

Pengaruh Tingkat Keausan Cetakan Pada Performa Proses Cold Upsetting untuk Pembuatan Miniatur Produk

Norman Iskandar¹⁾, Rusnaldy²⁾, Ismoyo Haryanto³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudarto S.H. Tembalang, Semarang 50275
E-mail : norman_iskandar@undip.ac.id

Abstrak

Dalam proses *cold upsetting*, komponen *dies* atau cetakan merupakan komponen yang sangat vital, sehingga setiap permasalahan yang terjadi pada cetakan menjadi hal yang sangat krusial. Ditambah lagi jika proses *cold upsetting* dilakukan dalam rangka proses miniaturisasi produk. Cetakan untuk membuat komponen berukuran mini memiliki tantangan tersendiri dalam proses pembuatannya dan secara umum harga cetakan mahal. Dalam proses pembuatan cetakan untuk produk skala mini dituntut ketelitian dan keakurasian yang tinggi. Namun setelah cetakan berhasil dibuat terdapat permasalahan lain yang muncul, berkaitan dengan terjadinya cacat pada cetakan akibat proses pemakaian atau kerja. Tingkat toleransi terhadap cacat yang diijinkan jauh lebih kecil dibandingkan untuk cetakan skala besar atau makro. Sehingga bisa berakibat umur pakai cetakan menjadi jauh lebih pendek. Cacat yang dominan adalah perubahan bentuk cetakan dimana salah satu faktor penyebabnya adalah aus. Dengan adanya keausan yang berakibat perubahan dimensi cetakan maka dapat mempengaruhi proses *cold upsetting* dan mutu atau kualitas dari produk yang dihasilkan. Jika identifikasi awal terhadap terjadinya kerusakan cetakan bisa dilakukan, maka akan mencegah terjadinya produk gagal karena permasalahan cetakan. Melihat permasalahan ini maka Lab Metrologi Industri Teknik Mesin Undip telah melakukan penelitian untuk mencari dan melihat efek yang terjadi ketika muncul fenomena keausan pada cetakan untuk proses *cold upsetting* dalam proses miniaturisasi produk. Penelitian dilakukan secara eksperimen dan simulasi. Benda kerja yang digunakan adalah aluminium murni kategori jenis komersil dengan diameter 1,5 mm dan tinggi 5,06 mm, dan cetakan adalah jenis Baja SKD 11. Untuk proses simulasinya dilakukan dengan menggunakan software berbasis FEM. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa akibat tingkat keausan cetakan yang semakin tinggi, maka akan muncul fenomena cacat lipatan pada produk *cold upsetting*. Cacat ini agak sulit teridentifikasi saat akhir proses karena posisinya tertutup. Selain itu ada perubahan pola distribusi gaya yang terjadi ke arah horisontal dan vertikal ketika dibandingkan cetakan dalam kondisi ideal dengan cetakan yang telah mengalami berbagai tingkat keausan. Dengan adanya perubahan dimensi dan penampang pada cetakan mengakibatkan volume material benda kerja yang telah diset up tidak lagi bisa mengisi secara penuh volume cetakan.

Keywords: *Cold upsetting, Dies, Aus, Miniaturisasi, Aluminium*

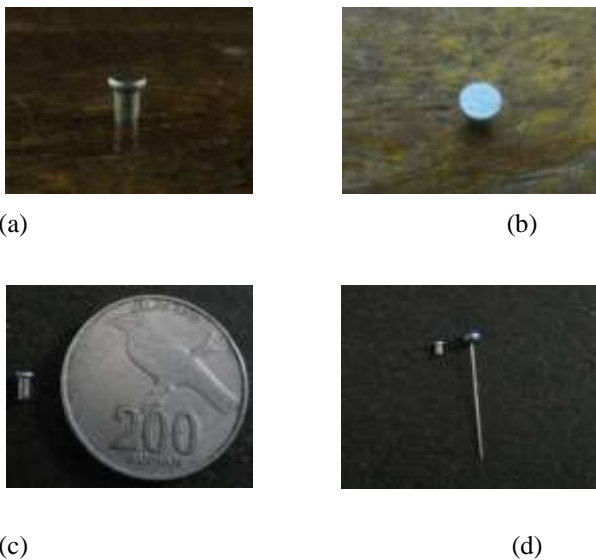
Pendahuluan

Miniaturisasi sebagai bagian dari konsep fabrikasi modern menjanjikan keuntungan yang menggiurkan. Secara teknis dengan adanya miniaturisasi akan memberikan dampak pada peralatan produksi yang dibutuhkan yang juga semakin mengecil. Hal ini akan memberikan keuntungan dengan berkurangnya konsumsi energi yang digunakan, mengurangi lahan yang dibutuhkan baik untuk produksi maupun penyimpanan, mengurangi kebutuhan akan material bahan baku, mengurangi polusi, yang pada akhirnya berarti mengurangi biaya produksi secara total (Geiger dkk, 2001).

Namun dunia miniaturisasi ternyata tidaklah seperti

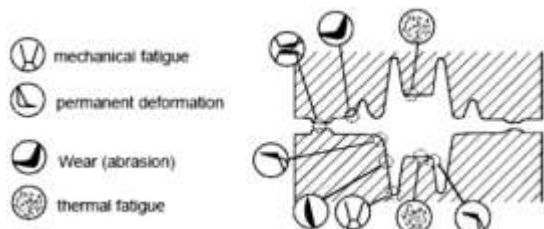
bayangan bahwa kita tinggal meng-copy paste dari konsep makro menjadi konsep mikro, jauh lebih kompleks tantangannya. Lab Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Undip sejak tahun 2009 yang lalu telah mencoba dan terus melakukan upaya guna mencapai taraf mampu melakukan proses miniaturisasi dengan baik termasuk dalam upaya pengembangan sarana prasarana utama dan penunjangnya.

Pada tahap pertama penelitian, telah berhasil mendesain dan membuat mesin *drop hammer forging*, mendesain dan menghasilkan cetakan tipe *closed die upset forging* serta melakukan eksperimen pembuatan miniatur komponen berbahan kawat Aluminium murni memakai proses *cold* dan *hot upset forging*.



Gambar 1. Produk *Cold Upset Forging* tampak samping (a) tampak atas (b) produk miniatur dibandingkan dengan uang Rp 200,- (c) produk miniatur dibandingkan jarum pentul(d) (Rusnaldy dkk., 2010).

Dari hasil eksperimen, selain didapatkan produk kerjanya, juga didapatkan fenomena bahwa cetakan sangat rentan mengalami perubahan bentuk dimana beberapa fenomena penyebab cacat cetakan sebagaimana telah diteliti Shirgaokar pada tahun 2005 hadir dalam proses ini



Gambar 2. Cacat pada cetakan (Shirgaokar, 2005).

Akibat dari cacat atau perubahan penampang cetakan sangat terlihat jelas pada tampilan profil produk yang jika diamati lebih detail akan tampak ketidak sempurnaannya.



Gambar 3. Profil produk yang dihasilkan dari proses *cold upset forging* (Rusnaldy dkk., 2010).

Padahal sebagaimana dikemukakan oleh Lange, dkk (1985) bahwa pencapaian dimensi geometri yang

akurat harus diutamakan dan itu tujuan utama proses ini dilakukan. Sehingga dengan mengacu pada kondisi yang terjadi, maka pada penelitian ini penulis memfokuskan kajiannya pengaruh keausan cetakan terhadap performa secara keseluruhan proses *upsetting* yang dilakukan Lab Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Undip.

Faktor yang perlu dikaji terkait permasalahan ini adalah

pada setiap kenaikan atau perubahan penampang cetakan maka pengaruh apa saja yang terjadi terkait dengan parameter input proses, parameter produk output yang dihasilkan serta berkaitan dengan lifetime dari cetakan itu sendiri. Hal ini harapannya kedepan akan memberikan masukan tentang proses pembuatan cetakan yang baik dan tahan lama sehingga akan bisa menguntungkan secara finansial, dimana sudah disadari secara umum bahwa pembuatan cetakan untuk proses miniaturisasi adalah proses yang rumit dan tidak mudah serta tidaklah murah. Sehingga jika kita membuat sebuah cetakan dengan biaya mahal namun memiliki umur yang pendek, hal ini adalah sebuah kerugian besar secara waktu dan biaya.

Selain itu juga, jika mengarah ke arah komersialisme maka sudah barang hal ini menjadi masalah yang kontraproduktif

Metodologi

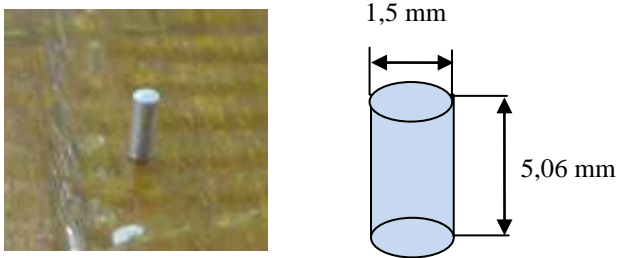
Penelitian ini menggunakan dua pendekatan yaitu melalui pendekatan eksperimen dan simulasi FEM. Untuk keperluan eksperimen dan simulasi FEM, data yang digunakan adalah :

Tabel 1. Data material dan proses untuk eksperimen dan simulasi FEM

Benda Kerja	
Material	Al-1100
Diameter [mm]	1,5
Tinggi [mm]	5,06
Temperatur [°C]	20
Top & Bottom Die	
Material	JIS: SKD11, AISI: D2; DIN: 1.2379
Diameter [mm]	2,86 (top die) 1,5 (bottom die)
Tinggi/kedalaman lubang [mm]	0,6 (top die) 2,92 (bottom die)
Temperatur [°C]	20
Proses	
Temp. lingkungan [°C]	20
Beban [N]	75,85,95,105,115,125
Sistem Mesin forging	Free/gravity

	<i>Drop-Hammer</i>
Ketinggian jatuh beban [mm]	25, 50, 75
Pelumas	Tidak ada
Operasi	<i>One operation (single-stroke process)</i>

Untuk keperluan eksperimen, kami mengembangkan perangkat/mesin sendiri untuk melakukan proses *upsetting* ini.

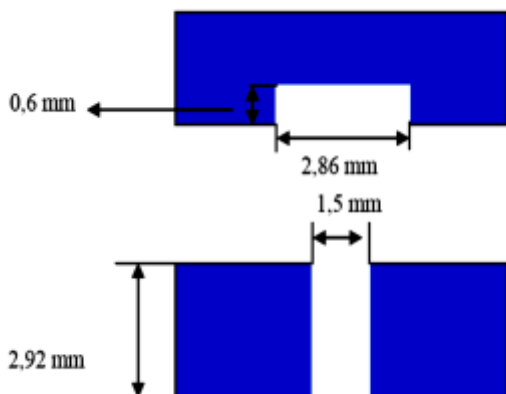


Gambar 4.Spesimen benda kerja

Mesin yang dikembangkan didesain mampu untuk melakukan proses hot dan cold forging untuk material aluminium

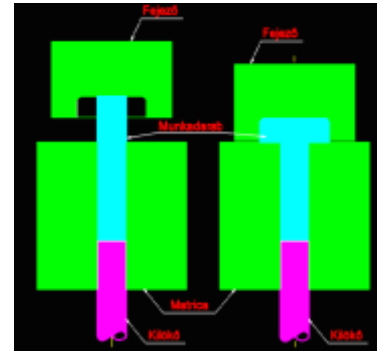


Gambar 5.Mesin yang dikembangkan untuk proses *upsetting*



Gambar 6.Dimensi cetakan yang dirancang dan digunakan untuk proses *upsetting*

Penggunaan pendekatan simulasi FEM dipilih karena memiliki kelebihan untuk meninjau dan memantau proses simulasi *upsetting* beserta semua kejadian yang mengiringi proses tersebut, dimana hal ini tak dapat dilakukan oleh pendekatan rumus dan sangat sulit terlihat dalam proses eksperimen..

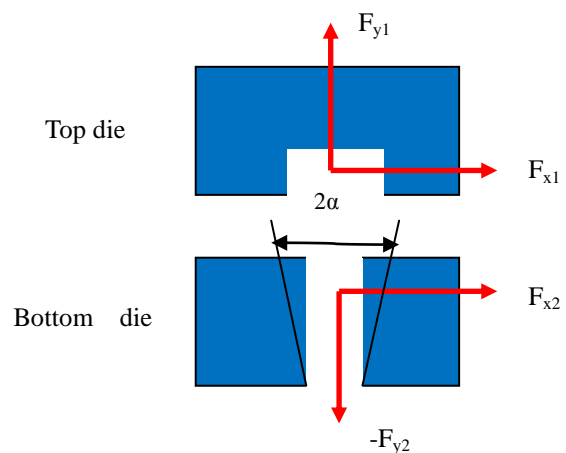


Gambar 7.Ilustrasi proses *upsetting*

Dalam proses eksperimen akan diambil data berkaitan dengan dimensi cetakan serta dimensi produk yang dihasilkan oleh proses *upsetting* dengan variasi beban dan kecepatannya. Data dari hasil eksperimen nantinya akan dibandingkan dengan data geometri yang dihasilkan oleh simulasi FEM. Selain digunakan untuk meninjau aspek geometri, pendekatan FEM juga digunakan untuk memantau proses deformasi dimana nilai tegangan, regangan dan gaya serta temperatur bisa tergambaran setiap saat.

HasildanPembahasan

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa akibat adanya perubahan penampang cetakan dimana cetakan mengalami keausan didapatkan beberapa perubahan karakteristik proses *upsetting* yang terjadi.



Gambar 8.SkemadistribusiLoad

Upsetting pada cetakan yang mengalami perubahan penampang

Keausan terlihat jelas pada cetakan bawah dikarenakan laju keausan yang terjadi pada cetakan bawah jauh lebih cepat dibandingkan fenomena yang sama untuk cetakan atas. Perubahan penampang cetakan bawah dapat diilustrasikan dengan sebuah perubahan penampang dari kondisi lurus menjadi sebuah penampang yang memiliki sudut kemiringan seperti terlihat pada gambar. 8 yaitu sebesar 2α .

Dengan variasi besaran sudut yang terjadi dan energi *upsetting* yang diberikan, maka karakteristik distribusi gaya *upsetting* pada arah F_{y1} , F_{x1} , F_{y2} , F_{x2} hasil simulasi FEM dapat dilihat seperti tercantum dalam tabel 11.

Tabel 2. Karakteristik distribusi gaya *upsetting* pada cetakan

Parameter	Besaran Gaya Upsetting			
	F_{y1}	F_{x1}	$-F_{y2}$	F_{x2}
Energi sama besar, semakin besar r	Turun	Turun	Turun	Naik
Energi makin besar, α semakin besar / atau normal	Naik	Naik	Naik	Naik

Ini berarti bahwa dalam beberapa kondisi dimungkinkan energi pembentukan untuk proses deformasi yang secara kalkulasi mencukupi untuk kondisi ideal cetakan, namun akan menjadi tidak cukup dikarenakan adanya perubahan penampang cetakan akibat aus yang terjadi.

Perubahan Dimensi pada Cetakan

Toleransi yang diijinkan pada proses *upset forging* ini adalah 1,5% - 3%. Maka jika diameter ideal sesuai cetakan yaitu 2,860 mm maka toleransi nya adalah berkisar 0,043 mm - 0,086 mm untuk setiap besar anut amanya yaitu tinggi *head* dan diameter *head*. Data ukuran diameter dan tinggi *head* yang diijinkan berdasarkan toleransi yang diberikan selengkapnya ada di tabel 2.

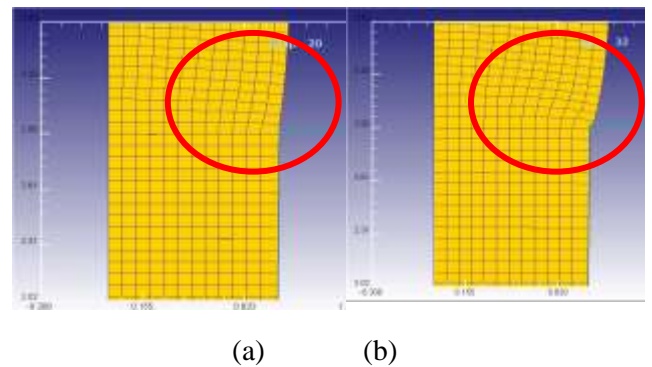
Tabel 3. Batas toleransi dimensi produk *upset forging*

Besaran Utama	Toleransi	
	Minimum (1,5%)	Maksimum (3%)
Diameter Head	2,860 ±	2,860 ±

(2, 860 mm)	0,043mm	0,086mm
Tinggi Head (0,600 mm)	0,600 ± 0,009mm	0,600 ± 0,018mm

Dari hasil simulasi pada kondisi cetakan pada kondisi normal, *out put* produk yang sesuai kriteria keakuratan geometri bias dibentuk pada set up proses minimal diposisi $F = 1023,9$ N yaitu ketika di set pada beban 12,5 kg dan ketinggian jatuh = 25 mm. Sehingga untuk mengetahui batas / titik kritis *dies* masih bias memenuhi kriteria keakuratan geometri *out put* produk, maka data pada titik ini akan dijadikan acuannya.

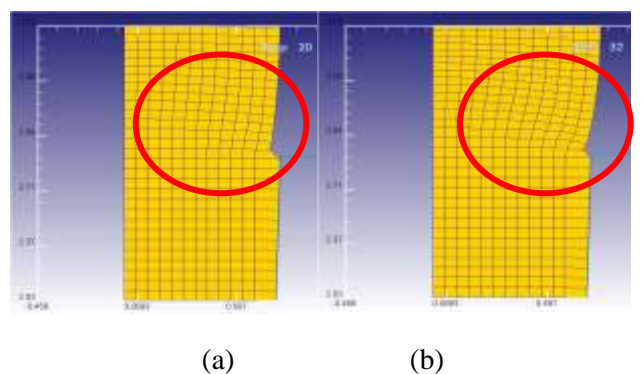
Simulasi dibagi menjadi dua yaitu pertama untuk *top die* yang sesuai desain - *bottom die* yang divariasikan lebar diameter lubang atasnya. Kedua adalah untuk *top die* yang memiliki kedalaman maksimal sesuai batas toleransi yaitu 0,618 mm - *Bottom die* yang divariasikan juga diameter lubang atasnya.



Gambar 9. *Upset forging* pada diameter lubang atas *bottom die* 1,55 mm (3,3% lebih dari diameter ideal) (a) *step* 20, (b) *step* 32

Dari proses simulasi proses *forging* masih berjalan baik yaitu keakuratan geometri tercapai dan tidak terjadi cacat selama proses.

Selanjutnya ketika diameter lubang atas pada *bottom dies* udah mencapai 1,65 mm lebih (deviasi cetakan mencapai 10%), maka fenomena cacat lipatan mulai terjadi meskipun pada akhirnya diameter akhir dan tinggi akhir produk masih mencapai standar toleransi. Proses ini terlihat pada gambar 4.27.



Gambar10. *Upset forging* pada diameter lubang atas *bottom die* 1,65 mm (10% lebih dari diameter ideal) (a) *step* 20, (b) *step* 32.

Detail lengkap hasil proses simulasi berkaitan dengan variasi tingkat keausan cetakan munculnya cacat produk bisadilihatpadatabel 4 dan5

Tabel

4.Hasilsimulasibatastoleransiukuranlubangatas*bottom die* dengankedalamanlubang*top die* 0,6 mm

D (mm)	% deviasi D desain 1,5 mm)	F	d _{akhir} (m m)	t _{akhir} (m m)	Keterangan
1,55	3,3	1028,4	2,830	0,614	Ok
1,60	6,7	1041,7	2,827	0,615	Ok
1,65	10,0	1043,5	2,831	0,608	Cacatlipatan mulaiterjadi

Tabel5.Hasilsimulasibatastoleransiukuranlubangatas*bottom die* dengankedalamanlubang*top die* 0,618 mm

D (mm)	% deviasi (D desain 1,5 mm)	F	d _{akhir} (mm)	t _{akhir} (mm)	Keterangan
1,55	3,3	1028,4	2,830	0,618	Ok
1,60	6,7	1041,7	2,827	0,618	Ok
1,65	10,0	1043,7	2,834	0,618	Cacatlipatanmulaiterjadi

Dari hasil simulasi yang di tabulasi kan pada tabel 4 dan 5 didapatkan titik toleransi *dies* yang diijinkan adalah jika lubang dies atas pada cetakan bawah mengalami perubahan dimensi sehingga diameter membesar sampai 1,65 mm atau sebesar $\leq 10\%$ dari lubang desain yaitu 1,5.

Hal ini dikarenakan meskipun proses masih bias menghasilkan produk dengan geometri diameter dan tinggi akhir *head* yang memenuhi standar namun pada prosesnya produk telah mengalami cacat lipatan yang mana hal ini termasuk dilarang terjadi.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perubahan dimensi cetakan untuk proses *upsetting* terutama pada penampang atas pada cetakan bawah akan berdampak pada distribusi gaya *upsetting* pada produk. Gaya yang diperlukan juga akan semakin besar guna mencukupi kebutuhan proses pembentukan. Disisi lain semakin besar Gaya dan energi pembentukan yang diberikan maka hal ini juga berimbas kepada masa pakai cetakan.

Perubahan penampang juga berakibat pada perubahan nilai *upset ratio*. Perubahan nilai upset

ratio berimplikasi terhadap proses operasi *upsetting* yang dipilih apakah masih cocok atau tidak seperti yang semula operasi *single stroke* menjadi *double stroke*. Ketidakcocokan pola operasi bisa berakibat kegagalan proses *upsetting* seperti munculnya cacat lipatan pada produk meskipun secara dimensi geometri produk masih sesuai standar, dan bisa juga lebih fatal material tidak akan terdeformasi sesuai cetakan namun yang terjadi adalah material benda kerja membengkok. Satu lagi yang pasti terjadi adalah dengan perubahan penampang cetakan maka volume benda kerja tidak lagi akan sesuai dengan volume cetakan. Dan semua itu terangkum menjadi satu dimana produk yang dihasilkan nantinya tidak lagi memenuhi standar kelayakan baik secara dimensi maupun karena cacat yang dimiliki.

Referensi

Abdullah, A.B., Ling, K.S & Samad, Z. The Effect of Corner Radii and Part Orientation on Stress Distribution of Cold Forging Die. American Journal of Applied Sciences 5 (4): 296-300, 2008.ISSN 1546-9239.(2008)

American Society of Materials (ASM) Handbook. Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials. USA: ASM International. (1990)

Ab-Kadir A E, Othman, A R. Effect of Corner Radius and Friction Parameters on the optimization of the Cold Forging Die Design. CCSE: Modern Applied Science Vol 3 No 2. (2009)

Huda, Zainul. Effects of Degrees of Cold Working and Recrystallization on the Microstructure and Hardness of Commercial-Purity Aluminum.European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.26 No.4 : 549-550.(2009)

Jolgaf M, Sulaiman S B, Ariffin M K A, Faieza A A. Billet Shape Optimization for Minimum Forging Load. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.24 No.3 pp.420-427.

Kada O, Toda M, Yanagi H. Advanced Forming Analysis for Bar and Wire Rod with Finite Element Method.Nippon Steel Technichal Report No. 96. UDC 621 . 73 : 669 . 14 – 422.

Kalpakjian&Schmid.Manufacturing Engineering and Technology.Prentice Hall.(2001).

Kang S G, et all. A study on the micro-formability of Al 5083 superplastic alloy using micro-forging

method. *Materials Science and Engineering A*
449–451 : 338–342. (2006)

Taylan Altan, et al. *Cold and Hot Forging:
Fundamental and Applications*. USA: ASM
International. (2005).