

Muhammad Fakhruddin

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
ruudean@gmail.com

Moch. Agus Choiron

Dosen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
agus_choiron@ub.ac.id

Anindito Purnowidodo

Dosen
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
anindito@ub.ac.id

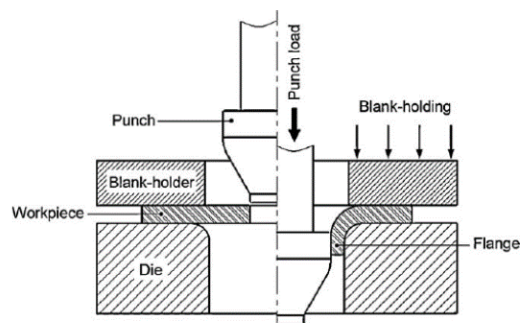
PENGARUH PARAMETER PROSES INCREMENTAL BACKWARD HOLE-FLANGING TERHADAP KETEBALAN KERAH PADA ALUMINIUM 1050A

Conventional hole-flanging process in a small batch is sometimes costly or almost impossible due to the variety of the product profile. Recent studies showed that modern manufacturing was developed to overcome the limitation of the conventional hole-flanging process. Incremental backward hole-flanging (IBHF) was one of the strategies that developed to overcome this particular limitation. The main objective of this research was to investigate the influence of IBHF process parameters toward collar thickness of the product. It enables to measure the impact and behavior of each process parameters, i.e., forming speed, axial and radial forming step size toward the particular response parameter. The result showed that axial and radial forming step size was the main influence and the forming speed has a slight effect towards collar thickness. The behavior of each parameter was increased forming speed and radial forming step size would decrease collar thickness, whereas increased axial forming step size would increase collar thickness.

Keywords: hole-flanging, incremental backward, collar thickness.

1. PENDAHULUAN

Secara konvensional, proses *hole-flanging* digunakan secara luas untuk menghasilkan suatu lubang dengan kerah. Pada proses ini, pelat dengan lubang awal (*pre-cut hole*) dicekam dan dibentuk secara plastis memanfaatkan kombinasi gaya bending dan *circumferential stretching* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada dunia industri, banyak aplikasi yang dapat dilakukan melalui proses ini, seperti memperkuat sambungan pada perpipaan [1]. Namun seiring perubahan bentuk lubang dan kerah yang akan diproduksi, investasi yang diperlukan juga semakin besar. Hal ini dikarenakan pada proses *hole-flanging* konvensional, ketika terjadi perubahan geometri, *punch* dan *dies* ikut berubah bentuknya. Hal ini menyebabkan, proses *hole-flanging* konvensional hanya cocok untuk produksi massal.



Gambar 1. Skema proses hole-flanging konvensional [3]

Incremental sheet forming (ISF) adalah teknologi yang tergolong baru untuk mengatasi beberapa kekurangan dari proses pembentukan konvensional. Teknologi ISF ini umumnya menggunakan pahat, dimana alur yang dihasilkan di mesin CNC, digunakan untuk membentuk suatu pelat logam menjadi suatu komponen (salah satunya lubang dengan kerah) [2]. Keunggulan dari proses ISF ini adalah, investasi yang

relatif kecil ketika suatu produksi memerlukan jumlah yang sedikit dengan geometri yang beragam. Teknologi ISF juga menunjukkan mampu bentuk (*formabilty*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses konvensional.

Untuk beberapa kasus, teknologi ISF yang cenderung melakukan proses pembentukan ke arah maju (berdasarkan mesin CNC yaitu arah Z-) belum mampu melakukan proses pembentukan dimana, geometri yang dihasilkan mengharuskan ke arah mundur, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk menghasilkan geometri dengan area yang hampir semua permukaannya tertutup merupakan salah satu kelemahan dari proses ISF. Maka dari itu, proses *incremental backward hole-flanging* (IBHF) dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Prinsip kerja yang sama dengan proses ISF, namun geometri yang dihasilkan ke arah mundur (berdasarkan mesin CNC, yaitu arah Z+).



Gambar 2. Komponen yang membutuhkan proses hole-flanging dengan kerah ke arah luar [4]

Penelitian pada proses IBHF sudah dilakukan dengan parameter respon ketinggian dan ketebalan kerah. Hasilnya menunjukkan bahwa parameter proses mempengaruhi ketinggian dan ketebalan kerah hasil proses IBHF. Parameter-parameter proses tersebut meliputi geometri pahat, kecepatan makan (v_f), pola dari pembentukan ke arah sumbu radial ($\Delta x/y$), dan sumbu aksial (Δz) [4]. Variasi parameter proses pada penelitian *hole-flanging* dengan metode *single-stage incremental* dapat berupa radius pahat, kecepatan putaran spindle, dan lubang awal pembentukan. Parameter respon yang dicatat adalah ketinggian kerah, rasio pembentukan, dan diameter akhir pembentukan [1]. Sedangkan parameter proses yang diambil pada penelitian *hole-flanging* tanpa die dengan pahat berbentuk konis dapat berupa diameter awal pembentukan dan sudut dari pembentukan. Beberapa hal yang dianalisa adalah batas pembentukan dan cacat pembentukan yang disebabkan kombinasi parameter proses [5]. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses pembentukan terhadap ketebalan kerah yang dihasilkan dari proses IBHF.

2. METODE DAN BAHAN

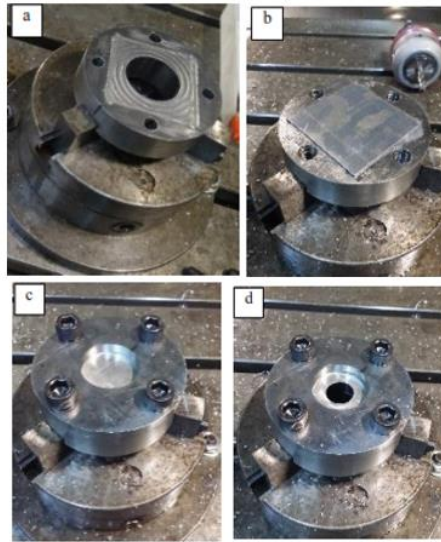
Pada umumnya, ISF adalah proses sheet metal forming yang arah pembentukannya maju ke dalam (*inner-forward*). Untuk pengerjaan produk yang memerlukan lubang dengan kerah menuju ke arah luar (*outward*) dan pada lingkup kerja yang tertutup, proses ISF arah maju ke dalam akan kesulitan dalam membentuknya. Oleh karena itu metode pembentukan lubang dengan kerah ke arah keluar diperlukan. Salah satu metode yang dikembangkan untuk mengatasi hal tersebut adalah proses IBHF. Bentuk dari kerah yang diinginkan merupakan hasil dari gerakan pembentukan yang dikontrol oleh mesin CNC dengan pahat berbentuk bulat maupun konis. Pelat logam yang akan dibentuk diletakkan pada sebuah jig, dimana jig tersebut menahan pelat pada saat proses pembentukan berlangsung. Lubang awal kemudian dibentuk dengan proses *milling* atau *drilling*. Diameter awal pada pelat logam yang akan dibentuk perlu diperhatikan besarnya, agar pahat dapat masuk ke dalam lubang awal. Kemudian, ujung pahat berbentuk konis maupun bulat turun hingga ke pelat bagian bawah dan proses pembentukan dilakukan dari bawah menuju ke atas.



Gambar 3. Pahat pembentuk dengan sudut konis 30°

Pada penelitian ini, proses pembentukan dilakukan menggunakan mesin CNC 3-axis MCV 1020BA. Pahat pembentuk menggunakan bahan HSS dengan sudut konis 30° seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pelat aluminium seri 1050A dengan tebal 1 mm digunakan pada penelitian ini, spesifikasi dari sifat fisik dan

mekanis dapat dilihat pada tabel 1. Pelat aluminium dipotong dengan dimensi 70 mm x 70 mm dan dilubangi untuk membentuk pre-cut hole dengan diameter 20 mm. Pembuatan lubang awal dan proses pembentukan IBHF dilakukan menggunakan bantuan alat cekam khusus. Skema dari proses persiapan alat dan benda kerja dapat dilihat pada Gambar 4a sampai 4d.



Gambar 4. Skema persiapan alat dan benda kerja sebelum proses pembentukan

Tabel 1. Sifat mekanis Al 1050A

Sifat	Simbol	Satuan	Dimensi
Densitas	ρ	kg/m ³	2700
Modulus Young	E	GPa	68
Rasio Poisson	ν	-	0.33
Tegangan Luluh	σ_y	MPa	90

Pada penelitian ini, terdapat tiga parameter proses pembentukan yang diteliti, antara lain kecepatan pembentukan (v_f) besar langkah pembentukan ke arah radial ($\Delta x/y$) dan besar langkah pembentukan ke arah aksial (Δz). Secara berurutan, desain eksperimen full factorial 2 x 3 x 3 digunakan pada penelitian ini. Parameter respon tebal kerah dihasilkan dengan mengkombinasikan tiap-tiap level pada setiap parameter proses dengan total 18 percobaan dengan dua replikasi. Tabel 2 menunjukkan pembagian parameter proses pembentukan dan level-levelnya.

Tabel 2. Parameter proses dan levelnya.

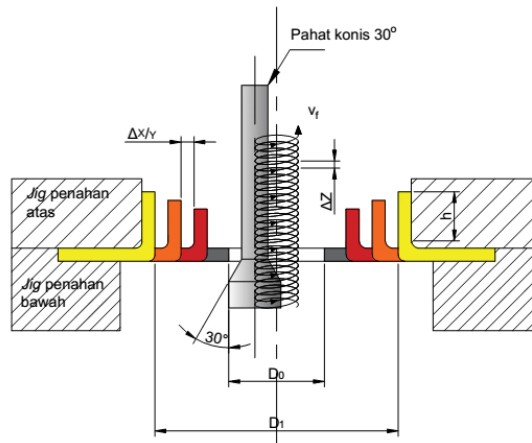
Parameter Proses	level 1	level 2	level 3
v_f	400 mm/min	700 mm/min	
$\Delta x/y$	1 mm	1.25 mm	2 mm
Δz	2 mm	2.75 mm	3.5 mm

Gambar 5 dan 6 menunjukkan gerakan pahat dimulai dari pelat bagian bawah yang kemudian bergerak helikal menuju ke bagian atas pelat. Kecepatan makan (v_f) merupakan kecepatan pahat bergerak helikal dari ujung bawah hingga ujung atas alur helik. Besar langkah pembentukan ke arah aksial (Δz) merupakan pitch dari alur pergerakan helikal pahat ke arah sumbu z. Besar langkah pembentukan ke arah radial ($\Delta x/y$) merupakan jarak antara langkah pembentukan pertama dan kedua, kedua dan ketiga, dan seterusnya. Pembentukan ke arah radial merupakan pergerakan pahat pada sumbu x relatif terhadap sumbu y. Perbedaan warna pada gambar 5 merupakan tahap pembentukan yang terjadi pada pelat. Jumlah tahap pembentukan pada pelat tergantung dari besar langkah pembentukan ke arah radial ($\Delta x/y$). (D_0) adalah lubang awal pembentukan, (D_1) adalah lubang akhir pembentukan.

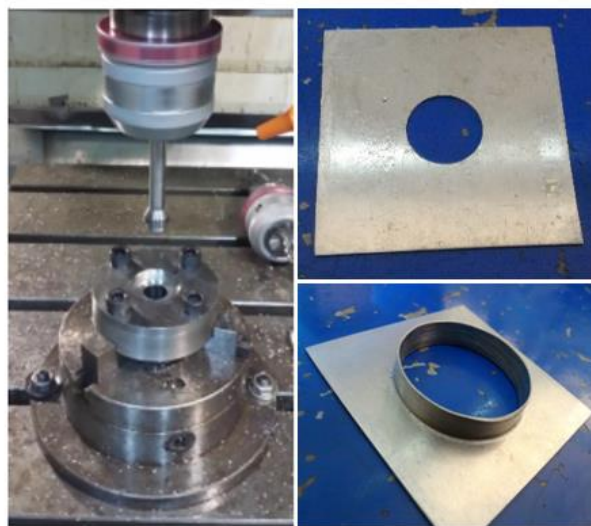
Setelah proses pembentukan berakhir, jig penahan pelat bagian atas dilepas. Benda kerja kemudian

diukur tebal kerahnya pada empat bagian menggunakan digimatic caliper. Data yang didapat dikumpulkan untuk dihitung rata-rata ke empat poin pengamatan dan replikasinya.

Analisis variansi digunakan untuk menganalisis data percobaan yang terdiri dari dua parameter proses atau lebih dengan dua level atau lebih. Tabel ANAVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (degree of freedom, df), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS), kuadrat tengah (*mean of square*, MS) dan F hitung (F_0).

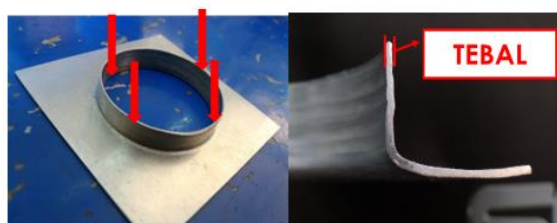


Gambar 5. Skema proses pembentukan IBHF



Gambar 6. Proses dan hasil IBHF

Pengukuran tebal kerah pada tiap spesimen dilakukan sebanyak empat kali pada titik pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema titik pengukuran menggunakan digimatic vernier caliper

3. HASIL DAN DISKUSI

Data tebal kerah yang dihasilkan melalui proses incremental backward hole-flanging dapat dilihat pada Tabel 3. R_1 dan R_2 pada tabel menotasikan bahwa dua replikasi dilakukan pada percobaan ini. Replikasi dilakukan untuk meminimalisir data *noise* pada percobaan ini, sehingga total 36 percobaan dan 144 titik pengukuran dilakukan pada penelitian ini.

Data dari hasil eksperimen diuji secara statistik untuk mengetahui parameter proses mana yang berpengaruh secara signifikan terhadap parameter respon. Analisis variansi (ANAVA) digunakan untuk mengetahui apakah kecepatan makan, besar langkah pembentukan ke arah radial, dan besar langkah pembentukan ke arah aksial memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tebal kerah. Tabel analisis variansi (ANAVA) parameter proses terhadap tebal kerah yang disusun berdasarkan perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Data hasil percobaan

Parameter Proses			Parameter respon		
v_f	$\Delta x/y$	Δz	T_1	T_2	T_{bar}
400	1.00	2.00	0.72	0.70	0.705
400	1.00	2.75	0.73	0.73	0.725
400	1.00	3.50	0.74	0.74	0.720
400	1.25	2.00	0.72	0.71	0.715
400	1.25	2.75	0.72	0.72	0.710
400	1.25	3.50	0.73	0.73	0.725
400	2.00	2.00	0.62	0.62	0.620
400	2.00	2.75	0.65	0.65	0.650
400	2.00	3.50	0.68	0.68	0.670
700	1.00	2.00	0.70	0.69	0.700
700	1.00	2.75	0.70	0.71	0.705
700	1.00	3.50	0.72	0.73	0.705
700	1.25	2.00	0.71	0.71	0.715
700	1.25	2.75	0.72	0.72	0.715
700	1.25	3.50	0.72	0.73	0.725
700	2.00	2.00	0.62	0.62	0.610
700	2.00	2.75	0.65	0.64	0.645
700	2.00	3.50	0.68	0.67	0.675

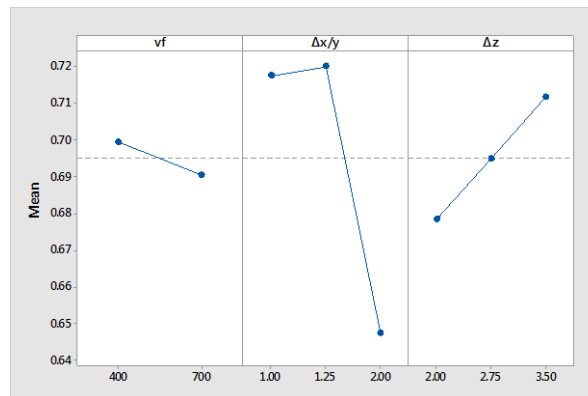
Tabel 4. ANAVA dan persen kontribusi

Sb	DF	SS	% K	MS	F	P
v_f	1	0.00071	1.40	0.00071	7.98	0.008
$\Delta x/y$	2	0.04065	80.18	0.02032	228.18	0.000
Δz	2	0.00666	13.15	0.00333	37.42	0.000
Error	30	0.00267	5.27	0.00009		
Total	35	0.05070	100			

P-value menunjukkan parameter proses pembentukan mana yang mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap tebal kerah. P-value yang lebih kecil dari level of significant (α) mengindikasikan bahwa parameter proses tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Dalam penelitian ini α yang dipakai bernilai 5% atau 0.05. Penarikan kesimpulan menggunakan P-value untuk tebal kerah hasil proses IBHF yang adalah sebagai berikut.

- Untuk parameter proses pembentukan kecepatan makan (v_f). P-value = 0.008 < α = 0.05, maka secara statistik v_f memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tebal kerah dengan prosentase kontribusi sebesar 1.4%.
- Untuk parameter proses pembentukan besar langkah pembentukan ke arah radial ($\Delta x/y$) P-value = 0.000 < α = 0.05, maka secara statistik parameter $\Delta x/y$ memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tebal kerah dengan prosentase kontribusi sebesar 80.18%.
- Untuk parameter proses besar langkah pembentukan ke arah aksial (Δz) P-value = 0.000 < α = 0.05, maka secara statistik parameter Δz memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tebal kerah dengan prosentase kontribusi sebesar 13.15%.

Secara grafik, hubungan antara parameter kecepatan makan (v_f), besar langkah pembentukan ke arah radial ($\Delta x/y$), dan besar langkah pembentukan ke arah aksial (Δz) pada proses IBHF terhadap respon tebal kerah ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Plot pengaruh paramter proses terhadap tebal kerah.

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan pembentukan dan langkah pembentukan ke arah radial pada proses IBHF, semakin tipis respon tebal yang dihasilkan. Namun, semakin besar langkah pembentukan ke arah aksial, semakin tebal kerah yang dihasilkan. Pada parameter proses kecepatan pembentukan, tebal kerah maksimum mampu dicapai pada kecepatan 400 mm/min. Hal ini terjadi karena gesekan antara pahat pembentuk dan pelat alumunium yang terjadi kecil, sehingga tebal maksimum dapat dicapai. Pada parameter proses pembentukan ke arah aksial, tebal kerah dapat dicapai pada level kedua 1.25 mm. Hal ini terjadi apabila luas daerah yang terkena gesekan semakin besar, maka daerah gesekan yang terjadi semakin besar. Semakin besar daerah gesekan, semakin besar pula ausnya. Pada parameter proses besar langkah pembentukan ke arah aksial, tebal kerah maksimum dapat dicapai pada level 3 yaitu 3.5 mm. Hal ini terjadi karena semakin sedikit jumlah pitch pada proses pembentukan yang menyebabkan gesekan antara pahat pembentuk dan tepi/ bibir pelat alumunium semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan dan hasil uji ANAVA yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa ketiga parameter proses pembentukan dengan metode *incremental backward hole-flanging* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tebal kerah yang dihasilkan pada pelat alumunium 1050A dengan masing-masing prosentase kontribusi:

- Kecepatan makan sebesar 1.4%
- Besar langkah pembentukan ke arah radial sebesar 80.18%
- Besar langkah pembnetukan ke arah aksial sebesar 13.15%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. BORREGO, D. MORALES-PALMA, A. J. MARTÍNEZ-DONAIRE, G. CENTENO, and C. VALLELLANO, "Experimental study of hole-flanging by single-stage incremental sheet forming," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 237, pp. 320–330, 2016.
- [2] G. CENTENO, M. B. SILVA, V. A. M. CRISTINO, C. VALLELLANO, and P. A. F. MARTINS, "Hole-flanging by incremental sheet forming," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 59, pp. 46–54, 2012.
- [3] A. KACEM, A. KRICHEN, and P. Y. MANACH, "Occurrence and effect of ironing in the hole-flanging process," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 211, no. 10, pp. 1606–1613, 2011.
- [4] A. PETEK and K. KUZMAN, "Backward Hole-Flanging Technology Using an Incremental Approach," *Strojniški Vestn. – J. Mech. Eng.*, vol. 58, no. 2, pp. 73–80, 2012.
- [5] T. WEN, S. ZHANG, J. ZHENG, Q. HUANG, and Q. LIU, "Bi-directional dieless incremental flanging of sheet metals using a bar tool with tapered shoulders," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 229, pp. 795–803, 2016.