

## Optimasi Dimensi Tebal Awal Pelat Pada Proses Pembengkokan Bentuk *Jogged Flange* Dengan Simulasi Tiga Dimensi

Moch. Agus Choiron<sup>1)</sup>, Agustinus Ariseno<sup>2)</sup>, Andika Prasetyo<sup>3)</sup>  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya<sup>1,2)</sup>  
Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin FT UB<sup>3)</sup>  
Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia  
[E-Mail: agus\\_choiron@ub.ac.id](mailto:agus_choiron@ub.ac.id)

### Abstract

One of the problem of bending process is the final product dimension that it is not agree with the expected results. To reduce trial and error of parameters design, designers can utilize computer simulations to predict parameter process virtually and more time-saving analysis. The aim of this study is determine the variations effect of initial blank material thickness to the flange flatness of the final product in the jogged flange process. In order to find the influence on the unevenness of the flange bend, the parameters of plate thickness, flange radius ratio, and flange length ratio are selected. Verification models were created to justify the trend data between modeling and the experimental results. From the result, the elevation difference on unevenness of the flange bend was obtained. For initial blank material thickness dimensions, it can be seen that the minimum value of the unevenness defect can be obtained by using equal of plate area ratio. The observed increase of the flange radius could be attribute to decrease of unevenness of the flange bend. The increase of plate thickness, unevenness of the flange bend will be decrease.

**Keywords:** initial blank material thickness, jogged flange, unevenness of the flange bend

### PENDAHULUAN

Banyak sekali permasalahan yang dijumpai dalam proses *bending*, salah satu permasalahan utama dalam proses *bending* adalah terjadinya perubahan dimensi pada hasil akhir pembentukan yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Selain karakteristik fisik material, ada beberapa faktor lain yang juga berpengaruh terhadap hasil akhir pembentukan, antara lain ketebalan pelat, radius *bending*, dimensi awal pelat, parameter proses, dan *design tool* yang digunakan. Dalam mendesain dimensi awal material maupun *setting tool* untuk mendapatkan hasil akhir yang sempurna, masih sering dilakukan prosedur coba-coba (*trial and error*), sehingga banyak digunakan bantuan simulasi komputer, sebagai prediksi proses untuk lebih menghemat waktu analisa.

Pengembangan simulasi metode elemen hingga dengan bantuan *software* ABAQUS pada proses *bending* bentuk *straight flanging* pernah dilakukan. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh

pertambahan *gap* (lebar antara *punch* dan *die*) dan panjang *flange* (panjang pembengkokan) terhadap *springback* yang terjadi. Dari hasil simulasi dapat ditarik kesimpulan bahwa sudut *springback* akan bertambah seiring dengan pertambahan *gap* dan semakin pendeknya panjang *flange* [1].

Studi mengenai *springback* pada aluminium, untuk mengetahui pengaruh efek dari laju regangan (*strain-rate*) pada *springback* yang terjadi pada material aluminium 2024 dengan proses *hydroforming*. Studi yang menggunakan baik metode eksperimen langsung maupun metode elemen hingga dengan simulasi komputer LS-Dyna ini, menghasilkan kesimpulan bahwa aluminium alloy 2024-T3 lebih sensitif untuk membentuk laju regangan dibandingkan dengan aluminium alloy 2024-O. Dari studi ini bisa dilihat bahwa jenis material sangat mempengaruhi laju regangan yang terjadi. Perbedaan laju regangan sangat berkaitan langsung dengan bentuk deformasi produk akhir yang terjadi [2].

Penelitian model analitis untuk memprediksi *springback* pada proses *bending* bentuk *straight flanging*. Dari hasil analisa disebutkan bahwa perubahan radius die mempunyai efek lebih besar dibandingkan dengan perubahan *gap* [3]. Prediksi *springback* menggunakan model analitis menghasilkan kesimpulan yang sama dengan menggunakan metode elemen hingga. Salah satunya yaitu sudut *springback* yang semakin mengecil seiring dengan pengurangan lebar *gap* maupun pengurangan radius die, yang disebabkan karena perbedaan nilai regangan maupun tegangan yang terjadi pada setiap *setting* variabel bebas yang berbeda [1].

Pengembangan simulasi *springback* pada proses *bending* telah dilakukan. Pengembangan ini dengan mensimulasikan *springback* pada proses *bending* bentuk *straight flanging* dengan pemodelan dua dimensi, disimpulkan bahwa penambahan radius belokan *die* akan memperbesar daerah elastis pada daerah bengkakan, sehingga *springback* yang terjadi semakin besar. Untuk variasi ketebalan pelat didapatkan hasil yang sebaliknya, dimana sudut *springback* akan menurun seiring penambahan tebal pelat [4,5]. Penelitian selanjutnya [5] dengan simulasi tiga dimensi proses *bending* bentuk *jagged flange* yang geometrinya lebih kompleks dibandingkan dengan *straight flange*. Dengan melihat pengaruh radius *die* dan tebal pelat terhadap *springback* yang terjadi, menghasilkan kesimpulan yang sama. Akan tetapi hasil yang didapat menunjukkan kecacatan baru yaitu ketidakrataan hasil produk akhir, terutama pada radius belokan pelat. Selain karena pengaruh bentuk *tool* (*die*, *blankholder* dan *punch*), pelumasan, kecepatan *punch*, gaya *blankholder*, maupun penyebab lain yang dapat diperbaiki dengan mudah adalah belum dioptimasikannya dimensi awal bahan baku pelat.

Simulasi untuk mengetahui pengaruh dimensi awal pelat terhadap ketidakrataan ketinggian yang terjadi pada sisi *flange* pada proses *bending* bentuk *jagged flange*. Dilakukan *flanging/wiping die* pada sisi *flange* dengan bervariasi

radius kedua belokan pada sisi *flange*, antara 5 mm sampai dengan 15 mm [6].

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi dimensi awal bahan baku tebal pelat terhadap kerataan hasil akhir pada sisi *flange* yang terjadi pada proses *bending* bentuk *jagged flange*. Manfaat yang bisa diambil adalah memberikan gambaran mengenai proses *bending* melalui simulasi komputer yang berguna untuk mereduksi waktu yang diperlukan dalam *trial and error setting* proses *bending* beserta penentuan dimensi awal bahan baku pelat. Dengan simulasi akan diperoleh bentuk desain awal dimensi bahan baku pelat secara *virtual* yang dapat dikembangkan setiap saat dan tentunya dengan waktu yang jauh lebih cepat.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental semu, dengan cara melakukan simulasi memanfaatkan program berbasis metode elemen hingga. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas  
Adalah variasi tebal pelat mulai dari 0,7 mm sampai dengan 3 mm. Pemilihan tebal pelat berdasarkan atas spesifikasi tebal dari Aluminium Alloys 5182-O yang ada yaitu 0,7 – 3,2 mm.
2. Variabel terikat  
Adalah ketidakrataan ketinggian pada daerah lokal belokan.
3. Variabel terkontrol
  - a. Koefisien gesek 0,125
  - b. Radius die dan punch 3 mm
  - c. *Material properties aluminium alloys 5182-O*

Tabel 1. *Material properties aluminium alloys 5182-O*

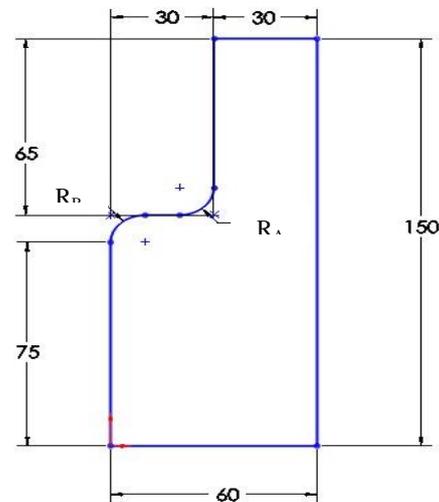
<i>Properties</i>	<i>Value</i>
Modulus Elastisitas Bahan (E)	70 GPa
Angka Poisson ( $\nu$ )	0,3
Tegangan Yield	146 MPa
Tangent Modulus	3,7929 GPa
Density	2650 kg/m <sup>3</sup>

d. *Material properties punch, holder, dan die*

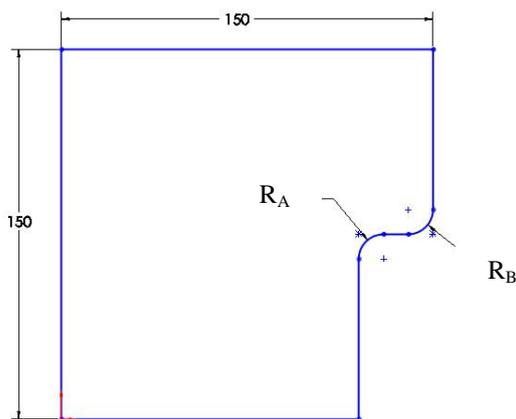
Tabel 2. *Material properties punch, holder, dan die*

<i>Properties</i>	<i>Value</i>
Modulus Elastisitas Bahan (E)	207 GPa
Angka Poisson ( $\nu$ )	0,3
Density	7580 kg/m <sup>-3</sup>

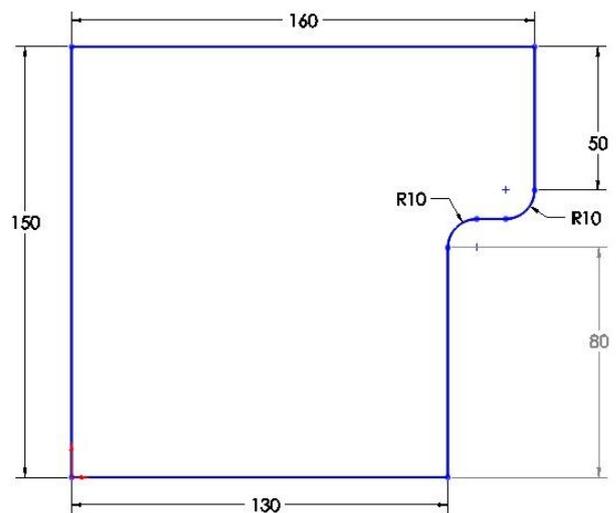
Spesimen pelat aluminium alloys 5182-O dengan panjang = 150 mm dan lebar = 150 mm (Gambar 1). Spesimen punch AISI M20 dan dies SS400 dengan rincian geometri yang terkontrol (Gambar 2 dan 3).



Gambar 2. Spesifikasi Geometri punch

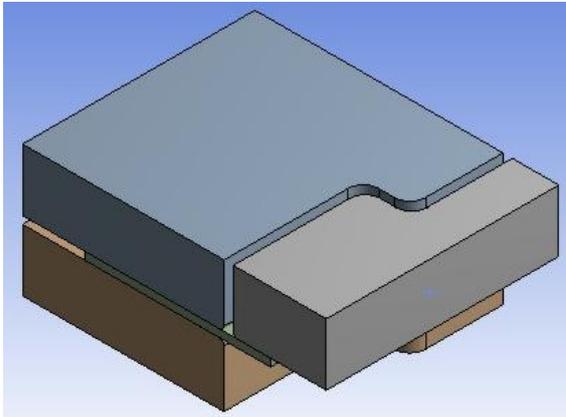


Gambar 1. Spesifikasi Geometri Pelat



Gambar 3. Spesifikasi Geometri Dies

Pemodelan proses *bending* bentuk *jogged flange* secara lengkap meliputi pelat, dies dan punch dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemodelan Proses *Jogged Flanging*

Adapun rancangan percobaan yang akan dilakukan ditabelkan sebagai berikut:

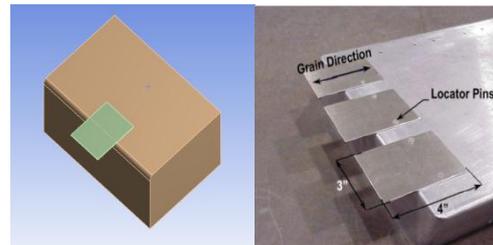
Tabel 3. Rancangan Percobaan

		KETEBALAN PELAT			
		0,7 mm	1,5 mm	2,3 mm	3 mm
RADIUS BELOKAN	$R_A = R_B$	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>
	$R_A > R_B$	S <sub>21</sub>	S <sub>22</sub>	S <sub>23</sub>	S <sub>24</sub>
	$R_A < R_B$	S <sub>31</sub>	S <sub>32</sub>	S <sub>33</sub>	S <sub>34</sub>

- $R_A$  dan  $R_B$  adalah radius belokan pelat dalam satuan millimeter (mm) pada sisi flange.
- $S_{xy}$  adalah ketidakrataan pada daerah lokal belokan (mm), dimana  $x$  adalah variasi radius belokan, dan  $y$  adalah variasi ketebalan pelat.
- Radius belokan yang dipakai untuk  $R_A = R_B$  adalah 10 mm.
- Radius belokan yang dipakai untuk  $R_A > R_B$  adalah  $R_A = 15$  mm dan  $R_B = 6$  mm.
- Radius belokan yang dipakai untuk  $R_A < R_B$  adalah  $R_A = 10$  mm dan  $R_B = 15$  mm.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi dilakukan dengan membandingkan model eksperimen nyata yaitu penelitian Kulkarni dan Prabhakar [2] (Gambar 5). Parameter proses yang dipilih adalah material *aluminum alloy 2024-O*, *straight flange*, radius *bending punch* 6,35 mm, dan cacat yang diteliti ialah cacat *springback*.



Gambar 5. Pemodelan Verifikasi Pada Penelitian Pravin Kulkarni

Untuk pengukuran besar sudut penyimpangan (*springback*) yang terjadi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software CAD*. Hasil yang diperoleh dari pengukuran besar sudut *springback* adalah seperti tampak pada Tabel 4 berikut.

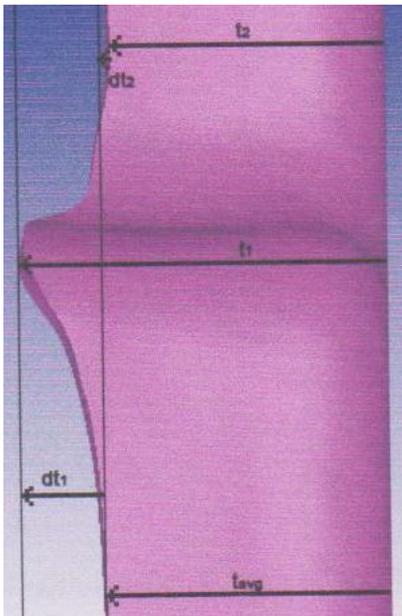
Tabel 4. Hasil Pengukuran Besar Sudut *Springback*

<i>Aluminum Alloy 2024 – O</i>			
Tebal plat (mm)	Radius Bending 6,35 mm		
	<i>Experimental (Degree)</i>	<i>FEA (Degree)</i>	<i>Deviation (%)</i>
0,8	96,29	95,81	0,5
,6	93,90	92,22	1,79

Hasil simulasi model tiga dimensi sedikit berbeda dengan hasil model eksperimen nyata [2], tetapi dengan toleransi penyimpangan dari verifikasi masih dibawah 5% sehingga masih cukup valid.

Setelah verifikasi dilakukan dan hasilnya dianggap cukup valid, maka dilanjutkan untuk memodelkan kasus *Jogged Flange*. Hasil yang diperoleh dari adalah deformasi dan distribusi teganganyang terjadi. Cacat ketidakrataan ketinggian yang terjadi merupakan variabel terikat yang dicari. Ketidakrataan ketinggian

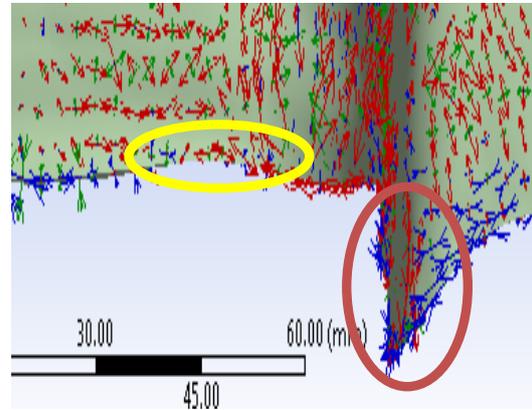
sisi *flange* seperti yang terlihat pada gambar 6, dapat dibagi menjadi 2 kondisi yaitu pada bagian 1 ( $t_1$ ), ketinggian sisi *flange* lebih besar dari seharusnya yang selanjutnya kelebihan ketinggian pada sisi *flange* tersebut dinamakan  $dt_1$ , sedang pada bagian 2 ( $t_2$ ), ketinggian sisi *flange* lebih kecil dari seharusnya yang selanjutnya kekurangan ketinggian pada sisi *flange* dinamakan  $dt_2$ . Untuk mendapatkan  $dt_1$  dan  $dt_2$  maka perlu diukur dulu nilai  $t_{avg}$  sebagai acuan dari pengukuran. Besar dari  $t_1$  dan  $t_2$  diukur yang hasilnya nanti untuk  $t_1$  apabila dilakukan penjumlahan dengan  $t_{avg}$  akan mendapatkan nilai dari  $dt_1$  dan untuk mendapatkan  $dt_2$  dapat dilakukan dengan pengurangan antara  $t_{avg}$  dengan  $t_2$ .



Gambar 6. Pengukuran ketidakrataan pada daerah lokal belokan (mm)

Pada pembengkokan plat bentuk *jogged flange*, di bagian belokan terjadi pemanjangan dan pengurangan ketinggian flange (Gambar 7). Kecenderungan tersebut disebabkan karena dua buah gaya yang bekerja pada arah yang berlawanan disekitar daerah belokan plat akibat kedwisumbuan tegangan maka pemanjangan disebabkan oleh *tension* (dilingkari coklat) dan pengurangan

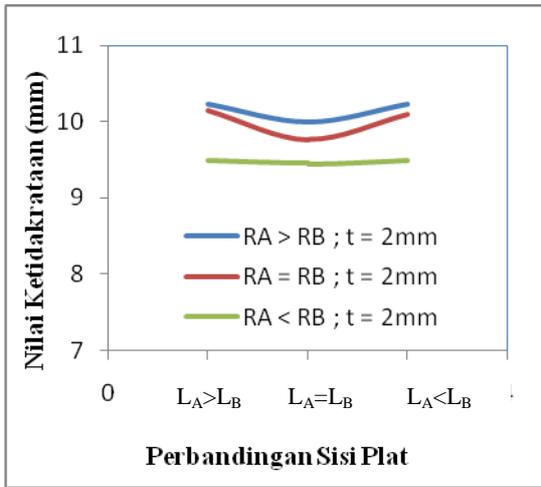
ketinggian disebabkan oleh *compression* pada daerah belokan ketinggian flange tersebut (dilingkari kuning).



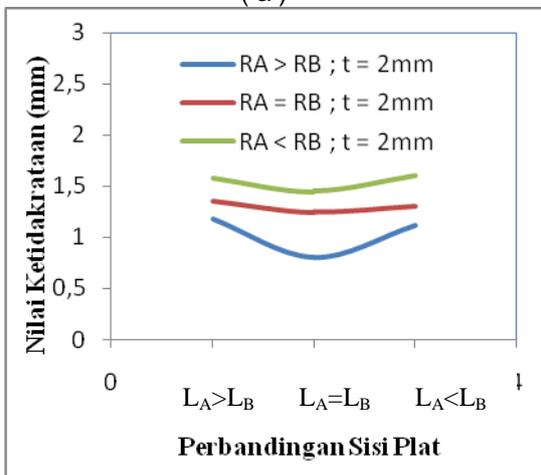
Gambar 7. Kedwisumbuan tegangan yang terjadi pada daerah belokan plat

*Strain rate* bereaksi sangat berbeda bergantung pada gaya yang diterapkan. Pada kasus deformasi plastis, jika gaya pembebanan dilakukan secara bertahap diterapkan pada material, maka material akan memanjang dalam jumlah besar sebelum rusak. Hal ini dikarenakan molekul di material memiliki cukup waktu untuk mereorientasi diri dan bergerak melewati satu sama lain, yang menyebabkan peregangan terjadi.

Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai ketidakrataan yang paling minimal dari perbandingan panjang plat ( $LA > LB$ ;  $LA = LB$ ;  $LA < LB$ ) terjadi pada perbandingan panjang plat  $LA = LB$  dimana  $LA = 75$  cm dan  $LB = 75$  cm. Hal ini dikarenakan distribusi tegangan yang lebih merata pada perbandingan panjang plat  $LA = LB$  dibandingkan dengan perbandingan plat pada  $LA > LB$  dan  $LA < LB$  (Gambar 9).

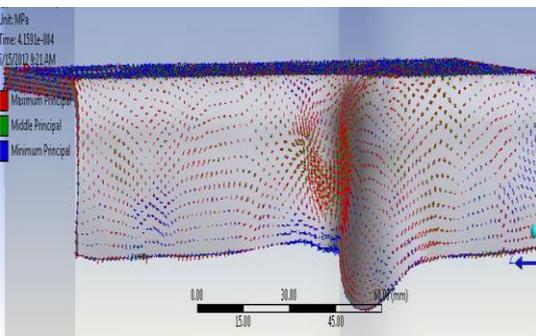


(a)



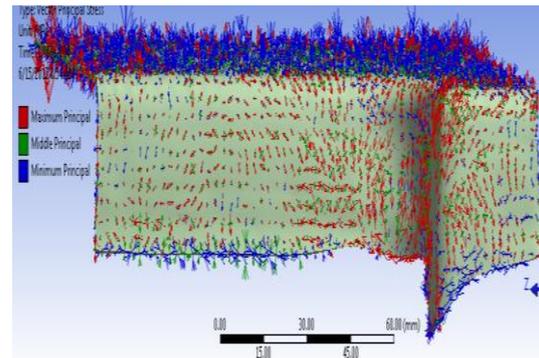
(b)

Gambar 8 (a) Grafik pengaruh panjang sisi plat terhadap ketidakrataan belokan flange pada  $dt_1$  (b) Grafik pengaruh panjang sisi plat terhadap ketidakrataan belokan flange pada  $dt_2$

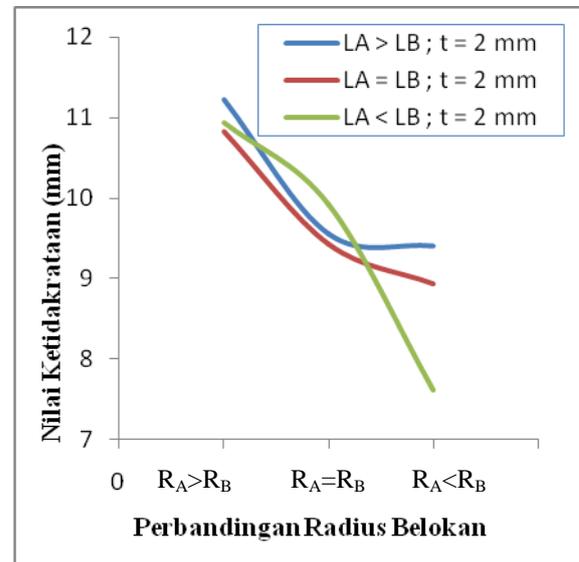


Gambar 9. Distribusi tegangan pada perbandingan panjang plat  $L_A=L_B$

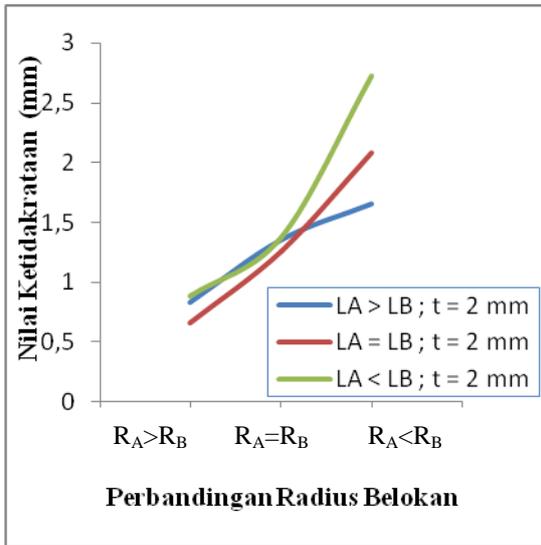
Perbedaan panjang sisi plat mengakibatkan adanya penumpukan konsentrasi tegangan yang berlebih pada belokan flange sehingga mengakibatkan distribusi tegangan yang tidak merata dan adanya peningkatan regangan yang berlebih pada belokan flange  $dt_1$  dan pengurangan regangan pada belokan flange  $dt_2$  (Gambar 10).



Gambar 10. Distribusi tegangan pada perbandingan panjang plat  $L_A > L_B$



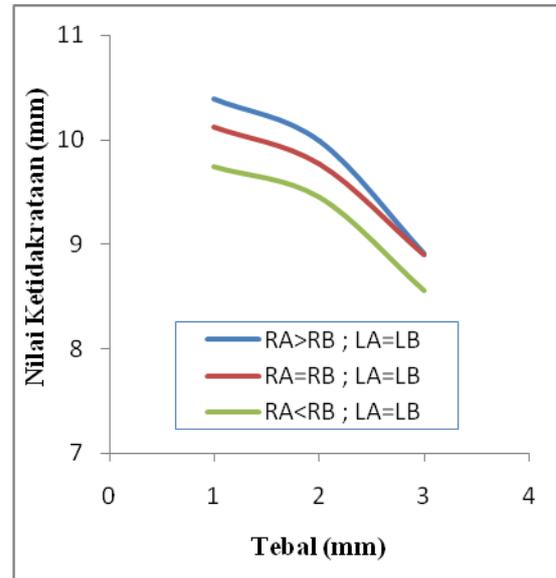
(a)



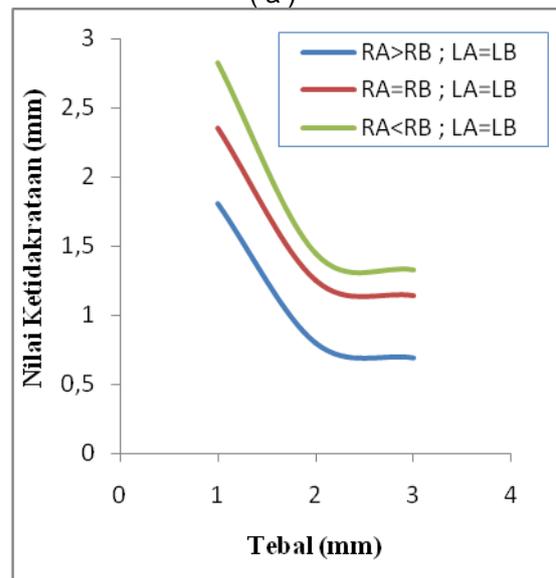
( b )

Gambar 11 (a) Grafik pengaruh radius belokan plat terhadap ketidakrataan belokan flange pada  $dt_1$  (b) Grafik pengaruh radius belokan plat terhadap ketidakrataan belokan flange pada  $dt_2$

Gambar 11 menunjukkan nilai ketidakrataan yang paling minimal dari belokan 1 ( $dt_1$ ) terjadi pada perbandingan radius  $R_A < R_B$  dan nilai ketidakrataan yang paling maksimal terjadi pada perbandingan radius  $R_A > R_B$ . Selanjutnya nilai ketidakrataan yang paling minimal dari belokan 2 ( $dt_2$ ) terjadi pada perbandingan radius  $R_A > R_B$  dan nilai ketidakrataan yang paling maksimal terjadi pada perbandingan radius  $R_A < R_B$ . Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin besar radius flange maka semakin kecil cacat ketidakrataan yang terjadi. Pada nilai ketidakrataan belokan 1 ( $dt_1$ ), yang lebih mempengaruhi nilai ketidakrataan ketinggian belokan 1 ( $dt_1$ ) adalah besar radius belokan 1 ( $R_A$ ), karena secara geometri ukuran  $R_A$  secara langsung mempengaruhi besar deformasi yang terjadi pada daerah lokal belokan 1 ( $dt_1$ ). Begitu juga sebaliknya pada ketidakrataan belokan 2 ( $dt_2$ ).



( a )

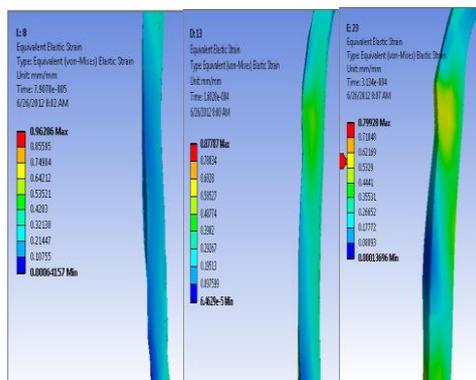


( b )

Gambar 12 (a) Grafik pengaruh radius belokan plat terhadap ketidakrataan belokan flange pada  $dt_1$  ( b ) Grafik pengaruh radius belokan plat terhadap ketidakrataan belokan flange pada  $dt_2$

Pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa dapat terlihat bahwa nilai ketidakrataan yang paling minimal dari belokan 1 ( $dt_1$ ) terjadi pada tebal 3 mm dan nilai ketidakrataan yang paling maksimal terjadi pada perbandingan radius 1 mm.

Selanjutnya nilai ketidakrataan yang paling minimal dari belokan 2 ( $dt_2$ ) terjadi pada 3 mm dan nilai ketidakrataan yang paling maksimal terjadi pada perbandingan 1 mm. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin besar tebal platnya maka semakin kecil cacat ketidakrataan yang terjadi. Pada plat yang lebih tebal tidak semua materialnya bersifat plastis apabila diberi beban, semakin tebal plat nya maka semakin besar pula daerah elastis yang terdapat pada bagian dalam platnya (Gambar 13).



Gambar 13. Kemampuan elastis pada plat tebal 1 mm, 2 mm, dan 3 mm

Pada tebal 1 mm terlihat bahwa daerah kemampuan elastis plat nya lebih cenderung bersifat plastis, hal ini ditampilkan dengan warna biru hingga biru muda yang lebih dominan pada platnya. Pada tebal 2 mm kemampuan elastis platnya lebih besar daripada tebal 1 mm, hal ini dapat terlihat pada tebal 2 mm daerah kemampuan elastis platnya beragam mulai dari warna biru hingga hijau yang berarti kemampuan elastis platnya lebih cenderung meningkat dibandingkan dengan tebal 1 mm. Pada tebal 3 mm kemampuan elastis platnya lebih besar daripada tebal 2 mm, hal ini ditunjukkan dengan keseragaman daerah elastis mulai dari warna biru hingga kuning pada platnya. Pada plat tebal 3 mm terdapat daerah elastis berwarna dominan hijau dan warna kuning yang memiliki kemampuan elastis lebih tinggi daripada sebelumnya. Oleh karena itu semakin tebal platnya maka semakin besar pula kemampuan elastisnya yang mengakibatkan setelah diberi

pembebanan plat mencoba berdeformasi kembali ke bentuk semula, hal inilah yang mengakibatkan semakin kecilnya nilai cacat ketidakrataan pada plat yang lebih tebal.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa perbedaan ketidakrataan ketinggian pada belokan *flange* merupakan ketidakeragaman deformasi yang terjadi pada proses *bending* bentuk *jogged flange* yang diakibatkan oleh terjadinya kedwisumbuan tegangan pada belokan plat. Dengan bervariasi dimensi awal bahan bakuplat, dapat dilihat kecenderungan arah dan besar tegangan yang terjadi pada sisi *flange*. Untuk memperoleh nilai cacat ketidakrataan yang minimal maka sebaiknya perbandingan luasan platsama besarnya. Semakin besar radius *flange* maka akan semakin kecil cacat ketidakrataan yang terjadi dan semakin besar tebal platnya maka akan semakin kecil cacat ketidakrataan yang terjadi. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh panjang pembengkokan, lebar *gap*, dan dimensi *punch* maupun *dies* serta pengaruh gaya penekanan terhadap kecacatan plat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cao, Jian et al; 2001 : *Effective Models for Prediction of Springback in Flanging*; Journal of Engineering Materials and Technology; Vol. 123 No. 4, pp.456-461.
- [2]. Kulkarni, Pravin, and Prabhakar, Shashikiran; 2003: *Influence of the Effect of Strain Rates on Springback in Aluminum 2024 (ISO A1Cu4Mg1)*, 4<sup>th</sup> European LS-DYNA Users Conference.
- [3]. Cao, Jian, and Buranathiti, Thaweapat; 2004: *An Effective Analytical Model for Springback Prediction in Straight Flanging Processes*; Int. J. Materials and Product Technology, Vol. 21, Nos. 1/2/ 3, pp. 137-153.
- [4]. Choiron, Moch. Agus ; Widiarko, Kiki Amban, 2006 : *Simulasi Pengaruh Radius Die dan Tebal Pelat terhadap*

- Springback pada Proses Straight Flanging Aluminum Paduan*, 1<sup>st</sup> Seminar on Application and Research in Industrial Technology (SMART), Yogyakarta, 27 April 2006
- [5]. Choiron, Moch. Agus, dan Setyabudi, S.A, 2007: *Simulasi 3 Dimensi Pengaruh Radius Die dan Tebal Pelat Terhadap Springback pada Proses Pembengkokan Bentuk Jogged Flange*; Jurnal Rekayasa Mesin / Volume 3 No. 1 – Februari 2007.
- [6]. Riptanto, Saptonugroho Sum Adi (2007), *Optimasi Dimensi Awal Pelat Pada Proses Pembengkokan Bentuk Jogged Flange Dengan Simulasi Tiga Dimensi*, Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang