

Pengaruh Jenis Material Logam Lembaran dan Radius Lengkungan *Dies Set Pad dan Punch* Terhadap Hasil Sudut Tekuk Proses *U-Die Bending*

Rayhan Janatama^{1*}, Rosidi², dan Vika Rizkia³

¹Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author *E-mail address*: rayhan.janatama.tm19@mhs.w.pnj.ac.id

Abstrak

Permasalahan utama yang sering terjadi pada proses *u-bending* yaitu adanya fenomena *springback* yang merupakan kecenderungan suatu material mengalami gaya balik ke arah bentuk semula setelah proses bending selesai dilakukan. Hal tersebut menjadikan hasil sudut tekuk pada proses bending tidak memiliki nilai sudut tekuk yang akurat dengan apa yang diinginkan dan mempengaruhi pada dimensi akhir dari benda yang akan dilakukan proses selanjutnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi pada hasil sudut tekuk proses bending adalah jenis material, penggunaan metode bending, *die clearance*, gaya penekanan dan ketebalan material. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan jenis material yang berbeda dan penggunaan radius lengkungan *pad* dan *punch* yang bervariasi terhadap hasil sudut tekuk yang diperoleh dengan menggunakan sudut bending 90°. Hasilnya, penggunaan material SS400 memiliki hasil sudut tekuk yang paling mendekati 90° yaitu dengan rata-rata sebesar 90.20° dan penggunaan radius lengkungan *pad* dan *punch* sebesar 143.71 mm mampu mengurangi efek *springback* dengan rata-rata sudut tekuk sebesar 90.37°. Selain itu, hasil analisis variansi dua jalur (*Two-Way ANOVA*) menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistics menunjukkan bahwa parameter jenis material dan radius bending metode *arc bottoming* berpengaruh secara signifikan terhadap hasil sudut tekuk *u-bending*.

Kata-kata kunci: Sudut Tekuk, Radius Lengkungan *Pad*, Radius Lengkungan *Punch*, Jenis Material, ANOVA

Abstract

The main problem that often occurs in the *u-bending* process is the *springback* phenomenon which is the tendency of a material to experience a force back towards its original shape after the bending process is complete. This makes the bending angle result in the bending process not having an accurate bending angle value with what is desired and affects the final dimensions of the object to be processed further. Some of the factors that affect the results of the bending angle of the bending process are the type of material, use of the bending method, *die clearance*, pressing force and thickness of the material. This research was conducted to determine the effect of using different types of materials and the use of varying *pad* and *punch* bend radii on the bending angle results obtained using a 90° bending angle. As a result, the use of SS400 material has a bending angle that is closest to 90° with an average of 90.20° and the use of a *pad* and *punch* radius of 143.71 mm can reduce the *springback* effect with an average bending angle of 90.37°. In addition, the results of the two-way analysis of variance (*Two-Way ANOVA*) using the IBM SPSS Statistics application show that the parameters of the type of material and the bending radius of the *arc bottoming* method have a significant effect on the results of the *u-bending* angle.

Keywords: Bend Angle, Pad Bend Radius, Punch Bend Radius, Material Type, ANOVA

1. PENDAHULUAN

Dalam Industri Manufaktur pembentukan logam lembaran (*sheet metal*) merupakan disiplin teknik yang sangat penting. Aplikasinya mencakup industri manufaktur besar seperti pesawat terbang, otomotif, elektronik, dan peralatan rumah tangga. Beberapa metode seperti *bending*, *blanking*, *piercing*, *shearing*, *stamping*, *folding* dan *flanging* digunakan untuk memproduksi komponen logam lembaran menggunakan mesin dan alat atau cetakan (*dies*) yang berbeda[1]. Dalam proses manufaktur, sebuah material yang ingin diubah menjadi *part* yang berguna harus memiliki geometri yang kompleks dengan memperhatikan bentuk, ukuran, akurasi, toleransi, penampilan dan sifat material yang terdefinisi dengan baik. Dalam pembentukan logam lembaran, lembaran logam sederhana dibentuk secara plastis di antara alat (atau *dies*) untuk mendapatkan bagian dengan geometri yang relatif kompleks dengan toleransi dan sifat yang diinginkan[2].

Di dalam industri pembentukan logam lembaran atau *sheet metal*, salah satu permasalahan utamanya adalah mendapatkan sudut tekuk yang sesuai persis dengan bentuk cetakan atau *dies*. Hal tersebut terjadi karena adanya fenomena *springback* pada lembaran logam ketika lembaran logam telah dilepas dari cetakannya[3]. Akibat utama *springback* pada bagian yang dibentuk adalah adanya perubahan bentuk dan dimensi material setelah alat dilepas serta perubahan keadaan tegangan dan regangan pada material yang dideformasi[4].

Dalam industri pembentukan lembaran logam, *springback* dapat diminimalisir dengan metode kontrol. Metode untuk mengontrol *springback*, yaitu dengan cara mengontrol pada parameter proses seperti besar gaya penekanan, radius bending dan jarak die clearance. Mengontrol besar gaya tekanan yang melebihi yield point suatu material dapat menghasilkan reduksi ketebalan pada bagian bending yang dapat menghilangkan fase elastis dari sebuah material [5]. Mengontrol parameter die clearance dilakukan dengan membuat celah antara punch dan dies dibuat lebih kecil dari ketebalan material, sehingga mereduksi ketebalan akibat gesekan dari punch dan dies, dan menghasilkan material yang meregang [6]. Mengontrol radius bending dilakukan dengan memperkecil radius bending, radius yang kecil menyebabkan peregangan pada bagian terluar area radius bending semakin besar sehingga dalam kondisi ini menghilangkan fase elastis pada material[7].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil sudut tekuk yang diperoleh pada proses U-Die Bending logam lembaran dengan menggunakan variasi jenis material yang berbeda yaitu plat galvanis, plat SS400 dan plat aluminium serta penggunaan variasi radius lengkungan dies set pad dan punch untuk mengetahui ada atau tidak pengaruh yang signifikan antara variabel faktor terhadap variabel hasil.

2. METODE PENELITIAN

Berdasarkan metode penelitiannya, penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memanipulasi nilai variabel bebas sehingga dapat ditemukan hubungan sebab akibat atau pengaruhnya terhadap variabel terikat. Tahapan pada penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan, lalu membuat rancangan percobaan, setelah itu melakukan proses u-bending, dan selanjutnya benda kerja dilakukan pengukuran sudut bending. Gambar 1 menunjukkan diagram alir pada penelitian ini.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Variabel Penelitian

1. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis material dengan 3 variasi yaitu, plat galvanis, plat SS400 dan plat alumunium. Selain itu, variabel bebas yang lain adalah radius lengkungan pad dan punch metode arc bottoming dengan menggunakan 4 variasi radius lengkungan yaitu, 573.07 mm, 286.70 mm, 191.34 mm, dan 143.71 mm.
2. Variabel tetap pada penelitian ini adalah nilai sudut tekuk material hasil u-bending.
3. Variabel kontrol pada penelitian ini terdiri dari besar gaya penekanan, die clearance, ketebalan sampel uji, dan durasi penekanan.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat bending konvensional menggunakan sistem penekanan dongkrak hidrolik yang terdapat pada Bengkel Politeknik Negeri Jakarta. Lalu dies yang digunakan adalah dies u-bending dengan teknik arc bottoming yang merupakan hasil tugas akhir mahasiswa Politeknik Negeri Jakarta bernama Rea Mauludy. Untuk pengukuran sudut menggunakan alat ukur *angle protractor digital* pengukuran sudut menggunakan alat ukur *angle protractor digital*. Bahan yang digunakan adalah plat galvanis, plat SS400 dan plat alumunium dengan jumlah keseluruhan sampel sebanyak 120 buah.

Rancangan Percobaan

Tabel 1 Rancangan Percobaan Penelitian

No.	Jenis Material Plat	Radius Lengkungan Dies (dalam mm)	Banyaknya percobaan
1	Galvanis	573,07	10 kali
2	Galvanis	286,7	10 kali
3	Galvanis	191,34	10 kali
4	Galvanis	143,71	10 kali
5	SS400	573,07	10 kali
6	SS400	286,7	10 kali
7	SS400	191,34	10 kali
8	SS400	143,71	10 kali
9	Alumunium	573,07	10 kali
10	Alumunium	286,7	10 kali
11	Alumunium	191,34	10 kali
12	Alumunium	143,71	10 kali

Rancangan percobaan yang ditunjukkan pada tabel 1 menggunakan rancangan percobaan eksperimen faktorial 3 x 4. Pada rancangan percobaan ini semua taraf dari faktor disilangkan atau dikombinasikan dengan melakukan perkalian pada taraf. Selain ini pada setiap kombinasi faktor dan taraf dilakukan percobaan sebanyak 10 kali. Sehingga, banyaknya kombinasi percobaan dari perkalian 3 x 4 x 10 adalah 120 percobaan.

Proses Bending

Terdapat beberapa langkah di dalam proses u-bending dengan menggunakan alat bending plat sistem dongkrak hidrolik. Langkah-langkah dalam melakukan proses pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat bending, benda kerja material plat, dies set, alat ukur dan alat untuk mencatat.

Persiapan benda kerja material plat galvanis, plat SS400 dan plat alumunium dilakukan untuk memastikan jumlah dan ukuran benda kerja sudah sesuai dan tidak kurang. Die set yang dipersiapkan

meliputi pad dan punch dan tempat untuk meletakkannya. Spidol dipersiapkan sebagai penanda material agar tidak tertukar dengan sampel yang lain.

2. Menempatkan sampel bahan penelitian pada alat bending



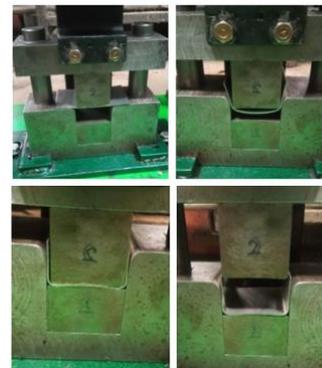
Gambar 2 Penempatan sampel uji pada alat bending

Penempatan sampel uji material pelat pada alat bending ditempatkan diantara die set pad dan punch seperti yang ditandai oleh bentuk oval merah. Pastikan perletakan pelat harus tepat dan seimbang antara jarak antara posisi kanan dan kirinya. Selain itu pastikan pelat dalam keadaan bersih dan tidak ada serpihan-serpihan di atasnya.

3. Melakukan proses bending dengan memompa dongkrak hidrolik



(a)



(b)

Gambar 3 Proses memompa dongkrak hidrolik ditunjukkan oleh gambar (a). Gambar (b) menunjukkan penekanan dalam proses u-bending

Setelah pelat diletakkan pada posisi yang tepat selanjutnya adalah proses penekanan dengan cara memompa dongkrak hidrolik hingga sampel uji pelat tertekan dan membentuk profil U. Besar gaya penekanan sebesar 2000 Psi.

4. Melakukan pengukuran hasil sudut dan pencatatan

Sudut hasil proses bending material benda kerja dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat Digital protractor angle. Nilai besaran sudut yang diukur meliputi sisi samping material benda kerja terhadap alas material benda kerja yang dinyatakan dalam derajat ($^{\circ}$). Proses pencatatan nomor urut hasil uji sampel dilakukan agar sampel tidak saling tertukar ketika akan melakukan proses selanjutnya yaitu analisa. Nomor urut terdiri dari 3 urutan angka, angka pertama menunjukkan jenis materialnya, angka kedua menunjukkan radius lengkungan dies yang digunakan, dan angka ketiga menunjukkan urutan percobaannya.



(a)



(b)

Gambar 4 Proses pengukuran hasil sudut bending ditunjukkan oleh gambar (a). Gambar (b) menunjukkan pencatatan nomor urut sampel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 Hasil sudut bending pada material plat galvanis

Percobaan Ke-	Radius Lengkungan Pad dan Punch (573.07 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (286.70 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (191.34 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (143.71 mm)
1	91.85°	91.38°	90.55°	90.30°
2	91.40°	91.10°	90.65°	90.00°
3	91.03°	91.43°	90.65°	90.15°
4	91.38°	90.98°	90.85°	91.00°
5	91.18°	90.95°	91.10°	90.15°
6	92.10°	91.58°	90.95°	90.45°
7	91.95°	91.55°	91.10°	89.95°
8	90.68°	91.13°	91.23°	90.35°
9	91.93°	90.98°	91.15°	90.80°
10	91.05°	91.08°	90.98°	90.08°
Rata-Rata	91.46°	91.22°	90.92°	90.32°

Tabel 3 Hasil sudut bending pada material plat SS400

Percobaan Ke-	Radius Lengkungan Pad dan Punch (573.07 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (286.70 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (191.34 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (143.71 mm)
1	91.15°	91.40°	90.65°	90.08°
2	90.80°	90.33°	90.10°	89.75°
3	91.38°	89.85°	90.28°	90.95°
4	89.78°	90.28°	90.50°	89.83°
5	90.60°	90.43°	89.80°	90.78°
6	90.65°	90.28°	91.03°	89.93°
7	89.55°	90.05°	90.48°	90.23°
8	90.80°	90.30°	90.03°	89.75°
9	90.33°	91.18°	89.95°	90.13°
10	90.38°	90.35°	89.88°	90.60°
Rata-Rata	90.54°	90.46°	90.27°	90.20°

Tabel 4 Hasil sudut bending pada material plat aluminium

Percobaan Ke-	Radius Lengkungan Pad dan Punch (573.07 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (286.70 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (191.34 mm)	Radius Lengkungan Pad dan Punch (143.71 mm)
1	92.25°	92.08°	91.65°	91.20°
2	93.05°	92.03°	90.93°	91.23°
3	93.10°	91.78°	91.13°	91.40°
4	92.45°	91.88°	91.73°	91.63°
5	92.38°	92.30°	92.23°	91.25°
6	91.80°	92.65°	91.40°	91.05°
7	92.28°	92.20°	91.88°	91.40°
8	92.85°	92.13°	91.75°	91.13°
9	92.88°	92.40°	91.35°	90.90°
10	92.75°	92.10°	91.80°	91.20°
Rata-Rata	92.58°	92.16°	91.59	91.24°

Pembahasan Hasil Sudut Bending dengan Parameter Radius Lengkungan Pad dan Punch

Berdasarkan hasil proses u-bending pada tabel 4.1, tabel 4.2 dan tabel 4.3, semakin kecil radius lengkungan dies set pad dan punch maka rata-rata hasil sudut tekuk yang dihasilkan semakin rendah, sehingga dapat meminimalisir adanya fenomena springback pada produk hasil. Hal tersebut terjadi karena pengaruh penggunaan radius dies teknik arc bottoming. E.H. Audi et al. (2012) pada penelitiannya yang berjudul "Evaluation of Springback Under the Effect of Holding Force and Die Radius in a Stretch Bending Test" menyatakan penggunaan radius dies bending yang kecil menyebabkan peregangan pada bagian terluar area bending semakin besar dan menyebabkan kompresi pada bagian dalam area bending lebih besar, sehingga dalam hal ini menghilangkan fase elastis pada material.

Pembahasan Hasil Sudut Bending dengan Parameter Radius Lengkungan Pad dan Punch

Berdasarkan hasil proses u-bending pada tabel 4.1, tabel 4.2 dan tabel 4.3 bahwa penggunaan material SS400 direkomendasikan dalam proses u-bending karena memiliki hasil sudut tekuk yang paling kecil dalam mengatasi adanya fenomena springback dari pada dua jenis material lainnya dengan rata-rata sudut tekuk yang dihasilkan menggunakan semua radius dies yaitu sebesar 90.37°.

Analisis Statistik Two-Way ANOVA Menggunakan Aplikasi IBM SPSS

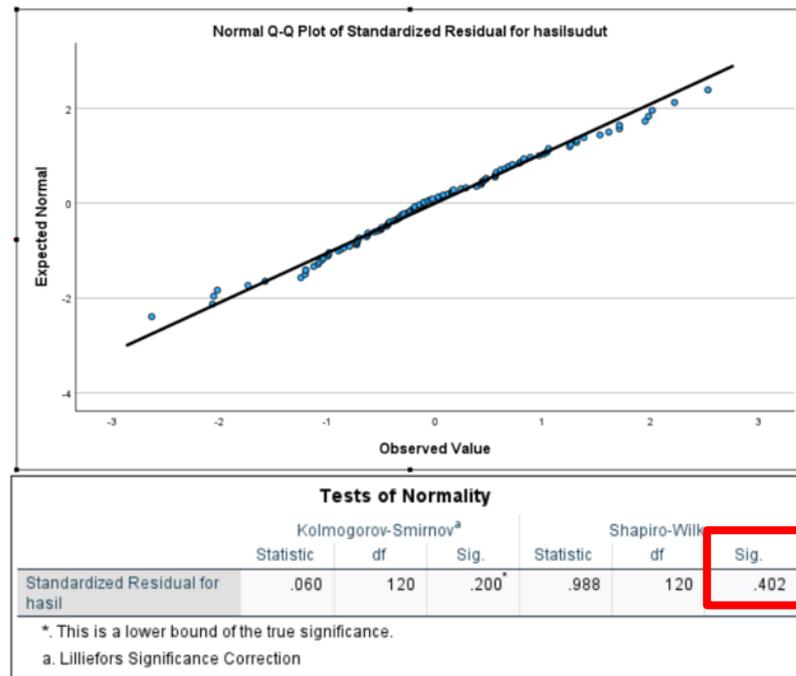
Analisis Statistik bertujuan untuk mengetahui dari hasil data yang didapatkan apakah masing-masing variabel faktor mempengaruhi terhadap variabel hasil dalam penelitian ini yaitu hasil sudut bending secara signifikan atau tidak.

1. Uji Normalitas Data

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah populasi sampel data yang kita miliki berdistribusi secara normal atau tidak. Uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk. H_0 ditolak apabila $\text{sig.} < 0,05$. Hipotesis yang digunakan adalah :

H_0 : Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal

H_1 : Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi tidak normal



Gambar 5 Output hasil uji normalitas data dengan aplikasi IBM SPSS

Pada Gambar 5 nilai signifikan (dalam kotak merah) menunjukkan angka $0,402 > 0,05$. Dengan taraf signifikan $\alpha = 5\%$ ($0,05$), maka dapat disimpulkan H_0 diterima. Artinya, sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan dengan tujuan untuk memperlihatkan dua atau lebih kelompok data sampel yang telah diambil berasal dari populasi yang memiliki variansi yang sama. Dengan kata lain, uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui bahwa himpunan data yang diteliti memiliki karakteristik yang sama atau tidak. H_0 ditolak apabila $\text{sig.} < 0,05$. Hipotesis yang digunakan adalah :

H_0 : data memiliki karakteristik yang sama atau homogen

H_1 : data memiliki karakteristik yang tidak sama atau tidak homogen

Tabel 5 Output hasil uji homogenitas dengan aplikasi IBM SPSS

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Hasil Sudut Bending	Based on Mean	1.742	11	108	.074
	Based on Median	1.251	11	108	.263
	Based on Median and with adjusted df	1.251	11	73.676	.270
	Based on trimmed mean	1.681	11	108	.087

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.
a. Dependent variable: Hasil Sudut Bending
b. Design: Intercept + material + radius + material * radius

Berdasarkan pada Tabel 5 di atas, diperoleh nilai signifikansi berdasarkan hasil rata-rata sampel sebesar $0,074$, karena nilai signifikansi $0,074 > 0,05$, maka dapat disimpulkan H_0 tidak ditolak (diterima) dan variansi variabel hasil sudut bending adalah homogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji two way anova terpenuhi.

3. Deskripsi Statistik

Tabel 6 Descriptive Statistics

Descriptive Statistics				
Dependent Variable: Hasil Sudut Bending				
Jenis Material Pelat	Radius Lengkungan Dies	Mean	Std. Deviation	N
Pelat Galvanis	dies 1 (573,07 mm)	91.4550	.47984	10
	dies 2 (286,7 mm)	91.2160	.24455	10
	dies 3 (191,34 mm)	90.9210	.23709	10
	dies 4 (143,71 mm)	90.3200	.34657	10
	Total	90.9780	.54068	40
Pelat SS400	dies 1 (573,07 mm)	90.5420	.56332	10
	dies 2 (286,7 mm)	90.4450	.47845	10
	dies 3 (191,34 mm)	90.2700	.39172	10
	dies 4 (143,71 mm)	90.2030	.43382	10
	Total	90.3650	.47288	40
Pelat Aluminium	dies 1 (573,07 mm)	92.5790	.41463	10
	dies 2 (286,7 mm)	92.1550	.25150	10
	dies 3 (191,34 mm)	91.5850	.38402	10
	dies 4 (143,71 mm)	91.2390	.20289	10
	Total	91.8895	.60832	40
Total	dies 1 (573,07 mm)	91.5253	.97019	30
	dies 2 (286,7 mm)	91.2720	.78423	30
	dies 3 (191,34 mm)	90.9253	.63952	30
	dies 4 (143,71 mm)	90.5873	.57487	30
	Total	91.0775	.82823	120

Output selanjutnya yaitu Descriptive Statistics. Dari output ini, kita bisa melihat nilai rata-rata (*means*) dari hasil sudut bending berdasarkan penggunaan jenis material dan radius lengkungan dies. Sebagai contoh :

1. Plat SS400 memiliki nilai rata-rata hasil sudut bending yang paling kecil yaitu dengan rata-rata hasil sudut bending sebesar 90.37° . Disusul dengan plat galvanis dengan rata-rata hasil sudut bending 90.98° dan pelat Aluminium sebesar 91.89° .
2. Penggunaan dies 4 dengan radius lengkungan dies pad dan punch sebesar 143.71 mm memiliki hasil rata-rata sudut bending yang yang paling kecil yaitu dengan rata-rata sebesar 90.59° , diikuti dengan dies 3 sebesar 90.93° , dies 2 sebesar 91.27° dan dies 1 sebesar 91.53° .

4. Uji Two-Way Anova

Setelah data hasil memenuhi syarat dalam uji normalitas dan uji homogenitas, selanjutnya data hasil akan dilakukan uji Two-Way ANOVA. Pengujian ini akan menjawab dari tujuan penelitian ini yaitu ada atau tidaknya pengaruh yang signifikan antara variabel faktor terhadap hasil sudut bending. Dengan hipotesis. H_0 ditolak apabila nilai sig. pada tabel 7 *Test of Between-Subjects Effects* $> 0,05$ atau dengan taraf signifikansi 5%. Hipotesis yang digunakan adalah :

H_0 : ada pengaruh yang signifikan antara variabel faktor terhadap variabel hasil

H_1 : tidak ada pengaruh yang signifikan antara variabel faktor terhadap variabel hasil

Selain itu, akan terlihat tingkat pengaruhnya dalam persen (%) antara variabel faktor terhadap variabel hasil dengan melihat kolom Partial Eta Squared pada tabel 6.

Tabel 7 Test of Between-Subjects Effects

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Hasil Sudut Bending						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	65.628 ^a	11	5.966	40.265	<.001	.804
Intercept	995413.321	1	995413.321	6717914.664	<.001	1.000
material	47.076	2	23.538	158.855	<.001	.746
radius	15.054	3	5.018	33.866	<.001	.485
material * radius	3.497	6	.583	3.934	.001	.179
Error	16.003	108	.148			
Total	995494.951	120				
Corrected Total	81.630	119				

a. R Squared = .804 (Adjusted R Squared = .784)

Penjelasan Tabel :

1. Diperoleh bahwa nilai Sig. material < 0.05, maka dapat disimpulkan H₀ diterima. Artinya, ada pengaruh yang signifikan hasil sudut bending plat berdasarkan variabel jenis material. Adapun besar pengaruhnya yaitu sebesar 74.6%.
2. Diperoleh bahwa nilai Sig. radius < 0.05, maka dapat disimpulkan H₀ diterima. Artinya, ada pengaruh yang signifikan hasil sudut bending plat berdasarkan variabel radius lengkungan dies set. Adapun besar pengaruhnya yaitu sebesar 48.5%.
3. Diperoleh bahwa nilai Sig. material*radius sebesar 0.01 < 0.05, maka dapat disimpulkan H₀ diterima. Artinya, ada interaksi antara variabel jenis material dengan variabel radius lengkungan dies set dalam menentukan hasil sudut bending. Adapun besar pengaruhnya yaitu sebesar 17.9%.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian pengaruh jenis material logam lembaran dan radius lengkungan dies pad dan punch terhadap hasil sudut tekuk proses u-die bending adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan tabel hasil proses u-bending, semakin kecil radius lengkungan dies set pad dan punch maka rata-rata hasil sudut tekuk yang dihasilkan semakin rendah. Nilai rata-rata sudut tekuk terendah adalah 90.20° yaitu dengan menggunakan radius lengkungan dies set 4 yaitu 143.71 [mm] dan menggunakan jenis material plat SS400. Sehingga dengan hasil tersebut direkomendasikan untuk penggunaan dies set 4 pada proses u-bending untuk menghasilkan sudut tekuk mendekati 90° dalam upaya mengurangi adanya fenomena springback pada hasil proses bending. Selain itu, penggunaan material SS400 direkomendasikan dalam proses u-bending karena memiliki hasil sudut tekuk yang paling kecil dalam mengatasi adanya fenomena springback dari pada dua jenis material lainnya, rata-rata sudut tekuk yang dihasilkan oleh material SS400 dengan menggunakan semua jenis dies yaitu sebesar 90.37°, lalu diikuti dengan material Galvanis dengan rata-rata sudut tekuk sebesar 90.98° dan material aluminium dengan rata-rata sudut tekuk sebesar 91.89°
2. Berdasarkan pengolahan data dengan Two-Way ANOVA, didapatkan semua nilai Sig. < taraf signifikan $\alpha = 5\%$ atau 0.05, yang artinya variabel jenis material, variabel radius lengkungan dies set, dan interaksi antara variabel jenis material dan radius dies set mempengaruhi secara signifikan terhadap hasil sudut tekuk, dengan tingkat pengaruh variabel material sebesar 74.6%, pengaruh variabel radius dies set sebesar 48.5% dan pengaruh interaksi kedua variabel sebesar 17.9%.

REFERENSI

- [1] J. Bin Mohamad, "Springback Prediction In Sheet Metal Forming: Constitutive Equations, Finite Element Simulations And Experimental Validation," 2013.
- [2] A. Taylan And A. Tekayya, *Sheet Metal Forming Fundamentals*. Ohio, 2012.
- [3] J. Slota, M. Jurčičin, And M. Dvořák, "Experimental And Numerical Analysis Of Springback Prediction In U-Bendings Of Anisotropic Sheet Metals," 2013.

- [4] R. H. Wagoner, H. Lim, And M. G. Lee, “Advanced Issues In Springback,” *Int J Plast*, Vol. 45, Pp. 3–20, June. 2013, Doi: 10.1016/J.Ijplas.2012.08.006.
- [5] K. Lawanwong And V. Premanond, “The Study Reduction Of Spring-Back In U Bending Die Process,” *Int. Conf. Mech. Electron. Eng.*, Vol. 111, P. 1561, 2010.
- [6] H. Zhang, L. Liu, P. Hu, And X. Liu, “Springback Characteristics In U-Channel Forming Of Tailor Rolled Blank,” *Acta Metall. Sin.*, Vol. 173, Pp. 207–2013, 2012.
- [7] E. H. Audi, R. Loudi, D. Khirani, And L. Tabourot, “Evaluation Of Springback Under The Effect Of Holding Force And Die Radius In A Stretch Bending Test,” *Mater. Des.*, Vol. 35, Pp. 106–112, 2012.