

## SIMULASI DAN OPTIMISASI PROSES CUP DRAWING UNTUK MENGURANGI CACAT KERUT DAN PENIPISAN

**Agus Dwi Anggono<sup>1)</sup>, Muhammad Effendi<sup>2)</sup> Bambang Waluyo Febriantoko<sup>3)</sup>**  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
 email: agus.d.anggono@ums.ac.id

### *Abstract*

*The purpose of this research is to determine the effect of variations of blank holder force (BHF) and friction coefficient against wrinkling and thinning defects in the cup drawing process. Simulations is carried out to replace the traditional method of trial and error. Therefore, the production cost and time can be reduced. There are five variations of blank holder force used in this simulation i.e 37, 57, 77, 97 and 117 N and four variations of the friction coefficient of 0.05, 0.15, 0.25, and 0.35. Aluminium and Zinc was selected as blank material with the thickness of 0.32 and 0.3 mm respectively. The result shows that the wrinkling was decreased in the increasing of BHF and friction coefficient. However, the thinning was increased as well. Finally, the optimum BHF must be selected to give better results in both wrinkling and thinning.*

**Keywords:** *finite element method, cup drawing, blank holder force, wrinkling, thinning*

### 1. PENDAHULUAN

*Cup drawing* merupakan serangkaian proses plat yang dibentuk menyerupai mangkuk atau topi dengan cara stamping metal atau yang sering kita kenal dengan sebutan deep drawing. Proses deep drawing merupakan salah satu proses sheet metal forming yang banyak digunakan pada industri manufaktur, terutama untuk menghasilkan komponen-komponen produk otomotif dan alat-alat rumah tangga. Pada proses *cup drawing*, banyak dijumpai beberapa cacat pada proses pengerjaannya, yaitu patahan (*fracture*), kerutan (*wrinkle*), peregangan (*stretching*) dan penipisan (*thinning*) (Anggono and Siswanto, 2013).

Bentuk-bentuk cacat tersebut harus dicegah atau bahkan di hindari semaksimal mungkin agar dapat menekan biaya produksi. Pada umumnya untuk menghindari permasalahan tersebut, perusahaan manufaktur memerlukan langkah eksperimen *trial and error* atau coba-coba yang menelan biaya yang cukup besar. Maka dari itu simulasi di perlukan untuk menghindari terjadinya cacat pada proses *cup drawing*. Diantaranya yaitu untuk menghindari cacat kerutan dan penipisan.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *Blank Holder Force* (BHF) dalam rangka meminimalisir cacat kerutan dan penipisan. Dan untuk mengetahui pengaruh variasi koefisien gesek untuk meminimalisir cacat kerutan dan penipisan tersebut.

### 2. KAJIAN LITERATUR

Variabel BHF yang optimum biasanya ditentukan dengan melakukan simulasi *finite element method* (FEM) atau eksperimen secara langsung. Untuk bentuk-bentuk geometri yang sederhana, variabel BHF dapat diprediksi secara analitis. Namun sejauh ini, variabel BHF yang didapat dari prediksi analitis belum berkorelasi dengan baik dibandingkan eksperimen di lapangan. Metode yang efisien untuk memprediksi variabel Profil BHF adalah dengan menggunakan metode *cloosed-loop* yang dikontrol oleh simulasi FEM. *Wrinkling* dan *fracture* adalah cacat yang umum ditemui pada proses *deep drawing*. Metode simulasi adaptif dapat digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi *fracture* dan *wrinkling* dengan menerapkan BHF di tingkat minimum. Kerutan dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti parameter proses, kondisi kontak, sifat

mekanik, dan geometri dari blank. Berdasarkan pengamatan dari simulasi dan eksperimen pada proses *cup drawing* berbentuk kerucut, kerutan terbesar yang terjadi pada dinding samping cup terletak di 25% dari kedalaman cup (Qin et al., 2012; Gong et al., 2015).

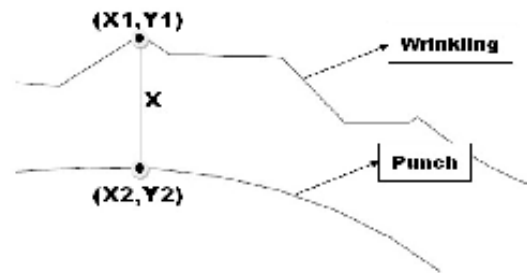
Forming Limits Diagram (FLD) dipakai dalam praktik industri untuk mengetahui kriteria kerusakan dalam proses produksi sebagai batas fungsi untuk kendala analisis. Kemungkinan terjadi kerusakan pada operasi proses forming pada gesekan antara bagian-bagian die dengan material atau gaya *blank holder* (Brabie et al., 2015; Gong et al., 2015).

### 3. METODE PENELITIAN

Jalannya penelitian ini secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga tahap yaitu desain, simulasi dan eksperimen validasi. Pembuatan desain dilakukan menggunakan komputer dengan spesifikasi Processor Intel(R) Core(TM) i3 CPU M380 @2.53GHz, memory 4.00 GB, VGA AMD Radeon HD 6470M dan OS Windows 7 Ultimate 64-bit. Karena pembuatan model desain belum bisa dilakukan di software Autoform R2, maka desain *blank*, *punch*, *blank holder*, dan *die* dibuat menggunakan software SolidWorks 2013 dengan format file \*.igs untuk mempermudah tahap export mesh di Autoform R2. Dimensi ukuran dari model part mengacu pada standar Benchmark 4 model dari Numisheet 2014.

Desain model die set yang awalnya berbentuk solid dirubah menjadi bentuk surface agar lebih memudahkan dalam proses meshing pada software Autoform R2. Export mesh adalah proses convert desain geometri blank dan tools yang telah dibuat di SolidWorks yang berformat \*.igs menjadi bentuk mesh dengan format \*.af.

Pada simulasi ini menggunakan dua jenis material plat yang berbeda dengan ketebalan yang berbeda pula, yaitu plat seng dengan ketebalan 0,30 mm dan plat aluminium dengan ketebalan 0,32 mm. Variasi koefisien gesek dan blank holder force diterapkan pada masing-masing jenis material plat dengan menggunakan lima variasi blank holder force, yaitu 37, 57, 77, 97, dan 117N. Variasi koefisien gesek ada tiga, yaitu 0.05, 0.15, dan 0.25.



Gambar 1. Metode menghitung *wrinkling*.

Besarnya *wrinkling* dapat dihitung dengan menggunakan metode seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Besarnya *wrinkling* ditunjukkan dengan simbol  $x$ , sedangkan acuan yang digunakan adalah *punch*. Untuk menghitung nilai  $x$  dapat dilakukan dengan menggunakan rumus *pythagoras*.

$$x = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

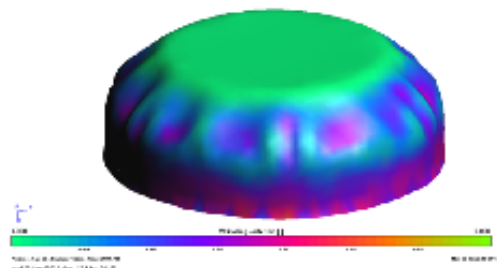
Cacat *thinning* (penipisan) pada proses *deep drawing* tidak dapat di hindari, karena *thinning* terjadi akibat dorongan yang dilakukan oleh *punch*. Sehingga plat yang dijepit antara *blank holder* dan *dies* akan tertarik dan akan menimbulkan perbedaan ketebalan pada beberapa bagian. Perlu diketahui bahwa besaran nilai *thinning* pada *AutoForm* adalah persentase ketebalan plat dari ketebalan asli.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

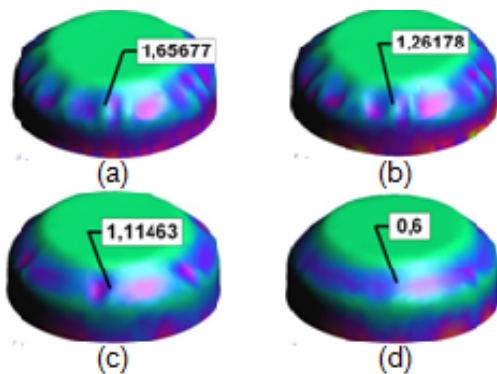
Simulasi dilakukan dengan membuat variasi lima nilai BHF dan empat koefisien gesek. Material plat yang digunakan adalah plat aluminium dengan ketebalan 0,32 mm dan plat seng dengan ketebalan 0,30 mm.

*Wrinkling criterion* yang ditunjukkan pada Gambar 2 adalah salah satu variabel dalam *AutoForm R2* yang digunakan untuk menganalisa *wrinkling* yang terjadi pada *cup*.

Gambar 3.(a) dan 3.(b) adalah plat seng dengan ketebalan 0,30 mm dengan masing-masing BHF sebesar 37N dan 117N. Sedangkan gambar 3.(c) dan 3.(d) adalah plat aluminium dengan ketebalan 0,32 mm dengan masing-masing BHF sebesar 37N dan 117N dan koefisien gesek sebesar 0,15.



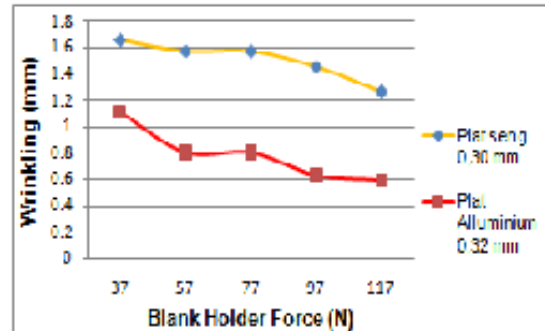
Gambar 2. Wrinkling criterion pada AutoFormR2.



Gambar 3. Analisa wrinkling dengan memvariasikan BHF.

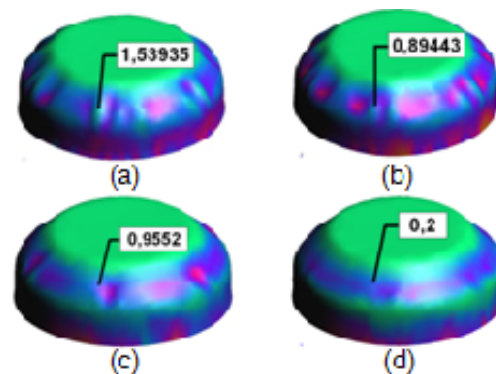
Pada gambar 3.(a) dan 3.(b) secara visual *wrinkling* yang terjadi tidak begitu terlihat, hal ini terjadi karena *dieclearance* yang besar jika menggunakan material dengan ketebalan 0,30 mm, sehingga dari segi visual *wrinkling* yang terjadi tidak terlihat berkurang walaupun BHF dinaikkan, tetapi dari pengukuran *wrinkling* yang didapat dari perhitungan empat titik *wrinkling* yang berbeda pada *cup*, nilai *wrinkling* menunjukkan penurunan. Pada variasi BHF 37N *wrinkling* tertinggi adalah 1,65677 mm sedangkan pada saat BHF dinaikkan sebesar 117N *wrinkling* pada titik yang sama menurun menjadi 1,26178 mm. Lain halnya dengan plat aluminium yang memiliki ketebalan 0,32 mm, secara visual *wrinkling* terlihat berkurang karena kenaikan nilai BHF, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.(c) dan 3.(d), titik-titik *wrinkling* yang terlihat pada gambar 3.(c) mulai berkurang saat terjadi kenaikan nilai BHF seperti yang terlihat pada gambar 3.(d). Pada variasi BHF 37N *wrinkling* tertinggi adalah 1,11463 mm sedangkan pada saat BHF dinaikkan sebesar 117N *wrinkling* pada titik yang sama menurun menjadi 0,6 mm.

Hal ini disebabkan karena *dieclearance* yang tidak terlalu besar jika menggunakan material dengan ketebalan 0,32 mm.



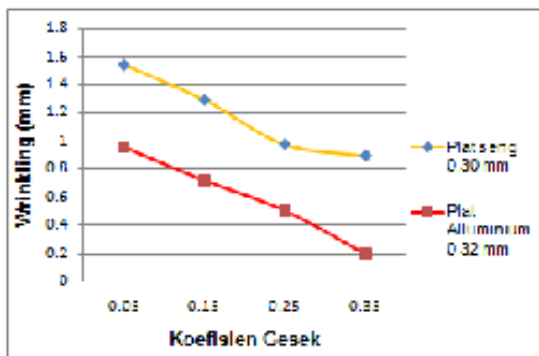
Gambar 4. Grafik hubungan antara BlankHolderForce dan Wrinkling

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 4. menunjukkan bahwa menaikkan nilai BHF dapat mengurangi *wrinkling* yang terjadi pada *cup*. Grafik menunjukkan tren penurunan nilai *wrinkling*, tetapi jika variabel BHF terlalu besar akan menyebabkan sobekan (*fracture*) karena *blankholder* menjepit *blank* terlalu kuat sehingga tidak terjadi aliran material dan *blank* akan sobek.



Gambar 5. Analisa wrinkling dengan memvariasikan koefisien gesek.

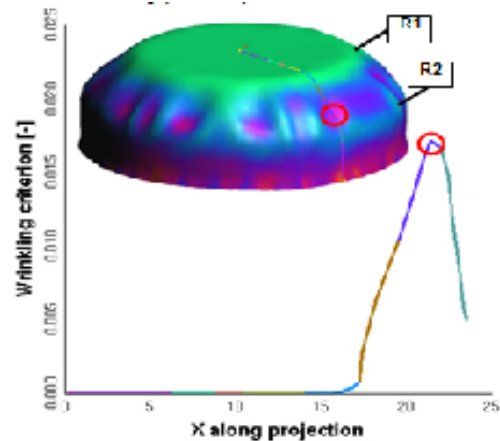
Gambar 5.(a) dan 5.(b) adalah plat seng ketebalan 0,30 mm dengan masing-masing koefisien gesek sebesar 0,05 dan 0,35. Sedangkan gambar 5.(c) dan 5.(d) adalah plat aluminium ketebalan 0,32 mm dengan masing-masing koefisien gesek sebesar 0,05 dan 0,35. BHF pada kedua material adalah konstan dengan nilai BHF sebesar 37N.



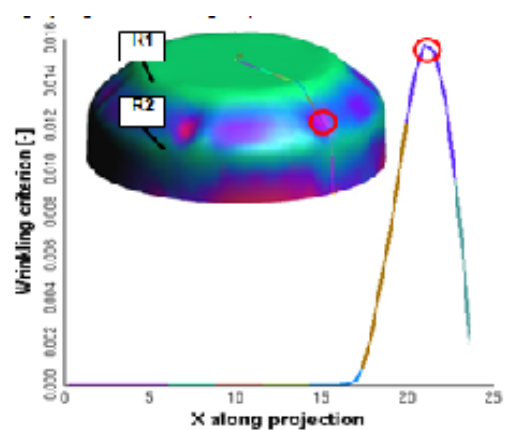
Gambar 6. Grafik hubungan antara koefisien gesek dan *Wrinkling*

Pada material plat seng, *wrinkling* yang terjadi berkurang dengan signifikan seperti yang terlihat pada gambar 5(a) dan 5(b) titik *wrinkling* tertinggi pada saat koefisien gesek 0,05 adalah 1,53935 mm berkurang menjadi 0,89443 mm pada saat koefisien gesek dinaikkan menjadi 0,35. Pada material plat aluminium, *wrinkling* juga berkurang secara signifikan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5(c) dan 5(d), titik *wrinkling* tertinggi dengan koefisien gesek 0,05 adalah sebesar 0,9552 mm turun menjadi 0,2 mm pada titik yang sama saat koefisien gesek dinaikkan menjadi 0,35 mm.

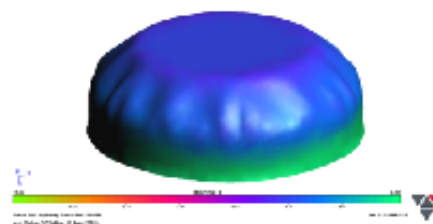
Grafik yang ditunjukkan pada gambar 6. menunjukkan bahwa terjadi tren penurunan nilai *wrinkling* pada kedua material karena koefisien gesek yang semakin besar. Sama halnya seperti penurunan nilai *wrinkling* dengan menaikkan nilai BHF, semakin besar nilai koefisien gesek maka kemungkinan *cup* mengalami *fracture* juga akan semakin besar. Gambar 7. menunjukkan distribusi *wrinkling* pada *cup* dengan material plat seng 0,30 mm dengan BHF 37N dan koefisien gesek 0,15. Pada gambar 8. terlihat bahwa bagian atas tidak mengalami *wrinkling* sampai pada area R1 dari *cup*, setelah melewati R1 atau pada area kubah nilai *wrinkling* naik secara signifikan, titik *wrinkling* tertinggi terjadi pada area kubah dan berada tepat diatas R2 dari *cup* atau dibagian bawah dari area kubah yang dilingkari. Setelah mencapai titik tertinggi selanjutnya nilai *wrinkling* terus turun sampai titik paling ujung dari dinding *cup*.



Gambar 7. Distribusi *wrinkling* pada plat seng.



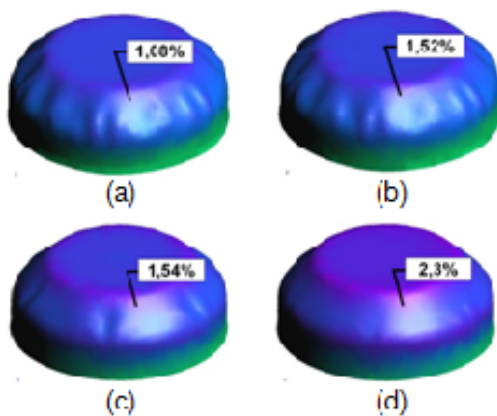
Gambar 8. Distribusi *wrinkling* pada plat aluminium.



Gambar 9. Thinning pada AutoformR2

Gambar 8. menunjukkan distribusi *wrinkling* pada *cup* dengan material plat aluminium 0,32 mm dengan BHF 37N dan koefisien gesek 0,15. Pada gambar 7. sama seperti pada plat seng terlihat bahwa bagian atas tidak mengalami *wrinkling* sampai pada area R1 dari *cup*, setelah melewati R1 atau pada area kubah nilai *wrinkling* tertinggi tercapai pada area kubah tepatnya pada bagian yang dilingkari. Setelah

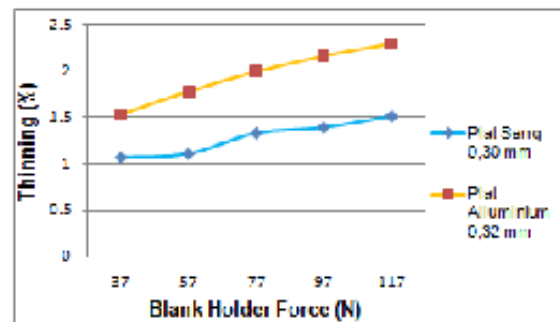
mencapai titik tertinggi *wrinkling* terus terus sampai pada titik paling ujung dari dinding *cup*. *Thinning* yang ditunjukkan pada gambar 9. adalah salah satu variabel dalam *AutoForm R2* yang digunakan untuk menganalisa seberapa besar penipisan yang terjadi pada *cup* dalam bentuk presentase besarnya penipisan. Jika persentase penipisan pada suatu area menunjukkan nilai minus maka pada area tersebut terjadi penipisan sedangkan jika menunjukkan nilai positif maka pada area tersebut terjadi penebalan.



Gambar 10. Analisa *thinning* dengan memvariasikan BHF.

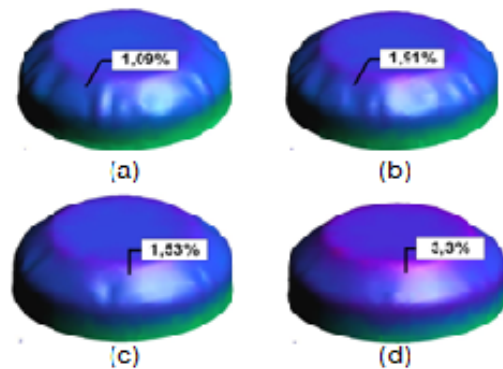
Gambar 10.(a) dan 10.(b) adalah plat seng ketebalan 0,30 mm dengan masing-masing BHF sebesar 37N dan 117N. Sedangkan gambar 10(c) dan 10(d) adalah plat aluminium ketebalan 0,32 mm dengan masing-masing BHF sebesar 37N dan 117N dan koefisien gesek sebesar 0,15.

Cacat *thinning* atau penipisan pada proses *cupdrawing* merupakan salah satu cacat yang tidak mungkin untuk dihindari, penipisan pasti terjadi karena *blank* mengalami regangan akibat gaya dorongan yang diberikan oleh *punch*.



Gambar 11. Grafik hubungan antara *blankholderforce* dan *thinning*.

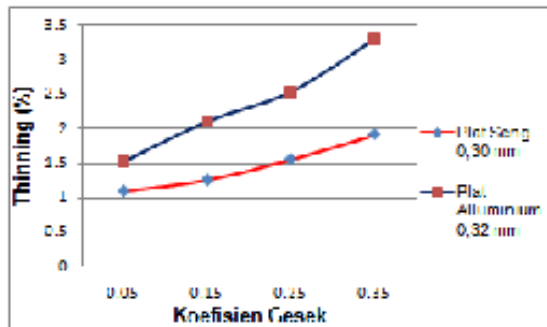
Grafik yang ditunjukkan pada gambar 11. menunjukkan bahwa penipisan akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai BHF. Nilai BHF yang semakin besar akan menyebabkan *cup* mengalami *fracture* karena regangan telah melewati titik luluh dari material tersebut. Secara visual peningkatan persentase penipisan pada *cup* pada kedua material memang tidak terlalu terlihat karena penipisan pada interval nilai BHF dari 37-117N sangat kecil, hanya sebesar antara 1,08-2,3%.



Gambar 12. Analisa *thinning* dengan memvariasikan koefisien gesek.

Gambar 12(a) dan 12(b) adalah plat seng ketebalan 0,30 mm dengan masing-masing koefisien gesek sebesar 0,05 dan 0,35. Sedangkan gambar 12(c) dan 12(d) adalah plat aluminium ketebalan 0,32 mm dengan masing-masing koefisien gesek sebesar 0,05 dan 0,35. BHF pada kedua material adalah konstan dengan nilai BHF sebesar 37N.

Penipisan pada material plat seng dengan memvariasikan koefisien gesek tidak begitu terlihat, sama seperti penipisan pada material plat seng dengan memvariasikan BHF karena nilai persentase penipisannya memang kecil sekali.



Gambar 13. Grafik hubungan antara koefisien gesek dan *thinning*.

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 13. menunjukkan bahwa kenaikan persentase penipisan pada material plat seng tidak terlalu signifikan, pada nilai koefisien tertinggi pun persentase penipisan hanya sebesar 1,91% dan *cup* masih dalam kondisi aman, tidak terjadi *fracture*. Tetapi pada material plat aluminium saat nilai koefisien gesek berada pada nilai tertinggi, persentase penipisan juga tinggi, yaitu sebesar 3,3%.

#### Hasil Eksperimen

Gambar 14. merupakan hasil eksperimen *cup drawing*. Pengujian ini ditampilkan untuk keperluan validasi hasil penelitian dengan metode simulasi. Pada percobaan eksperimen hanya menggunakan tiga variasi BHF (37, 47, 57N) dan dua variasi koefisien gesek (0,05 dan 0,15). Penambahan variasi nilai BHF dan koefisien gesek pada simulasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah penambahan pada variasi nilai BHF dan koefisien gesek dapat berpengaruh pada *cup* atau tidak hal ini juga sejalan dengan tujuan dari simulasi ini yaitu untuk mencari solusi mengurangi cacat *wrinkling* dan *thinning* yang terjadi pada proses *cup drawing*.



Gambar 14. *Cup* hasil eksperimen material plat seng dan aluminium.

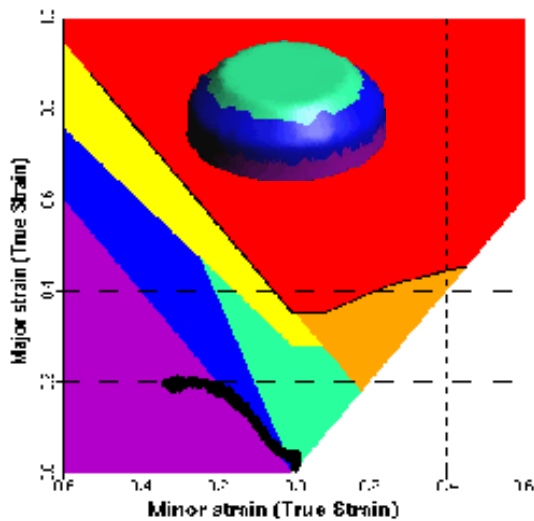
Gambar 14(a) dan 14(b) adalah *cup* material plat seng dengan ketebalan 0,30 mm dengan nilai BHF masing-masing sebesar 37N dan 57N. Gambar 14(c) dan 14(d) adalah *cup* material plat aluminium dengan ketebalan 0,32 mm dengan nilai BHF masing-masing sebesar 37N dan 57N. Besarnya nilai koefisien gesek *cup* pada gambar 14. adalah 0,05. Tampak dari gambar 14. tersebut bahwa hasil simulasi pada kedua material plat dengan kondisi nilai BHF dan koefisien gesek yang sama lebih baik dari hasil eksperimen karena *blank holder* telah menjepit *blank* dengan tepat sehingga cacat *wrinkling* pada bagian kubah *cup* dapat diminimalisir. Nilai *wrinkling* yang ditunjukkan pun lebih besar pada hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil simulasi. Dengan kondisi nilai BHF dan koefisien gesek yang sama seperti yang dideskripsikan sebelumnya pada eksperimen nilai *wrinkling* pada material plat seng 0,30 mm dan plat aluminium 0,32 mm adalah sebesar 1 mm dan 0,98 mm sedangkan pada simulasi nilai *wrinkling*-nya adalah 0,9 mm dan 0,86 mm. Hasil simulasi menunjukkan hasil yang lebih baik daripada hasil eksperimen.

Penipisan yang terjadi pada hasil eksperimen juga lebih besar dibandingkan dengan hasil simulasi. Rata-rata penipisan material plat aluminium pada hasil eksperimen sebesar 9,3% sedangkan pada simulasi hanya sebesar 3,3%.

Analisa FLD (*Forming Limit Diagram*) dilakukan untuk menganalisa atau memprediksi karakteristik dari suatu material. Diagram ini memberikan gambaran grafis dari tes keagagalan

suatu material. FLD yang dihasilkan dari kedua material dengan berbagai variasi BHF dan koefisien gesek hampir sama. Semua *cup* berada dibawah *Forming Limit Curve* (FLC) sehingga aman dari *fracture* (sobekan).

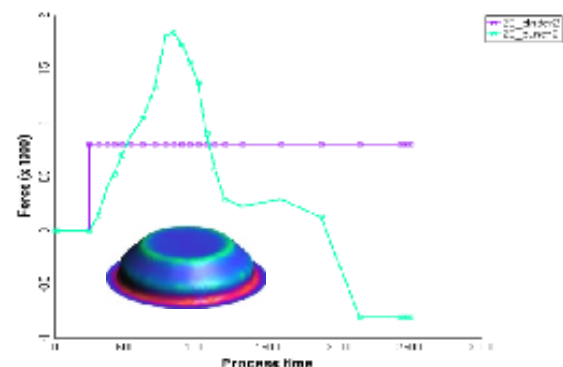
FLD yang ditampilkan pada gambar 15. menunjukkan kondisi dari *cup* setelah mengalami proses *drawing*. *Cup* berada pada zona dibawah *Forming Limit Curve* (FLC) atau artinya *cup* berada pada kondisi aman. Bagian atas *cup* berada pada *safe zone* yang berarti bahwa pada bagian ini *wrinkling* dan *thinning* yang terjadi sangat kecil, sedangkan daerah kubah pada *cup* berada di zona *compressing* yang berarti bahwa *wrinkling* dan *thinning* di area ini cukup besar, lalu pada bagian dinding *cup* berada pada zona *thickening* atau penebalan, *wrinkling* pada zona ini paling besar dibandingkan zona lainnya tetapi tidak terjadi *thinning* pada zona ini karena dinding *cup* mengalami penebalan.



Gambar 15. FLD untuk material plat aluminium.

Analisis data proses digunakan untuk mengetahui grafik aliran kekuatan dari *tools* yang digunakan pada proses *drawing*. Gambar 16. menunjukkan grafik aliran kekuatan dari *tools* yang digunakan pada proses *drawing* pada material plat aluminium 0,32 mm dengan BHF sebesar 37N dan koefisien gesek 0,15. Gambar 16. menunjukkan bahwa *punch force* mulai menunjukkan tren kenaikan setelah *punch* mulai memberikan tekanan pada *blank* begitu

juga pada *blank holder*. Tetapi pada *blank holder*, *force* tertinggi langsung tercapai pada saat *punch* mulai menekan *blank* dan bertahan sampai akhir proses *drawing*, sedangkan pada *punch force* tertinggi baru tercapai saat *cup* berada dalam bentuk seperti yang terlihat pada gambar 16. dan perlahan mulai turun sampai mencapai nilai minus karena *cup* sudah terbentuk dan hanya tinggal mendorong *cup* keluar dari *die* saja. Untuk material lain dengan beberapa variasi yang diterapkan menunjukkan grafik proses data yang hampir sama, yang membedakan hanya besarnya nilai tertinggi dari *punch force*.



Gambar 16. Grafik proses data simulasi.

## 5. SIMPULAN

Setelah melakukan analisis data hasil simulasi maka dapat ditarik kesimpulan bahwa cacat yang terjadi pada cup bisa diminimalisir dengan baik. Dengan menaikkan BHF, *wrinkling* yang terjadi pada cup dapat menurun baik pada material plat seng maupun aluminium. Pada cacat *thinning* (penipisan) semakin tinggi nilai BHF maka akan semakin besar pula persentase penipisan pada cup.

## 6. REFERENSI

- Anggono, A.D., Siswanto, W.A., 2013. Simulation of Ironing Process for Earring Reduction in Sheet Metal Forming. *Appl. Mech. Mater.* 465-466, 91-95. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.465-466.91
- Brabie, G., Chirita, B., Albut, A., 2015. Minimization of sheet thickness variation and other defects of mini drawn parts

- using a blank holder plate made from concentric rings. *Precis. Eng.* 42, 311–320.  
doi:10.1016/j.precisioneng.2015.03.011
- Gong, F., Yang, Z., Chen, Q., Xie, Z., Shu, D., Yang, J., 2015. Influences of lubrication conditions and blank holder force on micro deep drawing of C1100 micro conical–cylindrical cup. *Precis. Eng.* 42, 224–230.  
doi:10.1016/j.precisioneng.2015.05.004
- Qin, S., Xiong, B., Lu, H., Zhang, T., 2012. Critical blank-holder force in axisymmetric deep drawing. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 22, s239–s246.  
doi:10.1016/S1003-6326(12)61714-2