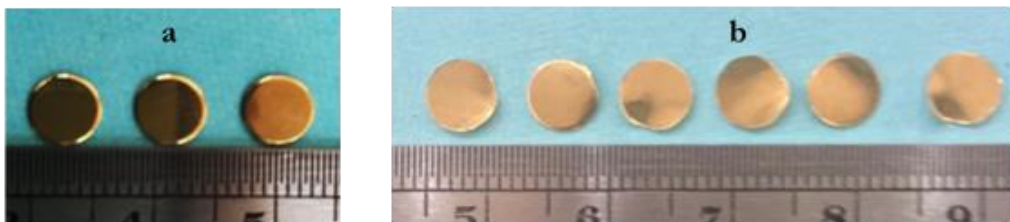
2. METODE PENELITIAN

Tahapan studi ini adalah persiapan dan pemilihan material *brass* yang digunakan, kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan *blank*, proses pembuatan spesimen untuk di uji tarik, dan proses pembuatan *cup* dengan mesin *micro deep drawing pneumatik*. Material *brass* yang digunakan adalah berupa lembaran *brass 70/30 (Yellow brass sheet)* dari Nilaco Corp) dengan ketebalan 300 μm sesuai dengan ASTM B 36/B 36M – 06.

Tabel 1. Komposisi material *brass* ASTM B 36/B 36M – 06

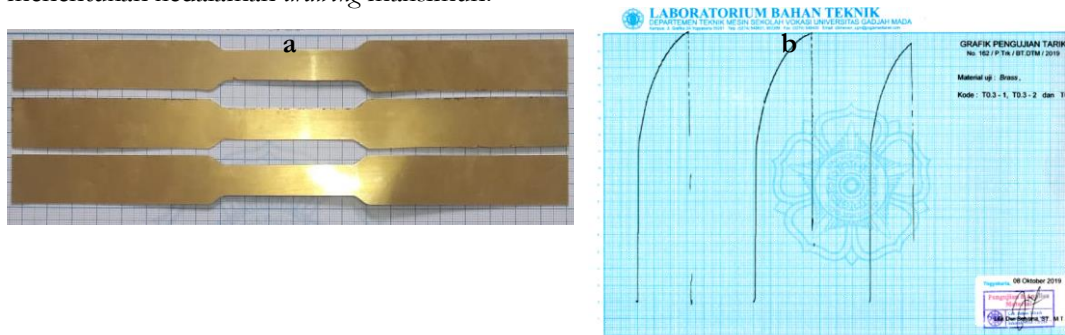
UNS No.	Copper	Lead	Iron	Zinc
C26000	68,5-71,5	0,07 max	0,05 max	remainder

Lembaran *brass* dipilih yang baik dengan tidak tertekuk dan tergores. *Brass* kemudian di potong menjadi strip-strip dilanjutkan dengan proses pembuatan *blank* dengan diameter 6 mm. Pembuatan *blank* dilakukan dengan mesin *micro punching* pneumatik. Kemudian dilakukan penyotiran kembali guna memilih *blank* yang tidak terdapat kerusakan maupun cacat tekukan maupun berbentuk oval yang disebabkan karena proses *blanking*.



Gambar 3. (a) *blank* baik, (b) *blank* rusak

Selain membuat *blank* juga dilakukan pembuatan spesimen untuk pengujian tarik. Uji tarik material *Brass 70/30* dilakukan untuk mendapatkan *mechanical properties*, antara lain nilai *UTS (Ultimate Tensile Strength)* material yang akan dilakukan proses *drawing*. Nilai pengujian tarik ini akan digunakan untuk perhitungan menentukan tegangan maksimum yang dibutuhkan pada proses *drawing*. Selain itu untuk mendapatkan nilai regangan yang terjadi akibat uji tarik untuk menentukan kedalaman *drawing* maksimum.



Gambar 4. (a) specimen uji tarik, (b) diagram hasil uji tarik

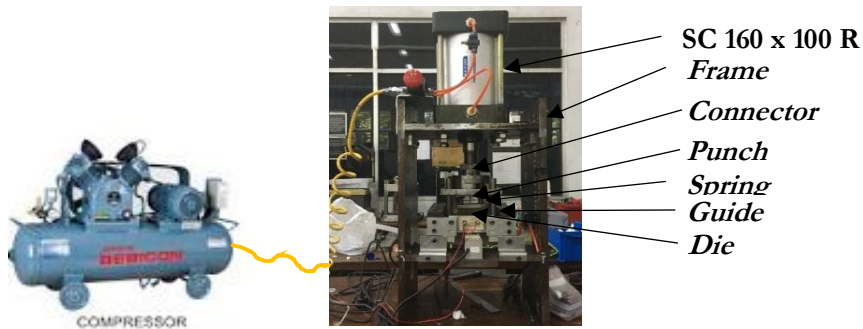
Dari pengujian diagram uji tarik didapatkan hasil seperti pada Tabel 2. berikut :

Tabel 2. Hasil uji tarik material *brass* dengan ketebalan 300 μ m

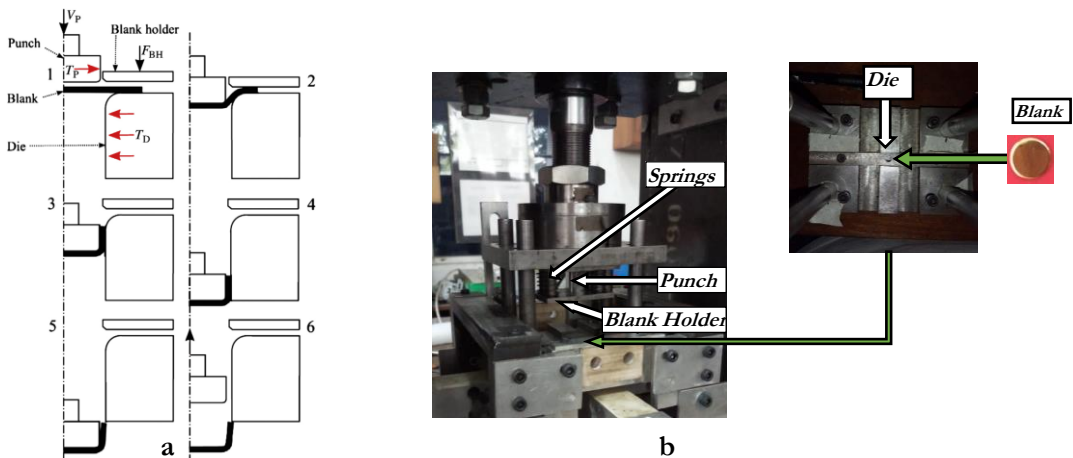
No	Kode	Teg. Luluh σ_y (MPa)	Teg. Max σ_u (MPa)	Regangan ϵ (%)
1.	T0.3-1	224,90	408,11	34,52
2.	T0.3-2	230,42	409,64	38,28
3.	T0.3-3	226,36	391,96	29,12
Rerata		227,22	403,23	33,97

* T0.3-1 adalah kode uji tarik sampel ke-1 dengan tebal 0,3 mm

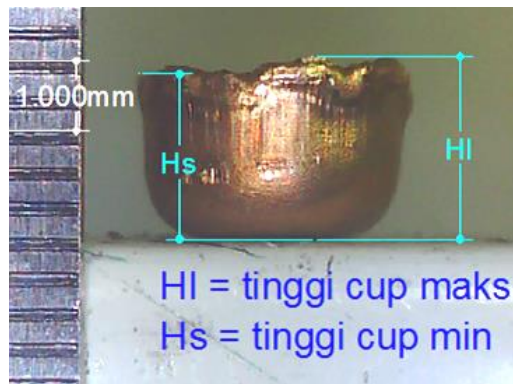
Proses *micro deep drawing* diawali dengan meletakkan *blank* pada *die*. Dengan tekanan dan kecepatan tertentu *punch* turun kebawah mendekati *blank* dan kemudian *blank holder* menekan *blank* dan *punch* mendorong tengah bagian *blank* sehingga membentuk sebuah *cup*. Setelah *cup* terbentuk *punch* ditarik keatas oleh gaya tarik dari pneumatik. Kemudian *cup* dianalisis dengan mengukur tinggi *cup* maksimum dan minimum serta cacat yang terjadi akibat proses *drawing* dengan menggunakan kamera dinolite. Proses ini dapat di ilustrasikan dengan 6 tahapan skematis seperti Gambar 6 berikut ini :



Gambar 5. Mesin *micro deep drawing* pneumatik



Gambar 6. (a) Skema *micro deep drawing* (Jiang, 2016) (b) Peletakan *blank* pada *die*

Gambar 7. *Cup* hasil proses *micro deep drawing* pneumatik

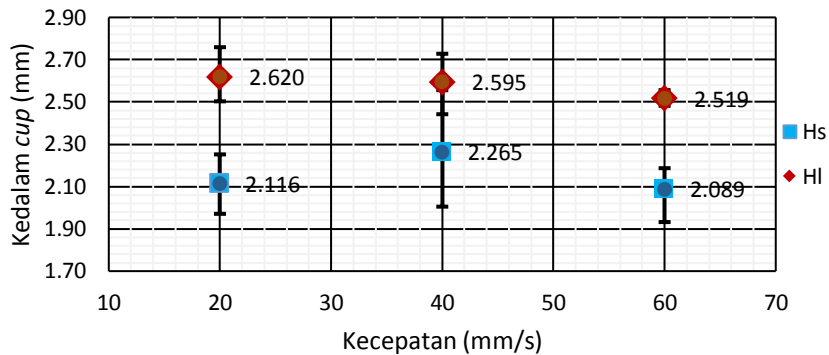
Pada eksperimen ini tidak memakai *chussion/pad* dan menggunakan kombinasi tekanan dengan kecepatan *punch* dalam mendorong *blank* untuk menghasilkan *cup*. Kombinasi variabel tekanan 2 bar dengan kecepatan 20 mm/s, 40 mm/s, 60 mm/s, tekanan 4 bar dengan kecepatan 20 mm/s, 40 mm/s, 60 mm/s dan tekanan 4 bar dengan kecepatan 20 mm/s, 40 mm/s, 60 mm/s.

Tabel 3. Kondisi ukuran saat penelitian

Kondisi Material	Brass 70/30			Satuan
Tebal <i>blank</i>	300			μm
Diameter <i>Punch</i>	3,15			mm
Diameter <i>Die</i>	3,94			mm
Diameter <i>Blank</i>	6,00			mm
<i>Drawing Ratio</i>	1,90			
Gaya <i>blank holder</i>	67,88			N
Suhu <i>die</i> and <i>blank holder</i>	Suhu ruangan			$^{\circ}\text{C}$
Tekanan	2	4	6	Bar
Kecepatan <i>punch</i>	20	40	60	mm/s

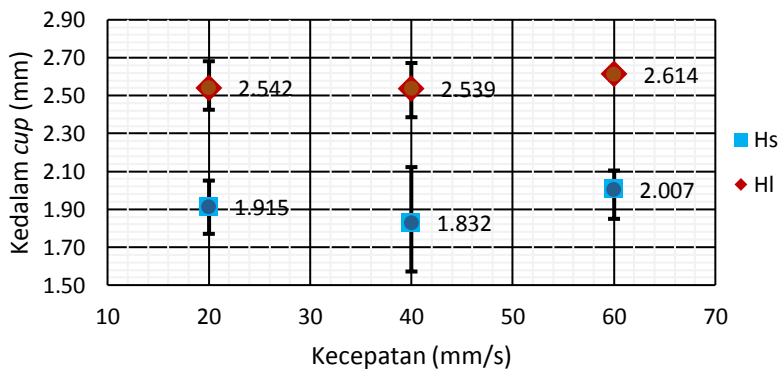
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi *cup* dalam proses *micro drawing* dapat disebabkan oleh adanya kecepatan dan tekanan *punch*. Tumbukan yang terjadi antara *punch* dengan *blank*. Untuk menghentikan laju *punch* yang bergerak maka *blank* timbul gaya yang cukup untuk untuk menghilangkan energi kinetiknya, sehingga memperpanjang ketinggian *cup* yang didorong *punch* selama tumbukan sehingga mengurangi gaya tumbukan rata-rata. Bentuk *cup* yang terjadi adalah bentuk redaman dari energi kinetik yang terjadi. Bertambahnya kecepatan akan menghasilkan energi kinetik yang lebih besar dan semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk menghentikannya, sehingga akibat yang ditimbulkannya semakin dalam *cup*. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada grafik Gambar 8, 9, dan 10.



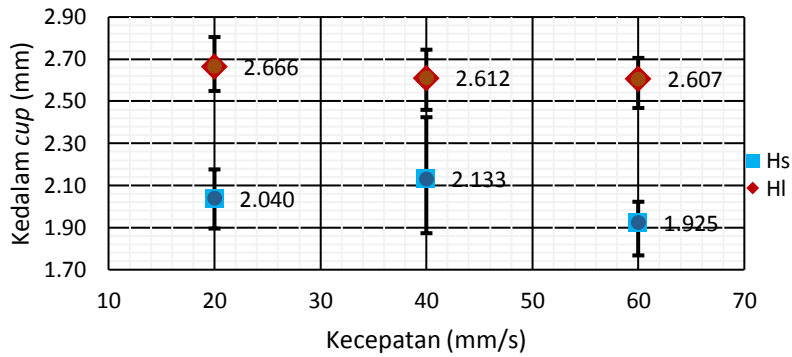
Gambar 8. Grafik kecepatan terhadap kedalaman pada tekanan 2 bar

Kondisi final pada pengujian *micro deep drawing* memenuhi kriteria apabila kedalaman *cup* lebih dari setengah dari diameter *cup*. Pada Gambar 8 saat tekanan 2 bar kecepatan *drawing* 20 mm/s didapatkan HI = 2,620 mm dan Hs = 2,116 mm, kecepatan 40 mm/s didapatkan HI = 2,595 mm dan Hs = 2,265 mm dan kecepatan 60 mm/s didapatkan HI = 2,519 mm dan Hs = 2,089 mm. Berdasarkan hasil Gambar 8 pada tekanan 2 bar maka kecepatan optimum untuk menghasilkan *cup* yang baik adalah kecepatan 40 mm/s.



Gambar 9. Grafik kecepatan terhadap kedalaman pada tekanan 4 bar

Pada Gambar 9 saat tekanan 4 bar kecepatan *drawing* 20 mm/s didapatkan HI = 2,542 mm dan Hs = 1,915 mm, kecepatan 40 mm/s didapatkan HI = 2,539 mm dan Hs = 1,832 mm dan kecepatan 60 mm/s didapatkan HI = 2,614 mm dan tinggi *cup* Hs = 2,007 mm. Hasil Gambar 9 menunjukkan bahwa untuk tekanan 4 bar kecepatan optimum untuk menghasilkan *cup* yang baik adalah kecepatan 60 mm/s



Gambar 10. Grafik kecepatan terhadap kedalaman pada tekanan 6 bar

Pada Gambar 10 saat tekanan 6 bar kecepatan *drawing* 20 mm/s didapatkan HI = 2,666 mm dan Hs = 2,040 mm, kecepatan 40 mm/s didapatkan HI = 2,607 mm dan Hs = 2,133 mm dan kecepatan 60 mm/s didapatkan HI = 1,925 mm dan Hs = 2,007 mm. Berdasarkan hasil Gambar 10 bahwa untuk tekanan 6 bar kecepatan optimum untuk menghasilkan *cup* yang baik adalah kecepatan 20 mm/s.

Dari hasil pengamatan dapat dibuat tabulasi cacat yang di sebabkan oleh proses *micro deep drawing*. Dari semua benda uji tidak terdapat *wrinkling* dan *tearing* hal ini disebabkan karena tebal *blank* adalah 300 μ m.

Tabel 4. Kondisi *cup* setelah proses *micro deep drawing*

Tekanan (Bar)	Kecepatan (mm/s)	Defect		
		<i>Wrinkling</i>	<i>Earing</i>	<i>Tearing</i>
2 bar	20	×	×	×
	40	×	×	×
	60	×	×	×
4 bar	20	×	×	×
	40	×	o	×
	60	×	o	×
6 bar	20	×	o	×
	40	×	o	×
	60	×	o	×

× = tidak terjadi

o = terjadi

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kecepatan dan tekanan sangat berpengaruh terhadap kedalaman *cup*. Perpaduan tekanan dan kecepatan dapat menghasilkan bentuk *cup* yang baik pada kondisi tekanan 2 bar dengan kecepatan 40 mm/s dengan kedalaman maksimum 2,595 mm dan kedalaman minimum 2,265 mm sehingga selisihnya 0,33 mm sehingga relatif lebih rata. *Cup* yang baik adalah tidak terdapat kerusakan pada dinding dan bagian bawah *cup*. Radius *punch* sangat berpengaruh sekali terhadap kerusakan yang akan terjadi pada *radii cup*. Kerusakan akibat dari proses *drawing* terjadi akibat *blank holder force* terlalu rendah sehingga *blank* yang dibentuk menjadi *cup* menjadi *earing*. Kondisi paling kritis terjadi pada daerah *radii* dari *cup*, karena di daerah tersebut terdapat dua kombinasi tegangan radial dan tegangan tangensial yang harus dijaga secara seimbang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Fu, M. W., Chan. W. L., 2013 A review on the state-of-the-art microforming technologies, *Int J Adv Manuf Technol* 67:2411–2437.
- <https://semiengineering.com/health-growth-ahead-in-mems>, 17 juni 2019
- Irthia, Ihsan Khalaf (2014) Process analysis and design in micro deep drawing utilizing a flexible die. *PbD thesis*.
- Luo.L, Jiang.Z, Wei.D, . Manabe. K.I, Sato.H, He.X, Li.P., 2015, An experimental and numerical study of micro deep drawing of SUS304 circular cups.
- Saotome.Y, Yasuda.K, Kaga.H., 2001, Microdeep drawability of very thin sheet steels, *Journal of Materials Processing Technology* 113, page 641-647.
- Sridhar R., Inbarasan S., Ramkumar R., Shankar S., Review on micro deep drawing process for thin foil materials, *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJJET)*.
- Vollertsen,F., Hu,Z., Nichoff,H. , Schulze,H., Theiler,C., vol. 151, pp. 70-79, 2004, State of the art in micro forming and investigations into micro deep drawing, *Journal of Materials Processing Technology*.