

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

M. Habibi^{1*} dan M. Mahardika^{1,2}

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281, Indonesia

²Centre for Innovation of Medical Equipment and Devices (CIMEDs), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281, Indonesia

E-mail: *mohd.habibie09@gmail.com

Abstrak

Proses produksi dengan micro deep drawing menjadi salah satu pilihan yang tepat untuk pembuatan komponen dengan bentuk yang kompleks. Akan tetapi semakin kecil dimensi komponen semakin sulit process manufakturnya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan punch terhadap kedalaman penetrasi dan cacat produk hasil micro deep drawing. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium AA1100 ketebalan 250 μm . Parameter yang diperhatikan pada penelitian ini adalah pengaruh kecepatan punch dan tekanan terhadap kedalaman penetrasi dan cacat yang timbul pada produk hasil micro deep drawing. Parameter yang digunakan adalah kecepatan dari punch sebesar 10, 20 dan 30 mm/s serta tekanan kompresor 3, 4 dan 5 bar. Dari hasil-hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kedalaman cup dan cacat pada cup hasil micro deep drawing dipengaruhi oleh kecepatan dan tekanan punch, seperti yang terlihat bahwa penambahan ketinggian cup terjadi pada setiap peningkatan kecepatan dan tekanan punch. Hal ini disebabkan oleh perubahan energi yang dihasilkan saat kecepatan dan tekanan yang dinaikkan sehingga berpengaruh pada kedalaman dan cacat tearing dan wrinkling pada cup. Parameter kecepatan punch dan tekanan kompresor sangat penting diperhatikan dalam proses micro deep drawing dengan sistem pneumatik.

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

Abstract

The micro deep drawing production process is one of the choices for manufacturing components with complex shapes. However, the smaller the dimensions of a component, the more difficult is the manufacturing process. This research is conducted to determine the effect of punch speed on the depth of penetration and the defects obtained from the micro deep drawing process. The material used in this research is aluminum AA1100 with a thickness of 250 μm . The parameters studied in this research are punch speed and pressure on the depth of penetration and defects that arise in the micro deep drawing product. The punch speed used in this research were 10, 20 and 30 mm/s and the compressor pressure applied were 3, 4 and 5 bar. Based on the results obtained from this research, it can be concluded that the depth of the cup and the defects of the product of the micro deep drawing cup are affected by the speed and pressure of the punch, as can be seen from the increasing of cup height that occurs with the

increase of punch speed and pressure. This is caused by the changes in energy produced when the speed and the pressure are increased, so that this affects the depth and defects by tearing and wrinkling defects of the cup. The parameters of punch speed and compressor pressure are therefore critical to be considered in the process of micro deep drawing with a pneumatic system.

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 dengan fungsionalitas yang tinggi, perusahaan manufaktur harus mengembangkan proses fabrikasi baru dan inovatif sehingga perusahaan manufaktur tetap dapat bersaing. Jika ingin memproduksi komponen mikro maka sangat penting untuk memperhatikan proses dan material yang memiliki kemampuan bentuk yang baik dalam skala mikro, industri harus menggunakan teknologi modern agar mendukung proses produksi. Untuk produksi dalam skala makro diketahui bahwa kecepatan *punch* memiliki pengaruh pada proses *deep drawing*. Pengaruh ini sangat disebabkan oleh gesekan dan kecepatan antara *blank* dan *tool punch*. Pengaruh lebih lanjut adalah perilaku pembentukan bahan yang bergantung pada laju regangan dari material. Dalam rentang mikro, meningkatnya ukuran butir, resiko cacat juga meningkat yang menyebabkan anisotropi pada material. Jenis cacat *tearing* terjadi pada ukuran butir yang lebih besar. Jenis cacat *thinning* terjadi di tempat dengan daerah tertipis di bagian *cup*. Ketebalan *cup* yang terbentuk meningkat secara bertahap di sepanjang dinding samping dari jari-jari bawah ke pinggiran cangkir dan yang tertipis muncul di jari-jari bawah sementara tekanan maksimum terletak di tepi cangkir yang disebabkan oleh deformasi yang tidak homogen. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan aliran pemanas pada *sheet blank* (Guo et al., 2017). ketika radius *die* dikurangi maka beban *punch* akan meningkat dan ketika gaya *blank holder* yang lebih besar diterapkan, peningkatan beban *punch* juga harus diperbesar. Gaya *blank holder* dan beban *punch* ditingkatkan berdasarkan ketebalan material. Radius *die* yang besar akan membatasi kedalaman dari sebuah *cup*. Sudut *cup* akan meningkat dengan meningkatnya gaya *blank holder* akan tetapi terjadi pengurangan ketebalan di sudut *die* dan semakin besar gaya *blank holder* maka penipisan akan semakin besar yang dapat menyebabkan *cup* cacat (Wang et al., 2009). Jenis cacat yang terjadi pada produk hasil drawing yaitu *wrinkling in the flang*, *wrinkling in the wall*, *tearing* (robek), *earing* dan *surface scratches* (goresan permukaan).

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. Dalam penelitian ini material *punch* dan *die* yang digunakan adalah *mild steel* atau baja karbon rendah karena berdasarkan sifat mekaniknya *mild steel* dianggap dapat digunakan untuk memotong atau *punch* material aluminium AA1100 dengan ketebalan

0.25 mm. Spesifikasi mesin *micro deep drawing* pneumatik adalah ukuran mesin $669 \times 330 \times 350$ mm, tipe pneumatik SC 160 \times 100 R, *Working Pressure* 1 ~ 9,0 Kgf / cm², *maximal stroke* 1500, *sensor proximity* LJ12A3-4-Z/BX (4 mm), *detection distance* 4 mm (*effective* 0 – 4 mm) dan *detection object* (metal material). Untuk mengukur kecepatan *punching* digunakan sensor *infrared* (*receiver* dan *transmitter*) yang dihubungkan dengan mikrokontroler dan LCD *display* agar hasil dapat terbaca dengan baik, mikroskop digital digunakan untuk mengamati dan melihat cacat yang terjadi pada hasil *drawing*. Mikroskop digital yang digunakan adalah *Dino Lite* tipe AM2111 dan AM4515T5.

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</i> limit ratio	1,90
<i>Blank holder force</i> (N)	67,88

Tabel 1 di atas menampilkan kondisi tools yang digunakan pada proses *drawing*. Proses *drawing* dilakukan dengan variasi kecepatan yaitu 10, 20 dan 30 mm/s yang diatur menggunakan valve/katup pada aliran udara dari pneumatik agar dapat diketahui pengaruh kecepatan yang berbeda terhadap produk hasil *drawing*. Tekanan kompresor pada saat *drawing* juga divariasikan yaitu 3, 4 dan 5 bar yang diatur pada regulator kompresor, hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil *drawing* dengan tekanan yang berbeda.

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.

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 (Geiger et al., 2002). *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. (Groover, 2010). *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 (Luo et al., 2015).

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) (Brabie et al., 2013). 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 (Hanna et al., 2012). *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 meningkat dengan meningkatnya kecepatan *punch*. Koefisien gesekan juga diketahui dipengaruhi oleh kecepatan *punch* (Frank and Zhengyu, 2010).

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 (Amit, 2018). Gaya untuk *drawing* dijelaskan adalah sebagai berikut:

$$P = \left[\pi D_p t (1.1 \sigma_0) \ln \left(\frac{D_0}{D_p} \right) + \mu \left(2 H_B \frac{D_p}{D_0} \right) \right] \exp \left(\frac{\mu \pi}{2} \right) \quad (1)$$

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

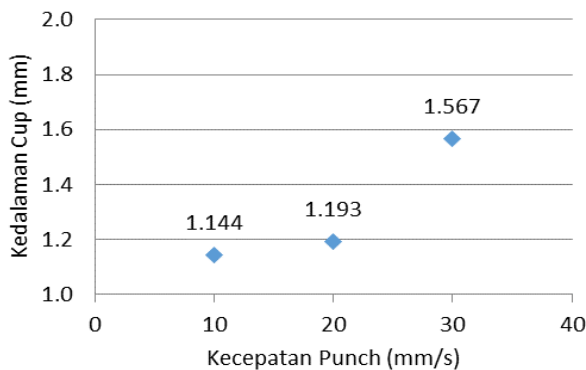
$$\sigma_H = 0.02 \times \frac{\sigma_0 + S_u}{2} \quad (3)$$

Keterangan:

P	= Gaya total untuk <i>drawing</i> (N)	μ	= Koefisien gesekan pada material
t	= Ketebalan dinding <i>cup</i> (mm)	HB	= Gaya blank holder (N)
σ_0	= Tegangan pada material (N/mm ²)	sH	= Tegangan saat di <i>holder blank</i> (N/mm ²)
D0	= Diameter lembaran <i>blank</i> (mm)	s0	= True stress (N/mm ²)
Dp	= Diameter <i>punch</i> (mm)	Su	= Ultimate Tensile Stress (N/mm ²)
Dd	= Diameter <i>die</i> (mm)	II	= 3.14

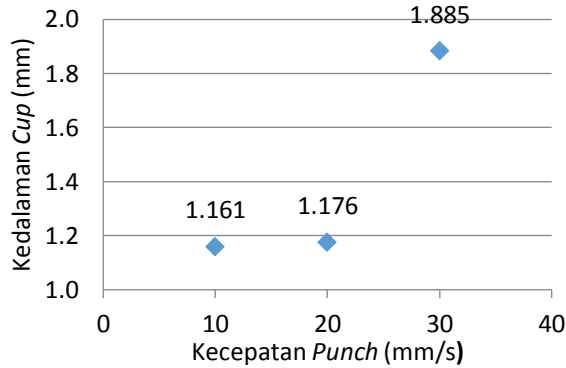
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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.



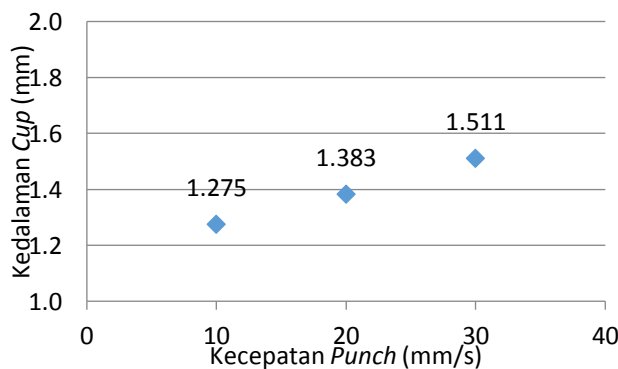
Gambar 1. Pengaruh kecepatan *punch* terhadap kedalaman *cup* tekanan 3 bar.

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

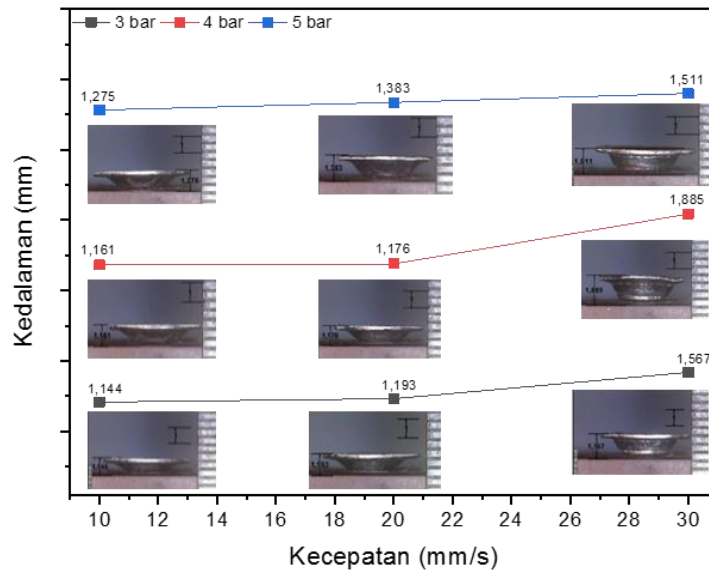
Hasil pengamatan di atas dapat disimpulkan bahwa dengan tekanan kompresor yang sama yaitu 4 bar dan variasi kecepatan *punch* 10, 20, 30 mm/s. Setiap penambahan kecepatan akan berpengaruh pada kondisi *cup* yang akan terbentuk, setiap peningkatan kecepatan flensa akan mengecil sebesar 0,015 sampai 0,709 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 (*tearing*). 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 *tearing* 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 (*tearing*). 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 *tearing*.



Gambar 4. Grafik perbandingan ketinggian *cup* keseluruhan

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, maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan *punch* berpengaruh terhadap tinggi *cup*. *Cup* dengan kecepatan 20 mm/s dengan tekanan 4 bar mencapai kedalaman maksimum 1,176 mm menjadi *cup* yang direkomendasikan karena memiliki bentuk yang baik tanpa cacat.

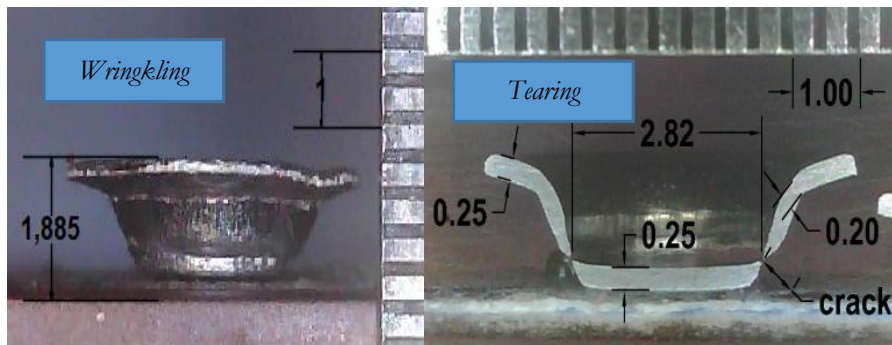
Berikut adalah hasil pengujian yang menunjukkan pengaruh kecepatan *punch* terhadap cacat yang ditimbulkan pada *cup* hasil *drawing* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

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>Tearing</i>
5	<i>Wrinkling</i>	<i>Wrinkling</i>	<i>Wrinkling</i> <i>Tearing</i>

Keterangan:

✓ : baik/tidak terjadi cacat



Gambar 5. Cacat *wrinkling* dan cacat *tearing* yang terjadi pada hasil *drawing*.

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 *tearing* 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 *tearing* 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 *tearing* 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 *tearing* 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

- Amit, B., 2018, Mechanical properties and working of metals and alloys, *Springer Nature Singapore*, Singapore.
- Brabic, 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.
- 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.
- Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein., Tlesler, N dan Engel, U., 2002, Microforming, *Journal of Materials Processing Technology*, Dortmund, Germany.
- Groover, M.P., 2010, Fundamentals of Modern Manufacturing: materials, processes, and systems, ed.4 , *John Wiley & Sons, Inc*, United States.
- Guo. N., Suna. C.Y., Fub. M.W., 2017, Size effect affected deformation characteristics in micro deep drawing of TWIP domed-bottom cups, *International Conference on the Technology of Plasticity*, Cambridge, United Kingdom.
- Hanna, W., Zhenyu, H., dan Frank, V., 2012, Influence of Punch Velocity on Spring Back in Micro Forming, *Trans Tech Publications*, Switzerland.
- 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.
- Wang C.J., Guo B., Shan D.B., 2009., Effect of die cavity dimension on micro U deep drawing behaviour with T2 foil, *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*.