

Pengaruh Kecepatan *Punch* Terhadap Kedalaman Penetrasi dan Cacat Hasil *Micro Deep Drawing* dengan Sistem Pneumatik pada Material Aluminium AA1100

M. Habibi¹, M. Mahardika¹

Universitas Gadjah Mada: Bulaksumur, Caturtunggal, Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
e-mail: mohd.habibie09@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh hasil *micro deep drawing* yang berkualitas sesuai dengan kebutuhan produk mikro pada saat ini. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium AA1100 dengan ketebalan 250 μm untuk membentuk *cup* mikro. Material dengan memperhatikan batas perlakuan yang sesuai standar akan dilakukan uji tarik untuk mengetahui batas perlakuan pada material tersebut. Sebelum proses *drawing* maka akan terlebih dahulu material lembaran akan dibentuk menjadi blank dengan diameter 6 mm. Parameter yang diperhatikan pada penelitian ini adalah pengaruh kecepatan *punch* dan tekanan terhadap kedalaman penetrasi dan cacat yang timbul pada produk hasil *drawing*. Setelah dilakukan proses *deep drawing* maka dapat disimpulkan bahwa kedalaman *cup* dipengaruhi oleh kecepatan dan tekanan *punch* dibuktikan dengan bertambahnya ketinggian *cup* setiap penambahan kecepatan *punch* dan tekanan, hal ini disebabkan oleh perubahan energi yang dihasilkan saat kecepatan dan tekanan yang dinaikkan sehingga berpengaruh pada kedalaman *cup*. Kecepatan *punch* dan tekanan juga terbukti mempengaruhi timbulnya cacat pada *cup* hasil *drawing*, *cup* dengan tekanan dan kecepatan yang tinggi akan mengalami cacat *wrinkling* dan *earing*. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya *blank holder force* pada saat tekanan kompresor ditingkatkan dan akan meningkatkan energi dari *punching* terhadap blank dan menyebabkan cacat pada *cup*. Parameter kecepatan *punch* dan tekanan kompresor sangat penting diperhatikan dalam proses *micro deep drawing* dengan sistem pneumatik dikarenakan akan mempengaruhi dan menentukan produk akhir yaitu *cup* dengan dimensi yang baik.

Kata Kunci: *micro deep drawing, microforming, micro cup, micro punch.*

Abstract

This research was conducted to obtain quality *micro deep drawing* results in accordance with the needs of micro products at this time. The material used in this study was aluminum AA1100 with a thickness of 250 μm to form a micro cup. Material by taking into account the standard treatment limits will be subjected to a tensile test to determine the treatment limits on the material. Before the drawing process, the sheet material will be formed into a blank with a diameter of 6 mm. The parameters considered in this study are the effect of punch speed and pressure on the depth of penetration and defects that arise in the drawing product. After a *deep drawing* process, it can be concluded that the depth of the cup is affected by the speed and pressure of the punch as evidenced by the increase in height of the cup with each increase in punch speed and pressure. Punch speed and pressure have also been shown to influence the occurrence of defects in the drawing cup, cups with high pressure and speed will experience *wrinkling* and *earing* defects. This is caused by increasing the blank holder force when the compressor pressure is increased and will increase the energy of punching against the blank and cause defects in the cup. The parameters of punch speed and compressor pressure are very important to be considered in the process of *micro deep drawing* with a pneumatic system because it will affect and determine the final product, namely a cup with good dimensions.

Keywords: *micro deep drawing, microforming, micro cup, micro punch.*

1. PENDAHULUAN

kebutuhan untuk memproduksi berbagai bagian miniatur khususnya yang terbuat dari lembaran logam semakin meningkat. Untuk menghasilkan komponen mikro dengan fitur yang lebih kompleks dan standar kualitas dan fungsionalitas yang tinggi, perusahaan manufaktur harus mengembangkan proses fabrikasi baru dan inovatif sehingga perusahaan manufaktur tetap dapat bersaing. Untuk produk dalam ukuran nanometer dan rentang mikrometer, bukanlah hal sepele untuk menggambarkan bagaimana komponen ini diukur, dibuat, ditangani, dirakit dan dikendalikan. Jika produk mikro

disajikan oleh pasar yang besar, sangat penting untuk mengembangkan produksi teknologi, proses dan material yang memiliki kemampuan untuk mendukung produksi industri disebutkan pada perkembangan teknologi dalam skala mikro, industri harus mempertimbangkan teknologi modern di rantai produksi produk mikro. Dalam pembentukan makro sudah diketahui, bahwa kecepatan pukulan memiliki pengaruh pada proses *deep drawing*. Pengaruh ini sangat disebabkan oleh perilaku gesekan tergantung kecepatan antara *blank* dan *tool punch*. Pengaruh lebih lanjut adalah perilaku pembentukan bahan yang bergantung pada laju regangan. Dalam rentang mikro, pengaruh kecepatan pukulan pada proses *deep drawing*, bisa karena efek ukuran, berbeda dari yang ada di kisaran makro.

2. METODE PENELITIAN

Perkembangan produk miniatur telah mendorong penelitian di bidang *micro forming*, terutama dalam produksi bagian mikro, untuk mengurangi berat dan volumenya. Atas dasar ini diperlukan suatu analisis transfer pengetahuan dari dunia makro ke dunia mikro, seperti ulasan tentang penelitian dasar dan terapan terbaru yang terkait dengan efek ukuran, dalam hal proses dan pembentukan. Teknologi yang sudah mapan dalam skala makro tidak dapat langsung diterapkan ke ukuran mikro, karena sifat-sifat bahan ukuran mikro bervariasi secara signifikan dibandingkan dengan ukuran makro.

Ada perbedaan antara *micro deep drawing* dengan *deep drawing* konvensional, dalam *micro deep drawing*, sebuah *cup* dibentuk menggunakan logam lembaran dengan tebal antara 0,001 dan 0,300 mm, dan sebuah *punch* yang berdiameter antara 1 sampai 9 mm. Sedangkan *deep drawing* konvensional adalah *cup* yang dibentuk dari bahan dengan tebal antara 0,09 dan 1 mm, dengan *punch* yang berdiameter antara 100 dan 1000 mm [2]. *Drawing* merupakan salahsatu proses *sheet metal forming* yang dipakai untuk membuat bagian yang berbentuk cangkir, berbentuk kotak, atau bagian melengkung dan cekung yang rumit. Proses tersebut dilakukan dengan cara meletakkan lembaran logam diatas rongga cetakan kemudian lembaran logam diberikan dorongan ke dalam lubang dengan *punch*. Kedua ujung lembaran biasanya dijepit oleh *blankholder*. Produk dari *drawing* seperti kaleng minuman, amunisi, panci masak, dan bodi mobil.[3]. *Deep drawing* adalah salah satu proses yang paling banyak digunakan dalam *Sheet Metal forming*, dimana blank secara radial ditarik ke dalam *dies* oleh aksi mekanis dari *punching*. *Deep drawing* efektif dalam pembuatan bagian-bagian yang presisi dan rumit dengan fitur simetris dan asimetris yang memiliki aplikasi luas dalam kehidupan kita sehari-hari [4].

2.1. Pengacuan Pustaka

Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif, peneliti melakukan studi literatur untuk mendapatkan pemahaman dan pengetahuan tentang *micro deep drawing* dan perkembangannya melalui penelitian yang terdahulu seperti uraian dibawah ini.

Parameter penting dalam proses *micro deep drawing* ialah ketebalan material yang bervariasi yang akan mempengaruhi hasil *drawing*, dapat menyebabkan konsentrasi tegangan di berbagai zona bagian yang di *drawing* dan dapat memunculkan bagian yang cacat. Variasi ketebalan material akan memiliki pengaruh lebih besar ketika produk yang dibuat dalam skala mikro dengan material yang sangat tipis. Material yang digunakan Al 1050 dengan gaya *punch* 5, 13, 20 N/mm² pada material dengan ketebalan 0.50, 0.1, 0.2 mm dan menghasilkan produk dengan cacat *thinning* (penipisan) dan *cracking* (putus)[5]. Dalam pembentukan makro sudah diketahui, bahwa kecepatan pukulan memiliki pengaruh pada proses *deep drawing*. Pengaruh ini sangat disebabkan oleh perilaku gesekan tergantung kecepatan antara *blank* dan *tool punch*. Pengaruh lebih lanjut adalah perilaku pembentukan bahan yang bergantung pada laju regangan. Dalam rentang mikro, terdapat pengaruh kecepatan *punch* pada proses *deep drawing*, bisa karena efek ukuran, berbeda dari yang ada di kisaran makro. penelitian ini menggunakan strip aluminium 99.5 dengan ketebalan 0.05 mm dilakukan dengan kecepatan *punch* berkisar dari 1 mm / s hingga 1000 mm / s dan gaya *punch* 3 N/mm². Perilaku regangan yang terjadi dengan kecepatan pukulan yang berbeda diselidiki berdasarkan mikroskop [1]. *Micro deep drawing* telah banyak dilakukan penelitian. Namun biasanya dilakukan dengan kecepatan *punch* yang relatif rendah, misalnya 1 mm / s. Pada saat yang sama, die yang ringan dalam proses *micro deep drawing* memungkinkan untuk memvariasikan kecepatan *punch* dalam kisaran yang relatif besar. Selain itu, meningkatkan kecepatan *punch* sangat mempengaruhi proses produksi massal di industri. Jadi *micro deep drawing* dengan diameter *punch* 1 mm dilakukan dengan kecepatan *punch* yang berbeda (1, 10 dan 100 mm/s) dalam penelitian ini. Koefisien gesekan dalam *micro deep drawing* berkurang dengan meningkatnya kecepatan *punch*. Menggunakan material blank Al99.5 dengan ketebalan 0,02 mm, limit *drawing* ratio $b = 1,8$ cocok digunakan dengan kecepatan *punch* dari 1 hingga 100 mm / s. *Blank holder force* akan

meningkatat dengan meningkatnya kecepatan *punch*. Koefisien gesekan juga diketahui dipengaruhi oleh kecepatan *punch* [6].

2.2. Landasan Teori

Pembagian area pada proses *cup drawing* menjadi tiga area agar mudah untuk dipahami. Daerah annular luar disebut *flensa* dimana lembaran *blank* biasanya bersentuhan langsung dengan bahu *die* dan *blank holder*. Kemudian area *cup wall* yaitu bagian dalam yang terletak pada ruang antara sudut-sudut sekitar *punch* dan *die*. Area terakhir adalah area yang bersentuhan dengan bagian bawah *punch drawing*. Karena banyak variabel yang harus diperhatikan dalam proses ini, seperti gesekan, *blank holder force*, radius sudut *die*, radius sudut *punch* dan ketebalan *blank* agar diperoleh *cup* yang baik tanpa cacat [7]. Gaya untuk *drawing* dijelaskan adalah sebagai berikut:

$$P = \left[\pi D_p t (1.1\sigma_0) \ln \left(\frac{D_0}{D_p} \right) + \mu \left(2H_B \frac{D_p}{D_0} \right) \right] \exp \left(\frac{\mu\pi}{2} \right) \dots\dots\dots 3.1$$

$$H_B = \left[\left\{ \pi (D_0^2 - D_d^2) \right\} / 4 \right] \times \sigma_H \dots\dots\dots 3.2$$

$$\sigma_H = 0.02 \times \frac{\sigma_0 + S_u}{2} \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan:

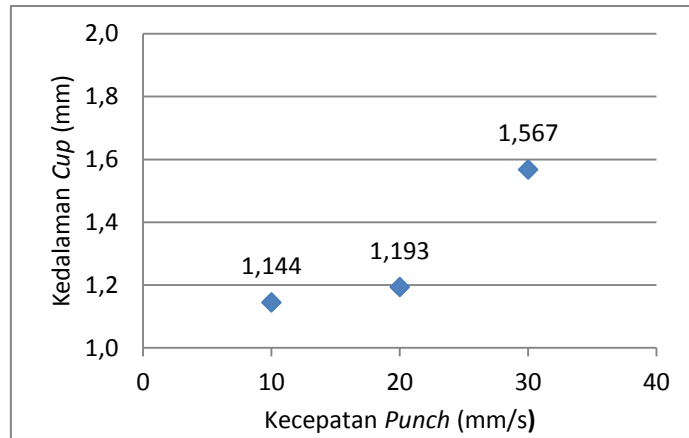
- | | | | |
|----------------|---|----------------|---|
| P | = Gaya total untuk <i>drawing</i> (N) | μ | = Koefisien gesekan pada material |
| t | = Ketebalan dinding <i>cup</i> (mm) | H_B | = Gaya <i>blank holder</i> (N) |
| σ_0 | = Tegangan pada material (N/mm ²) | σ_H | = Tegangan saat di <i>holder blank</i> (N/mm ²) |
| D ₀ | = Diameter lembaran <i>blank</i> (mm) | σ_0 | = True stress (N/mm ²) |
| D _p | = Diameter <i>punch</i> (mm) | S _u | = Ultimate Tensile Stress (N/mm ²) |
| D _d | = Diameter <i>die</i> (mm) | π | = 3.14 |

Tabel 1. Kondisi material dan tools pada saat pengujian

Material	Aluminium AA1100
<i>Punch diameter</i> (mm)	3.15
<i>Die inner diameter</i> (mm)	3,94
<i>Punch radius</i> (mm)	0.5
<i>Clearence</i> (mm)	0,29
<i>Blank thickness</i> (mm)	0,25
<i>Blank diameter</i> (mm)	6.00
Kecepatan <i>punch</i> (mm/s)	10, 20 dan 30
<i>Drawing limit ratio</i>	1.90
<i>Blank holder force</i> (N)	67.88

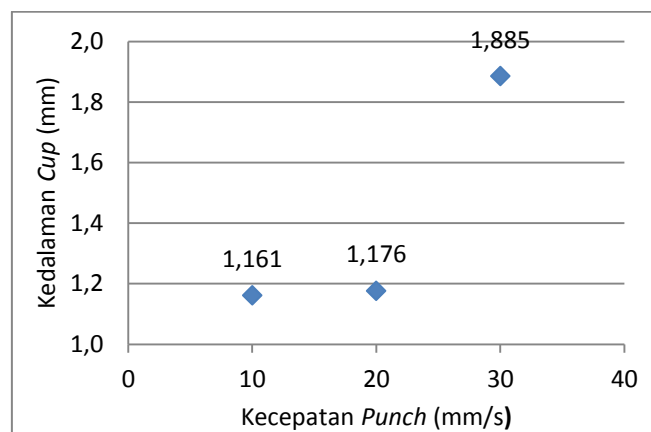
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil pengujian pengaruh kecepatan *punch* terhadap kedalaman penetrasi pada proses *micro deep drawing* seperti pada gambar 1, 2 dan 3 di bawah ini.



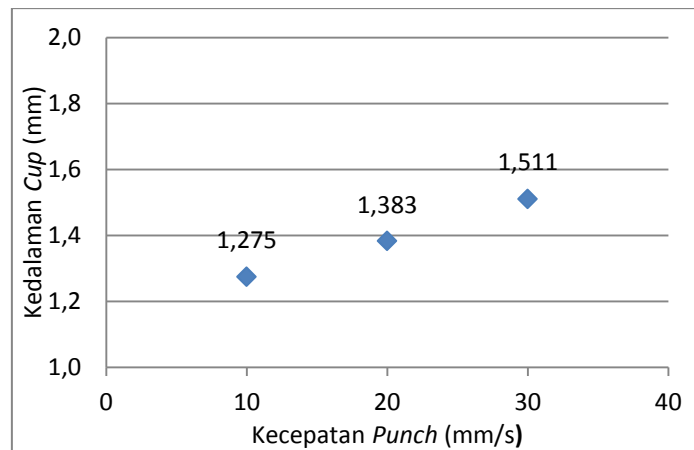
Gambar 1. Pengaruh kecepatan *punch* terhadap kedalaman *cup* tekanan 3 bar.

Hasil pengamatan di atas dapat disimpulkan bahwa dengan tekanan kompresor yang sama yaitu 3 bar dan variasi kecepatan *punch* 10, 20, 30 mm/s. Setiap penambahan kecepatan akan berpengaruh pada kondisi *cup* yang akan terbentuk, setiap peningkatan kecepatan flensa akan mengecil sebesar 0,04 mm, diameter dalam *cup* akan bertambah sebesar 0,05 sampai 0,29 mm, diameter luar *cup* berkurang sebesar 0,07 mm, sedangkan ketebalan dinding akan mengalami penipisan di area sudut bawah dan atas *die* sebesar 0,05 sampai 0,15 mm di area sudut *die* bawah dan sudut atas *die* sebesar 0,02 mm. Kemudian tinggi *cup* juga akan bertambah dengan pertambahan kecepatan *punch* yaitu berkisar antara 0,049 sampai 0,374 mm. Seluruh *cup* dengan tekanan 3 bar dapat digunakan atau tanpa cacat.



Gambar 2. Pengaruh kecepatan *punch* terhadap kedalaman *cup* tekanan 4 bar

Hasil pengamatan di atas dapat disimpulkan bahwa dengan tekanan kompresor yang sama yaitu 4 bar dan variasi kecepatan *punch* 10, 20, 30 mm/s. Setiap penambahan kecepatan akan berpengaruh pada kondisi *cup* yang akan terbentuk, setiap peningkatan kecepatan flensa akan mengecil sebesar 0,015 sampai 0,709 mm, diameter dalam *cup* akan bertambah sebesar 0,20 mm, diameter luar *cup* berkurang sebesar 0,08 mm, sedangkan ketebalan dinding akan mengalami penipisan di area sudut atas *die* sebesar 0,01 mm, sudut bawah *die* akan mengalami penipisan sebesar 0,03 mm, sedangkan *cup* dengan kecepatan 30 mm/s di bagian sudut *die* bawah mengalami cacat sobek (*earing*). Kemudian tinggi *cup* juga akan bertambah dengan pertambahan kecepatan *punch* yaitu berkisar antara 0,015 sampai 0,709 mm. Pada kombinasi ini terdapat cacat *wrinkling* dan *earing* pada *cup* dengan kecepatan 30 mm/s, sedangkan sisanya *cup* dapat dibentuk dengan baik.



Gambar 3 Pengaruh kecepatan *punch* terhadap kedalaman *cup* tekanan 5 bar.

Hasil pengamatan di atas dapat disimpulkan bahwa dengan tekanan kompresor yang sama yaitu 5 bar dan variasi kecepatan *punch* 10, 20, 30 mm/s. Setiap penambahan kecepatan akan berpengaruh pada kondisi *cup* yang akan terbentuk, setiap peningkatan kecepatan flensa yang terbentuk akan tetap sama yaitu 0,74 mm, diameter dalam *cup* akan bertambah sebesar 0,29 mm, diameter luar *cup* berkurang sebesar 0,05 mm, sedangkan ketebalan dinding akan mengalami penipisan di area sudut atas *die* sebesar 0,01 sampai 0,02 mm, sudut bawah *die* akan mengalami penipisan sebesar 0,02 sampai 0,05 mm, sedangkan *cup* dengan kecepatan 30 mm/s di bagian sudut *die* bawah mengalami cacat sobek (*earing*). Kemudian tinggi *cup* juga akan bertambah dengan pertambahan kecepatan *punch* yaitu berkisar antara 0,108 sampai 0,128 mm. Pada kombinasi ini semua *cup* mengalami cacat *wrinkling*, sedangkan *cup* dengan kecepatan 30 mm/s mengalami cacat *wrinkling* dan *earing*.

Dari hasil pengamatan *cup* dengan menggunakan mikroskop digital pada kecepatan yang ditingkatkan, maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan *punch* berpengaruh terhadap tinggi *cup*. Bertambahnya kecepatan akan menghasilkan energi kinetik yang lebih besar dan semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk menghentikannya, hal itu menyebabkan *cup* akan semakin dalam.

Berikut adalah hasil pengujian yang menunjukkan pengaruh kecepatan *punch* terhadap cacat yang ditimbulkan pada *cup* hasil *drawing* seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Pengaruh kecepatan *punch* terhadap cacat *cup* hasil *drawing*

Tekanan kompresor (bar)	Kecepatan <i>punch</i> (mm/s)		
	10	20	30
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	<i>Wrinkling</i> <i>Earing</i>
5	<i>Wrinkling</i>	<i>Wrinkling</i>	<i>Wrinkling</i> <i>Earing</i>

Keterangan:
 ✓ : baik/tidak terjadi cacat

Pada tabel 2 menjelaskan hubungan kecepatan *punch* terhadap *cup* dan cacat yang ditimbulkan. Seluruh *cup* dengan tekanan 3 bar dapat terbentuk dengan baik tanpa cacat yang ditimbulkan. Sedangkan *cup* dengan tekanan 4 bar dan kecepatan yang sama terdapat hasil yang berbeda, dimana *cup* dengan kecepatan 10 dan 20 mm/s terbentuk dengan baik tanpa cacat, akan tetapi *cup* dengan tekanan 4 bar pada kecepatan 30 mm/s, *cup* mengalami cacat *wrinkling* pada sisi bawah *cup* dan *earing* pada flensa *cup*. Kondisi *cup* dengan tekanan 5 bar seluruhnya mengalami cacat, *cup* dengan kecepatan 10 dan 20 mm/s mengalami cacat *wrinkling* pada area sudut bawah *cup*. Sedangkan *cup* dengan kecepatan 30 mm/s mengalami 2 jenis cacat yaitu *wrinkling* pada area sudut bawah *cup* dan *earing* pada sisi flensa. Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa tekanan kompresor dan kecepatan *punch* akan mempengaruhi jenis cacat yang akan timbul pada *cup* hasil *drawing*, maka untuk

menghasilkan *cup drawing* tanpa cacat harus memperhatikan 2 parameter *drawing* yaitu tekanan dan kecepatan *punch*.

4. KESIMPULAN

Kecepatan *punch* dan tekanan kompresor terbukti berpengaruh terhadap tinggi *cup* yang dihasilkan. *Cup* dengan tekanan kompresor 3 bar kecepatan *punch* 10 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,144 mm, kecepatan *punch* 20 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,193 mm dan kecepatan *punch* 30 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,567 mm. *Cup* dengan tekanan kompresor 4 bar kecepatan *punch* 10 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,161 mm, kecepatan *punch* 20 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,176 mm dan kecepatan *punch* 30 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,885 mm. *Cup* dengan tekanan kompresor 5 bar kecepatan *punch* 10 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,275 mm, kecepatan *punch* 20 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,383 mm dan kecepatan *punch* 30 mm/s diperoleh *cup* dengan ketinggian 1,511 mm. *Cup* akan mengalami penambahan tinggi dengan bertambahnya kecepatan dan tekanan kompresor.

Kecepatan *punch* dan tekanan kompresor terbukti berpengaruh terhadap jenis cacat yang timbul pada *cup* hasil *drawing*. Seluruh *cup* dengan tekanan 3 bar dapat terbentuk dengan baik tanpa cacat yang ditimbulkan. Sedangkan *cup* dengan tekanan 4 bar dan kecepatan yang berbeda terdapat hasil yang berbeda, dimana *cup* dengan kecepatan 10 dan 20 mm/s terbentuk dengan baik tanpa cacat, akan tetapi *cup* dengan tekanan 4 bar pada kecepatan 30 mm/s, *cup* mengalami cacat *wrinkling* pada sisi bawah *cup* dan *earing* pada flensa *cup*. Kondisi *cup* dengan tekanan 5 bar seluruhnya mengalami cacat, *cup* dengan kecepatan 10 dan 20 mm/s mengalami cacat *wrinkling* pada area sudut bawah *cup*. Sedangkan *cup* dengan kecepatan 30 mm/s mengalami 2 jenis cacat yaitu *wrinkling* pada area sudut bawah *cup* dan *earing* pada sisi flensa. Dapat disimpulkan bahwa tekanan kompresor dan kecepatan *punch* akan mempengaruhi jenis cacat yang akan timbul pada *cup* hasil *drawing*, maka untuk menghasilkan *cup drawing* tanpa cacat harus memperhatikan 2 parameter *drawing* yaitu tekanan dan kecepatan *punch*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hanna, W, dan Zhenyu, H, dan Frank, V., 2012, *Influence of Punch Velocity on Spring Back in Micro Forming*, Trans Tech Publications, Switzerland
- [2] Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein., Tlesler, N dan Engel, U ., 2002, *Microforming*, Journal of Materials Processing Technology, Dortmund, Germany.
- [3] Groover, M.P., 2010, *Fundamentals of Modern Manufacturing: materials, processes, and systems*, ed.4 , John Wiley & Sons, Inc, United States.
- [4] Luo, L., Jiang, Z., Wei, D., Manabe, K, dan Sato, H., 2015, *Experimental and numerical study of micro deep drawing*. MATEC Web of Conferences, Australia.
- [5] Brabie, G., Costache, E, M., Nanu, N dan Chirita, B., 2013, *Prediction and minimisation of sheet thickness variation during deep drawing of micro/milli part*, International Journal of Mechanical Sciences, Vasile Alecsandri, University of bacau, Romania.
- [6] Frank, V dan Zhengyu, H, 2010, *Analysis of punch velocity dependent process window in micro deep drawing*, German Academic Society for Production Engineering, Bremen, Germany.
- [7] Amit, B.,2018, *Mecanical properties and working of metals and alloys*, Springer Nature Singapore, Singapore.