

ANALISIS PROSES DRAWING UNTUK PEMBUATAN PEDAL BRAKE SEPEDA MOTOR RODA TIGA DENGAN SOFTWARE BERBASIS FEM

Norman Iskandar

Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin
Universitas Diponegoro
Email: norman.undip@gmail.com

Deni Fajar Fitriyana

Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin
Universitas Diponegoro
Email: deniifa89@gmail.com

Fuad Arief Raharjo

Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin
Universitas Diponegoro
Email: ariefraharjo95@gmail.com

ABSTRAK

Pedal Brake berfungsi sebagai tempat pijakan kaki pada sistem pengereman pada salah satu produk motor roda tiga di Indonesia. Pembuatan *pedal brake* menggunakan proses *drawing* yaitu proses dimana gaya diberikan pada benda kerja agar terdeformasi plastis mengikuti bentuk dari *punch* dengan kedalaman tertentu. Dalam pembuatan pedal brake menggunakan proses *drawing* terdapat potensi cacat yang bisa terjadi akibat besarnya gaya serta tingkat kedalaman cetakan. Analisa *draw ability* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kedalaman proses *drawing* sebelum benda kerja mengalami kegagalan dengan menghitung nilai *Limiting Drawing Ratio* (LDR) dan rata-rata *plastic strain ratio* (R_{avg}). Simulasi dilakukan untuk mengetahui parameter seperti gaya pembentukan, jumlah energi yang digunakan beserta potensi cacat yang timbul pada *pedal brake* seperti *earing* dan kegagalan pada saat melakukan proses *drawing*. Dari hasil perhitungan LDR sebesar 1,028 dan R_{avg} sebesar 2,8 untuk jenis material ST-37 menunjukkan bahwa kemampuan *draw ability* yang rendah dengan gaya pembentukan maksimum sebesar 92,8 kN dan energi yang diserap sebesar 0,69 kJ. Nilai R_{avg} sebesar 1,2 untuk jenis material ST-37 cukup besar sehingga potensi terjadinya *earing* tidak terlalu nampak untuk proses *drawing*. Perbandingan antara analisa teoritis dan simulasi memiliki *error* sebesar 6% sehingga hasil masih dapat dikatakan *valid*.

Kata kunci: *drawing, dies, earing, limmiting drawing ratio, rata-rata plastic strain ratio.*

ABSTRACT

Brake pedal serves as a place of footrest on the braking system on one of the three-wheeled motorcycle products in Indonesia. Making the brake pedal using a drawing process is a process whereby the force is applied to the workpiece to be deformed plastic following the shape of the punch with a certain depth. In making brake pedals using the drawing process there are potential defects that can occur due to the size of the force and the depth of the mold. A draw ability analysis was done to find out how much depth of drawing process before work object failed by calculating the value of Limiting Drawing Ratio (LDR) and average plastic strain ratio (R_{avg}). The simulation is done to know the parameters such as the forming force, the amount of energy used and the potential defects that arise in the brake pedal such as earing and failure during the drawing process. From the calculation of LDR of 1.028 and R_{avg} of 2.8 for ST-37 material type shows that low draw ability with a maximum forming force of 92.8 kN and absorbed energy of 0.69 kJ. R_{avg} value of 1.2 for the type of material ST-37 large enough so that the earning potential is not too visible for the drawing process. The comparison between theoretical and simulated analysis has an error of 6% so the result can still be said to be valid.

Keywords: *drawing, dies, earing, limmiting drawing ratio, average plastic strain ratio.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu BUMN yang bergerak dalam bidang manufaktur dengan berbagai macam produknya baik militer dan non-militer, memiliki fasilitas industri Tempa dan Cor (TC) yang salah satu produk yang dihasilkan yaitu *pedal brake* seperti terlihat pada gambar 1. Proses pembuatan *pedal brake* merupakan salah satu aplikasi proses *metal forming* dengan cara *drawing* yang mana memerlukan adanya *dies*.



Gambar 1. *Pedal Brake* Untuk Kendaraan Roda Tiga [1]

Proses pembentukan lembaran logam sendiri dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok [2], yaitu:

- Proses cutting* (Pemotongan) adalah proses dimana material di potong sesuai dengan ukuran yang diinginkan agar material tersebut dapat dikerjakan kedalam proses berikutnya.
- Proses forming* (Pembentukan) adalah istilah umum yang dipakai pada proses pembentukan *sheet metal* untuk mendapatkan kontur yang diinginkan. *Proses forming*, tidak menghasilkan pengurangan atau penghilangan material seperti yang terjadi pada proses *cutting*.
- Proses compression* (Penekanan) adalah salah satu operasi *forming* yang mana tekanan yang kuat diberikan pada sheet metal untuk menghasilkan tegangan kompresi yang tinggi pada plat untuk menghasilkan deformasi plastis.

Pedal brake merupakan permintaan konsumen yang diaplikasikan pada kendaraan motor roda tiga. *Pedal brake* berfungsi sebagai tempat pijakan kaki untuk pengereman Motor roda tiga dimana pengereman tersebut mengubah gaya *input* menjadi gaya *output* yang besar melalui sistem pengereman. Proses pembuatan *pedal brake* menggunakan proses *drawing*. Proses *drawing* menurut standar Jerman (standar DIN), DIN 8584, didefinisikan sebagai proses pembentukan lembaran logam dengan cara tarik/tekan dimana lembaran logam dibentuk menjadi komponen berongga yang terbuka pada salah satu sisinya (disebut *direct drawing*), atau merubah sebuah komponen yang memiliki rongga yang terbuka pada salah satu sisinya menjadi komponen dengan rongga yang lebih kecil penampangnya (disebut *re-drawing*) [3,4]

Dalam proses *drawing* diperlukan pengaturan tentang sejumlah gaya dan energi yang diperlukan serta kedalaman dari proses *drawing* agar tidak mengalami kecacatan maupun kegagalan proses pembuatan produk.

Dalam proses riilnya, cacat produk masing terjadi. Material yang mengalami cacat pada akhirnya hanya akan menjadi limbah. Untuk mengetahui penyebab cacat pada proses pembuatan pedal brake, bisa dilakukan analisis proses dengan pendekatan software berbasis Metode Elemen Hingga (FEM) serta perhitungan secara analitik.

Metode elemen hingga (FEM) telah menjadi alat yang kuat untuk simulasi proses pembentukan logam dalam beberapa dekade terakhir. Pendekatan dengan metode ini dapat mengurangi waktu yang diperlukan dalam tahap penelitian dan pengembangan serta biaya yang diperlukan untuk produksi [5]. Keakuratan teknik ini sangat bergantung pada objektivitas fisik dari model yang digunakan. Dalam hal ini, model konstitutif menyediakan deskripsi akurat anisotropi plastik dari lembaran logam telah menjadi subyek banyak penelitian. Anisotropi plastik adalah ketergantungan sifat material pada arah pengujian [6].

Dalam proses *drawing* atau deep *drawing*, beberapa elemen penting seperti sifat material dan parameter proses serta parameter geometri harus diperhatikan. Sifat material meliputi desnsitas lebaran logam, kekuatan tarik, *fracture toughness*, koefisien gesek pada logam serta kekuatan tekan. Parameter proses yang harus diperhatikan diantaranya temperature, pelumasan, tekanan *punch* dan tekanan pada *blank-holder*. Untuk parameter geometri yang berperan penting adalah bentuk cetakan, material cetakan dan tipe dari proses *drawing* yang digunakan [3,7].

Radius pada cetakan memiliki peran penting dalam mengatur distribusi ketebalan pada lembaran logam [8]. Geometri dari penekan (*punch*) merupakan salah satu parameter penting karena *punch nose*

berfungsi untuk menipiskan lembaran plat logam dalam proses *deep drawing*. Ketika radius hidung pada *punch* kurang dari tiga kali ketebalan plat maka proses akan gagal, dan jika radiusnya lebih besar dari tiga kali tebal palat maka proses penipisan akan berlangsung stabil. Ketebalan plat dan diameter *punch* akan berpengaruh pada nilai *limiting drawing ratio* (LDR) dan nilai LDR akan menurun relatif jika diameter *punch* semakin besar. Ketika celah atau gap antara cetakan penekan/atas dan cetakan bawah kurang dari tebal plat logam benda kerja maka proses akan gagal akibat proses penipisan yang tidak berjalan baik. Proses akan berjalan baik dan stabil jika gap antara cetakan lebih besar dari pada tebal material benda kerja [4].

Beberapa analisis teori telah dikemukakan untuk memprediksi LDR [9,10]. Telah banyak upaya yang ddikerahkan dalam beberapa tahun terakhir dalam mengembangkan penggunaan model FEM untuk mengatasi masalah *deep drawing* dengan lebih baik. Kobayashi [11] telah berhasil mengatasi permasalahan *deep drawing* dengan konsep *hemispherical punch* dengan teknik *rigid plastic FEM* dimana hasil simulasinya memiliki kecocokan yang baik ketika diuji komparasi dengan hasil eksperimen.

Beberapa kegagalan yang terjadi pada proses *deep drawing* diantaranya adalah fenomena bergelombang (*earing*), melipat (*wrinkling*) dan robek (*tearing*). *Earing* terjadi karena sketidak seragaman sifat pada material berdasarkan arahnya (anisotropy property) dan gesekan yang tidak cukup. Fenomena ini terjadi pada ujung benda kerja. *Wrinkling* atau melipat bisa terjadi karena faktor gap antara cetakan atau karena material yang tidak tertarik. *Tearing* atau sobek terjadi karena cetakan yang memiliki sudut terlalu tajam [12,13].

Simulasi dilakukan dengan menggunakan software berbasis FEM untuk mengetahui potensi kecacatan ketika dilakukan proses *drawing*. Data yang diperlukan untuk proses simulasi didapatkan dari data material dan data permesinan yang digunakan oleh BUMN tersebut.

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi cacat yang mungkin terjadi, mengetahui hasil perhitungan gaya maksimum, jumlah *blow*, pengaruh LDR terhadap proses *drawing* serta membandingkan hasil analisis hasil kajian teori maupun simulasi software FEM.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Identifikasi Parameter Yang Mempengaruhi Proses Drawing Pedal Brake

Proses *drawing* adalah proses pembentukan (*forming*) benda kerja dimana benda kerja diberikan gaya atau sejumlah energi agar dapat mengalami deformasi plastis mengikuti bentuk dari *punch* dengan kedalaman tertentu. Analisis diperlukan agar produk tidak mengalami kecacatan maupun kegagalan selama proses produksi. Adapun hal yang dapat dianalisis diantaranya :

- a. Gaya pembentukan untuk *drawing*.
- b. *Limiting Drawing Ratio* (LDR) untuk menentukan seberapa besar *drawability*.
- c. Rata-rata plastic strain ratio (R_{avg}) untuk menentukan seberapa potensi terjadinya *earing*.
- d. Perhitungan jumlah *blow*.

Hasil analisis secara teoritis selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil analisis dengan metode simulasi dengan menggunakan software berbasis FEM.

2.2 Proses Simulasi Menggunakan Software Berbasis FEM

Ada berapa tahapan untuk melakukan simulasi diantaranya tahap tahap pemodelan CAD, tahap *preprocessing*, *running* dan *postprocessing*. Dalam pemodelan CAD dimensi objek dibuat dalam format 3D kemudian diekspor ke dalam software berbasis FEM untuk dilakukan proses simulasi. Tahapan pertama adalah *preprocessing* yaitu meliputi input geometri yaitu memasukkan gambar hasil pemodelan dalam software CAD. Selanjutnya tahapan input data material, proses *meshing* dimana digunakan *meshing* otomatis dalam pengerjaan simulasi ini. Masih dalam tahapan *preprocessing* selanjutnya adalah konfigurasi beban atau gaya yang bekerja meliputi besar, arah dan mekanisme pembebanan gayanya. Kemudian masuk kedalam tahapan input kondisi batas meliputi batas interaksi antar cetakan dan kondisi lingkungan. Penutup dalam proses ini adalah *data base generation* untuk memastikan bahwa semua data yang telah diinput benar dan siap untuk tahap *running simulation*.

Tahap kedua adalah *running process* dimana proses akan berjalan secara otomatis bergantung dengan *setting* awal saat *preprocessing* dan *hardware*. Pada tahap ini dipantau proses *running* jika memerlukan tindakan bantu jika terjadi kondisi proses *running* tidak berjalan lancar. Selain itu grafik hasil simulasi juga harus dipantau untuk memastikan bahwa secara trend proses telah berjalan benar.

Tahpa terakhir adalah tahap *post processing* dimana pada fase ini adalah fase pengambilan data hasil simulasi yang bisa dijangkau oleh *software*. Untuk *full package software* data gaya pembentukan, *displacement*, *temperature*, *stress-strain*, *damage* terhadap waktu bisa didapatkan.

2.3 Analisis Teoritis Proses Pembentukan (Drawing)

2.3.1 Perhitungan Gaya Pembentukan (Drawing)

Analisis secara teoritis untuk menghitung nilai dari gaya pembentukan untuk proses drawing menggunakan persamaan 1 berikut ini [14].

$$F_{\max} = \pi D_p T(UTS) \left[\frac{D_o}{D_p} - 0.7 \right] \quad (1)$$

Dimana :

- F_{\max} = Gaya pembentukan maksimum (N)
- D_p = Diameter pembentukan benda kerja (mm)
- D_o = Diameter bentangan benda kerja sebelum dibentuk (mm)
- T = Tebal Pelat (mm)
- UTS = Tegangan Tarik material (N/mm²)
- π = Konstanta (3,14)

2.3.2 Perhitungan Limiting Drawing Ratio (LDR)

Analisis secara teoritis untuk menghitung nilai dari *Limiting Drawing Ratio (LDR)* untuk proses drawing menggunakan persamaan 1 berikut ini [14].

$$LDR = \frac{D_o}{D_p} \quad (2)$$

Dimana :

- LDR = *Limiting Drawing Ratio*
- D_p = Diameter pembentukan benda kerja (mm)
- D_o = Diameter bentangan benda kerja sebelum dibentuk (mm)

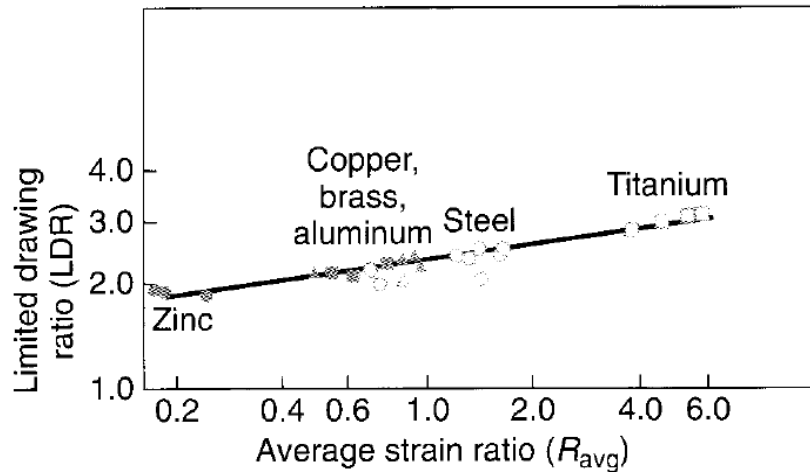
2.3.3 Rata-rata Plastic Strain Ratio (Ravg)

Plastic strain ratio adalah perbandingan regangan lebar terhadap regangan tinggi dimana nilai tersebut menunjukkan nilai regangan yang sesungguhnya ketika spesimen berada pada kondisi tarik (tension). Data rata-rata *plastic strain ratio* (R_{avg}) untuk beberapa jenis material *sheet metal*. Dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata plastic strain ratio (R_{avg}) untuk beberapa jenis material sheet metal [14]

No.	Material	R_{avg}
1.	Zinc Alloys	0,4-0,6
2.	Hot-rolled steel	0,8-1,0
3.	Cold-rolled, rimmed steel	1,0-1,4
4.	Cold-rolled, aluminium-killed steel	1,4-1,8
5.	Aluminum alloys	0,6-0,8
6.	Copper dan brass	0,6-0,9
7.	Titanium alloys (α)	3,0-5,0
8.	Stainless steels	0,9-1,2
9.	High-strength, low-alloy steels	0,9-1,2

Adapun hubungan antara rata-rata *plastic strain ratio* dengan LDR dapat dilihat pada gambar 2. Hubungan ini merupakan pernyataan secara grafik yang mengindikasikan apakah material atau bahan masih dapat dilakukan proses *drawing* atau tidak.



Gambar 2. Hubungan antara LDR dan rata-rata *plastic strain ratio* [14]

2.3.4 Perhitungan Jumlah Blow

Analisis secara teoritis untuk menghitung jumlah *blow* untuk proses drawing menggunakan persamaan 3 sampai dengan persamaan 7 berikut ini.

- a. Kecepatan pembentukan awal (W_o) [1]

$$W_o = \frac{V}{h_o} \quad (3)$$

Dimana :

- W_o = Kecepatan pembentukan awal (1/dt)
 V = Kecepatan mesin (mm/dt)
 h_o = Tinggi bahan kerja awal (mm)

- b. Kecepatan pembentukan rata-rata (W_m) [1]

$$W_m = W_o K \quad (4)$$

Dimana :

- W_m = Kecepatan pembentukan rata-rata (1/dt)
 W_o = Kecepatan pembentukan awal (1/dt)
 K = Faktor mesin *hammer* (0,9)

- c. Tinggi rata-rata pembentukan akhir (h_m) [1]

$$h_m = \frac{Vol}{A_p} \quad (5)$$

Dimana :

- h_m = Tinggi pembentukan akhir (mm)
 Vol = Volume benda kerja (mm³)
 A_p = Luas proyeksi (mm²)

- d. Kerja pembentukan (U) [1]

$$U = \frac{Vol Q_{hm} K_{wa}}{\mu_f} \quad (6)$$

Dimana :

- Q_{hm} = Pembentukan
 U = Kerja pembentukan (Nmm)
 K_{wa} = Tahanan pembentukan awal (9 /mm²)
 μ_f = Efisiensi pembentukan (0,4)
 Vol = Volume benda kerja (mm³)

e. Jumlah *blow* [1]

$$B = \frac{U}{E_m} \quad (7)$$

Dimana :

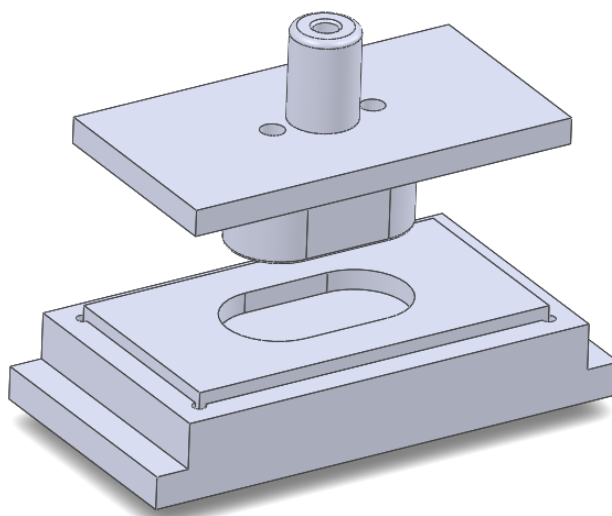
B = Jumlah *Blow*
U = Kerja pembentukan (KJ)
E_m = Energi mesin (KJ)

2.4 Proses Pembentukan Pedal Brake

Pedal brake terbuat dari material ST-37 dimana material tersebut salah satu jenis material *low carbon steel*. Desain dari *dies drawing pedal brake* yang dapat dilihat pada gambar 3. Detail dari spesifikasi bahan baku dan dimensi dies bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi bahan baku *dies drawing pedal brake*

Data Bahan Baku	Keterangan
Material	: ST-37
UTS	: 435 N/mm ²
Komposisi	: 0,17% C, 1,4% Mn, 0,045% P dan 0,045%S
Tebal	: 1,5 mm
Diameter Punch (D _P)	: 141 mm
Diameter Pedal (D _o)	: 144 mm
Kedalaman Drawing	: 9,2 mm



Gambar 3. *Dies Drawing Pedal Brake*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pedal brake adalah salah satu komponen pada kendaraan sepeda motor roda tiga yang berfungsi sebagai pijakan kaki untuk sistem pengereman, material yang dipakai untuk membuat pedal brake adalah ST-37 yang berbentuk lembaran. Analisa yang dibahas pada pembahasan meliputi gaya pembentukan, LDR, rata-rata *plastic strain ratio* (R_{avg}), perhitungan jumlah *blow*. Hasil perhitungan teoritis dapat dinyatakan sebagai berikut:

3.1 Perhitungan Gaya Pembentukan

Dari hasil perhitungan sesuai Persamaan 1 diperoleh gaya pembentukan maksimum (F_{max}) sebesar 92812,9 N yang menyatakan gaya maksimum yang diberikan pada material *pedal brake* selama proses *drawing*.

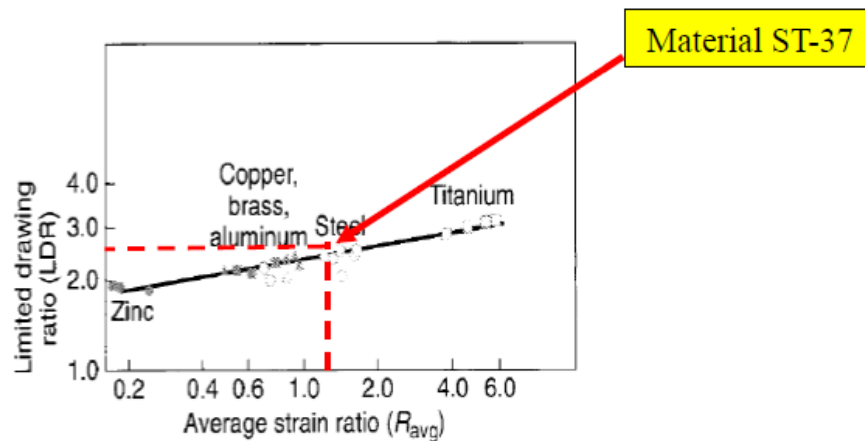
3.2 Perhitungan Limiting Drawing Ratio (LDR)

LDR menunjukkan seberapa besar kemampuan dari benda kerja untuk dilakukan proses *drawing* (*drawability*) dari hasil perhitungan sesuai Persamaan 2 diperoleh nilai LDR sebesar 1,028 angka ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai LDR maka kemampuan untuk diproses *drawing* lebih dalam akan semakin besar.

3.3 Rata-rata Plastic Strain Ratio (R_{avg})

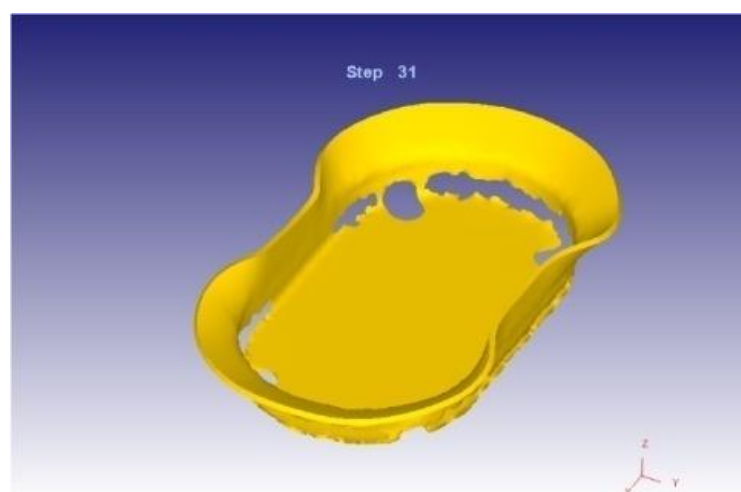
Material yang digunakan sebagai bahan kerja untuk proses pembuatan *pedal brake* dengan proses *drawing* dengan menggunakan dies *drawing* pedal brake adalah material ST 37 merupakan salah satu jenis *cold-rolled, rimmed steel* sehingga dari tabel 1 diperoleh nilai R_{avg} sebesar 1,2. Nilai R_{avg} menunjukkan seberapa besar potensi terjadinya kecacatan *earing*. Semakin besar nilai R_{avg} maka potensi *earing* semakin kecil dan sebaliknya, material ST-37 memiliki angka R_{avg} yang cukup tinggi sehingga potensi terjadinya *earing* relative kecil.

Adapun hubungan antara rata-rata *plastic strain ratio* dengan LDR untuk material ST 37 dapat dinyatakan dengan gambar 4 dimana LDR = 2,8 pada $R_{avg} = 1,2$ sedangkan pada perhitungan menunjukkan angka 1,028 dimana kemampuan *drawability* rendah.



Gambar 4. Hubungan Antara Ldr Dan R_{avg} Untuk Jenis Material St-37[14]

Potensi kecacatan akibat nilai LDR yang rendah bisa dilihat pada hasil simulasi pada gambar 5 dimana proses *drawing* yang terlalu dalam menyebabkan terjadinya cacat pada daerah radiusnya.



Gambar 5. Potensi Kecacatan Pada *Pedak Brake*

3.4 Perhitungan Jumlah Blow

Perhitungan jumlah blow dilakukan untuk mengetahui jumlah *blow* yang dikeluarkan mesin *hammer* untuk melakukan proses *drawing*. Terdapat beberapa parameter lain yang diperlukan untuk menghitung jumlah *blow* dinyatakan dalam tabel 3 berikut :

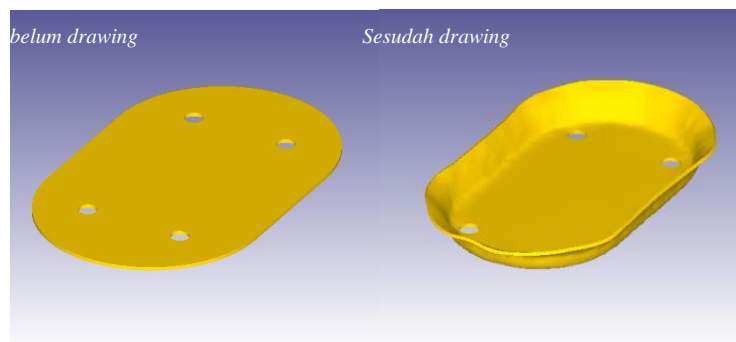
Tabel 3. Parameter perhitungan jumlah *blow* [1]

No.	Perhitungan	Simbol	Hasil	Satuan
1.	Kecepatan pembentukan awal	W_o	1162	1/det
2.	Kecepatan pembentukan rata-rata	W_m	1045,8	1/det
3.	Tinggi rata-rata pembentukan akhir	h_m	4,29	mm
4.	Pembentukan	Q_{hm}	1,052	-
5.	Kerja pembentukan	U	0,69	kJ
6.	Jumlah blow	B	0,00431	blow

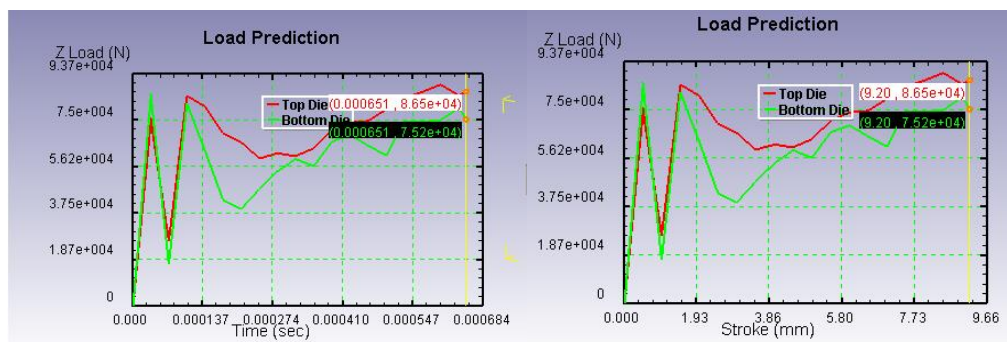
Hasil perhitungan menunjukkan energi yang diperlukan untuk membentuk *pedal brake* sebesar 0,69 kJ dengan jumlah *blow* yang diperlukan sebesar 0,00431 pada proses *drawing* sampai kedalaman 9 mm.

3.5 Simulasi Gaya Pembentukan

Simulasi ini menampilkan perubahan gaya pembentukan selama proses *drawing* pada *pedal brake*. Perubahan bentuk *pedal brake* dalam proses simulasi bisa dilihat pada Gambar 7. Gaya pembentukan dapat dilihat pada Gambar 8, dimana gaya diplot terhadap waktu maupun terhadap langkah (*stroke*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan gaya yang curam pada waktu antara 0 sampai 0,00137 detik atau pada langkah (*stroke*) 0 sampai 1,93 mm. Pada langkah (*stroke*) antara 1,93 mm sampai 3,86 mm terjadi penurunan gaya sedangkan antara langkah (*stroke*) 3,86 mm sampai 9,2 mm relatif mengalami kenaikan gaya pembentukan dimana hasil gaya pembentukan maksimum sebesar 86,5 kN dimana gaya tersebut mendekati hasil perhitungan analitik yaitu 92,8 kN.



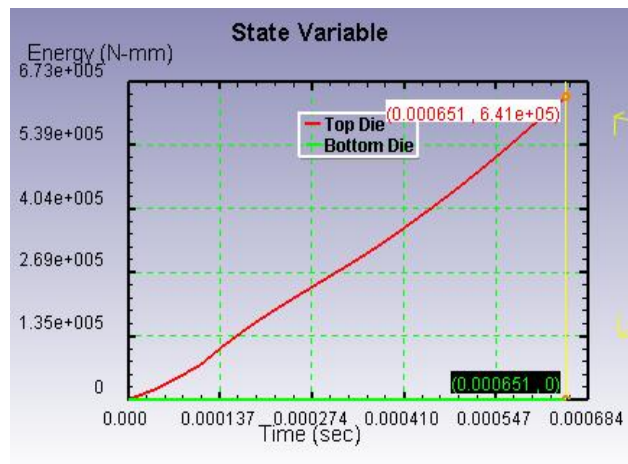
Gambar 7. Simulasi *Pedal Brake* Sebelum Dan Sesudah Proses *Drawing*



Gambar 8. Hubungan Antara Gaya Terhadap Waktu Dan Gaya Terhadap *Stroke* Pada Proses *Drawing*.

3.6 Simulasi Energi Pembentukan

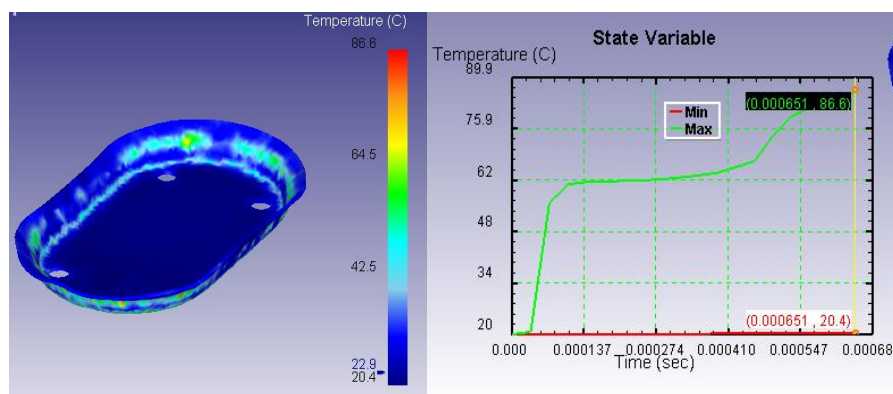
Simulasi energi pembentukan adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk membentuk *pedal brake* melalui proses *drawing*. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 9. Dari gambar tersebut memperlihatkan bahwa jumlah energi yang dibutuhkan untuk membentuk *pedal brake* mengalami peningkatan yang relatif proporsional terhadap perubahan waktu dan penambahan langkah (*stroke*), energi maksimum berada ketika die atas mencapai titik langkah pada 9.2 mm dan energi yang dicapai sebesar 0,69 kJ.



Gambar 9. Kurva Energi Pembentukan *Pedal Brake* Pada Proses *Drawing*

3.7 Simulasi Temperatur Benda Kerja

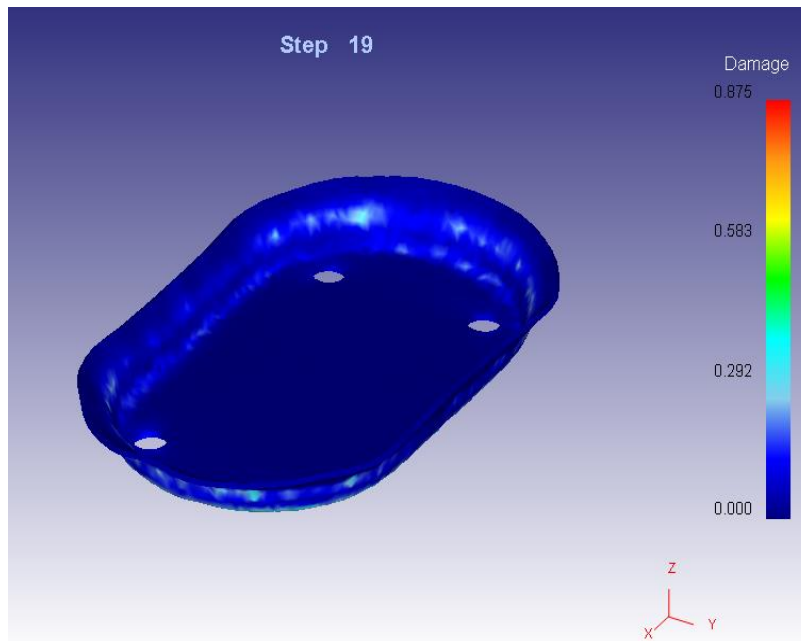
Simulasi temperatur benda kerja adalah simulasi dimana perubahan temperatur yang terjadi pada benda kerja dapat ditampilkan dalam bentuk kontur dan kurva terhadap waktu. Perubahan temperatur dapat dilihat pada Gambar 10 dimana temperatur benda kerja mengalami peningkatan sebesar temperatur 62 °C dalam waktu 0,000137 detik, antara 0,000137 sampai 0,000410 tidak mengalami kenaikan dan mulai naik kembali sampai suhu maksimum sebesar 86,6 °C. Temperatur pembentukan *drawing* seharusnya berkisar antara 40-60 °C.



Gambar 10. Simulasi Temperatur *Pedal Brake* Pada Proses *Drawing*

3.8 Simulasi Damage

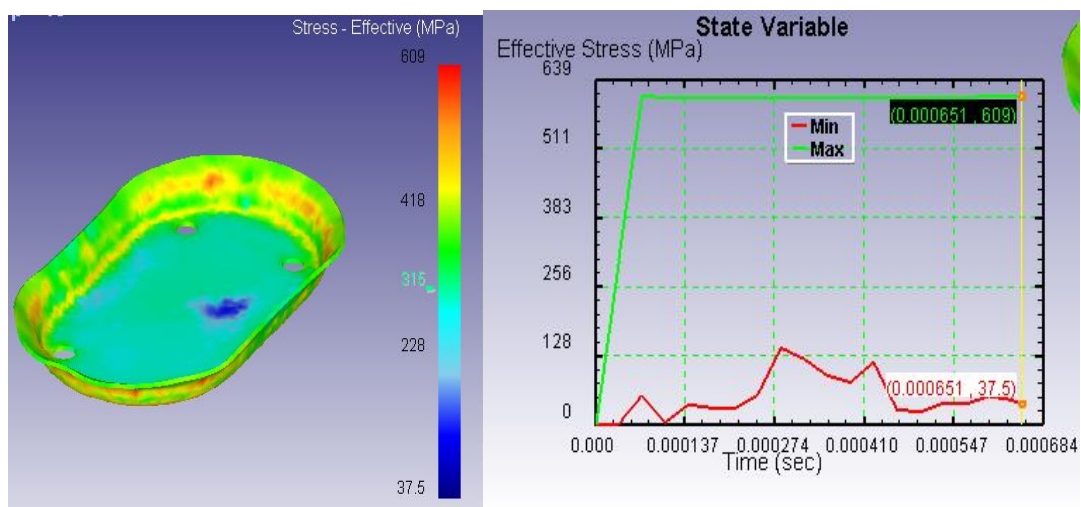
Simulasi *damage* benda kerja adalah simulasi dimana potensi *damage* pada benda kerja dapat ditampilkan. Pada Gambar 11 menunjukkan potensi *damage* terhadap benda kerja dimana bahwa pada daerah disekitar radius memiliki potensi kecacatan terbesar dibandingkan dengan daerah disekitarnya sebesar 0,282. Hal tersebut disebabkan terjadinya penurunan ketebalan apabila kedalaman dari proses *drawing* terlalu dalam menyebabkan kecacatan.



Gambar 11. Simulasi *Damage Pedal Brake* Pada Proses *Drawing*

3.9 Simulasi Stress

Simulasi *stress* benda kerja adalah simulasi untuk menampilkan kontur dan kurva *stress* terhadap waktu. Perubahan *stress* dapat dilihat pada **Gambar 12** dimana *stress* benda kerja mengalami peningkatan yang curam sebesar sebesar 609 Mpa dan stabil sampai mencapai langkah (*stroke*) terakhir yaitu 9,2 mm.



Gambar 12. Simulasi *Stress Pedal Brake* Pada Proses *Drawing*

3.10 Perbandingan Hasil Perhitungan Analitis Dan Simulasi Software

Hasil dari analisa perhitungan teori dibandingkan dengan menggunakan simulasi *software* untuk mengetahui apakah hasil tersebut dapat dibuktikan atau validasi. Adapun parameter yang dapat dibandingkan dari analisa dan simulasi yaitu gaya pembentukan maksimum dan kerja pembentukan, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan hasil perhitungan secara analitis dengan hasil simulasi *software*

No.	Parameter	Perhitungan Analitis	Hasil Simulasi	Error (%)
1.	Gaya pembentukan maksimum (kN)	92,8	86,5	6%
2.	Kerja pembentukan (kJ)	0,69	0,64	7%

Dari hasil perhitungan *error* dapat dikatakan bahwa hasil tersebut tidak berbeda jauh antara analisa teoritis dan simulasi *software* dan dapat dikatakan *valid*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis secara teoritis dan hasil simulasi *software* terhadap proses pembentukan *pedal brake* dengan menggunakan *dies drawing pedal brake*, dapat dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. *Limiting Drawing Ratio* adalah kemampuan suatu *sheet metal* untuk dilakukan *deep drawing*. Hasil perhitungan LDR sebesar 1,028 sedangkan data referensi untuk jenis *cold-rolled* LDR sebesar 2,8. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan *drawability* untuk desain yang ada rendah, sehingga apabila dilakukan *drawing* lebih dalam, material akan rusak.
- b. Rata-rata *Plastic Strain Ratio* (R_{avg}) untuk jenis material yang dipakai benda kerja memiliki nilai R_{avg} sebesar 1,2 untuk jenis *cold-rolled* dimana angka tersebut cukup besar sehingga potensi terjadinya *earing* tidak terlalu besar.
- c. Perbandingan gaya pembentukan secara teori dan simulasi memiliki error sebesar 7 %, sedangkan untuk kerja pembentukan memiliki error sebesar 6 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buku Pedoman PT. PINDAD (PERSERO). 1992. Bandung.
- [2] Boljanovic, Vukota. 2004. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. New York: Industrial Press Inc.
- [3] Rashmi Dwivedia, Geeta Agnihotrib. 2017. *Study of Deep Drawing Process Parameters*. Materials Today: Proceedings 4:820–826
- [4] DIN standard 8584: Fabricating process tensile - compressive forming.
- [5] Sajjad Izadpanah, Seyed Hadi Ghaderi, Mahdi Gerdooei. 2016. *Material parameters identification procedure for BBC2003 yield criterion and earing prediction in deep drawing*. International Journal of Mechanical Sciences 115-116 : 552–563.
- [6] Banabic D. 2010. *Sheet metal forming processes*. First Romania: Springer.
- [7] Alexey Vishtal, Elias Retulainen. 2012. *Deep-Drawing of Paper and Paperboard: The Role of Material Properties*. Bio Resources. 7: 4424-4450.
- [8] M. El Sherbiny an. El. 2014. *Thinning and residual stresses of sheet metal in the deep drawing process*. Materials and Design 55: 869–879.
- [9] R.L. Whiteley. 1960. *The Importance of directionality in drawing quality sheet steel*. Trans. ASM 52: 154-164.
- [10] D.-K. Leu. 1997. *Prediction of the limiting drawing ratio and the maximum drawing load in the cup drawing*. International journal Mechanical Science. 37 (2) : 201-213.
- [11] S. Kobayashi. 1989. *Metal Forming and Finite element Methode*. Oxford University Press. New York. pp.279-325
- [12] Mikell P. Groover. 2010. *Fundamentals Of Modern Manufacturing; Materials, Processes, and Systems 4th edition*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0470-467002.
- [13] Lange, K. 1985. *Metal forming handbook*. McGraw Hill.

- [14] Kalpakjian, Serope, Schmid, Steven R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology* Ed 6th SI Units. Singapore: Prentice Hall