

## Analisis desain *stamping die* menggunakan FTI *forming suite*

Nanang Ali Sutisna, Vicky Gufon Afandi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Presiden  
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Cikarang, Bekasi 17550  
Email korespondensi: nanang.ali@president.ac.id

### Abstrak

Kajian ini dilakukan pada desain *stamping die* untuk salah satu komponen bodi mobil menggunakan perangkat lunak FTI Forming Suite. Pada umumnya, proses rancang bangun *stamping die* yang terdapat di perusahaan, diamati melibatkan tujuh hingga sepuluh percobaan sebelum mendapatkan *die* yang dapat diterima, yang akibatnya meningkatkan biaya *die*. Dengan menggunakan perangkat lunak, diharapkan jumlah percobaan berkurang karena desain dianalisis terlebih dahulu untuk mengidentifikasi cacat yang tidak diinginkan dalam proses *stamping*, seperti kerut, robek, dan *springback*. Tahapan kajian dimulai dengan membandingkan komponen hasil *stamping* dengan desainnya. Dengan menggunakan pemindai 3D, geometri komponen diperoleh dan dibandingkan dengan model CAD 3D asli untuk memeriksa penyimpangan komponen dari desain aslinya. Perbandingan antara komponen hasil *stamping* dengan desain asli menunjukkan ketidaksesuaian. Hal ini kemungkinan besar karena desain telah dimodifikasi untuk mencegah cacat stempel. Selanjutnya, desain asli disimulasikan dengan menerapkan gaya blank holder sebesar 109,7 kN. Simulasi pertama pada komponen desain asli menunjukkan bahwa *thickness strain* sebesar -14,4% dan memiliki kecenderungan kerutan yang kuat. Oleh karena itu, desain dimodifikasi, kemudian dilakukan simulasi lagi pada desain komponen yang dimodifikasi ini. Modifikasi terutama difokuskan pada radius sudut yang diperlukan, juga pada gaya blank holder menjadi 129,2 kN untuk mencegah kerutan dan mengurangi *springback*. Simulasi kedua menghasilkan *formability* yang baik, ditunjukkan dengan *forming limit diagram (FLD)*, zona aman, dan *springback* yang lebih baik, meskipun *thickness strain* minimum meningkat menjadi -19,2%. Jadi, dengan menggunakan simulasi perangkat lunak, geometri cetakan yang benar dapat diperoleh sebelum pembuatan cetakan untuk menghindari biaya modifikasi *die* yang tidak perlu selama proses percobaan. Selain itu, jumlah percobaan dapat diminimalkan, sehingga *lead time* produksi *stamping dies* menjadi lebih singkat.

**Kata kunci:** komponen bodi mobil, desain, software simulasi, *stamping*.

### Abstract

This study was conducted on *stamping die* design for one of the car body parts using the FTI Forming Suite software. In general, the design process of existing *stamping dies* in the observed companies involves seven to ten trials before obtaining an acceptable *die*, which consequently increases the cost of the *die*. By using the software, it is expected that the number of trials will be reduced because the design is analyzed first to identify unwanted defects in the *stamping* process, such as wrinkles, splits, and *springbacks*. The study begins by comparing the stamped parts with the design. Using a 3D scanner, the geometry of the parts is obtained and compared to a original 3D CAD model to check for deviations of the parts from the original design. Comparison between the stamped parts and the original design shows discrepancies. This is most likely because the design has been modified to prevent *stamping* defects. Furthermore, the original design is simulated by applying a blank holder force of 109.7 kN. The first simulation on the original design showed that the *thickness strain* was -14.4% and had a strong wrinkling tendency, therefore the modified design was then simulated again on this modified part design. Modifications mainly focused on the essential corner radius, as well as on the blank holder force to 129.2 kN to prevent wrinkling and reduce *springback*. The second simulation produces good *formability* as shown by the *forming limit diagram (FLD)*, safety zone, and better *springback*, even though the minimum *thickness strain* increases to -19.2%. Thus, by using simulation software, the correct *die* geometry can be obtained prior to *die* making to avoid unnecessary *die* modification costs during the trial run. In addition, the number of trials can be minimized so that the *lead time* for *stamping dies* production is shortened.

**Keywords:** *autobody part*, design, software simulation, *stamping*.

### 1. Pendahuluan

Seiring dengan berkembangnya industri otomotif di Indonesia, permintaan akan industri suku cadang mobil semakin meningkat, termasuk suku cadang kendaraan bermotor. Namun, banyak perusahaan

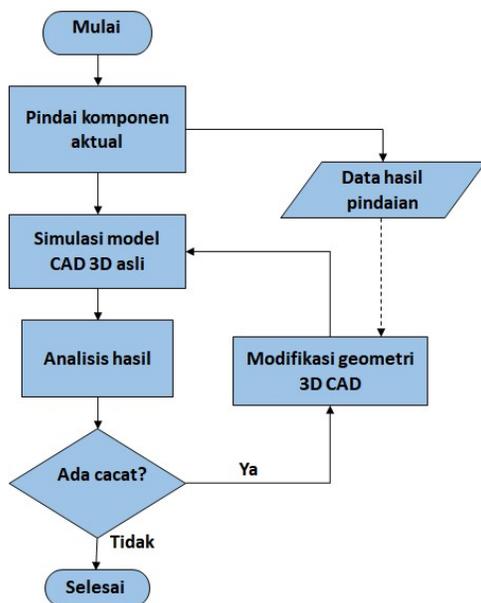
*stamping* bodi mobil di Indonesia melakukan pengujian langsung di mesin *stamping* selama analisis *formabilitas* saat menguji cetakan baru. percobaan bisa mencapai tujuh sampai sepuluh kali. Setiap percobaan biasanya membutuhkan tiga hingga tujuh kali untuk mengetahui apakah ada cacat, yang memakan waktu tiga hingga lima hari, tidak termasuk

waktu untuk modifikasi cetakan, yang mengakibatkan biaya, waktu, dan sumber daya yang lebih tinggi. Cacat umum seperti kerutan, retak, penipisan berlebihan, *springback*, dan cacat pembentukan lainnya sering terjadi [1]. Geometri *die* memainkan peran penting dalam mencegah cacat, khususnya radius sudut [1],[2]. Demikian pula parameter *stamping* seperti gaya *blank holder* berpengaruh signifikan terhadap hasil *stamping* [3]-[5]. Pengaruh variabel gaya *blank holder* pada sifat mampu bentuk telah dikaji sebelumnya [6].

Kajian ini dilakukan untuk mengetahui model geometri CAD yang tepat untuk desain *stamping die* dengan memeriksa kemampuan bentuk menggunakan dua model geometri yang berbeda, yaitu desain asli dan desain yang dimodifikasi. Modifikasi desain terutama dilakukan pada sudut radius. Simulasi perangkat lunak dilakukan pada kedua model untuk memeriksa terjadinya cacat dan menemukan cara untuk mencegahnya.

## 2. Metode

Tahapan kajian ini dimulai dengan pemindaian 3D terhadap komponen hasil *stamping* untuk dibandingkan dengan model asli CAD 3D dan dianalisis penyimpangan. Komponen hasil *stamping* yang dipindai adalah komponen yang telah melewati proses *quality control*, sehingga tidak ada cacat. Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi pada model 3D asli, kemudian menganalisis sifat mampu bentuknya. Jika hasil simulasi menunjukkan masih terdapat cacat sobek atau kerut maka komponen tersebut selanjutnya akan dimodifikasi dengan mengacu pada data geometri yang telah dipindai, dan disimulasikan kembali hingga diperoleh hasil yang baik tanpa cacat seperti digambarkan pada diagram alir pada Gambar 1.



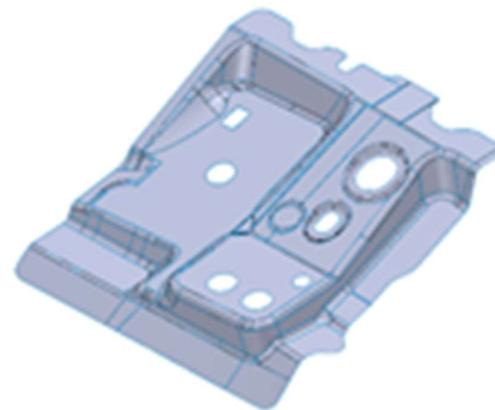
Gambar 1. Diagram alir.

Komponen yang digunakan dalam kajian ini adalah *Backdoor Reinforcement Part* (Gambar 2), menggunakan material *soft steel SPCC440 (Steel Plate Cold Coil)* dengan spesifikasi 1,60 x 496 x C x 209,5. Ukuran tersebut menunjukkan bahwa komponen tersebut memiliki ketebalan sebesar 1,6 mm dan lebar sebesar 496 mm dengan bentuk material gulungan dan jarak *pitch* adalah 209,5 mm.

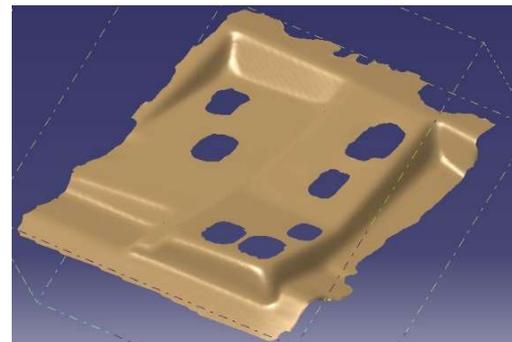
Komponen itu dipindai menggunakan *3D scanner Einscan Pro 2X*. Proses pemindaian dimulai secara bertahap dan perlahan-lahan berfokus pada area tertentu saat memindai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (c) berikut.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 2.** Desain (a) komponen jadi, (b) komponen asli, dan (c) hasil pemindaian 3D.

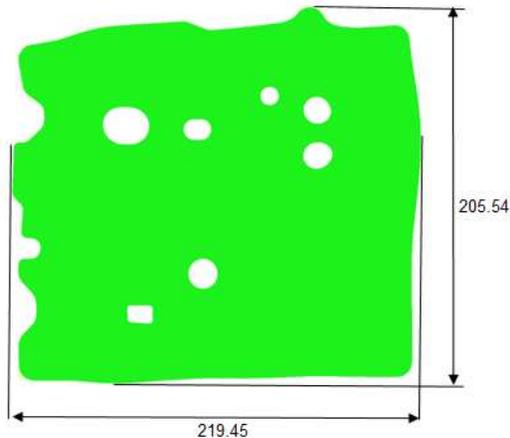
Sebelum melakukan simulasi, gaya *blank holder* ( $F_{bh}$ ) perlu diestimasi, karena diperlukan untuk input ke perangkat lunak simulasi *Forming Suite*. Gaya *blank holder* ditentukan secara eksperimental sebelumnya [7], yang merupakan 34% dari gaya pembentuk. Koefisien gesekan dan jarak ruang (*clearance*) model seperti yang disarankan [1], tidak termasuk dalam perhitungan ini.

Gaya pembentukan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) berikut [8].

$$F_p = Pl \cdot t \cdot (\sigma_y) \cdot \sin \theta \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan bahwa  $F_p$  adalah Gaya pembentukan (*Forming force*),  $Pl$  adalah keliling *blank*,  $t$  adalah tebal pelat,  $\sigma_y$  adalah kekuatan luluh,  $\theta$  adalah sudut kontak antara plat dan profil *die*.

Keliling ( $Pl$ ) dihitung dari ukuran *blank sheet* yang ditunjukkan pada Gambar 3.

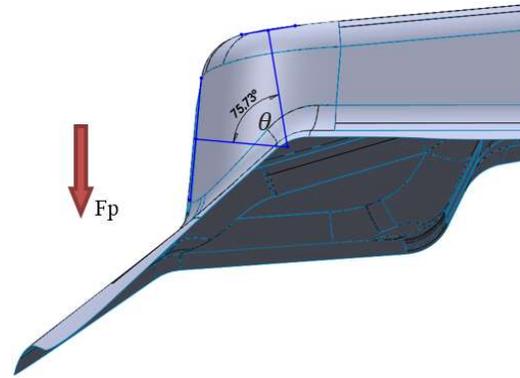


**Gambar 3.** Blank sheet.

Berdasarkan desain yang telah tersedia, yang telah diulas sebelumnya, ketebalan material ( $t$ ) adalah 1,6 mm. Material yang digunakan adalah SPCC 440 yang memiliki kekuatan luluh ( $\sigma_y$ ) sebesar 245 MPa dan kekuatan *ultimate* sebesar 440 MPa [9].

Karena kerumitan bentuknya, diasumsikan bahwa pembentukan diterapkan pada seluruh bagian komponen dan sudut kontak ( $\theta$ ) diambil yang terbesar. Oleh karena itu, gaya pembentuk ( $F_p$ ) dihitung menggunakan Persamaan (1) dengan luas yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan sudut ( $\theta$ ) dari Gambar 4, sehingga gaya pembentuk ( $F_p$ ) didapat sebesar 322,91 kN.

Dengan demikian, gaya *blank holder* ( $F_{bh}$ ) yang akan digunakan dalam simulasi dengan perangkat lunak *Forming Suite* dihitung berdasarkan 34% dari gaya pembentuk yaitu 109,7 kN.



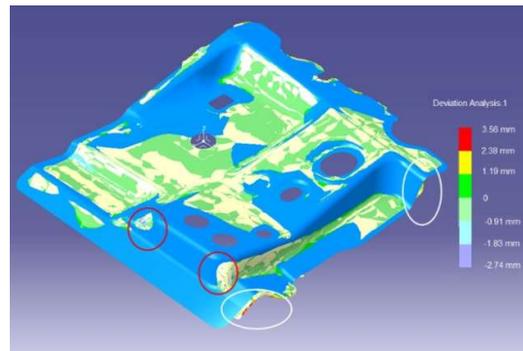
**Gambar 4.** Gaya pembentuk  $F_p$  (forming force).

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pemindaian dilakukan untuk memeriksa penyimpangan antara data yang dipindai dan data referensi yang merupakan model CAD 3D asli.

Sebelum melakukan analisis deviasi, yang perlu dilakukan adalah melakukan penjajaran antara komponen referensi dan komponen yang dipindai. Untuk memudahkan menemukan titik referensi, *mesh* hasil pindaian harus diubah menjadi model permukaan (*surface model*) terlebih dahulu.

Analisis deviasi dilakukan pada perangkat lunak CATIA V5. Pada hasil analisis deviasi (Gambar 5), terlihat bahwa deviasi terbesar adalah sebesar 3,56 mm, deviasi *part* ini berasal dari *scan part* produksi aktual di perusahaan. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa geometri komponen aktual (biru) dan gambar aslinya (kuning) berbeda.



**Gambar 5.** Hasil analisis deviasi.

Penyimpangan terbesar terjadi terutama pada lereng (lingkaran putih) yang diduga merupakan hasil dari *springback*. Penyimpangan terbesar kedua adalah pada bagian sudut (lingkaran merah), di mana komponen aktual memiliki radius sudut yang lebih besar, yang seharusnya merupakan modifikasi dari desain awal untuk mengatasi keretakan atau kerutan selama uji coba.

Simulasi analisis pembentukan pada komponen ini dilakukan dalam beberapa tahap yakni Diagram *forming limit*, Zona aman, *Thickness strain*, dan *Springback* [10].

Ringkasan atau *summary* laporan simulasi pada model asli yang dikeluarkan oleh perangkat lunak setelah simulasi selesai dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

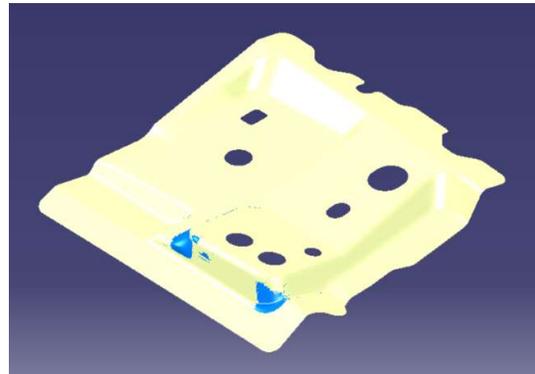
Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain komponen ini memiliki kecenderungan berkerut yang tinggi. Hal ini juga ditunjukkan pada Diagram *forming limit* (Gambar 7 (a)), di mana terdapat area besar dengan kecenderungan kerutan yang kuat (warna biru) dan area zona aman yang kecil (warna hijau). Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi model yang akan menjadi acuan pembuatan *dies*.

Tabel 1. Ringkasan laporan simulasi.

Summary	
Safety (Safe/Marginal/Fail)	Strong Wrinkle Tendency
Minimum Thickness Strain	-14,428 Eng. (%)
Friction Coefficient	0,15
Tipping Vector	0,000, 0,000, 1,000

Mempertimbangkan fakta bahwa komponen hasil *stamping* yang diproduksi oleh perusahaan telah dimodifikasi dari desain aslinya seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5, maka *part* untuk simulasi akan dimodifikasi berdasarkan temuan bahwa modifikasi akan dilakukan pada radius sudut yang esensial.

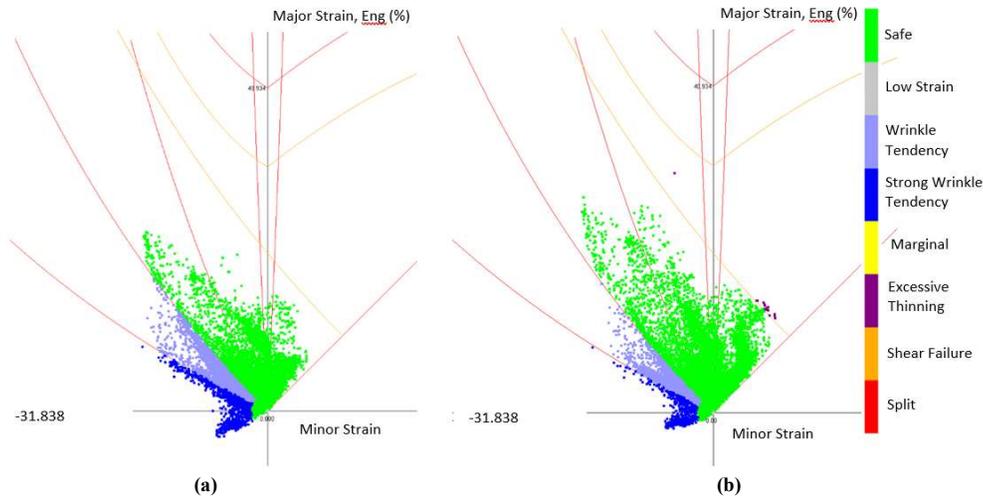
Gambar 6 menunjukkan perbandingan antara komponen desain asli dan yang dimodifikasi, mereka saling tumpang tindih. Perbedaan antara desain asli dan komponen yang dimodifikasi ditampilkan dalam warna biru.



Gambar 6. Desain part yang telah dimodifikasi.

Perubahan penting lainnya pada simulasi kedua juga terjadi pada *blank holder force* ( $F_{bh}$ ). Untuk mengurangi *wrinkle* dan *springback*, gaya *blank holder* ditingkatkan dari 34% menjadi 40% dari gaya *Punch*, jadi sekarang  $F_{bh}$  menjadi 129,2 kN.

Diagram *forming limit* adalah salah satu ukuran yang paling penting dalam menganalisis hasil simulasi *stamping*.



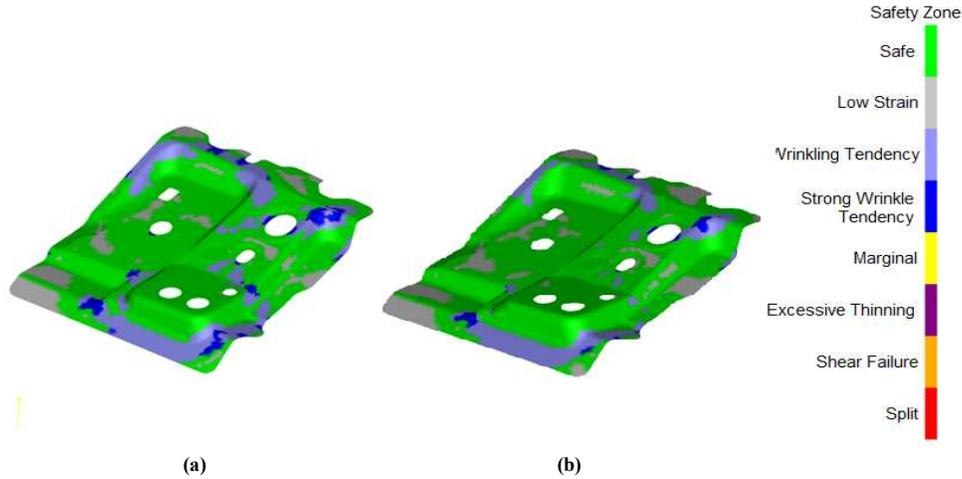
Gambar 7. FLD desain part (a) orisinal dan (b) telah dimodifikasi.

Diagram *forming limit* dari komponen desain asli (Gambar 7 (a)) menunjukkan sebagian besar kecenderungan kerut yang kuat, sedangkan komponen yang dimodifikasi (Gambar 7 (b)) didominasi oleh zona aman (warna hijau) dan area kecenderungan kerutan yang lebih kecil (warna biru). Ada juga zona penipisan yang sangat kecil (warna ungu) yang sampai batas tertentu dapat diabaikan.

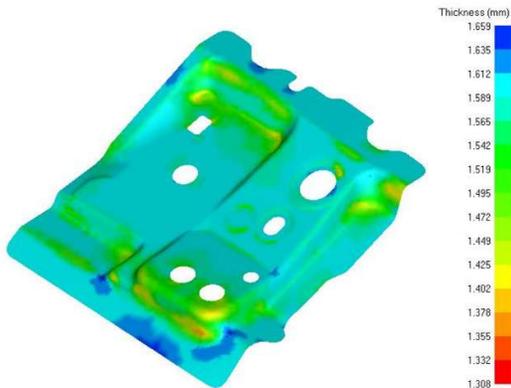
Sesuai dengan diagram *forming limit*, plot zona aman mengonfirmasi hasil diagram *forming limit*. Zona aman komponen desain asli ditunjukkan pada Gambar 8 (a) dan zona aman komponen yang dimodifikasi ditunjukkan pada Gambar 8 (b). Komponen yang dimodifikasi menunjukkan area yang lebih kecil pada zona *Strong Wrinkle Tendency* (warna biru) dibandingkan dengan komponen desain aslinya.

Karena terjadinya tegangan pada material dan aliran material selama proses pembentukan, mengakibatkan penipisan atau penebalan material. Terlihat dari hasil *rendering* pada Gambar 9, ketebalan material dapat dibedakan dari warna, dengan warna hijau ketebalan material normal, sedangkan warna jingga kemerahan mengalami pengurangan ketebalan material secara ekstrim.

*Thickness strain* minimum pada komponen desain asli adalah -14,4%, sedangkan pada komponen desain yang dimodifikasi adalah -19,2%. Oleh karena itu, ketebalan minimum komponen yang di-*stamping* berturut-turut adalah 1,37 mm dan 1,30 mm.

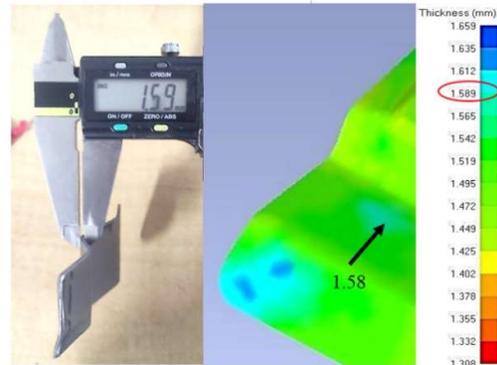


Gambar 8. Hasil simulasi safety zone pada desain (a) orisinal dan (b) telah dimodifikasi.



Gambar 9. Hasil simulasi thickness strain.

Untuk memeriksa penipisan zona tertentu dari komponen tersebut, pengukuran dilakukan pada potongan dari komponen *stamping* aktual dari pabrik yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan ketebalan part aktual dengan hasil simulasi.

Ketebalan komponen aktual diukur dan dibandingkan dengan hasil simulasi dan deviasi rata-rata dari kedua nilai tersebut adalah 3,85%, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

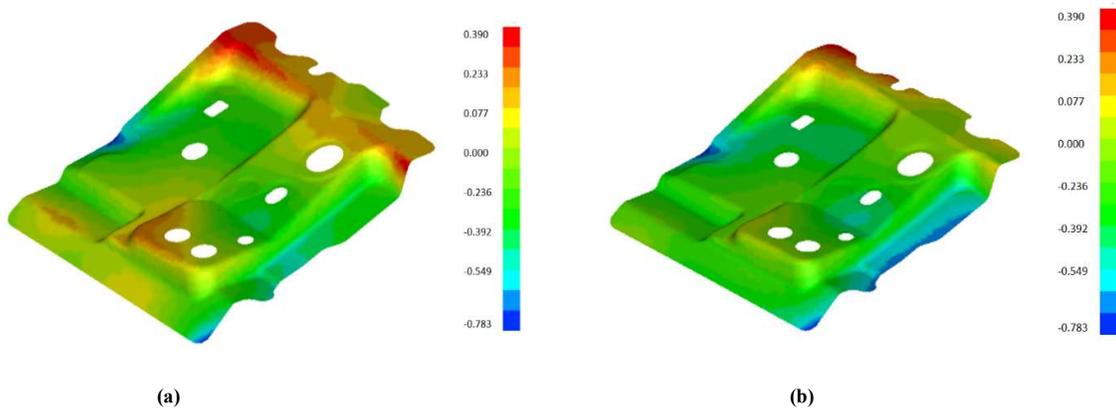
Tabel 2. Perbandingan perubahan ketebalan pada part aktual dan hasil simulasi.

Area No.	Pengukuran (mm)	Simulasi (mm)	Deviasi (mm)	Deviasi dari tebal awal
1	1,61	1,51	0,10	6,25%
2	1,59	1,58	0,01	0,63%
3	1,53	1,40	0,13	8,13%
4	1,50	1,49	0,01	0,63%

5	1,59	1,42	0,03	1,88%
6	1,45	1,37	0,08	5%
7	1,44	1,37	0,07	4,38%
Deviasi rata-rata			0,06	3,85%

*Springback* ini terjadi akibat adanya gaya balik yang disebabkan oleh pengaruh elastisitas bahan pelat yang mengalami proses pembentukan [11]-[13]. Besarnya gaya balik ditentukan oleh modulus elastisitas bahan

[14],[15]. Dalam proses pembentukan ini, gaya *springback* harus diperhatikan. Besarnya defleksi *springback* ditunjukkan pada Gambar 11. Hasil *springback* pada komponen desain awal seperti terlihat pada Gambar 11 (a), menunjukkan terjadinya *springback* pada bidang miring dan bidang tekukan. Namun, pada komponen yang dimodifikasi, area *springback* jauh lebih sedikit.



Gambar 11. Hasil simulasi *springback* pada desain (a) orisinal dan (b) telah dimodifikasi.

#### 4. Kesimpulan

Setelah dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis dan simulasi. Data pemindaian dari komponen hasil *stamping* aktual menunjukkan bahwa geometri komponen tersebut menyimpang dari model CAD asli. Ini menunjukkan bahwa telah terdapat satu atau lebih modifikasi yang dilakukan pada *stamping die* untuk mendapatkan geometri komponen akhir yang diperlukan. Geometri akhir *dies* diperoleh setelah beberapa percobaan yang memakan waktu tiga sampai lima hari.

Simulasi pada model CAD asli dengan gaya *blank holder* sebesar 109,7 kN menunjukkan adanya kecenderungan kerutan yang kuat dengan regangan ketebalan minimum -14,4%. Oleh karena itu, diperlukan simulasi lain pada model yang dimodifikasi. Modifikasi model CAD dilakukan dengan mengacu pada data hasil *scan* dari komponen hasil *stamping* aktual. *Part* yang dimodifikasi disimulasikan dengan kekuatan *blank holder* sebesar 129,2 kN untuk mencegah kecenderungan kerutan yang kuat dan mengurangi *springback*. Hasil simulasi menunjukkan hasil yang baik, ditunjukkan oleh diagram *forming limit*, *safety zone*, dan *springback* yang lebih baik, meskipun *thickness strain* minimum lebih besar -19,2%.

Dengan melakukan simulasi, percobaan dan modifikasi geometri dari model dilakukan pada program komputer, sehingga lebih cepat dan tidak membutuhkan bahan baku. Singkatnya, desain *stamping die* dapat dibuat lebih cepat, biaya lebih rendah dan sumber daya lebih sedikit, jika menggunakan simulasi sebelum membuat cetakan baru.

Disarankan agar metode uji coba saat ini di perusahaan mempertimbangkan untuk memanfaatkan perangkat lunak dan teknologi yang tersedia saat ini. Untuk membuatnya lebih mudah dan lebih cepat untuk menganalisis dan merancang cetakan baru.

#### Daftar Pustaka

- [1] P. Wu, Y. Wang, P. Wan, "Study on Simulation of Stamping Process and Optimization of Process Parameters of Fender", *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2019, pp. 1-9.
- [2] P. Venkateshwar Reddy, S. Hari Prasad, P.J Ramulu, S. Battacharya, , & D.S. Gupta. "Effect of Geometries of Die/Blank Holder and Punch Radii in Angular Deep-Drawing Dies on DP Steel Formability." *Applied Mechanics and Materials*, vol. 813–814, Trans Tech Publications, Ltd., Nov. 2015, pp. 269–273.
- [3] H. Gharib, A.S. Wifi, M. Younan, A. Nassef. *Optimization of the blank holder force in cup*

- drawing. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* Volume 18, Issue 1-2, 2006, pp. 291-294
- [4] M. Ahmetoglu, T.R. Broek, G. Kinzel, T. Altan. "Control of Blank Holder Force to Eliminate Wrinkling and Fracture in Deep-Drawing Rectangular Parts". *CIRP Annals*, Volume 44, Issue 1, 1995, pp. 247-250.
- [5] Y. Feng, Z. Hong, Y. Gao. "Optimization of variable blank holder force in deep drawing based on support vector regression model and trust region". *Int J Adv Manuf Technol* 105, 2019, pp. 4265–4278
- [6] W.Y. Ma, J.W Yang, Y. Yao, Y.Q. Zhang, J. Zhang. "The Analysis on the Stamping Formability of High Strength Steel." *Key Engineering Materials*, vol. 885, Trans Tech Publications, Ltd., May 2021, pp. 3–9
- [7] S. Thiruvardhelvan, and W. G. Lewis, *Deep Drawing With Blank Holder Force-Approximately Proportional to the Punch Force*, ASME, Vol. 112, August 1990, pp. 278-285
- [8] S Candra, I M L Batan, W Berata and A S Pramono, "Modeling of the minimum variable blank holder force based on forming limit diagram (FLD) in deep drawing process". *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 273 012014, 2017.
- [9] "Cold Rolled Steel Sheet". JFE Steel Corporation. July 16, 2021 [Online] Available: <https://www.jfe-steel.co.jp/en/products/sheets/catalog/b1e-002.pdf>.
- [10] "Fastform Advance". Hexagon Forming Technologies. July 08 2021 [Online]. . Available: <https://www.forming.com/products/formingsuite/fastform-advanced>,
- [11] Z.C.Xia and J. Cao. "Springback". *The International Academy for Production Engineering*, Laperrière L., Reinhart G. (eds) *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014.
- [12] Hama, Takayuki & Nagata, Takashi & Teodosiu, C. & Makinouchi, Akitake & Takuda, Hirohiko. "Finite-element simulation of springback in sheet metal forming using local interpolation for tool surfaces". *International Journal of Mechanical Sciences*. 2008, pp. 175-192.
- [13] A. Fallahiarezoodar, "Prediction And Reduction Of Defects In Sheet Metal Forming". Ph.D. dissertation, Graduate Program in Industrial and Systems Engineerin, The Ohio State University, USA, 2018.
- [14] Mustahfirin, "Analysis of Springback Phenomenon On Tailor Welded Blank (TWB) stainless in U-Bending Process". *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik., Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia*, Februari 2016, pp. 1-2 .
- [15] V.G. Hai, N.T.H. Minh and D.T. Nguyen, "A Study On Experiment And Simulation To Predict The Spring-Back Of SS400 Steel Sheet In Large Radius Of V-Bending Process". *Material Research Express* 7 016562, 2020