

NASKAH PUBLIKASI KARYA ILMIAH

**PENGARUH *BLANK HOLDER FORCE* (BHF) TERHADAP CACAT
WRINKLING DAN KOEFISIEN GESEK PADA PROSES *CUP*
*DRAWING***



Disusun Sebagai Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun oleh:
Agung Trianto
NIM : D200100125

Pembimbing:
Agus Dwi Anggono, ST., M.Eng., Ph.D.

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2015**

HALAMAN PERSETUJUAN

NASKAH PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Naskah publikasi karya ilmiah yang berjudul "**PENGARUH *BLANK HOLDER FORCE (BHF)* DAN KOEFISIEN GESEK TERHADAP CACAT *WRINKLING* PADA PROSES *CUP DRAWING***", telah disetujui oleh Pembimbing dan diterima untuk memenuhi sebagai persyaratan memperoleh gelar sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan Oleh :

Nama : **AGUNG TRIANTO**

NIM : **D200100125**

Disetujui Pada :

Hari : *Senin*

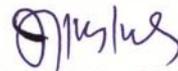
Tanggal : *23-11-2015*

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

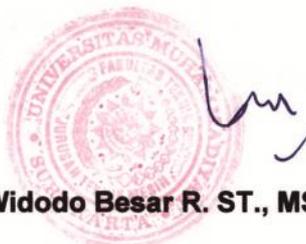


Agus Dwi Anggono, ST., M.Eng., Ph.D.



Nur Aklis, ST., M.Eng.

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Tri Widodo Besar R. ST., MSc., Ph.D.

PENGARUH *BLANK HOLDER FORCE (BHF)* DAN KOEFISIEN GESEK TERHADAP CACAT *WRINKLING* PADA PROSES *CUP DRAWING*

Agung Trianto, Agus Dwi Anggono, Nur Aklis
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura
Email : agungtrianto1@gmail.com

ABSTRAKSI

Blank holder adalah bagian yang sangat penting dalam melakukan percobaan drawing dan salah satu bagian vital dalam mencegah terjadinya cacat wrinkling. Pada saat proses drawing berlangsung maka peran blank holder yang konstan sangat diperlukan supaya terjadinya cacat wrinkling dapat sedikit teratasi. Berkaitan dengan hal tersebut maka dengan melakukan variasi kekuatan force pada blank holder dapat diungkap pengaruh blank holder force terhadap hasil dari proses cup drawing.

Dalam melakukan penelitian ini diawali dengan pembuatan dies dengan parameter yang telah ditentukan yaitu dengan menambahkan empat lubang pada blank holder dan empat tap baut pada dies, yang pada nantinya akan digunakan sebagai variasi kekuatan blank holder. Terdapat tiga variasi kekuatan blank holder 2,352 Nm, 1,7652 Nm dan 0,12 Nm disetiap bautnya. Penelitian ini menggunakan metode penelitian cup drawing dengan plat berbentuk silinder. Produk yang dihasilkan yaitu sebuah cup dengan diameter atas d_1 : 46 mm, diameter bawah d_2 : 30 mm dan kedalaman h : 15 mm. Bahan uji (blanks) yang digunakan yaitu plat alumunium yang memiliki beban ultimate 1,453 Kgf dengan ketebalan plat 0,11 mm, plat seng yang memiliki beban ultimate 7,280 Kgf dengan ketebalan plat 0,2 mm, plat alumunium (plat timah) yang memiliki beban ultimate 8,898 Kgf dengan ketebalan 0,3 mm dan plat alumunium (plat timah) yang memiliki beban ultimate 10,528 Kgf dengan ketebalan 0,32 mm. Dengan diameter benda uji (blanks) 64,8 mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil terbaik terdapat pada plat yang memiliki beban ultimate 10,528 Kgf dengan ketebalan 0,32 mm dan besar kekuatan blank holder 2,352 Nm. Sedangkan pada plat yang memiliki beban ultimate 1,453 Kgf dengan ketebalan plat 0,11 mm mengalami cacat sobek disemua percobaan. Dan Dalam perbandingan percobaan dengan pelumasan dan tanpa pelumasan mendapatkan hasil bahwa pengaruh koefisien gesek terhadap cacat wrinkling, percobaan dengan pelumasan memiliki hasil cacat wrinkling yang lebih rendah dibandingkan dengan percobaan tanpa pelumasan.

Kata kunci : Blank Holder, Cup Drawing, Wrinkling

THE EFFECT OF BLANK HOLDER FORCE (BHF) AND FRICTION COEFFICIENT ON WRINKLING DEFECT IN CUP DRAWING PROCESS

Agung Trianto, Agus Dwi Anggono, Nur Aklis

Mechanical Engineering Muhammadiyah University of Surakarta

A. Yani Street Tromol Pos I Pabelan, Kartasura

email: agungtrianto1@gmail.com

ABSTRACT

Blank holder is the most important part in making drawing experiment and one of vital elements in preventing the wrinkling defect from occurring. During drawing process, the constant role of blank holder is desirable to deal with wrinkling defect. Regarding this, through varying force strength in force in blank holder, the effect of blank holder force on the result of cup drawing process could be revealed.

This research started with preparing dies with specified parameter, by adding four holes into blank holder and four bolt taps into dies, to be used as varying blank holder strength later. There were three varying blank holder strengths: 2.352 Nm, 1.7652 Nm and 0.12 Nm in each of its bolts. This research employed cup drawing research method with cylindrical-shaped plate. The product yielded was a cup with upper diameter d_1 : 46 mm, lower diameter d_2 : 30 mm, and depth h : 15 mm. The tested objects (blanks) used was aluminum plate with ultimate load of 1.453 Kgf and thickness of 0.11 mm, zinc plate with ultimate load of 7.280 Kgf with thickness of 0.2 mm, aluminum plate (lead plate) with ultimate load of 8.898 Kgf with thickness of 0.3 mm and aluminum plate (lead plate) with ultimate load of 10.528 Kgf with thickness of 0.32 mm. Diameter of tested objects (blanks) was 64.8 mm.

The result of research showed that the best result occurred in plate with ultimate load of 10.528 Kgf, thickness of 0.32 mm and blank holder strength of 2.352 Nm. Meanwhile, the plate with ultimate load of 1.453 Kgf and thickness of 0.1 mm encountered torn defect in all of experiments. And the comparison of experiments with and without lubrication found that the effect of friction coefficient on wrinkling defect, the experiment with lubrication had lower wrinkling defect result compared with the one without lubrication.

Keywords: Blank Holder, Cup Drawing, Wrinkling

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*. Pada proses *cup drawing*, banyak dijumpai beberapa cacat pada proses pengerjaannya, yaitu patahan (*fracture*), kerutan (*wrinkle*), peregangan (*stretching*) dan perbedaan ketebalan (*thickness variation*). (Ingarao,dkk 2009).

Oleh karena itu untuk menghindari terjadinya cacat pada proses *cup drawing* salah satunya yaitu kerutan (*wrinkling*) maka harus dilakukan variasi pada *dies*, kekuatan *blank holder* atau *punch*. Kerutan (*wrinkling*) adalah cacat yang tidak diinginkan yang terjadi pada proses *cup drawing*. Hal ini terjadi pada tepi (*flange*) serta dinding samping dari *cup* yang ditarik ke dalam. Alasan utama cacat kerutan (*wrinkling*) adalah ketidak mampuan menahan *Blank Holder Force* (BHF). Menurut pengalaman di dunia manufaktur, menunjukkan bahwa kerutan (*wrinkling*) ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti sifat mekanik dari lembar aluminium, geometri benda, kondisi kontak termasuk efek pelumasan dan proses kondisi batas.

Penelitian mengenai *cup drawing* ini telah banyak dilakukan khususnya untuk mengetahui seberapa banyak cacat yang terjadi dan mencari solusi untuk menghindari cacat tersebut. Salah satu cara yang mungkin untuk menghindari cact pada proses *cup drawing* dan terutama karena cacat kerutan (*wrinkling*). *Blank holder* terletak di atas *draw punch / dies* dan nantinya akan menjepit sebuah plat sebelum menjadi *cup*.

Teknologi yang dikembangkan untuk keandalan pada operasi pembentukan (*sheet metal forming*)

yakni; Penjumlahan struktur untuk masalah karakteristik dengan deformasi yang besar. *Forming Limits Diagram* (FLD) dipakai dalam praktik industry 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 (plat) atau gaya *blank holder*. (Kliber dkk, 2000).

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh BHF pada *Cup Drawing*. Dengan material *blank* aluminium dengan beban *ultimate* 1,453 Kgf, material seng dengan beban *ultimate* 7,280 Kgf, material aluminium (plat timah) dengan beban *ultimate* 8,898 Kgf dan 10,528 Kgf.
2. Mengidentifikasi terjadinya cacat *wrinkling* pada proses *Cup Drawing* dengan menggunakan BHF 2,352 Nm per baut, 1,7652 Nm per baut dan 0,12 Nm per baut.
3. Mengetahui pengaruh pelumasan terhadap cacat kerutan (*wrinkling*) pada proses *Cup Drawing* dengan harga koefisien gesek : 0,06 yaitu dengan pelumasan dan 0,15 tanpa pelumasan.

RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan ini bertujuan untuk.

1. Bagaimana pengaruh BHF pada *cup drawing* dengan material yang telah ditentukan.
2. Mengetahui seberapa dalam cacat kerut (*wrinkling*) yang terjadi setelah dilakukan percobaa.

3. Mengetahui perbedaan percobaan dengan menggunakan pelumasan dan tanpa pelumasan.

PEMBATASAN MASALAH

Agar tidak mengalami perluasan pembahasan, diberikan batasan-batasan penelitian sebagai berikut :

1. Analisis studi dilakukan dengan metode pengujian *Cup Drawing* dengan menggunakan mesin.
2. Eksperimen dibatasi hanya untuk mengetahui pengaruh BHF terhadap cacat *wrinkling*. Serta pengaruh pelumasan terhadap koefisien gesek.
3. Dimensi dies yang digunakan dalam melakukan penelitian yaitu dengan diameter luar : 105 mm, d1 : 65 mm, d2 : 47 mm, d3 : 67 mm. Kedalaman h : 77 mm.
4. Dimensi *blank holder* yaitu dengan diameter luar1 : 105 mm, luar2 : 64 mm, d1 : 46 mm. Kedalaman h1 : 26 mm, h2 : 8 mm.
5. Material atau *blank* yang di uji adalah material *blank* plat alumunium yang memiliki beban *ultimate* 1,453 Kgf dengan ketebalan plat 0,11 mm, plat seng yang memiliki beban *ultimate* 7,280 Kgf dengan ketebalan plat 0,2 mm, plat alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 8,898 Kgf dengan ketebalan 0,3 mm dan plat alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 10,528 Kgf dengan ketebalan 0,32 mm.
6. Pengujian dilakukan dengan pelumasan dan tanpa pelumasan pada material atau *blank*.

TINJAUAN PUSTAKA

Peter dkk, 2013, meneliti tentang Optimasi BHF dari produk *hemispherical* menggunakan simulasi numeric. Penawaran kontribusi dengan pengaruh dan optimalisasi BHF pada kualitas produk dengan menggunakan simulasi numerik. Dalam proses *drawing*, terdapat perubahan tekanan pada material dan oleh karena itu juga harus memodifikasi BHFnya. Setelah penentuan dari maksimal dan minimal BHF konstan ada 6 profil (kurva) yang berbeda diaplikasikan dari *Blank Holder Force*. Hasil terbaik memiliki 2 hasil maksimal di awal dan akhir dari proses dan 1 minimal di tengah dan bagian muka, hasil terburuk adalah yang memiliki nilai maksimal dari BHF sampai di tengah proses dan linear menurun. Berdasarkan hasil yang dicapai pengaruh BHF pada kualitas produk yang luar biasa dengan menggunakan variable BHF di bandingkan dengan BHF konstan adalah untuk meningkatkan secara signifikan proses *drawing* dan dalam hal kualitas produk adalah mungkin untuk mencapai BHF optimal pada seluruh proses *drawing*.

Rao dkk, 2012, meneliti tentang Optimalisasi BHF pada *Deep Drawing* untuk *Cylindrical Cups* menggunakan pendekatan *Taguchi*. BHF terbaik untuk memproduksi komponen bebas kerutan (*wrinkling*) telah ditemukan oleh Rao dkk dengan parameter *punch radius* level 1, 2 dan 3 yaitu 1 mm, 2,5 mm dan 5 mm, *die radius* level 1, 2 dan 3 yaitu 3 mm, 7 mm dan 10 mm, *clearance* level 1, 2 dan 3 yaitu 7 mm, 14 mm dan 20 mm, *coefficient of friction* level 1, 2 dan 3 yaitu 0,015, 0,2 dan 0,45, *punch diameter* level 1,2 dan 3 yaitu 30 mm, 90 mm dan 150 mm. Dalam hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa diameter *punch* adalah parameter yang paling

berpengaruh diikuti dengan jari-jari cetakan. Hal ini juga dapat diamati bahwa batas minimal kerutan (*wrinkling*) pada jari-jari *die* adalah 7mm, jari-jari *punch* 1mm, jarak ruang 7% dan koefisien gesek 0,45.

Park, 2005, meneliti tentang cacat yang mungkin terjadi pada *cylindrical cup drawing* adalah *fracture* (pecah), *wear* (aus) dan *plastic deformation*. Parameter kerusakan yang digunakan adalah *maximum normal component of a traction vector on the die surface* untuk *wear* (aus). Dalam hal ini *wrinkles* (kerutan) terjadi ketika tidak ada *blank holder* yang digunakan pada *sheet metal forming*.

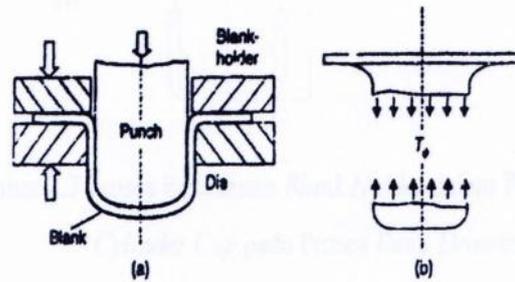
Kliber dkk, 2000, mengatakan bahwa teknologi yang dikembangkan untuk keandalan pada operasi pembentukan (*sheet metal forming*) yakni; Penjumlahan struktur untuk masalah karakteristik dengan deformasi yang besar. *Forming Limits Diagram* (FLD) dipakai dalam praktik industri untuk mengetahui kriteria 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 (plat) atau gaya *blank holder*.

LANDASAN TEORI

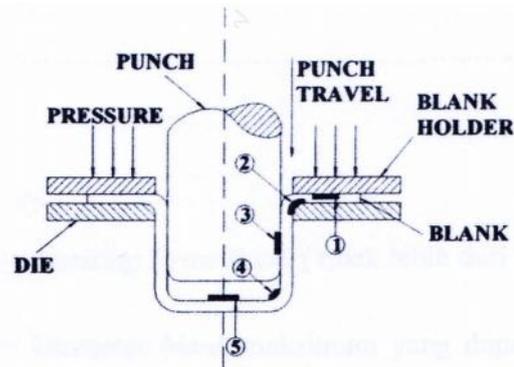
Pengertian Deep Drawing

Menurut Rao, 2012, *deep drawing* adalah salah satu yang secara umum digunakan untuk proses pembentukan plat atau *sheet metal forming* dalam perindustrian agar dapat memproduksi secara massal komponen berbentuk cangkir (*cup*) dalam waktu yang singkat. Menurut Sharma, 2001, *deep drawing* adalah suatu proses pembentukan logam dari lembaran logam ke dalam bentuk tabung (*shallow shape*), sedangkan *deep drawing* menurut Beddoes dkk,

2000, terlihat pada gambar 1 dan gambar 2 di bawah ini.



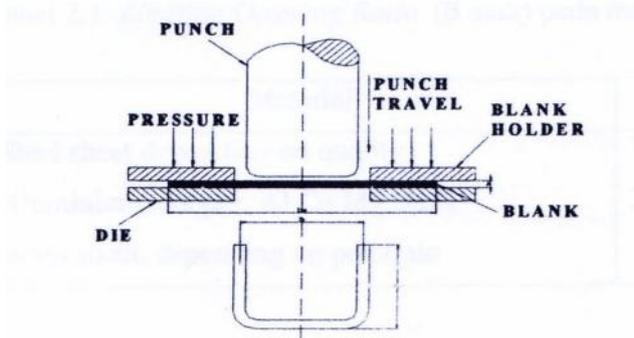
Gambar 1. (a) Pembentukan *Cylinder Cup* (b) Penyebaran Gaya *Drawing* pada Dinding *Cylinder Cup*



Gambar 2. Tahap proses *deep drawing* untuk *cylinder cup*

Langkah-langkah pada proses *deep drawing* terdiri dari lima (5) tahap dalam proses pembentukan yakni sebagai berikut :

1. Penjepitan pada material (*blank*) diantara *die* dan *blank holder force*
2. *Bending* dan *sliding* pada profile radius *die*
3. *Stretching* diantara *die* dan *punch*
4. *Bending* dan *sliding* pada profile radius *punch*
5. *Stretching* dan *sliding* pada permukaan ujung *punch*



Gambar 3. Proses Penekanan *Blank Holder* dalam Pembentukan *Cylinder Cup* pada Proses *Deep Drawing*

Jarak Celah (Clearance) pada *Deep Drawing*

Jarak celah yang harus diperhatikan pada *deep drawing* yaitu jarak celah antara *punch* dan *die*. Jarak celah antara *punch* dan *die* yang terlalu banyak akan mengakibatkan kontak plat dengan *punch* dan *die* tidak merata. Proses pengepresan akan berubah menjadi pelebaran karena ketidaksesuaian celah. Sebaiknya bila celah terlalu sempit, maka proses akan menjadi *ironing*. Idealnya *clearance* antara *punch* dan *die* harus sama dengan tebal plat. Pada saat plat ditekan maka tebal plat akan mengecil, namun pada daerah tepi tebalnya belum banyak berkurang, sehingga *clearance* tidak merata. *Clearance* yang dianjurkan antara 7% sampai dengan 20% dari tebal plat.

Gaya Tekan pada proses *Drawing* (*Drawing force*)

Gaya tekan pada proses *drawing* (*drawing force*) diberikan tergantung pada *countour* lekukan, dimensi dan konfigurasi bentuk yang didesain. Menurut Pawira, 1995, menyatakan bahwa: Gaya tekan yang dibebankan pada proses pembentukan plat dalam kenyataan di lapangan telah diatur sesuai dengan ketentuan sebagai berikut:

Proses penekanan terjadi setelah proses *straightening*, proses ini merupakan proses terakhir yang menentukan bentuk dari bagian bawah produk *drawing*, besarnya gaya tekan yang dilakukan dipengaruhi oleh:

- Gaya penarikan (*drawing force*) tergantung pada material *part*, kontur lekukan, dimensi *part* dan bentuk yang didesain merupakan gaya tekan yang diberikan dari *punch* terhadap plat pada proses pembentukan *cup*.
- Gaya gesek pada saat proses dapat dimanfaatkan untuk menambah atau mengurangi penekanan *blank holder* terhadap plat. Pemberian sudut kemiringan dan radius pada *lower* akan menghindarkan pengerutan dan pelipatan, (Suchy, 1997).

Gaya *Blank Holder*

Untuk mencegah terjadinya cacat akibat menggunakan gaya *blank holder*, yang mana *blank holder* adalah parameter yang penting dan sangat berpengaruh dalam proses *drawing*. Gaya *blank holder* yang kecil akan membuat material mengalami cacat *wrinkling*, begitu sebaliknya gaya *blank holder* yang relatif tinggi akan menyebabkan cacat *fracture*. (Peter, 2012).

Variable *Deep Drawing*

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan proses *drawing*, variabel yang mempengaruhi proses *drawing* antara lain :

1. Gesekan
 - Faktor yang mempengaruhi gesekan antara lain :
 - Pelumasan
 - Gaya *Blank Holder*

- Kekasaran permukaan *Blank*
 - Kekasaran Permukaan *punch, die* dan *blank holder*
2. *Bending* dan *straightening*
Variabel yang mempengaruhi proses ini adalah :
 - Radius *Punch*
 - Radius *Die*
 3. Penekanan
Besarnya gaya tekan yang dilakukan dipengaruhi oleh :
 - *Drawability*
 - Keliatan logam
 - Tegangan Maksimum Material
 - Ketebalan *Blank*
 4. Diameter *blank*
 5. Kelongaran
 6. *Strain Ratio*
 7. Kecepatan *Drawing*

Teori Elastisitas dan Plastisitas Plat

Dalam pemilihan material seperti lembaran plat untuk pembuatan komponen yang harus diperhatikan adalah sifat-sifat material antara lain; kekuatan (*strength*), keliatan (*ductility*), kekerasan (*hardnes*) dan kekuatan lelah (*fatigue strength*). Sifat mekanik material untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, struktur molekul berada dalam keseimbangan. Gaya luar proses penarikan, tekanan, pemotongan, penempaan, pengerolan dan pembengkokan, akan mengakibatkan material mengalami tegangan.

Sebuah plat yang dikenai beban dari luar, maka plat akan mengalami *defleksi*. Pada beban luar yang tidak terlalu besar *defleksi* plat akan kembali ke bentuk seperti semula setelah beban yang diberikan dilepas. Plat tidak akan terjadi deformasi permanen disebabkan karena gaya elastis plat. Hal ini yang disebut sifat *elastisitas* material.

Peningkatan beban yang melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) yang memiliki plat akan mengakibatkan aliran *deformasi* plat dimana plat tidak akan kembali ke bentuk seperti semula atau plat mengalami deformasi permanen (*permanent set*) yang disebut *plastisitas*. Langkah pertama dari analisis aliran *plastis* adalah menentukan kriteria luluh (*yield criterion*).

Peningkatan pembebanan yang melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) yang memiliki plat mengakibatkan aliran deformasi permanen yang disebut *plastisitas*. Menurut Mondelson, 1983, teori *plastis* terbagi menjadi dua kategori :

1. Teori fisik

2. Teori matematis

a. Tegangan

Engineering stress dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{eng} = \frac{F}{A_0}$$

Dimana :

σ_{eng} = *Engineering stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A_0 = Luas permukaan awal (mm^2)

True stress dapat dihitung dengan :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana :

σ = *True stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan sebenarnya (mm^2)

b. Regangan

Menurut Marciniak, 2002, regangan dibedakan menjadi dua, yaitu : *engineering strain* dan *true strain*.

Engineering strain

$$\epsilon_{eng} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\%$$

Dimana :

ϵ_{eng} = Engineering strain

Δl = Perubahan panjang

l_0 = Panjang mula-mula

l = Panjang setelah diberi gaya

True strain

$$\epsilon = \int_0^l \frac{1}{l} dl = \ln \frac{l}{l_0}$$

Dimana :

ϵ = True strain

Deformasi

Hubungan tegangan-regangan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\frac{P}{A}}{\frac{\delta}{L}}$$

Sehingga deformasi (δ) dapat diketahui :

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E}$$

Dimana :

P = Beban (N)

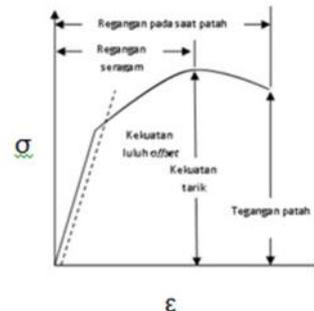
A = Luas permukaan (mm^2)

L = Panjang awal (mm)

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu bahan akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan bahan di bawah kekuatan luluh bahan akan kembali ke bentuk semula, hal ini dikarenakan sifat elastis bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan

aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula, hal ini bias dilihat dalam diagram tegangan-regangan berikut :



Gambar 4. Diagram Tegangan-Regangan

Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh modulus elastisitas, modulus elastisitas suatu bahan didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

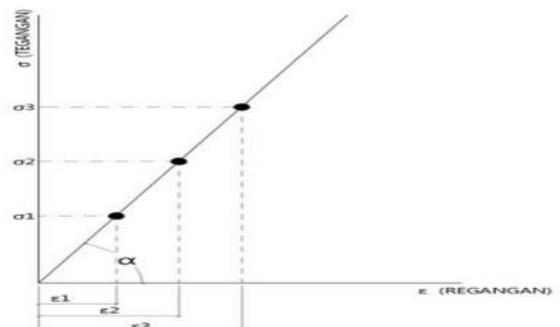
Dimana :

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

σ = Tegangan (MPa)

ϵ = Regangan

Garis modulus berupa garis lurus pada kurva beban dan perpanjangan, yang menunjukkan bahwa beban berbanding lurus dengan perpanjangan. Seperti gambar di bawah ini :



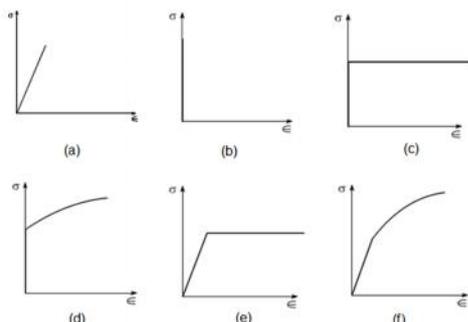
Gambar 5. Garis Modulus

Bila garis modulus itu membuat sudut besar dengan sumbu horizontal, berarti bahan itu sangat tahan terhadap perubahan bentuk elastis, memiliki modulus elastisitas tinggi sehingga tahan terhadap perubahan bentuk (*deformasi*) elastis.

Jenis-jenis Kurva Tegangan-Regangan

Proses pengerjaan dari material harus memperhitungkan komposisi dari material tersebut, karena setiap material mempunyai kurva tegangan-regangan yang berbeda-beda. Beberapa jenis kurva tegangan-regangan sebagai berikut :

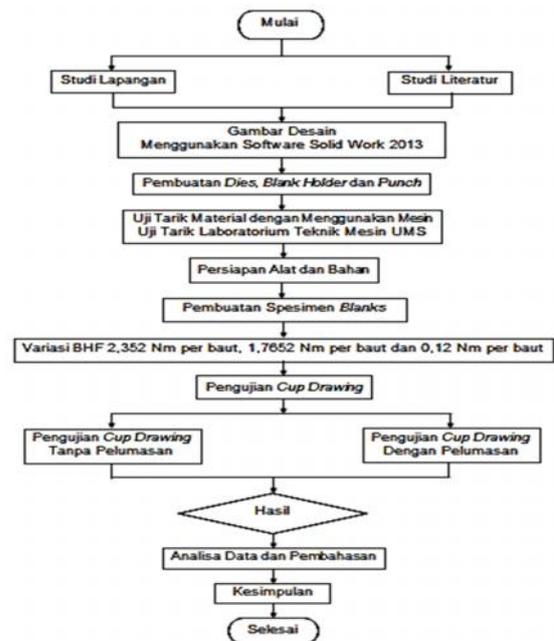
- Linear elastic* material yaitu tegangan sebanding dengan regangan
- Rigid Materials* adalah salah satu yang tidak mengalami tegangan tanpa memperhatikan dari regangan yang diterapkan.
- Perfectly plastic (non-strain hardening)* yaitu tidak adanya tegangan dari pengerasan bahan
- Rigid Plastic material (strain hardening)* yaitu pengerasan regangan
- Elastic Perfectly Plastic* material adalah material yang memiliki karakteristik
- Elastic – Plastic* material menunjukkan diagram tegangan vs diagram regangan



Gambar 6. Jenis kurva tegangan-regangan (a) *Linear elastic* (b) *Rigid Materials* (c) *Perfectly plastic (non-strain hardening)* (d) *Rigid Plastic material (strain hardening)* (e) *Elastic Perfectly Plastic* (f) *Elastic – Plastic*

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan diagram alir yang akan ditampilkan pada gambar 7. Dalam gambar tersebut akan ditampilkan secara berurutan proses dari penelitian yaitu mulai dari pembuatan spesimen *blanks* sampai dengan pengujian *cup drawing*.



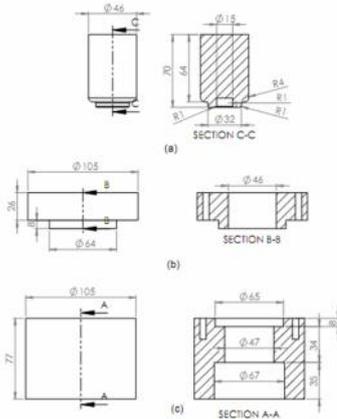
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Studi Lapangan dan Studi Literatur

Studi Literatur yang harus dipelajari yang terpenting adalah mengetahui dan memahami apa yang dimaksud dengan *deep drawing* dan *cup drawing*. Komponen apa saja yang diperlukan sebelum melaksanakan penelitian *cup drawing*. Serta memahami cacat apa saja yang terjadi pada saat melakukan pengujian *cup drawing*.

Gambar Desain

Untuk menggambar desain sebuah *cup drawing* dapat menggunakan Autocad, Solid Work, atau *software* menggambar yang lain. Disini Peneliti menggunakan *software* Solid Work 2013 untuk menggambar desain *cup drawing*.



Gambar 8. (a) Desain *Punch* (b) Desain *Blank Holder* (c) Desain *Dies*

Proses Pembuatan *Dies*, *Blank Holder* dan *Punch*

Dalam pembuatan *dies*, *blank holder* dan *punch*, sebelumnya kami telah menyiapkan besi pejal berbentuk tabung dengan diameter 150mm, kemudian besi itu kita proses *machining* sesuai dengan gambar desain yang dibuat. Model atau desain diambil dari *Numisheet Benchmark* model nomor 4 dengan judul *wrinkling during cup drawing*.



Gambar 9. Proses *Machining*

Alat dan Bahan

1. Alat press
2. Satu set *dies*
3. Timbangan Gantung
4. Magnetic Dial Gauge
5. Jangka Sorong Dial
6. Gunting
7. Kunci ring 17
8. Kunci moment (Torque Wrench)

Tabel 1. Bahan yang digunakan dalam pengujian

No	Material	Tebal (mm)	UTS (Kgf)	Kode
1	Aluminium	0,11	1,453	P01
2	Seng	0,20	7,280	P02
3	Aluminium (Plat Timah) 1	0,30	8,898	P03
4	Aluminium (Plat Timah) 2	0,32	10,528	P04

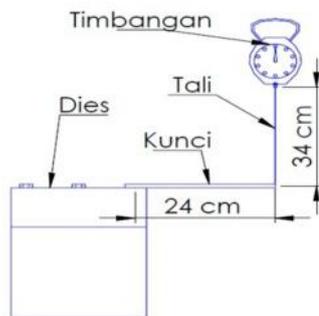
Pembuatan Spesimen

Dalam pembuatan spesimen kita sudah menyiapkan plat dengan ketebalan 0,11 mm, 0,2 mm, 0,32 mm, 0,3 mm dengan jenis plat yang telah ditentukan. Mula-mula kita gambar lingkaran dengan ukuran 64,8 mm pada lembar plat, kemudian kita potong dengan menggunakan gunting.

Variasi *Blank Holder*

Untuk memberikan kekuatan pada *blank holder*, alat yang digunakan dalam penelitian ini seharusnya menggunakan kunci momen atau *torque wrench*. Tetapi karena keterbatasan alat, maka kunci momen yang digunakan telah dimodifikasi sehingga menghasilkan 3 variasi BHF yaitu, 2,352 Nm per baut, 1,7652 Nm per baut dan 0,12 Nm per baut. Angka ini diperoleh dari hasil perhitungan $r/\text{lengan gaya (m)}$ dikalikan dengan $F/\text{gaya (N)}$ sehingga menghasilkan $\tau/\text{momen gaya (Nm)}$. Dimana $r/\text{lengan gaya}$ sebagai kunci ring dan F/gaya sebagai timbangan gantung. Susunan

kunci momen modifikasi dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Kunci Momen Modifikasi

Pengujian Cup Drawing

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang baik, maka sebelum dilakukan pengujian yang sebenarnya harus dilakukan *trial* terlebih dahulu.

A. Trial

- Jika alat dan bahan sudah siap maka langkah yang pertama adalah membersihkan permukaan *punch*, *blank holder*, dan *dies*.
- Atur kekuatan baut pada *blank holder*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari kekuatan *blank holder*.
- Bahan yang digunakan untuk *trial* adalah
 - Plat 1 Kode P01, diameter 64,8 mm
 - Plat 2 Kode P02, diameter 64,8 mm
 - Plat 3 Kode P03, diameter 64,8 mm
 - Plat 4 Kode P04, diameter 64,8 mm

B. Pengujian *cup drawing*

- Setelah mendapatkan hasil *setting blank holder* yang baik, baru dilakukan pengujian

- Sebelum dilakukan pengujian, *dies* dibersihkan terlebih dahulu.
- Dalam pengujian kali ini ada dua variasi yang akan dilakukan. Yaitu dengan pelumasan dan tanpa pelumasan.
- Atur ketinggian alat press agar *dies set* dapat masuk ada dudukan.
- Blank* yang sudah dibuat dipasang pada *dies*.
- Atur kekuatan *blank holder*. Ada 3 variasi kekuatan baut *blank holder*, yaitu 2,352 Nm per baut, 1,7652 Nm per baut dan 0,12 Nm per baut.
- Lakukan pengujian *cup drawing*.

Hasil

Hasil dari pengujian *cup drawing* yang dilakukan akan didapatkan data berupa cacat *wrinkling*. Dimana dari cacat *wrinkling* tersebut dapat kita lakukan pengukuran kedalaman cacat *wrinkling* dari masing-masing variasi kekuatan *blank holder*.

Analisa Data dan Pembahasan

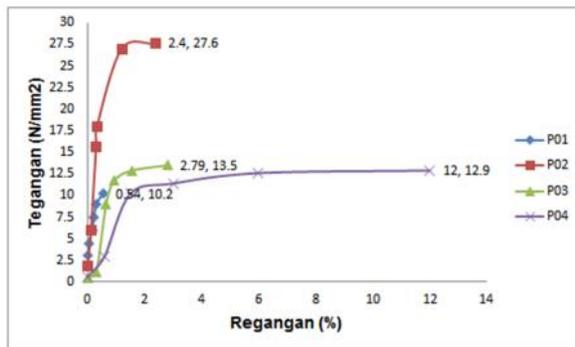
Pada tahapan ini data yang telah didapat dari hasil pengujian, kemudian diolah dan dianalisa menjadi bentuk tabel dan grafik. Setelah semua tabel dan grafik terbentuk, kemudian dilakukan pembahasan mengenai hasil grafik.

Kesimpulan

Setelah selesai menganalisa kemudian dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil pengolahan data yang telah didapatkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik Material



Gambar 11. Grafik Tegangan vs Regangan Hasil Uji Tarik Material

Hasil Pengukuran Kedalaman Cacat Kerut (*Wrinkling*)

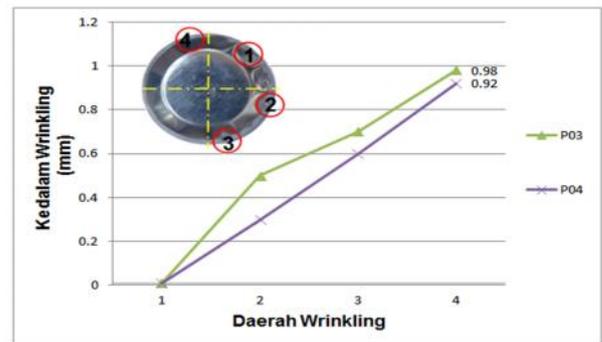
Tabel 2. Kedalaman Cacat Kerut (*Wrinkling*) Tanpa Pelumasan

Tanpa Pelumasan					
Jenis Plat dan Kedalam Wrinkling (mm)					
No.	Torsi /Baut (Nm)	P02	P01	P03	P04
1	2.352	-	-	0.01	0.01
		-	-	0.5	0.3
		-	-	0.7	0.6
		-	-	0.98	0.92
2	1.7652	0.01	-	0.01	0.01
		0.25	-	0.43	0.11
		0.75	-	0.8	0.45
		1.25	-	1.1	0.98
3	0.12	0.01	-	0.01	0.01
		0.25	-	0.5	0.45
		0.5	-	0.81	0.75
		1.4	-	1.27	1

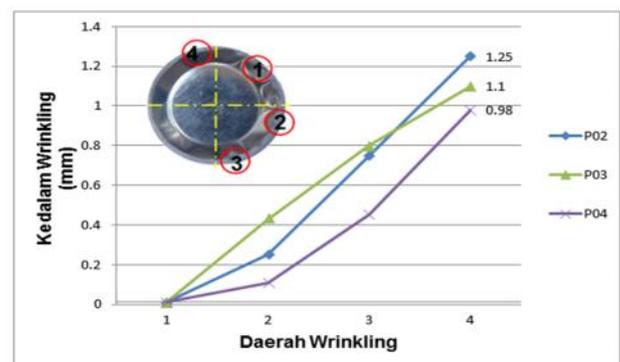
Tabel 3. Kedalaman Cacat Kerut (*Wrinkling*) Dengan Pelumasan

Dengan Pelumasan					
Jenis Plat dan Kedalam Wrinkling (mm)					
No.	Torsi /Baut (Nm)	P02	P01	P03	P04
1	2.352	0.01	-	0.02	0.01
		0.42	-	0.25	0.43
		1.08	-	0.66	0.75
		1.1	-	0.9	0.83
2	1.7652	0.02	-	0.02	0.01
		0.35	-	0.46	0.45
		1	-	0.93	0.75
		1.15	-	1	0.98
3	0.12	0.01	-	0.02	0.01
		0.5	-	0.4	0.15
		0.71	-	0.74	0.48
		1.25	-	1	1

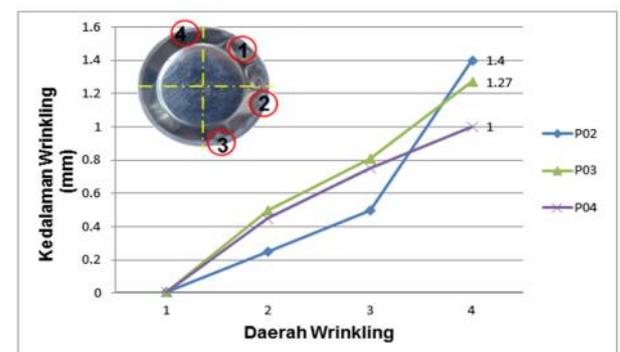
Dari tabel 4.1. – 4.2. hasil pengukuran kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) maka dapat dibuat grafik. Berikut grafik distribusi cacat (*wrinkling*) setiap *blank* :



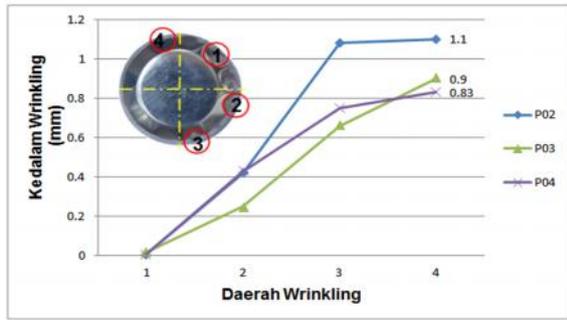
Gambar 12. Grafik Distribusi Cacat (*Wrinkling*) Setiap *Blank* Tanpa Pelumasan Dengan BHF 2,352 Nm Per Baut



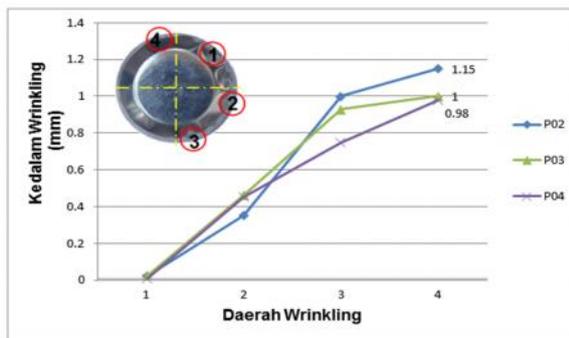
Gambar 13. Grafik Distribusi Cacat (*Wrinkling*) Setiap *Blank* Tanpa Pelumasan Dengan BHF 1,7652 Nm Per Baut



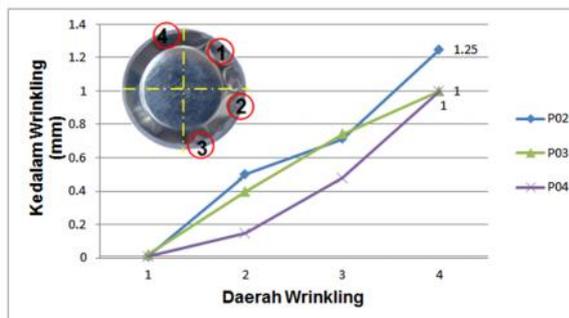
Gambar 14. Grafik Distribusi Cacat (*Wrinkling*) Setiap *Blank* Tanpa Pelumasan Dengan BHF 0,12 Nm Per Baut



Gambar 15. Grafik Distribusi Cacat (Wrinkling) Setiap Blank Dengan Pelumasan Dengan BHF 2,352 Nm Per Baut



Gambar 16. Grafik Distribusi Cacat (Wrinkling) Setiap Blank Dengan Pelumasan Dengan BHF 1,7652 Nm Per Baut



Gambar 17. Grafik Distribusi Cacat (Wrinkling) Setiap Blank Dengan Pelumasan Dengan BHF 0,12 Nm Per Baut

Dari data gambar grafik, material pada plat aluminium yang memiliki beban *ultimate* 1,453 Kgf dengan skala kekuatan BHF 2,352 Nm per baut, 1,7652 Nm per baut dan 0,12 Nm per baut mengalami cacat sobek (*fracture*) disemua percobaan.

Fenomena cacat (*fracture*) juga terjadi pada material seng yang memiliki beban *ultimate* 7,280 Kgf dengan skala kekuatan BHF 2,352 Nm per baut pada percobaan tanpa menggunakan pelumasan. Hal ini dikarenakan material yang getas, sehingga pada saat material diberikan BHF material tidak tertarik oleh dorongan *punch*. Penyebab terjadinya cacat sobek (*fracture*) pada material ini dikarenakan adanya gaya gesek yang tinggi pada saat diberikan BHF yang besar. Pada percobaan ini dapat diidentifikasi bahwa hasil pengukuran kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) pada material seng yang memiliki beban *ultimate* 7,280 Kgf dengan skala kekuatan BHF 2,352 Nm per baut pada percobaan menggunakan pelumasan memiliki hasil kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) terdalam yaitu 1,1 mm, material seng yang memiliki beban *ultimate* 7,280 Kgf dengan skala kekuatan BHF 1,7652 Nm memiliki hasil kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) terdalam yaitu 1,15 mm dan 1,25 mm material seng yang memiliki beban *ultimate* 7,280 Kgf dengan skala kekuatan BHF 0,12 Nm. Sedangkan untuk percobaan tanpa menggunakan pelumasan, material seng yang memiliki beban *ultimate* 7,280 Kgf memiliki hasil kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) terdalam 1,25 mm dengan skala kekuatan BHF 1,7652 Nm dan 1,4 mm pada material seng yang memiliki beban *ultimate* 7,280 Kgf dengan skala kekuatan BHF 0,12 Nm. Untuk material aluminium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 8,898 Kgf dengan skala kekuatan BHF 2,352 Nm tanpa pelumasan memiliki hasil kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) terdalam 0,98 mm, BHF 1,7652 Nm memiliki hasil kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) terdalam 1,1 mm dan BHF 0,12 Nm memiliki hasil kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) terdalam 1,27 mm.

Kemudian untuk hasil terdalam cacat kerut (*wrinkling*) pada material alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 8,898 Kgf dengan pelumasan, BHF 2,352 Nm memiliki hasil 0,9 mm, BHF 1,7652 memiliki hasil 1 mm dan BHF 0,12 Nm memiliki hasil 1 mm. Sedangkan untuk material alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 10,528 Kgf dengan skala kekuatan BHF 2,352 Nm, 1,7652 Nm, 0,12 Nm tanpa pelumasan memiliki hasil kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) terdalam 0,92 mm, 0,98 mm, 1 mm dan material alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 10,528 Kgf dengan skala kekuatan BHF 2,352 Nm, 1,7652 Nm, 0,12 Nm menggunakan pelumasan memiliki hasil kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) terdalam 0,83 mm, 0,98 mm, 1 mm.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil percobaan, pengaruh BHF pada *cup drawing* yaitu membantu pembentukan *cup* sesuai dengan desain *punch* yang telah dibuat. Pada percobaan ini dapat disimpulkan bahwa besarnya BHF yang diberikan mempengaruhi hasil dari *cup drawing*. Apabila BHF yang diberikan besar, maka hasil *cup drawing* akan mengalami cacat sobek (*fracture*). Dan apabila BHF yang diberikan kecil, maka hasil *cup drawing* akan mengalami cacat kerut (*wrinkling*) yang relatif banyak yaitu mencapai 15 daerah *wrinkling* pada kubah *cup* dan memenuhi kubah *cup*. Oleh karena itu untuk mencapai hasil *cup drawing* yang diinginkan maka harus menggunakan BHF yang optimal sesuai dengan karakteristik material.

2. Dari data yang diperoleh, maka dapat diidentifikasi cacat kerut (*wrinkling*) pada proses *cup drawing* dengan BHF 2,352 Nm per baut,

1,7652 Nm per baut dan 0,12 Nm per baut terjadi pada material seng yang memiliki beban *ultimate* 7,280 Kgf pada percobaan dengan pelumasan, material alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 8,898 Kgf pada percobaan dengan pelumasan dan tanpa pelumasan, begitu juga material alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 10,528 Kgf pada percobaan dengan pelumasan dan tanpa pelumasan. Sedangkan pada material alumunium yang memiliki beban *ultimate* 1,453 Kgf mengalami cacat sobek (*fracture*) disemua percobaan.

3. Dalam perbandingan percobaan dengan pelumasan dan tanpa pelumasan mendapatkan hasil bahwa pengaruh koefisien gesek terhadap cacat *wrinkling*, percobaan dengan pelumasan memiliki hasil cacat *wrinkling* yang lebih rendah dibandingkan dengan percobaan tanpa pelumasan. Seperti yang terlihat pada gambar 4.29. percobaan tanpa pelumasan untuk material alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 8,898 Kgf kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) tertinggi menunjukkan angka 0,9 mm sedangkan pada gambar 4.32. percobaan dengan pelumasan untuk material alumunium (plat timah) yang memiliki beban *ultimate* 8,898 Kgf kedalaman cacat kerut (*wrinkling*) tertinggi menunjukkan angka 0,98 mm.

SARAN

1. Pada penelitian ini, hasil *cup drawing* masih mengalami ketidak rataan cacat *wrinkling*. maka dari itu, untuk penelitian yang selanjutnya diharapkan dapat memodifikasi baik dari profil *blank holder* atau *dies*.

2. Untuk kunci momen atau *torque wrench* sebaiknya menggunakan kunci momen atau *torque wrench* yang

sesuai, agar hasil kekuatan dari masing-masing baut *blank holder* dapat merata, sehingga mendapatkan hasil *cup drawing* yang lebih baik.

3. Dalam pengujian *cup drawing*, kali ini penulis hanya menggunakan metode eksperimen, oleh karena itu diharapkan pada penelitian selanjutnya menggunakan program

komputasional sebagai perbandingan untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan yang lebih baik.

4. Untuk penelitian yang akan datang, pada *blank holder* sebaiknya diberi *coil spring* untuk memberikan *blank holder force* yang optimal. Sehingga akan didapatkan hasil *cup drawing* yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- B.V.S.Rao., et al., (2012), "*Optimization of blank Holding Force in Deep Drawing of Cylindrical Cups using Taguchi Approach*".
- G.Ingarao, et al., (2009), "*Analysis of stamping performances of dual phase: A multi-objective approach to reduce springback and thinning failure*".
- Kováč, P. and Tittel, V., (2013), "*Blank Holder Force Optimization of Hemispherical Product Using Numerical Simulation*", PhD Thesis, Institute of Production Technologies, Department of Forming, Faculty of Materials Science and Technology, Slovak University of Technology Bratislava, Slovak Republic.
- Leonid B. Shulkin, et al., (2000), "*Blank holder force (BHF) control in viscous pressure forming (VPF) of sheet metal*".
- Wahyuno, T., (2008), "*Analisa Cacat Kerut (Wrinkling) Pada Tailored Welded Blanks Deep Drawing Dengan Metode Eksperimen*", Tugas Akhir, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia.