

PENGARUH SIFAT PLASTISITAS BAHAN TERHADAP KUALITAS PRODUK PROSES DEEP DRAWING

Tri Widodo Besar Riyadi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: tri_wbr@yahoo.com

Abstrak

Produk yang berkualitas sangat berpengaruh terhadap kelangsungan hidup suatu perusahaan. Dalam proses pembuatan produk salah satu komponen otomotif yaitu End Cup Hub Body dengan proses deep drawing juga tidak terlepas dari kemungkinan terjadinya cacat seperti kerutan (wrinkling) dan pecah (fracture). Di antara faktor yang mempengaruhi terjadinya cacat adalah dari faktor materialnya yaitu sifat plastisitas bahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat plastisitas material hasil uji tarik dan mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas produk hasil proses deep drawing.

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dan metode simulasi komputer yang menggunakan paket software ABAQUS 6.5-1. Jenis material yang digunakan yaitu Stainless Steel RST13, Stainless Steel RST14, Kuningan (Brass) dan Aluminium. Penelitian diawali dengan melakukan uji tarik pada setiap material untuk mendapatkan sifat mekaniknya yaitu tegangan dan regangan nominalnya. Nilai nominal ini kemudian dikonversi menjadi nilai tegangan dan regangan sebenarnya. Perhitungan yield stress dan plastic strain dilakukan sebagai data input simulasi Abaqus.

Hasil simulasi telah menunjukkan bahwa sifat plastisitas material sangat berpengaruh terhadap kualitas produk. Hasil simulasi dan eksperimen telah menunjukkan tingkatan kualitas produk dari produk yang terjadi kerut sampai yang mengalami pecah. Dari hasil perbandingan didapatkan bahwa hasil yang diperoleh dari hasil simulasi ini telah sesuai dengan hasil eksperimen.

Kata kunci: *Plastisitas, cacat kerut, cacat pecah, deep drawing*

Pendahuluan

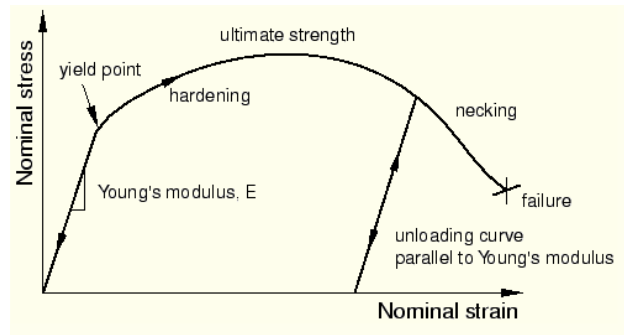
Produk pelat tipis (*sheet metal*) hasil proses *deep drawing* telah banyak digunakan di industri manufaktur kendaraan, peralatan rumah tangga, produk infrastruktur bangunan, komponen pesawat terbang, kaleng kemasan produk makanan dan minuman dan beberapa produk sehari-hari lainnya. Untuk menghasilkan kualitas produk *deep drawing* yang sempurna terbebas dari kemungkinan cacat seperti kerutan (*wrinkling*) dan pecah (*fracture*) maka sangat tergantung pada terjadinya proses deformasi yang mengubah bentuk material menjadi produk yang diinginkan. Proses deformasi sendiri sangat tergantung dari sifat elastis plastis material. Kesulitan yang dialami pada proses *deep drawing* antara lain karena perbedaan sifat elastis plastis setiap material sehingga akan menyulitkan dalam memprediksi hasil produknya. Dengan demikian, karakterisasi sifat material merupakan tugas yang sangat krusial yang harus dilakukan dalam mendesain, mengontrol, dan mengoptimisasi produksi komponen *deep drawing*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat plastisitas material yang berupa hubungan tegangan dan regangan dari hasil uji tarik dan mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas produk hasil proses *deep drawing*. Penelitian ini menggunakan beberapa material yang belum diketahui nilai K dan n -nya yang akan mempengaruhi sifat plastisitas material tersebut dan juga terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

Tinjauan Pustaka

Meskipun operasi teknik pembentukan sangat beragam, tetapi tujuan pokoknya adalah untuk menghasilkan perubahan bentuk sesuai dengan yang diinginkan. Salah satu hal pokok yang menjadi perhatian adalah perubahan sifat dari material selama mengalami proses deformasi. Telah diketahui bahwa sifat material mempengaruhi proses deformasi, dan proses deformasi akan mengganti sifat material (Marciniak, 2002). Untuk memahami bagaimana material terdeformasi selama proses pembentukan, maka harus mengerti dahulu hubungan antara tegangan dan regangan (*stress & strain*) selama proses deformasi. Respon material terhadap beban mekanik selama proses deformasi dapat diukur dengan uji tarik. Dari hasil uji tarik ini maka akan menghasilkan kurva tegangan regangan yang pada akhirnya akan menentukan persamaan yang menggambarkan sifat plastisitas material.

Pelat logam ketika mengalami pembebanan akan mengalami regangan yang apabila berlanjut maka akan tegangan yang terjadi menjadi tidak linear dengan penambahan regangan, seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik hubungan Tegangan (*stress*) – Regangan (*strain*)

Regangan yang diperoleh dari material test yang digunakan untuk mendefinisikan perilaku plastik bukanlah *plastic strain* pada material, tetapi berupa *total strain* yang terjadi. Oleh karena itu harus dilakukan dekomposisi terhadap *total strain* menjadi komponen *elastic strain* dan *platic strain*.

Sifat Plastisitas material yang diperoleh dari hasil uji tarik diasumsikan mengikuti persamaan plastisitas berdasarkan hukum Holomon seperti pada persamaan berikut:

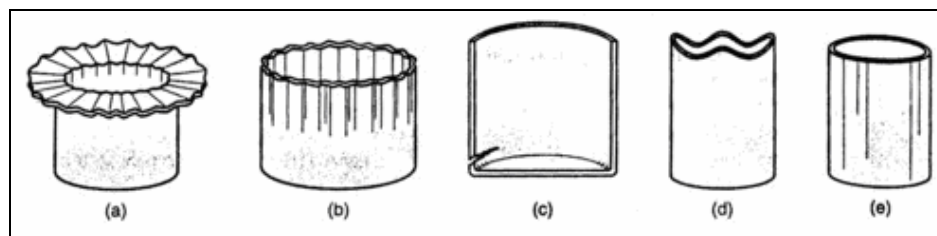
$$\sigma_T = K \epsilon^n \tag{1}$$

Untuk mengetahui konstanta material (*K*) dan *Indeks strain hardening* (*n*) pada tiap-tiap material dari persamaan Hollomon dapat dihitung seperti persamaan dibawah ini.

$$n = \frac{\text{Log } \sigma_{\max} - \text{Log } \sigma_A}{\text{Log } \epsilon_{\max} - \text{Log } \epsilon_A} \tag{2}$$

disini titik A diambil pada titik luluhnya. Nilai K dicari dengan memasukkan ke salah satu persamaan Holomon, misal pada titik luluhnya.

Setelah mengetahui sifat plastisitas material dari hasil uji tarik, maka penelitian akan dilanjutkan terhadap kualitas hasil proses deep drawing terhadap spesimen material yang sama. Penelitian kualitas produk yang dimaksud adalah kemungkinan timbulnya cacat seperti kerutan (*wrinkling*) dan pecah (*fracture*). Cacat produk yang terdapat pada produk hasil proses deep drawing (Grover , 1996) dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Berbagai cacat produk deep drawing

Beberapa penelitian (NUMISHEET, 1996 ; 1999 ; 2002) tentang *deep drawing* telah dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mensimulasikan operasi proses deep drawing yang kompleks. Hasil simulasi telah dapat diandalkan untuk mengganti metode eksperimen yang memerlukan langkah *trial and error* yang menelan biaya yang cukup besar. Tetapi validasi dengan eksperimen masih merupakan tugas yang berat dan sulit terutama untuk mengukur beberapa variabel yang terlibat didalam proses deep drawing.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen dan menggunakan software ABAQUS 6.5-1. Jenis material yang digunakan yaitu Stainless Steel RST13, Stainless Steel RST14, Kuningan (*Brass*) dan Aluminium. Spesimen yang diambil pada eksperimen pemodelan fisik yaitu salah satu komponen kendaraan yang berupa End Cup Hub Body.

Penelitian diawali dengan melakukan uji tarik pada setiap material untuk mendapatkan sifat mekaniknya yaitu tegangan dan regangan nominalnya (*engineering stress -engineering strain*). Nilai nominal ini kemudian dikonversi menjadi nilai tegangan dan regangan sebenarnya (*true stress - true strain*). Perhitungan yield stress dan plastic strain dilakukan sebagai data input simulasi Abaqus.

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.

Metode eksperimen *deep drawing* dilakukan dengan memotong bahan uji lembaran pelat dari ke-empat material menjadi lingkaran dengan diameter 180 mm. Lembar pelat yang telah dipotong tersebut kemudian diletakkan dalam seperangkat alat uji *deep drawing* yang terdiri dari *punch*, *upper die*, *lower die*, dan *blank holder*. Proses penekanan pelat uji *deep drawing* yang dilakukan dengan *compression machine* ditunjukkan pada gambar 3 berikut.

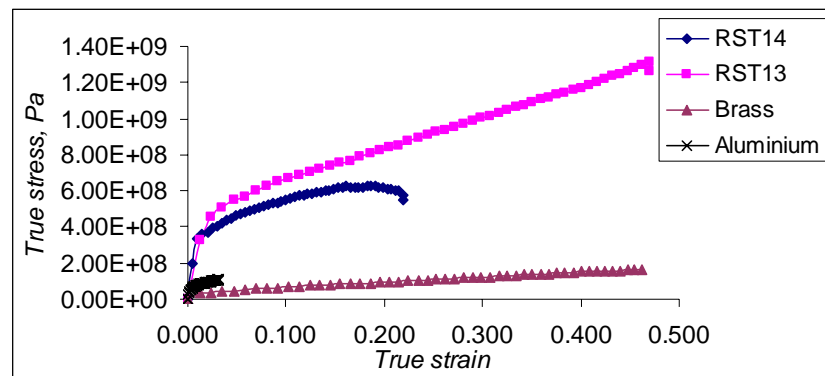


Gambar 3. Proses penekanan dengan *compression machine*

Hasil Dan Pembahasan

Hasil Uji Tarik

Dari hasil uji tarik yang menghasilkan nilai tegangan dan regangan nominal tersebut maka kemudian dikonversi menjadi nilai tegangan dan regangan sebenarnya (*true stress- true strain*). Hal ini karena definisi plastisitas dalam simulasi Abaqus harus menggunakan *true stress* dan *true strain*. Gambar 4 berikut menampilkan empat kurva tegangan regangan sebenarnya.



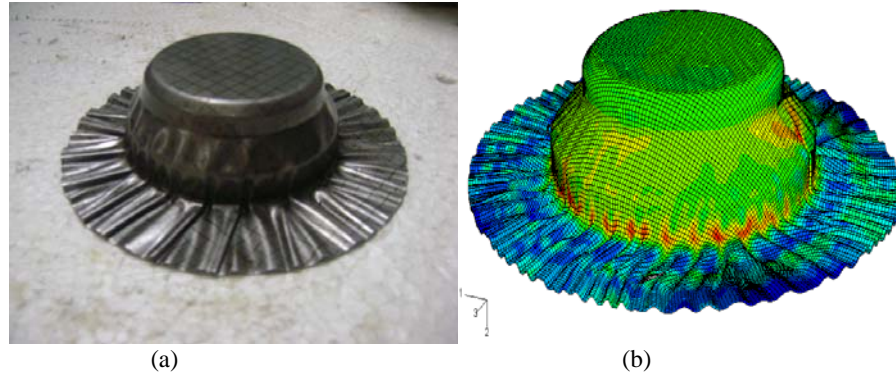
Gambar 4. Kurva tegangan regangan sebenarnya

Regangan yang diperoleh dari material test yang digunakan untuk mendefinisikan perilaku plastik bukanlah plastic strain pada material, tetapi berupa total strain yang terjadi. Oleh karena itu harus dilakukan dekomposisi terhadap total strain menjadi komponen elastic strain dan plastic strain.

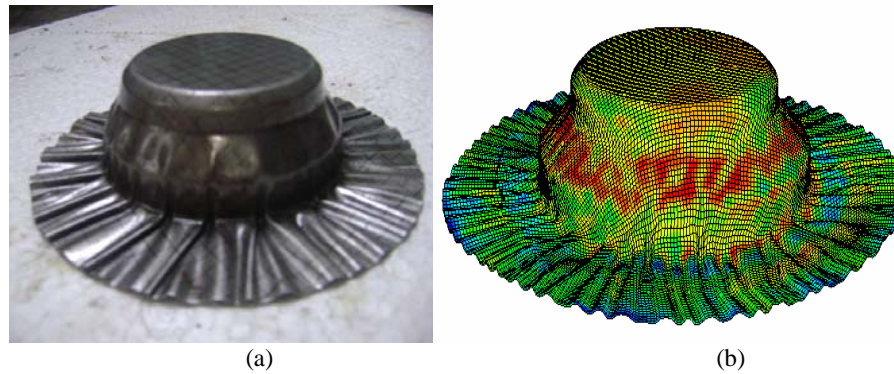
Setelah kurva tegangan regangan sebenarnya telah tersusun seperti pada gambar 4 di atas maka dilakukan perhitungan terhadap variabel K dan n seperti pada persamaan (1) dan (2) terhadap ke empat material.

Hasil Simulasi dan Eksperimen

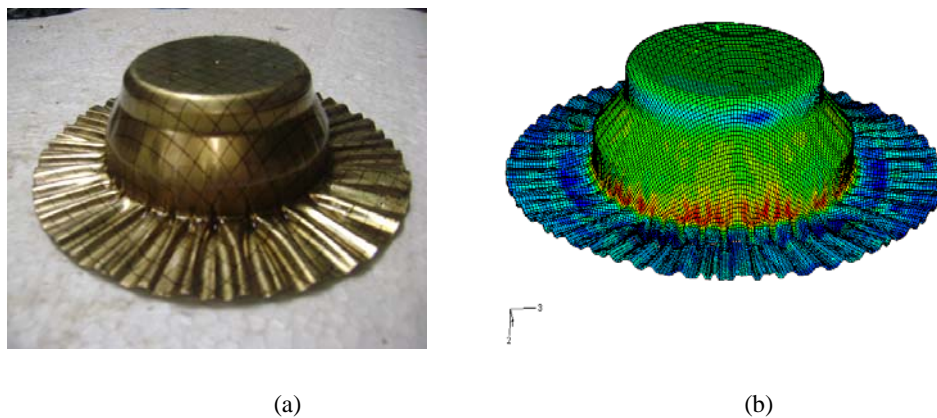
Tahapan selanjutnya dari penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi Abaqus dengan menggunakan nilai yield stress dan plastic strain hasil dari uji tarik. Langkah-langkah yang dilakukan adalah mulai dari menentukan geometri dan model benda, model material dan perilaku permukaan yang kontak, kondisi batas dan pembebanan, serta menentukan jumlah mesh yang sesuai. Studi konvergensi dilakukan untuk menentukan jumlah mesh terkecil agar waktu simulasi dapat efektif. Model visualisasi hasil proses deep drawing ditunjukkan pada gambar 5 - 8 berikut, berdampingan dengan hasil eksperimennya.



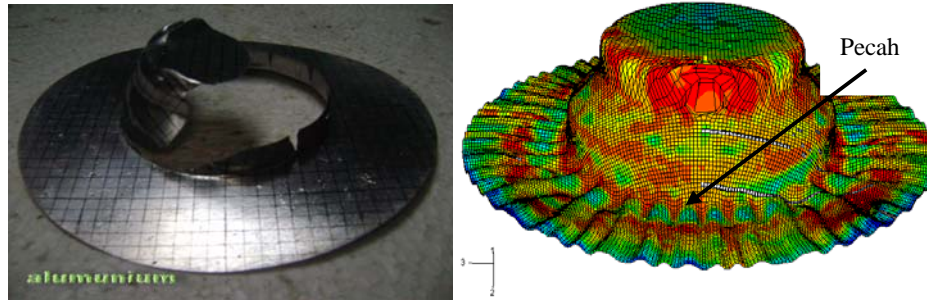
Gambar 5 Spesimen Stainless steel RSt13 setelah pengujian;
(a) eksperimen, (b) simulasi



Gambar 6. Spesimen Stainless steel RSt14 setelah pengujian;
(a) eksperimen, (b) simulasi



Gambar 7. Spesimen Stainless steel kuningan setelah pengujian;
(a) eksperimen, (b) simulasi



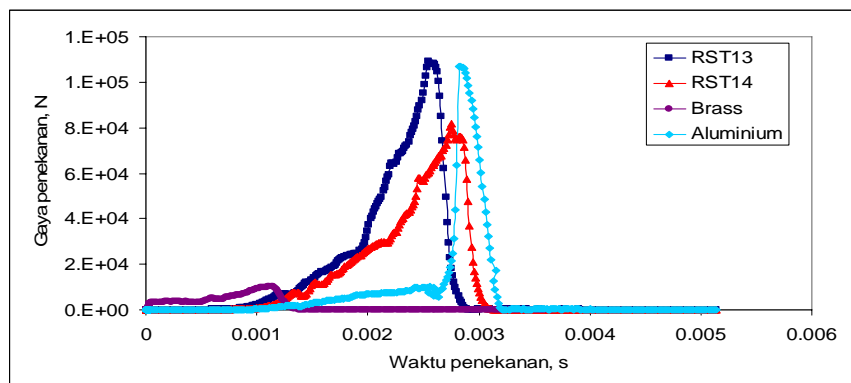
(a) (b)
 Gambar 8. Spesimen Stainless steel Aluminum setelah pengujian;
 (a) eksperimen, (b) simulasi

Dari gambar tersebut dapat diketahui adanya tegangan maksimum yang terjadi pada beberapa lokasi, yang secara umum terjadi pada daerah tengah pelat. Tegangan maksimum menunjukkan bahwa pada posisi tersebut pelat mengalami regangan maksimum atau mengalami penipisan atau pengurangan ketebalan yang terbesar atau lebih besar dari. Kemungkinan terjadinya robek biasanya diawali dari daerah yang mengalami tegangan maksimum tersebut. Sebaliknya pelat juga akan mengalami tegangan minimum dan kebanyakan terjadi pada sebagian pinggiran pelat pada bagian *flange*. Pada bagian ini memang pelat mengalami regangan paling kecil atau karena sebagian pelat tidak mengalami penarikan atau *drawing*.

Dari hasil simulasi proses deep drawing terhadap ke empat material juga dapat diketahui yaitu terjadinya *wrinkling* (kerutan) di semua bagian *flange* atau bagian pelat yang berhadapan dengan *blank holder*. Hal ini menunjukkan bahwa gaya jepit oleh *blank holder* pada proses deep drawing tersebut masih kurang besar. Penentuan gaya jepitan (*blank holder force*) yang optimum untuk mencegah terjadinya *wrinkling* sepengetahuan penulis, sampai saat ini masih belum diketahui. Selain di bagian *flange* tersebut, kerutan juga sedikit dialami di bagian tengah pelat yang mengalami tegangan maksimum. Seperti diketahui bahwa pada bagian tersebut pelat mengalami penipisan yang besar sehingga menciptakan celah (*clearance*) yang memungkinkan terjadinya *wrinkling*. *Wrinkling* di daerah tengah tersebut biasanya tidak dapat ditolerir dan harus dihindari. Untuk mengatasi masalah ini maka khusus di bagian ini, desainer harus dapat memprediksi seberapa penipisan yang akan terjadi sehingga dapat membuat desain dies yang lebih akurat yang dapat mengantisipasi kemungkinan terjadinya *wrinkling*. Pada masing-masing material, secara umum kondisi *wrinkling* adalah hampir sama yaitu terjadi *wrinkling* (kerutan) di bagian *flange* dan sedikit di bagian tengah produk. Selain kerutan yang merupakan bentuk cacat produk, pada simulasi material aluminium juga menghasilkan cacat pecah (*fracture*). Pecah pada aluminium ini terjadi pada bagian dinding pelat.

Dari perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen maka dapat diperoleh validasi bahwa hasil simulasi telah sesuai dan mendekati hasil eksperimen. Secara umum dapat dikatakan bahwa proses deep drawing telah berhasil untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan desain, dan sebagian produk mengalami kerutan di bagian *flange*, dan sedikit pada bagian dinding.

Untuk mengetahui kebutuhan tenaga pada proses deepdrawing maka ditampilkan grafik besar gaya penekanan terhadap waktu penekanan selama proses deep drawing pada masing-masing material seperti pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Gaya penekanan terhadap waktu penekanan

Dari gambar 9 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

Sebagai akhir dari penelitian ini adalah mencari hubungan antara sifat plastisitas material (K dan n) dari beberapa material tersebut terhadap kualitas produk terutama kemungkinan terjadinya cacat produk hasil proses deep drawing, yang dapat disimpulkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan antara sifat plastisitas dan kualitas produk dari empat material

no	Material		K (Pa)	Gaya Penekanan maksimu m, kN	Kualitas produk
	<i>Stainless steel rst14</i>	.217	9.0 6E+08	81.76	Produk dari dinding ke bawah baik, wrinkling di flange.
	<i>Stainless steel rst13</i>	.364	1.7 2E+09	109.2	Produk dari dinding ke bawah baik, wrinkling di flange.
3	<i>Brass</i>	.491	2.3 6E+08	10.27	Produk dari dinding ke bawah baik, wrinkling di flange. Hasil terbaik.
	<i>Aluminum</i>	.319	3.3 0E+08	106.8	Pecah di dinding

Dari hasil penelitian yang ditunjukkan pada tabel 1 di atas maka dapat diperoleh hubungan antara sifat plastisitas dan kualitas produk hasil proses deep drawing untuk ke empat material, yaitu bahwa nilai n yang besar sangat baik untuk proses *sheet formability*, karena menunjukkan ketahanan yang besar terhadap *local necking*. Ketika material yang mempunyai nilai n tinggi mulai necking maka daerah plastis mengeras dengan cepat dan menyebabkan material lebih lunak. Sebaliknya pada material yang mempunyai nilai n rendah maka *necking* akan cepat terjadi secara lokal dan menyebabkan *failure* pada strain yang rendah.

Perbandingan proses ke-empat material menghasilkan sebuah kesimpulan dalam pemilihan material yaitu kuningan (brass). Material ini mempunyai sifat plastisitas tertinggi dengan kekuatan gaya yang rendah. Produk deep drawing kuningan juga lebih baik dibandingkan dengan material lain.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sifat plastisitas yang berupa hubungan tegangan dan regangan dapat diperoleh dari hasil uji tarik.
2. Nilai *strain hardening index* n dan konstanta kekuatan K yang diperoleh dari hasil perhitungan uji tarik dapat digunakan untuk memprediksi kualitas produk deep drawing. Makin tinggi n maka makin mudah dibentuk.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini terutama kepada DP2M Ditjen Dikti dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan dana penelitian dan memberikan semua fasilitas yang dibutuhkan. Terima kasih juga disampaikan kepada lab produksi dan lab komputer Jurusan Teknik Mesin UMS yang telah memberikan kesempatan untuk menggunakan semua mesin dan software Abaqus.

Daftar Pustaka

- 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
- NUMISHEET, (1999), in: *Proceedings of the 3rd International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes*, J.K. Lee, G.L. Kinzel, R.H. Wagoner (Eds.).

NUMISHEET, (1999), in: *Proceedings of the 4th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes*, J.C. Gelin, P. Picart (Eds.).

NUMISHEET, (2002), in: *Proceedings of the 5th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes*, Dong-Yol Yang, Soo Ik Oh, Hoon Huh, Yong Hwan Kim (Eds.).

Serope Kalpakjian & Steven R Schmid, (2003), *Manufacturing Process for Engineering Material*, p.23, Pearson Education, Inc., Prentice Hall.

_____, (2004), ABAQUS User's Guide, USA