

## PERBANDINGAN KARAKTERISTIK PRODUK HASIL PROSES *MICRO FORGING* PADA MATERIAL ALUMINIUM, DENGAN SISTEM *CLOSED DIE FORGING* PADA KONDISI *COLD* DAN *HOT WORKING* SECARA EKSPERIMENTAL DAN ANALISA DENGAN FEM

Norman Iskandar, Rusnaldy, Ismoyo Haryanto dan Paryanto

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl.Prof Sudarto S.H. Tembalang, Semarang 50275

e-mail: norman.mesin@gmail.com

### Abstrak

*Seiring perkembangan teknologi, komponen yang berskala kecil-micro semakin luas digunakan. Hal ini menjadikan tantangan baru, karena ternyata karakteristik dasar maupun prosesnya tidaklah sama ketika suatu material dibuat dalam bentuk yang sama namun dimensi ukurannya berbeda. Hal-hal yang kadang tidak signifikan dalam pembuatan produk berdimensi besar, ternyata sangat signifikan pada produk yang dibuat dalam dimensi mini. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan karakteristik dari produk yang terbuat dari material aluminium murni guna pembuatan komponen micro dengan menggunakan proses forging, sistem closed die forging yang dikerjakan pada kondisi Cold working dan Hot working. Kondisi cold working dalam temperatur ruangan 20°C sedangkan kondisi hotworking pada temperatur 200°C dan dengan menggunakan variasi pembebanan 75N, 85N, 95N, 105N, 115N, 125N. Serta set up ketinggian jatuh beban setinggi 25mm. Penelitian dilakukan dengan cara eksperimen dan dengan penggunaan Software berbasis FEM Deform 2D.*

**Kata kunci:** *micro forging, aluminium, closed die, FEM*

### PENDAHULUAN

*Closed die forging* adalah proses dimana benda kerja dideformasikan dibawah tekanan tinggi dalam lubang cetakan yang tertutup. Proses ini digunakan untuk membuat komponen yang kecil dengan tingkat kepresisian yang tinggi sehingga proses ini cenderung mahal. Dari hasil penelitian yang terus berkembang, produksi *micro-parts* dengan ketepatan yang pas dan biaya rendah, dapat direalisasikan dengan menggunakan proses pembentukan logam skala *micro (micro-scale)* seperti *micro-forging* ataupun *micro-extrusion*.

*Cold Forging* adalah proses *forging* yang dilakukan pada material benda kerja dalam temperatur ruang (20°-25°C), sedangkan *hot forging* adalah proses *forging* yang dilakukan diatas temperatur rekristalisasi ( $T_r$ ) material namun masih dibawah temperatur lelehnya ( $T_m$ ), dimana hubungan keduanya adalah  $T_r \sim 0,4-0,5 T_m$ . Temperatur rekristalisasi aluminium adalah 150°C.

Penelitian tentang proses *forging* maupun spesifik *micro forging* masih terus berkembang. Seperti penelitian *Precision Cold Forging* oleh Steven Tong (2001). Investigasi beban *forging* dan aliran logam pada *closed-die forging* konvensional dilakukan oleh Yilmaz Can (2004). Sifat material dalam proses *microforming* pada temperatur tinggi diteliti oleh Emil Ugerer (2005). Analisis lanjut proses forming untuk material dari bahan dasar berbentuk kawat dengan FEM oleh Osamu kada (2007). Optimasi parameter geometri *closed die forging* oleh M. Jolgaf (2008). Penelitian Efek dari radius dan gesekan dalam optimasi desain *closed die forging* oleh Ab kadir (2009). Penggunaan pendekatan Finite Elemen untuk menganalisa proses *forging* dilakukan oleh Aditya ashok battin (2009). Dari penelitian pembuatan miniatur produk dengan proses *microforging* berbahan dasar aluminium dengan proses *cold* dan *hot working* akan dapat dipetakan kualitas produk yang dapat dicapai dengan kondisi permesinan dan batasan proses yang ada. Selanjutnya akan dapat dijadikan acuan untuk penelitian lanjut dalam rangka optimasi baik desain *dies*, proses dan *cost* yang diperlukan, sehingga dicapai produk yang murah, kualitas optimum baik dari segi kompleksitas maupun sifat-sifatnya, serta proses yang lebih mudah dan murah.

## METODOLOGI

### Pemodelan pada FEM

Proses forging disimulasikan dengan menggunakan software DEFORM-2D ver 8.1. penggunaan versi 2D dikarenakan produk yang dibuat berbentuk simetris sehingga akan meringankan dan menyingkat waktu untuk melakukan proses simulasi. Dengan simulasi ini kita akan dapat mengetahui laju pembebanan, kecepatan, efektif *strain*, efektif *strain rate*, efektif *stress*, temperatur dalam setiap langkahnya. Disamping itu visualisasi dari 2D bisa langsung di ubah menjadi 3D dengan sangat mudah

**Tabel 1** Geometri, data material dan parameter proses permesinan pada pemodelan DEFORM 2D ver 8.1

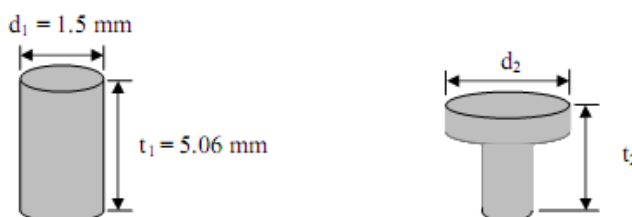
Parameter	Cold Working [20°C]	Hot Working [200°C]
<b>Benda Kerja</b>		
<i>Material</i>	AL-1100	
<i>Young's modulus [Gpa]</i>	69	67
<i>Poisson's ratio</i>	0,334	0,334
<i>Thermal expansion [1/°C]</i>	23,6. 10 <sup>-6</sup>	26,5.10 <sup>-6</sup>
<i>Thermal conductivity[W/m.K]</i>	180	250
<i>Heat Capacity[N/mm<sup>2</sup> °C]</i>	2,433	2,433
<i>Emissivity</i>	0,05	0,05
<i>Diameter [mm]</i>	1,5	1,5
<i>Tinggi [mm]</i>	5,06	5,06
<i>Temperatur [°C]</i>	20	200
<b>Top Dies</b>		
<i>Material</i>	JIS: SKD11, AISI: D2; DIN: 1.2379	
<i>Young's modulus [Gpa]</i>	210	200
<i>Poisson's ratio</i>	0,30	0,30
<i>Thermal expansion [1/°C]</i>	10,4. 10 <sup>-6</sup>	11,2.10 <sup>-6</sup>
<i>Thermal conductivity[W/m.K]</i>	20	21
<i>Heat Capacity [N/mm<sup>2</sup> °C]</i>	3,542	3,519
<i>Emissivity</i>	0,7	0,7
<i>Diameter [mm]</i>	2,86 (top dies)	2,86 (top dies)
	1,5 (bottom dies)	1,5 (bottom dies)
<i>Tinggi/kedalaman lubang [mm]</i>	0,6 (top dies)	0,6 (top dies)
	2,92 (bottom dies)	2,92 (bottom dies)
<i>Temperatur [°C]</i>	20	200 (top dies) 40 (bottom dies)
<b>Parameter proses</b>		
<i>Temperatur lingkungan [°C]</i>	20	20
<i>Beban [N]</i>	75,85,95,105,115,125	75,85,95,105,115,125
<i>Blow Efficiency</i>	0,3	0,3
<i>Sistem Mesin forging</i>	Free Drop-Hammer	
<i>Ketinggian jatuh beban [mm]</i>	25	25

### Metode Eksperimental

Untuk Metode eksperimental ada dua proses yang dilakukan yaitu untuk proses *cold working* dan *hot working*. Tahapan proses yang dilakukan adalah :

1. Pembuatan cetakan yang di lakukan di Laboratorium Produksi dan Jasa, Program Diploma Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang. Bahan material *dies* terbuat dari baja jenis SKD 11 / AISI-D2, dan diproses menggunakan sebuah mesin yang dinamakan *Electric Discharge Machine* (EDM) dengan elektroda tembaga.

2. Pembuatan spesimen benda uji dari kawat aluminium dengan ukuran diameter 1,5mm dan tinggi 5,06 mm. Alat yang digunakan adalah pemotong, amplas 400, 600, 1000, 1500 dan *screw micrometer*.

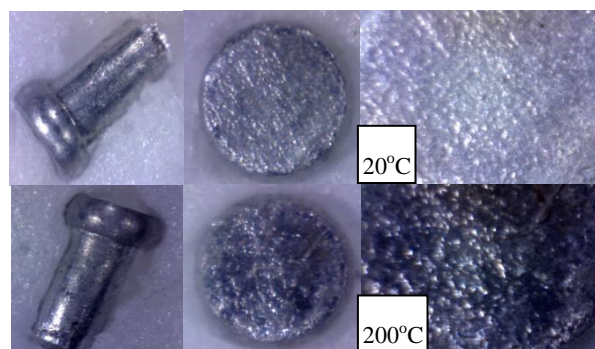
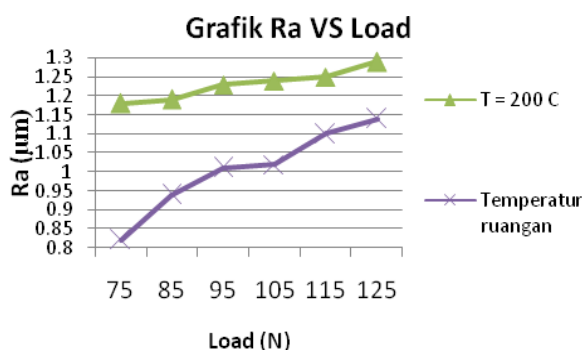


**Gambar 1** Skema benda kerja (a) sebelum *forging*; (b) setelah *forging*

3. Proses pengujian *micro forging* baik yang *cold working* maupun *hot working* menggunakan mesin yang ada di Lab Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
4. Melakukan pengukuran terhadap produk yang dihasilkan meliputi pengukuran kekasaran produk dengan menggunakan Mitutoyo Surftest SJ-201P *roughness tester* serta *metalography* menggunakan mikroskop Olympus PME 3.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan rasio kekasaran permukaan produk.

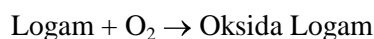


(a)

(b)

**Gambar 2** (a) Hubungan tingkat kekasaran permukaan dan pengaruh beban pada suhu ruangan dan suhu 200°C (b) Tampak atas dan tampak samping produk yang dihasilkan

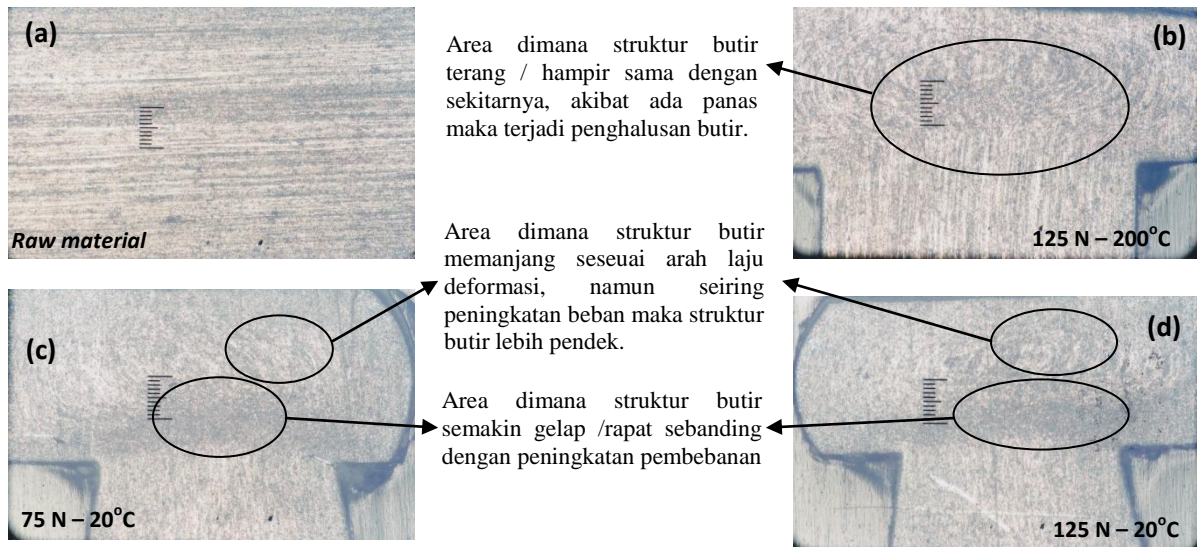
Salah satu kerugian dari pengerjaan panas adalah permukaan akhir yang dihasilkan kurang baik. Dari Gambar 3 di atas, hasil menunjukkan bahwa permukaan akhir produk semakin kurang baik seiring dengan meningkatnya pembebanan dan terutama karena adanya peningkatan temperatur. Dibandingkan dengan nilai kekasaran pada produk hasil pengerjaan dingin, maka permukaan pada pengerjaan dingin cenderung lebih halus daripada pengerjaan panas. Hal ini disebabkan karena timbulnya oksidasi dan proses *scaling* pada saat pengerjaan panas pada logam. Oksida ini, dikenal sebagai *mill scale*, biasa terjadi selama proses pengecoran yang berkelanjutan, pemanasan ulang (*reheating*), dan pengerollan panas. Ketika logam sedang dipanaskan, oksidasi pada permukaan pun timbul. Seiring dengan peningkatan temperatur, maka angka oksidasi juga ikut meningkat. Mekanisme ini dinamakan “*scaling*”. Proses ini berlangsung secara *irreversible* pada temperatur *forging*. *Scaling* biasa terjadi pada logam, misalnya aluminium, baja, besi, dan lain-lain. Oksidasi dapat terjadi pada temperatur berapapun, tetapi seringkali terjadi pada temperatur tinggi, dimana reaksi yang lebih cepat sangat mungkin terjadi antara logam dengan udara, dengan reaksi sebagai berikut:



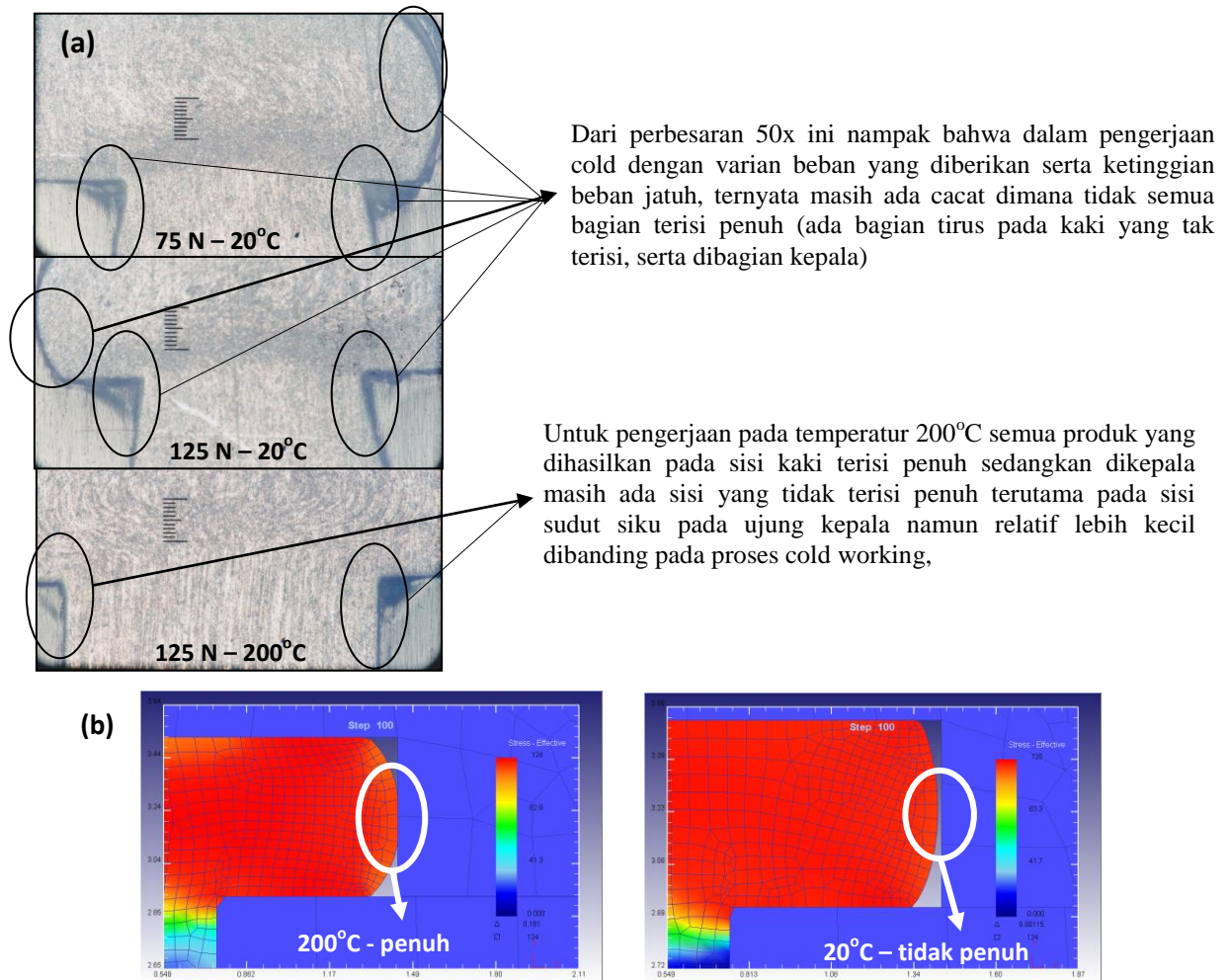
Dibandingkan dengan hasil pengukuran kekasaran pada pengerjaan dingin, maka nilai Ra pada pengerjaan panas lebih besar. Dari referensi, diketahui bahwa nilai Ra pada pengerjaan panas, khususnya *forging*, berkisar antara 0.8 hingga 25 µm tergantung juga dengan material apa yang

digunakan. Sesuai standar Angka Kekasaran menurut ISO dan DIN, produk yang dihasilkan berada di standar N6 untuk *Cold working* dan N7 untuk *Hot working*

### Perbandingan uji *metalography*



**Gambar 2** (a) struktur butir aluminium sebelum proses (b) bentuk dan struktur butir hasil proses hot forging 200°C (c) Cold forging beban 75 N (d) Cold Forging 125 N



**Gambar 3** (a) Profil benda kerja hasil eksperimen, (b) Profil benda kerja hasil simulasi untuk cold forging dan hot forging pada beban 125N

Hasil pengujian *metallographi* menggunakan mikroskop Olympus PME 3 dengan perbesaran 50 X, setiap 10 strip adalah 200 mikron. Pada pengujian *metallography* ini digunakan etsa HF. Dari hasil pengujian ini akan diketahui perbedaan struktur butir dari *raw material* (bahan baku) dengan produk jadi pada beban 75 N dan 125 N proses *cold forging* yang telah di pilih serta pada beban 125N proses *hot forging*.

Terlihat pada pengerjaan dengan temperatur tinggi, struktur butir yang terbentuk semakin halus (terlihat terang). Pengotor (*impurities*) dalam bentuk inklusi (*inclusions*) ikut terpecah dan terdistribusi di seluruh struktur logam, U.K Singh (2009). Sehingga terbukti dengan peningkatan temperatur proses maka struktur butir akan menjadi seragam lagi. Sedangkan pada pengerjaan dingin konsentrasi butir terlihat makin tinggi/rapat seiring dengan peningkatan pembebanan.

### Perbandingan bentuk geometri

Dari simulasi dengan FEM beban yang terukur dari top die dan bottom die yang bekerja pada benda kerja yang dibuat adalah berkisar 0,5 ~ 0,6 beban yang diberikan diawal. Sedangkan untuk proses dingin 0,4 ~ 0,5 beban awal yang diberikan. Namun jika dibandingkan diameter produk yang dihasilkan dan hasil simulasi terdapat perbedaan, sehingga ada yang harus dianalisa lagi terkait gesekan yang terjadi pada tiang penyangga beban seberapa signifikan efek meredam laju jatuh beban sehingga mengurangi efek tumbukan pada proses pembentukan.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian bisa disimpulkan :

1. Bahwa proses *cold forging* pada aluminium lebih baik dalam kualitas tingkat kekasaran yang dihasilkan, dimana dalam kasus ini produk *cold forging* memiliki tingkat kekasaran N6 lebih baik dari N7 pada proses *hot forging*.
2. Dari uji *metallography* didapatkan bahwa dengan pemberian panas diatas temperatur rekristalisasi maka dapat menghaluskan butir sehingga karakteristik perapatan butir sebagaimana pada proses *cold forging* tak terjadi. Hasilnya terlihat pola keseragaman butir pada produk *hot forging* lebih baik.
3. Dari pola geometri, *hot forging* lebih menjamin pengisian *dies* lebih baik dibandingkan *cold forging*. Adanya cacat produk pada hasil *cold forging* menandakan ada aspek-aspek yang harus diinvestigasi lagi terkait, *dies*, maupun peralatan *micro forging* secara menyeluruh, karena terlihat bahwa ada penyerapan energi yang tidak maksimal untuk proses pembentukan ketika kita lihat dari simulasi software sehingga pada produk *cold forging*, dia tak terbentuk sempurna.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah A B, Ling K S, Samad Z. (2008). *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.
- American Society of Materials (ASM) Handbook. (1990). *Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*. USA: ASM International.
- Ab-Kadir A E, Othman, A R. (2009). *Effect of Corner Radius and Friction Parameters on the optimization of the Cold Forging Die Design*. CCSE: Modern Applied Science Vol 3 No 2
- Huda, Zainul. (2009). *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.
- 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. (2001). *Manufacturing Engineering and Technology*. Prentice Hall.

- 
- Kang S G, et all. (2006). *A study on the micro-formability of Al 5083 superplastic alloy using micro-forging method*. *Materials Science and Engineering A* 449–451: 338–342.
- Singh U K, Dwivedi M. (2009). *Manufacturing Process Second Edition*. New Delhi: New Age International (P) Limited.
- Taylan Altan, et all. (2005). *Cold and Hot Forging: Fundamental and Applications*. USA: ASM International.