

# SIMULASI PROSES DEEP DRAWING STAINLESS STEEL DENGAN SOFTWARE ABAQUS

**Tri Widodo Besar Riyadi, Budi Hastomo**

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta 57102, Telp: 0271 717417  
ext 222, E-mail: Tri.Riyadi@ums.ac.id

## ABSTRAK

*Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil simulasi proses deep drawing terhadap bahan stainless steel pada proses pembentukan komponen end cup hub body. Penelitian dilakukan dengan paket software Abaqus 6.5-1 yang diawali dengan pengujian uji tarik, kemudian mengkonversi data tegangan-regangan nominal ke dalam tegangan-regangan sebenarnya, dan menghitung sifat plastisitas bahan dengan persamaan Holomon. Hasil simulasi menunjukkan bentuk produk dan distribusi tegangan pada pelat setelah mengalami proses deep drawing. Hubungan antara tegangan dan fenomena kerutan juga diketahui. Perbandingan hasil menunjukkan bahwa bentuk produk pelat hasil simulasi mendekati hasil yang diperoleh dengan eksperimen.*

**Kata kunci:** *Deep drawing, End cup hub body, Abaqus, Stainless steel*

## PENDAHULUAN

*Deep drawing* merupakan salah satu proses pembentukan logam yang banyak digunakan untuk membentuk komponen otomotif seperti *end cup hub body*. Proses ini dilakukan dengan menekan pelat yang diletakan di atas permukaan sebuah cetakan sehingga pelat akan berubah bentuk sesuai dengan bentuk cetakannya [1]. Pelat dapat berubah bentuk karena memiliki sifat plastisitas, yaitu sifat bahan untuk berubah bentuk setelah gaya yang menekannya dilepaskan [2]. Dalam beberapa tahun ini komponen yang digunakan untuk memproduksi komponen otomotif di Indonesia sudah banyak yang menggunakan hasil produksi industri lokal. Tetapi untuk mengetahui kualitas produksi hasil proses *deep drawing* pada industri kecil ini masih banyak yang mengandalkan coba-coba dari pengalaman dengan keahlian yang terbatas. Hal ini tentu dapat menimbulkan tidak efisiennya proses produksi terhadap

material, waktu dan biaya. Kualitas produk yang dihasilkan dapat diakibatkan dari banyak faktor seperti sifat bahan dan desain peralatan cetakan yang kurang optimal. Untuk meningkatkan efisiensi dalam menganalisis kualitas produk *end cup hub body*, maka dapat digunakan percobaan dengan metode elemen hingga.

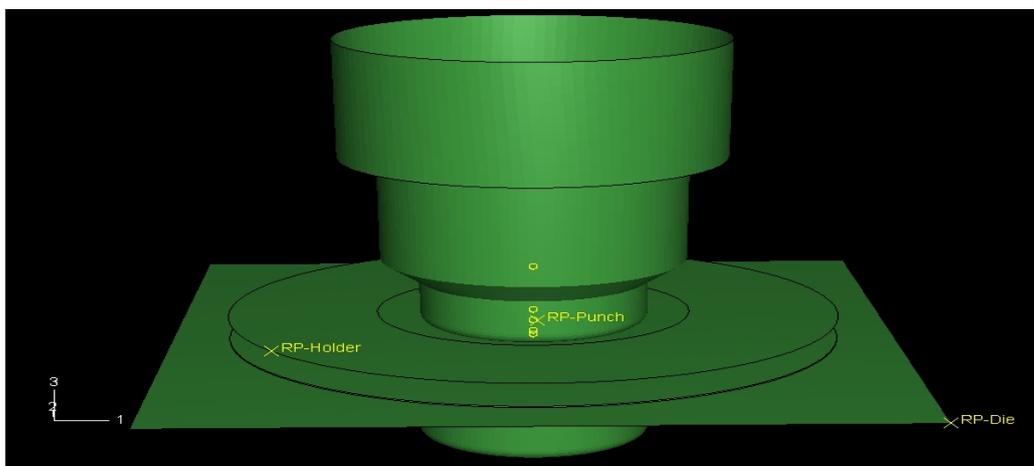
Beberapa penelitian tentang *deep drawing* seperti NUMISHEET 1996 [3], NUMISHEET 1999 [4], dan NUMISHEET 2002 [5] telah dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mensimulasikan operasi proses *deep drawing*. Hasil simulasi telah dapat digunakan sebagai alternatif untuk melengkapi metode eksperimen yang menggunakan metode coba-coba atau *trial and error* dan memerlukan biaya yang tidak sedikit. Tetapi sampai saat ini untuk melakukan validasi hasil simulasi dengan membandingkan pada hasil dari metode eksperimen masih merupakan tugas yang berat dan sulit terutama untuk mengukur beberapa variabel yang

terlibat didalam proses *deep drawing*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan proses *deep drawing* pada pembuatan komponen *end cup hub body* dengan menggunakan metode elemen hingga yang memakai paket software ABAQUS 6.5-1. Hasil simulasi ini digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan-regangan dan cacat yang dapat terjadi pada produk. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari uji eksperimen. Penelitian ini diharapkan menghasilkan sebuah produk komponen *end cup hub body* dengan mutu dan kualitas yang baik.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dan metode elemen hingga yang menggunakan paket software ABAQUS 6.5-1 [6]. Pada metode eksperimen, proses *deep drawing* dilakukan dengan membuat cetakan yang terdiri dari: *punch* (Peralatan *dies* untuk menekan pelat), *lower die* (Peralatan *dies* untuk menahan tekanan *punch* saat penekanan), dan *blank holder* (Bagian *dies* yang dapat bergerak naik turun yang berfungsi sebagai penjepit pelat yang ditekan agar tidak bergeser). Pada metode elemen hingga dengan software ABAQUS, langkah-langkah yang dilakukan adalah mulai dari menentukan geometri dan model benda, model material dan perilaku permukaan yang kontak, kondisi batas dan pembebanan, serta model visualisasinya. Pada pemodelan geometri benda,

pelat mempunyai ketebalan 0.5 mm dan diameter 180 mm, dengan *type* material *3D deformable*. *Dies* didesain bertingkat dengan diameter 80 mm dan 60 mm. *Dies* dipilih berjenis *3D discrete rigid* karena tidak dapat berubah bentuk (kaku) apabila terkena beban. Sedangkan *punch* mempunyai diameter 100 mm, 79 mm, dan 59 mm, serta berjenis *3D discrete rigid* karena tidak akan berubah bentuk apabila ditekan pada plat. Material untuk pelat menggunakan jenis bahan yang lunak atau mempunyai sifat elastik-plastik yang mempertimbangkan *isotropic hardening*. Sifat bahan ini dapat diketahui dari hasil uji tarik. Data uji tarik kemudian digunakan untuk memperoleh sifat plastisitas material yang berupa hubungan tegangan dan regangan, termasuk nilai konstanta  $K$  dan  $n$  pada persamaan Holomon.[7]. Data yang diperoleh dari simulasi meliputi distribusi tegangan dan gambar dimensi benda uji setelah mengalami proses *deep drawing*. Gambar 1 menunjukkan desain dari *punch*, *dies* dan pelat yang digunakan pada saat simulasi. Pada gambar tersebut, komponen *punch*, *lower dies* dan pelat telah disusun menjadi satu konstruksi *dies* melalui menu *assembly*. Pada menu tersebut terdapat langkah-langkah yang penting untuk menentukan *sets*, yaitu penentuan *node* atau *element* dan bagian yang berinteraksi selama proses simulasi *deep drawing*. Pada proses simulasi ini terdapat sembilan *sets* yaitu : set *punch*, *die*, *holder*, *plat*,  $Rp_{punch}$ ,  $Rp_{die}$ ,  $Rp_{holder}$ , *punch(node)*, *holder(node)*.



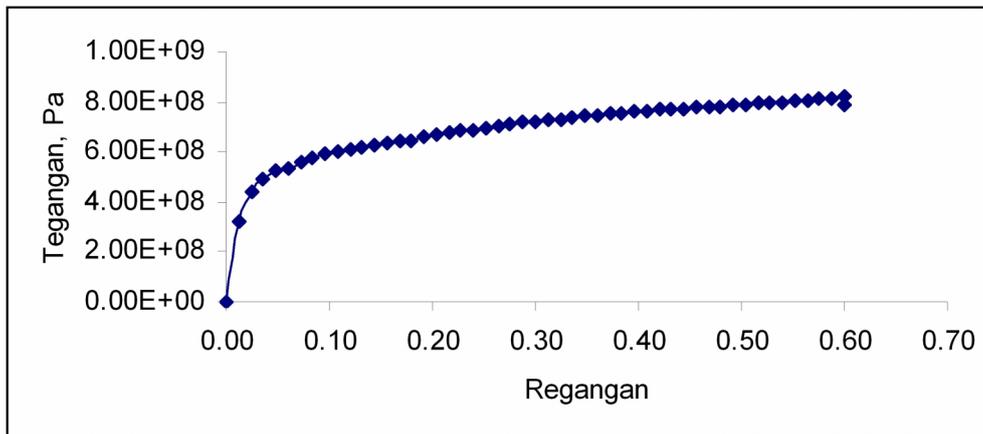
Gambar 1. Desain *punch*, *dies*, dan pelat untuk proses *deep drawing*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil uji tarik

Gambar 2 menunjukkan kurva tegangan - regangan nominal stainless steel yang diperoleh dari hasil uji tarik. Dari hasil uji tarik yang menghasilkan nilai tegangan dan regangan nominal tersebut maka kemudian dihitung nilai tegangan dan regangan sebenarnya (*true stress – true strain*), termasuk nilai Modulus Young (E) yang diperoleh dari kemiringan kurva ketika di daerah elastis. Di sini nilai E dihitung dari nilai tegangan saat luluh dibagi dengan regangan saat luluh, hasilnya  $E = 3.34 \times 10^4$  MPa. Data tegangan dan regangan nominal hasil uji tarik tersebut didasarkan pada dimensi awal spesimen dan tidak memperhitungkan perubahan dimensi terutama pada

luas penampangnya akibat terkena beban. Ketika benda mengalami deformasi plastis maka nilai tegangan dan regangan nominal hanya merupakan perkiraan saja karena benda mengalami perubahan bentuk. Untuk aplikasi pada kebanyakan desain konstruksi, perkiraan nilai tegangan dan regangan nominal tidak terlalu menjadi masalah karena pada aplikasi konstruksi tidak akan mentolerir terjadinya deformasi plastis, atau masih bekerja di daerah elastis. Tetapi pada proses pembentukan logam (*metal forming*) yang mengalami deformasi plastis, penggunaan nilai tegangan dan regangan nominal tidak dapat diterima (*unacceptable*). Untuk mengatasi permasalahan ini maka pada benda yang mengalami proses deformasi plastis digunakanlah nilai tegangan regangan yang sebenarnya (*true stress – true strain*).



**Gambar 2. Kurva tegangan - regangan nominal stainless steel**

Dalam melakukan simulasi ABAQUS, informasi sifat material pada *input file* juga menggunakan tegangan dan regangan sebenarnya. Konversi nilai tegangan regangan nominal ke dalam nilai tegangan regangan sebenarnya dilakukan dengan rumus berikut [7]:

Regangan sebenarnya,

$$\varepsilon = \ln(1 + \varepsilon_{nom}) \dots\dots\dots(1)$$

Tegangan sebenarnya,

$$\sigma = \sigma_{nom} (1 + \varepsilon_{nom}) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

$$\text{Regangan nominal, } \varepsilon_{nom} = \frac{l}{l_0} - 1,$$

$l$  = panjang awal spesimen, dan

$l$  = panjang benda saat diuji.

### 2. Analisis sifat plastisitas bahan

Sifat plastisitas bahan ditentukan dari hasil uji tarik yang kebanyakan mengikuti persamaan plastisitas berdasarkan hukum Hollomon seperti pada persamaan berikut:

$$\sigma = K\varepsilon^n \dots\dots\dots(3)$$

Dimana  $\sigma$  dan  $\epsilon$  masing-masing adalah tegangan dan regangan sebenarnya, sedang  $K$  dan  $n$  masing-masing adalah konstanta material dan *index strain hardening*. Untuk mengetahui nilai  $K$  dan  $n$  pada tiap-tiap material dari persamaan Hollomon dapat dihitung seperti persamaan di bawah ini.

$$n = \frac{\text{Log}\sigma_{\max} - \text{Log}\sigma_A}{\text{Log}\epsilon_{\max} - \text{Log}\epsilon_A} \dots\dots\dots (4)$$

Di sini titik A diambil pada titik luluhnya, sedangkan titik *max* diambil titik puncaknya. Nilai  $K$  dicari dengan memasukkan ke salah satu persamaan Hollomon, misal pada titik luluhnya. *Index strain hardening* bahan stainless steel kemudian dihitung sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{Log}1.31\text{E} + 09 - \text{Log}5.11\text{E} + 08}{\text{Log}0.470 - \text{Log}0.035}$$

$$= 0.364$$

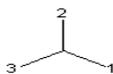
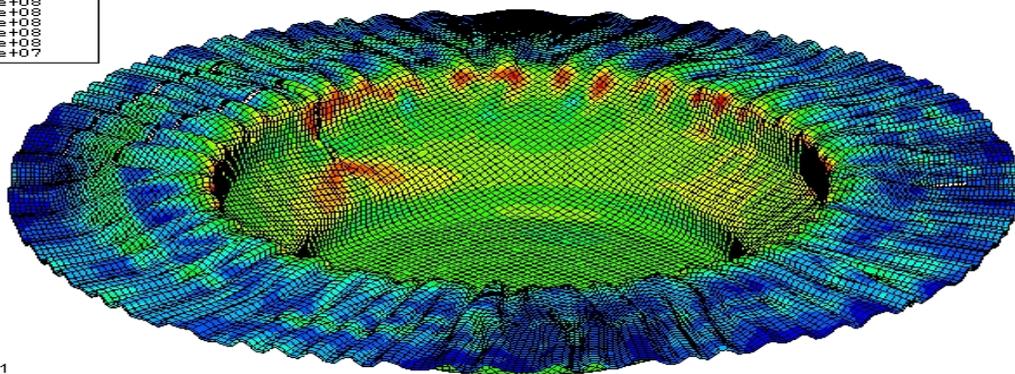
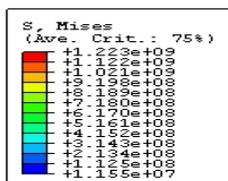
Nilai  $n$  kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan  $\sigma = K\epsilon^n$  sebagai berikut :

$$5.11\text{E} + 08 \text{ Pa} = K.(0.035)^{0.364}$$

sehingga nilai  $K = 1.72 \times 10^9 \text{ Pa}$  atau  $1.72 \times 10^3 \text{ Mpa}$ .

Dari hasil nilai  $K$  dan  $n$  yang diperoleh maka persamaan tegangan reganagn plastisitasnya adalah:

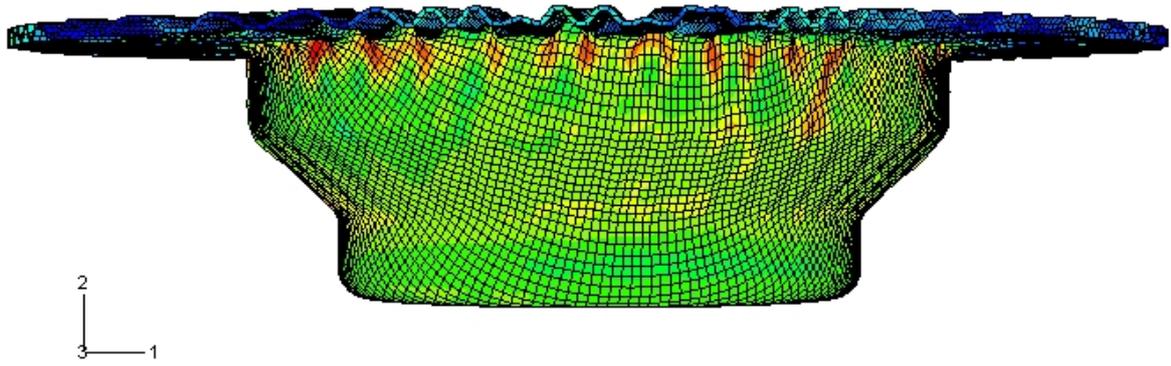
$$\sigma = 1720\epsilon^{0.364} \text{ MPa}$$



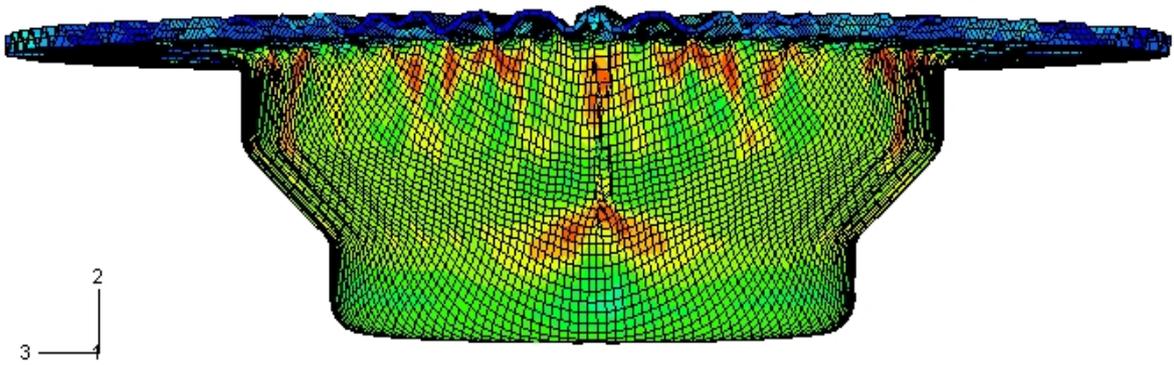
a) Pandangan isometri

### 3. Hasil simulasi proses *deep drawing*

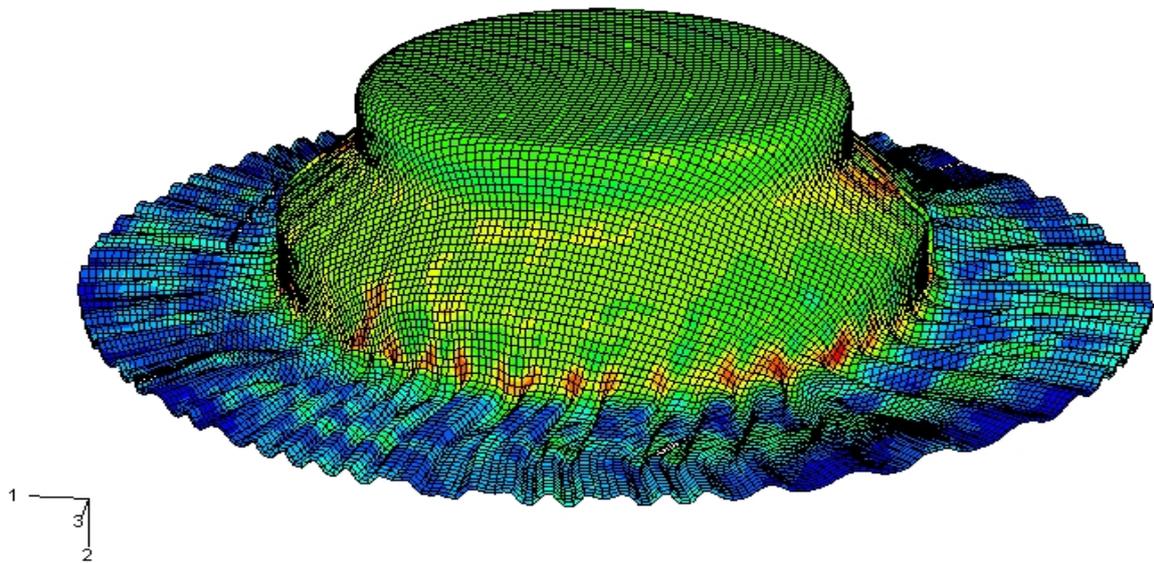
Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi proses *deep drawing* yang diambil dari berbagai sudut pandang, yaitu pandangan isometri, pandangan dari depan, pandangan dari kanan dan pandangan dari bawah. *Legend* tegangan *Von Mises* disertakan pada gambar untuk menunjukkan tegangan rata-rata yang terjadi pada pelat setelah mengalami proses *drawing* atau penarikan. Dari gambar tersebut dapat diketahui adanya tegangan maksimum yang terjadi pada beberapa lokasi. Pada gambar tersebut tegangan maksimum ditunjukkan dengan warna merah. Tegangan maksimum menunjukkan bahwa pada posisi tersebut pelat mengalami regangan maksimum atau mengalami penipisan atau penguangan ketebalan yang lebih besar. Pada proses *deep drawing* yang gagal, kemungkinan terjadinya robek biasanya diawali dari daerah yang mengalami tegangan maksimum tersebut. Sebaliknya pelat juga akan mengalami tegangan minimum, yang ditunjukkan dengan warna biru, dan kebanyakan terjadi pada sebagian pinggiran pelat pada bagian *flange*. Pada bagian ini pelat mengalami regangan paling kecil yang kemungkinan karena sebagian pelat tidak mengalami penarikan atau gaya cekam yang cukup.



**b) Pandangan dari depan**



**c) Pandangan dari kanan**



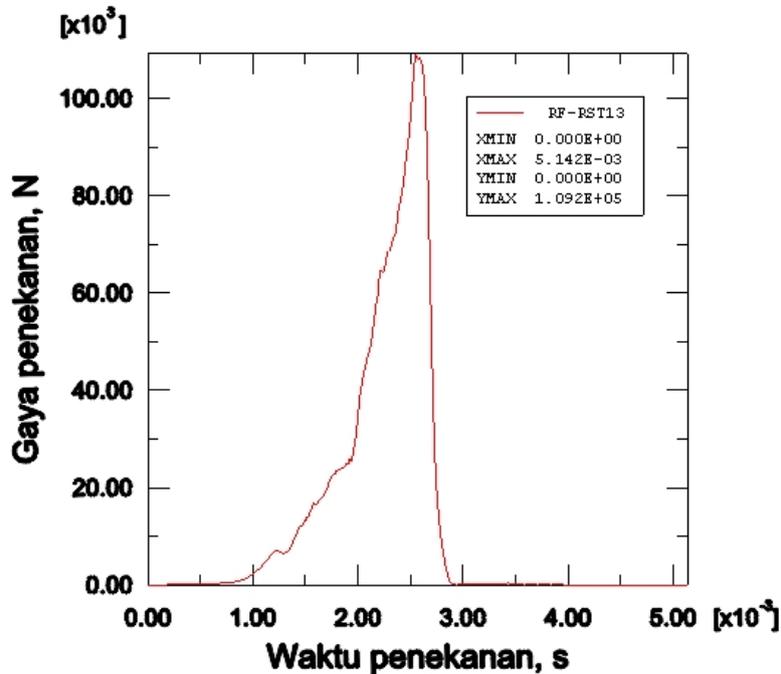
**d) Pandangan dari bawah**

**Gambar 3. Hasil simulasi proses *deep drawing* stainless steel**

#### 4. Grafik gaya terhadap waktu penekanan

Gambar 4 ini adalah grafik hasil simulasi untuk besar gaya penekanan terhadap waktu penekanan. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa gaya penekanan akan meningkat dari nol secara perlahan sampai menuju puncak, dan

kemudian akan turun lagi secara drastis menuju nol. Grafik ini sudah sesuai dengan teori dimana gaya penekanan pada proses *deep drawing* akan membentuk seperti kurva distribusi normal [8].

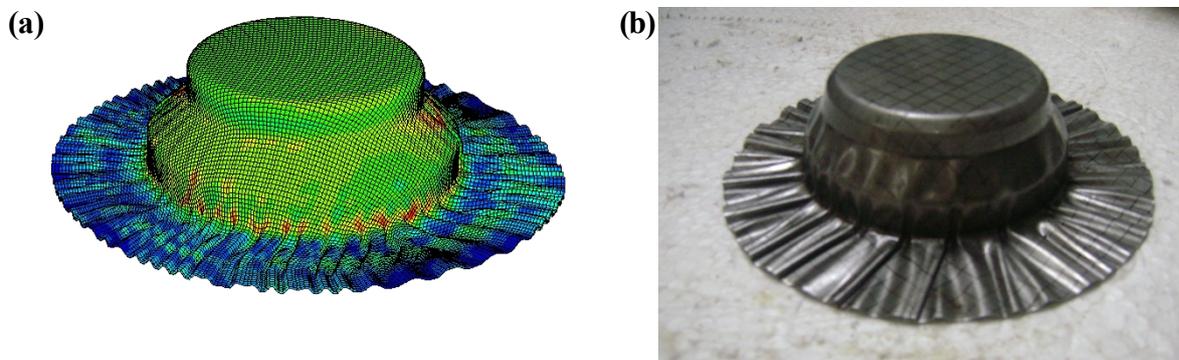


Gambar 4. Grafik gaya terhadap waktu penekanan

#### 5. Perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen

Gambar 5 berikut menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen. Dari perbandingan tersebut diperoleh validasi bahwa hasil simulasi telah sesuai dan mendekati hasil

eksperimen. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa proses *deep drawing* telah berhasil untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan desain terutama pada bagian *body*, dan sebagian produk mengalami kerutan di bagian *flange*, dan sedikit pada bagian dinding.



Gambar 5. Perbandingan antara hasil simulasi (a) dan eksperimen (b)

## KESIMPULAN

Hasil simulasi yang dilakukan dengan paket software ABAQUS 6.5-1 telah menunjukkan produk yang memiliki bentuk sesuai atau mendekati dengan hasil yang diperoleh dengan metode eksperimen. Distribusi tegangan dapat menunjukkan bagian-bagian yang mengalami variasi tekanan yang mengakibatkan terjadinya penipisan pada pelat yang diuji. Pada bagian bo-

dy, proses *deep drawing* telah menghasilkan produk yang sesuai dengan desain yang diinginkan, sedangkan pada bagian *flange* yang mengalami kerutan atau *wrinkling* dapat dibuang. Fenomena kerutan yang terjadi pada bagian *flange* dapat disebabkan karena pengaruh gaya penekanan yang kurang besar. Studi simulasi dan eksperimen lanjutan sangat diperlukan untuk mengoptimalkan gaya pekanan pada bagian *flange* ini atau disebut dengan gaya *blank holder*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dong-Yol Yang, Soo Ik Oh, Hoon Huh, Yong Hwan Kim, NUMISHEET, in: *Proceedings of the 5th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes*, 2002.
- \_\_\_\_\_, 2004, ABAQUS User's Guard, USA
- J.C. Gelin, P. Picart, NUMISHEET, in: *Proceedings of the 4th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes*, 1999.
- J.K. Lee, G.L. Kinzel, R.H. Wagoner, NUMISHEET, in: *Proceedings of the 3rd International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes*, 1996.
- Marciniak.Z, J.L. Duncan, S. J. Hu, 2002, *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Laser Word Private Limited, Chennai, India
- Mikell p. Groover, 1996, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, Prentice Hall, New Jersey
- Rao, 1987, *Manufacturing Technology, Foundry, Forming dan Welding*, McGraw-Hill Company, New Delhi
- Serope Kalpakjian & Steven R Schmid, 2003, *Manufacturing Process for Engineering Material*, p.23, Pearson Education, Inc., Prentice Hall.