

**MODIFIKASI *STAMPING DIES BOTTOM OUTER*
HATCHBACK UNTUK MENGURANGI CACAT *WRINKLING*
DAN *THINNING***



**Disusun sebagai syarat menyelesaikan Program Studi Strata II
Pada Program Studi Magister Teknik Mesin
Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Oleh
TRI JOKO SURYANTO
NIM. U100170034**

**MAGISTER TEKNIK MESIN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2020

HALAMAN PERSETUJUAN

MODIFIKASI *STAMPING DIES BOTTOM OUTER HATCHBACK* UNTUK MENGURANGI CACAT *WRINKLING* DAN *THINNING*

NASKAH PUBLIKASI

Oleh

TRI JOKO SURYANTO

NIM : U 100 170 034

SUSUNAN PEMBIMBING

Utama

Ir. Agus Dwi Anggono, Ph.D

NIDN : 0617067602

Pendamping

Ir. Waluyo Adi Siswanto, M.Eng., Ph.D

NIDN : 0618106503

Telah dinyatakan memenuhi syarat untuk diujikan

Pada tanggal 30 April 2020

Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta



Tri Widodo Besar Riyadi, Ph.D

NIDN : 0627017202

HALAMAN PENGESAHAN

MODIFIKASI STAMPING DIES BOTTOM OUTER HATCHBACK UNTUK MENGURANGI CACAT *WRINKLING* DAN *THINNING*

NASKAH PUBLIKASI

Oleh

TRI JOKO SURYANTO

NIM. U100170034

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji

Program Studi Magister Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada Hari: Kamis, 30 April 2020

Dewan Penguji

1. Agus Dwi Anggono, S.T, M.Eng., Ph.D.
(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Ir. Waluyo Adi Siswanto, M.Eng., Ph.D.
(Anggota I Dewan Penguji)

(.....)

3. Joko Sedyono, S.T., M.Eng., Ph.D.
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)



Direktur Sekolah Pascasarjana
Universitas Muhammadiyah Surakarta

(Signature)

Prof. Dr. Bambang Sumardjoko

NIDN : 0014056201

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar magister di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 20 April 2020

Yang Membuat Pernyataan



Tri Joko Suryanto

NIM. U100170034

MODIFIKASI STAMPING DIES BOTTOM OUTER HATCH BACK UNTUK MENGURANGI CACAT WRINKLING DAN THINNING

Abstrak

Proses *stamping* umumnya melibatkan pembentukan yang dibatasi oleh patahan (*fracture*), cacat bentuk geometris seperti kerutan (*wrinkle*), *springback* dan penipisan (*thinning*). Tujuan dari penelitian ini adalah memperbaiki kualitas hasil pada proses *stamping bottom outer hatch back* dengan material SCGA untuk mengurangi cacat *wrinkling* dan *thinning*. Analisis dilakukan menggunakan metode simulasi *stamping* dengan software *AutoForm*, Obyek yang digunakan adalah *bottom outer hatch back*. Penelitian simulasi pembentukan ini memvariasikan 2 jenis *dies* yaitu *dies* original dan *dies* modifikasi dengan koefisien gesek (μ) sebesar 0.15, *Blank Holder Force* 30 KN, gaya penekan 300 KN, ketebalan material 0.8 mm. Informasi perubahan material serta besarnya area aman dan tidak aman *blank* diperoleh dari grafik *Forming Limit Diagram* (FLD). Hasil penelitian menggunakan *dies* original didapat nilai *Thinning* tertinggi pada tahap kedua dan ketiga di area A yaitu 0.771. Nilai tertinggi Area B pada tahap keempat yaitu 0.38. Nilai *Thinning* tertinggi dengan *dies* modifikasi pada tahap keempat di kedua area yaitu area A sebesar 0.375 dan area B sebesar 0.191. *Wrinkling* menggunakan *dies* original maupun *dies* modifikasi mengalami peningkatan pada setiap tahapnya. *Wrinkling* tertinggi dari kedua *dies* ditunjukkan pada tahap keempat di kedua area. Nilai *wrinkling* tertinggi pada proses *drawing* dengan menggunakan *dies* original yaitu area A sebesar 0.299 dan area B sebesar 0.147. Nilai tertinggi *wrinkling* menggunakan *dies* modifikasi yaitu area A sebesar 0.227 dan area B sebesar 0.097. Berdasarkan analisis grafik FLD *Nonlinear*, kedua *dies* yang digunakan masih belum aman karena terdapat *cracking* pada material.

Kata kunci: *Deep drawing, Thinning, Wrinkling, AutoForm*

Abstract

Stamping process generally involves the forming that is limited by cracks, geometric shape defects such as wrinkles, springback and thinning. The purpose of this research is to improve the quality of the stamping bottom outer hatch back process results with SCGA material to reduce wrinkling and thinning defects. The analysis is performed using the stamping simulation method with *AutoForm* software, the object used is the bottom outer hatch back. This forming simulation research varied 2 types of dies, original dies and modified dies with a friction coefficient (μ) of 0.15, *Blank Holder Force* 30 KN, pressure force 300 KN, and material thickness 0.8 mm. Information on material changes and the size of the safe and non-safe blank areas are obtained from the *Forming Limit Diagram* (FLD) chart. The results of the study using original dies obtained the highest *Thinning* values in the second and third stages in area A is 0.771. The highest value of Area B in the fourth stage is 0.38. The highest *Thinning* value with modified dies in the fourth stage in both areas, area A is 0.375 and area B is 0.191. *Wrinkling* using

original dies and modified dies has increased at each stage. The highest wrinkling of the two dies is shown in the fourth stage in both areas. The highest wrinkling value in the drawing process using original dies is area A of 0.299 and area B of 0.147. The highest wrinkling value using dies modified is area A is 0.227 and area B is 0.097. Based on Nonlinear FLD chart analysis, the two dies used are still not safe because there is cracking on the material.

Keyword: *Deep drawing, Thinning, Wrinkling, AutoForm*

1. PENDAHULUAN

Stamping adalah proses *sheet metal forming* yang umum dan sebagian besar digunakan dalam industri produksi otomotif, pengemasan, dan peralatan rumah tangga. Contoh komponen otomotif yang dibuat menggunakan proses *stamping* diantaranya adalah panel bodi mobil luar, panel bodi dalam mobil, fender dan penguat yang berbeda [1][2][3][4]. *Stamping* merupakan salah satu cara *sheet metal forming* yang sering disebut dengan *deep drawing* [5][6]. Indikator penting untuk keberhasilan proses *deep drawing* adalah meminimalkan cacat pada material dan mengoptimalkan efisiensi [7]. Meskipun demikian proses *deep drawing* umumnya melibatkan pembentukan rendah yang sering kali terjadi kecacatan. Dalam proses *deep drawing*, kualitas produk sangat dipengaruhi oleh berbagai variabel proses seperti properti material *blanking*, *geometri die*, karakteristik gesekan, dan kondisi batas [8]. Operasi penekanan menggunakan *punch* dan *die* dalam proses *deep drawing* menimbulkan tegangan pada *blank* akan menyebabkan terjadinya *thinning* [9], *wrinkling* [10][11] dan *springback* [12][13].

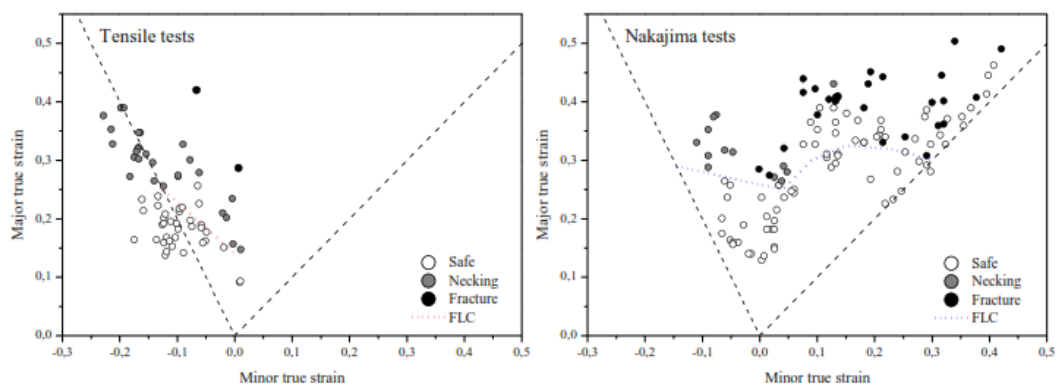
Cacat kerut (*wrinkling*) didefinisikan sebagai pembentukan gelombang di permukaan untuk meminimalkan tekanan kompresi. Kerutan disebabkan karena adanya bahan berlebih dalam cetakan selama operasi pembentukan. Ada dua daerah dimana kerutan dapat terjadi pertama adalah *flange* dan yang kedua adalah dinding [14]. Kerutan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sifat mekanik, geometri benda kerja, pelumasan, kondisi batas [15] dan BHF terlalu kecil [16]. Cacat *springback* adalah cacat yang disebabkan oleh tegangan elastis yang tersisa di area tikungan setelah tekanan lentur dilepaskan akan menyebabkan sedikit penurunan sudut

tikungan. Besarnya pergerakan akan bervariasi sesuai dengan jenis material, ketebalan dan kekerasan. Jari-jari tikungan yang lebih besar juga akan dikenal *greater springback* [17]. *Springback* tidak dapat dihilangkan, tetapi hanya bisa dikurangi [18]. Cacat penipisan (*Thinning*) atau perbedaan ketebalan (*thickness variation*) adalah ketebalan *blank* didistribusikan secara tidak merata di bagian yang *didrawing*. Dalam kasus *drawing* dibandingkan dengan ketebalan awal *blank*, ketebalan lembaran plat minimum terjadi di zona antara dinding bagian bawah dan di dinding vertikal, dan ketebalan lembaran maksimum terjadi di zona *flange*. Pada bagian bawah datar umumnya material mempertahankan ketebalan aslinya karena tidak ada deformasi terjadi di zona ini [19]. Cacat sobek (*cracking*) adalah cacat paling kritis dalam proses *deep drawing*, yang disebabkan oleh tegangan radial dan beban *drawing* terlalu tinggi. Parameter proses yang sangat mempengaruhi besarnya tegangan radial dan beban *drawing* adalah *blank holder force*. Untuk menjaga kondisi proses dan untuk mencegah retak, besarnya *blank holder force* harus dikontrol secara efektif [20].

Simulasi dengan metode elemen hingga (FE-Model) dapat mendeteksi dan memecahkan masalah dalam proses *deep drawing* [21]. Hasil antara simulasi *sheet metal forming* dengan *software AutoForm R7* dan metode eksperimental menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada produk aslinya. Untuk itu metode simulasi sangat memberikan kontribusi mengurangi terjadinya cacat *thinning*, *wrinkling* dan *springback* [22]. *Forming Limit Diagram* (FLD) atau *Forming Limit Curve* (FLC) memberikan gambaran yang baik untuk menganalisa perubahan material pada proses *deep drawing* [23]. Grafik kurva FLD membagi menjadi dua bidang yaitu bidang tidak aman dan bidang aman, bidang tidak aman berada diatas garis dan bidang aman berada dibawah garis kurva FLD. Metode simulasi ini akan memberikan gambaran grafis tes kegagalan material pada proses *deep drawing*. Berdasarkan analisis tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku *thinning* dan *wrinkling* material SCGA pada proses *stamping bottom outer hatch back*.

VALIDASI SOFTWARE

Forming Limit Diagram simulasi metode elemen hingga dengan *software AutoForm* mengacu pada tes Nakajima. Tes Nakajima adalah metode yang paling umum dalam penentuan FLC untuk memprediksi kegagalan material. Evaluasi kurva batas pembentukan (FLC) dari *sheet metal* DP-780 setebal 1.1 mm telah dilakukan. Penentuan FLC penuh melibatkan uji tarik dengan geometri takik yang berbeda, menyediakan data dalam rentang kompresi-tegangan dan tes Nakajima dengan *hemispherical punch* berdiameter 40 mm dan geometri takik yang berbeda, yang mencakup zona dari *Forming Limit Diagram* (FLD). Geometri alat Nakajima yang digunakan dengan mengurangi dimensi uji standar (ISO 12004-2) hingga 60%. Hasil menunjukkan bahwa uji Nakajima dengan diameter spesimen yang dikurangi, dalam kasus baja Dual-Fase tertentu, melebihi *limit strain* jika dibandingkan dengan uji tarik. Perbedaan yang diamati ini dijelaskan dalam hal adanya gradien regangan melalui ketebalan lembaran yang dikenakan oleh *punch* Nakajima berdiameter 40 mm, yang mengarah pada kesimpulan bahwa tipe sampel tereduksi ini tidak cocok untuk penentuan FLC ketika lembaran baja DP-780 dengan tebal lebih dari 1 mm [24].



Gambar 1. Eksperimen FLD pada DP-780 *steel sheet* menggunakan *tensile tests* (kiri) dan *Nakajima tests* (kanan)

Simulasi pembentukan lembaran logam dengan menggunakan *software AutoForm* menggunakan Forming Limit Curve (FLC) untuk memprediksi kegagalan material. Kurva mewakili nilai maksimum galur prinsip ϵ_1 dan ϵ_2 yang ditentukan dengan mengukur galur pada kegagalan material. Berbagai tes dapat

digunakan untuk menentukan kurva tersebut sama dengan tes Nakajima atau Marciniak. Prosedur pengujian harus mencakup mendeformasi bahan dalam berbagai kondisi tegangan-regangan (equibiaxial, biaksial, regangan bidang, uniaksial, dll.) Untuk mendapatkan kondisi regangan pada kondisi gagal. Dengan ini simulasi pembentukan logam dengan menggunakan *software AutoForm* terverifikasi.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan simulasi numerik menggunakan bantuan *software AutoForm R7*. Desain dibuat menggunakan *software Catia V5* dan hasilnya disimpan dalam format bentuk *-igs* kemudian dilakukan simulasi numerik dengan *AutoForm R7*. Penelitian ini menggunakan 2 jenis *dies* yaitu *dies* original dan *dies* modifikasi. Parameter yang digunakan saat simulasi pembentukan pada material SCGA dengan dimensi 1610 mm x 880 mm dan ketebalan 0.8 mm meliputi koefisien gesek (μ) sebesar 0.15, *Blank Holder Force* 30 KN dan gaya penekan 300 KN. Analisis secara detail akan dilakukan setelah proses simulasi pembentukan *deep drawing* selesai. Obyek yang digunakan adalah *bottom outer hatch back*.

Setiap material memiliki sifat elastis dan plastis yang berbeda, hal ini menyebabkan bentuk kurva *strain* dan *stress* berbeda [25]. Sifat material SCGA ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat material SCGA [26]

Sifat mekanis	SCGA
<i>Young's Modulus</i> (GPa)	160
<i>Poisson's ratio</i>	0.3
<i>Yield Stress</i> (MPa)	157.1
<i>Strain Rate Exponent</i> (m)	0.228
<i>Strength Coefficient/C</i> (MPa)	551.4

Ada beberapa model *strain hardening* yang tersedia di *AutoForm*. *Strain hardening* ditentukan oleh perkiraan menggunakan rumus Swift:

$$\sigma = C * (\varepsilon_{pl} + \varepsilon_0)^m$$

Atau dengan persamaan dari Hockett-Sherby:

$$\sigma = \sigma_{Sat} - (\sigma_{Sat} - \sigma_i) e^{-a \varepsilon_{pt}^p}$$

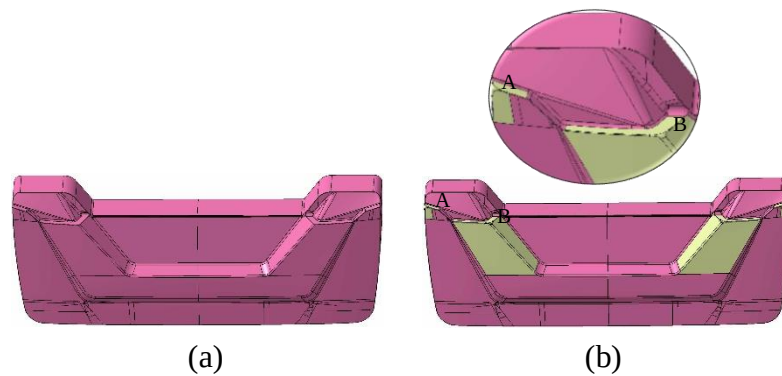
Atau menggunakan kombinasi pendekatan Swift dan Hockett-Sherby. Faktor kombinasi α menentukan bobot fungsi:

$$\sigma = (1 - \alpha) \{ C * (\varepsilon_{pl} + \varepsilon_0)^m \} + \alpha \{ \sigma_{Sat} - (\sigma_{Sat} - \sigma_i) e^{-a \varepsilon_{pt}^p} \}$$

Dimana σ adalah tegangan *equivalent*, ε_{pl} adalah *equivalent plastic strain* dan yang lainnya adalah parameter material [27].

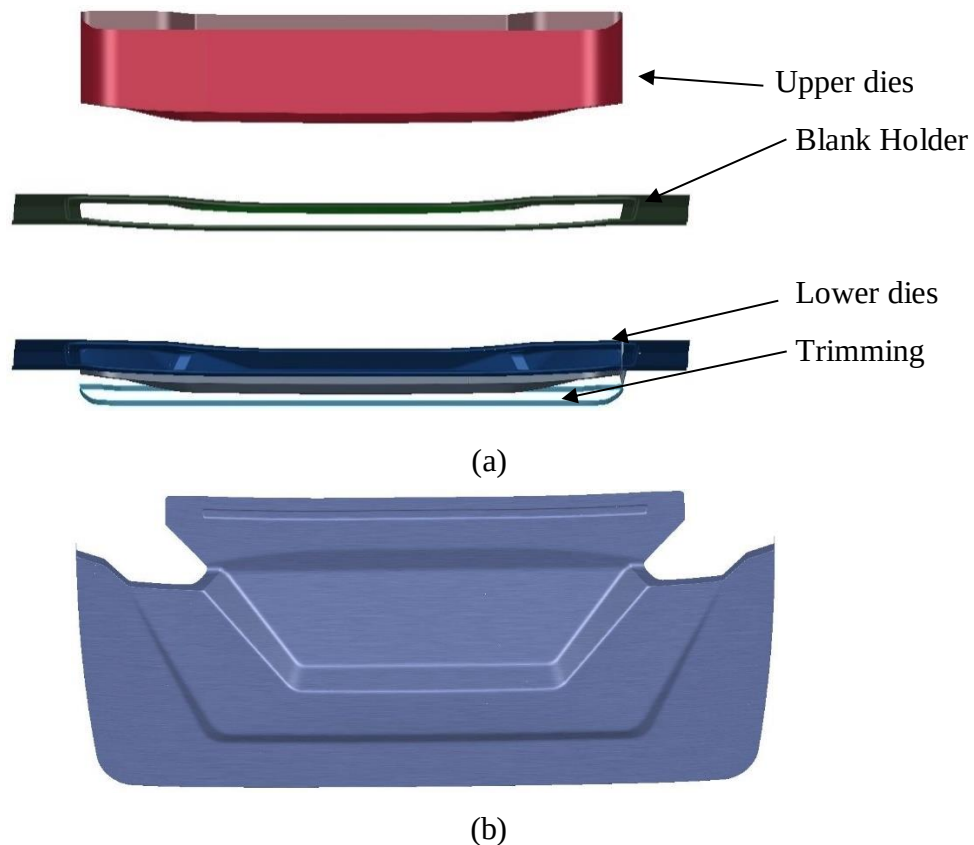
2.1 Desain *dies*

Desain dalam penelitian ini merupakan pengembangan dari desain divisi stamping PT. New Armada Mekar Jaya, dimana desain dibuat menggunakan *software Catia* dalam bentuk *surface*. Desain dikembangkan menjadi cetakan bawah dan atas kemudian disimpan dalam format bentuk *-igs* agar dapat disimulasikan dengan *software AutoForm R7*.



Gambar 2. Desain *upper dies* (a) original (b) modifikasi.

Modifikasi dilakukan untuk memperbaiki kualitas hasil *stamping bottom outer hatch back*. Modifikasi pada area ujung-ujung dies yang runcing dengan jarak perubahan radius sudut A sebesar 13 mm dan sudut B sebesar 14 mm kearah kanan kiri, 5 mm kearah bawah.



Gambar 3. a) Desain *dies* pada *AutoForm R7* b) komponen hasil simulasi *stamping*.

2.2 Analisis hasil simulasi dengan FLD (*Forming Limit Diagram*)

Analisis hasil simulasi dengan FLD dilakukan melalui 5 tahap berdasarkan jarak antara *punch* dan *die* atau yang disebut dengan *distance to bottom*. Pembagian 5 tahap tersebut ditunjukkan pada tabel 2:

Tabel 2. Pembagian step pada *distance to bottom*

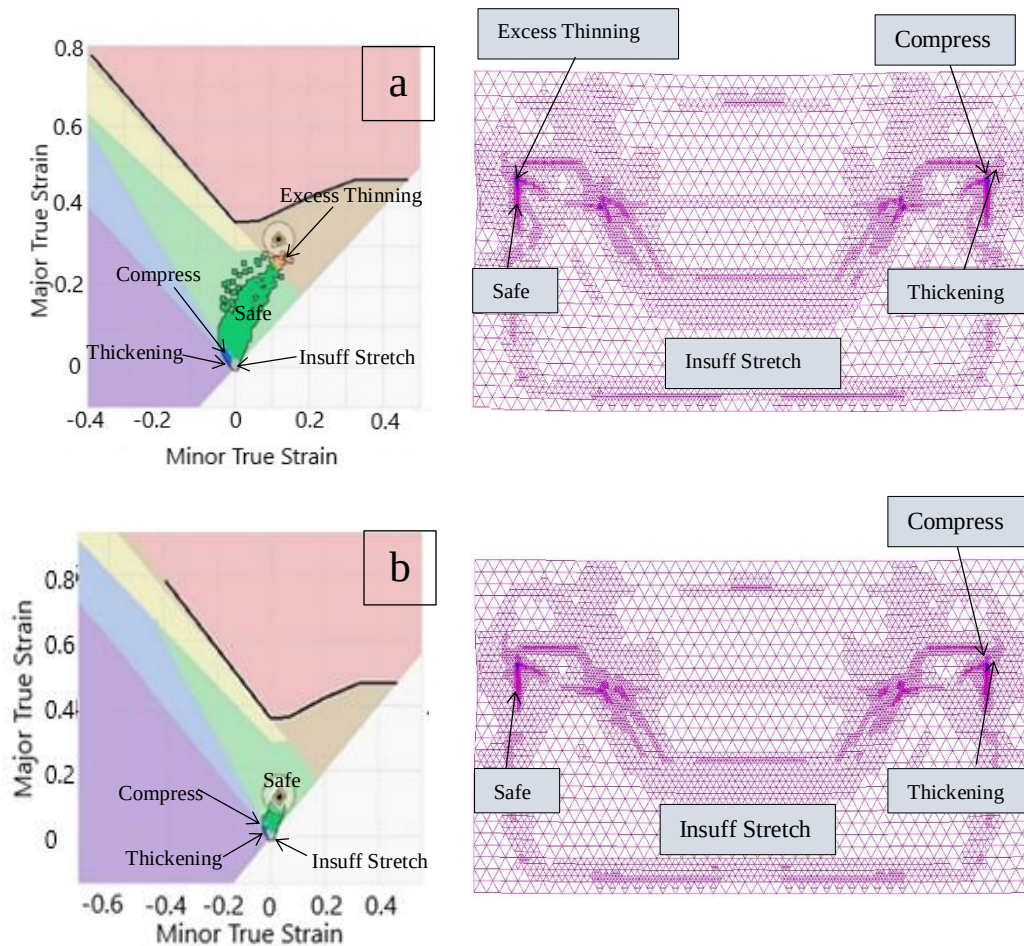
Step	<i>Distance to bottom</i> (mm)	Proses
1	-135	<i>Drawing</i>
2	-120	<i>Drawing</i>
3	-105	<i>Drawing</i>
4	0,00	<i>Drawing</i>
5	0,00	<i>Trimming</i>

Forming Limit Diagram (FLD) adalah Diagram Batas *Forming* dalam ruang regangan. FLD dimaksudkan untuk mengevaluasi pemisahan bahan berdasarkan keadaan regangan suatu elemen. Semua status regangan di atas FLC diasumsikan menyebabkan retak. Keadaan regangan semua elemen pada setiap langkah waktu ditunjukkan pada diagram. Keadaan dari masing-masing elemen ditampilkan dalam warna-warna kemampuan bentuk. Juga latar belakang FLD menunjukkan warna-warna sifat mampu bentuk. Jika langkah waktu simulasi diubah atau simulasi dianimasikan, status regangan dari langkah waktu yang baru ditampilkan. Dengan demikian, memungkinkan untuk menemukan langkah waktu di mana material mulai gagal.

Perubahan kondisi material pada proses pembentukan *bottom outer hatch back* mengalami berbagai perubahan yang meliputi *thickening* (bidang yang mengalami penebalan), *compress* (bidang yang memadat), *insuft stretch* (bidang yang bertahan), *Safe* (bidang aman), *risk of split* (bidang yang beresiko retak), *excess thinning* (bidang yang mengalami penipisan berlebihan), *split* (bidang retak).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis FLD pada Step 1

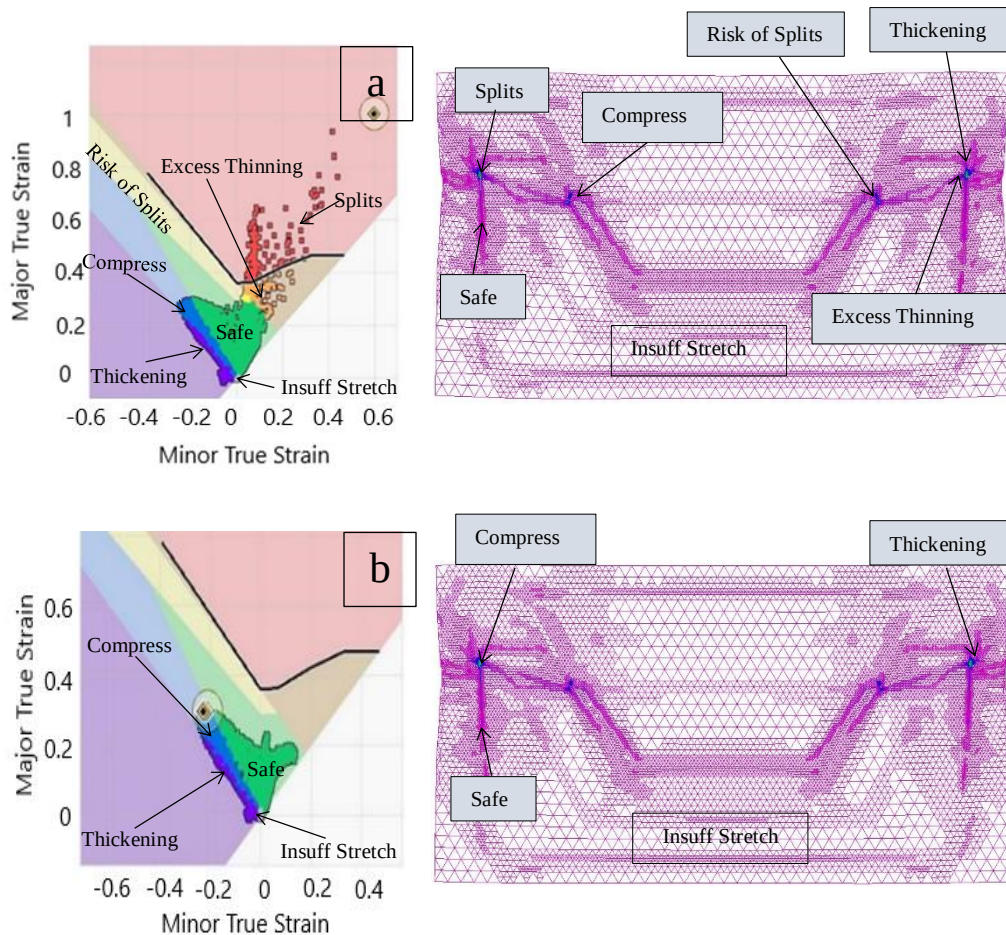


Gambar 4. *Forming Limit Diagram Step 1 (a) dies original (b) dies modifikasi.*

Gambar 4 menunjukkan grafik FLD pada step pertama dengan jarak - 135 mm dari akhir proses *drawing* menggunakan *dies* original dan *dies* modifikasi. Terjadi perbedaan kondisi perubahan pada material. Perbedaan yang terjadi pada step pertama, area *thickening* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 0.02 % dan modifikasi 0.01 %. Area *compress* besarnya sama yaitu 0.03 %. Area *insuff stretch* menggunakan *dies* modifikasi lebih besar daripada *dies* original yaitu original 99.90% dan modifikasi 99.93 %. Area *safe* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 0.06 % dan modifikasi 0.04 %.

Area *excess thinning* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 0.01 % dan modifikasi 0 %. Sedangkan untuk area *risk of splits* dan area *splits* sama-sama tidak mengalami perubahan yaitu 0 %.

3.2 Analisis FLD pada Step 2

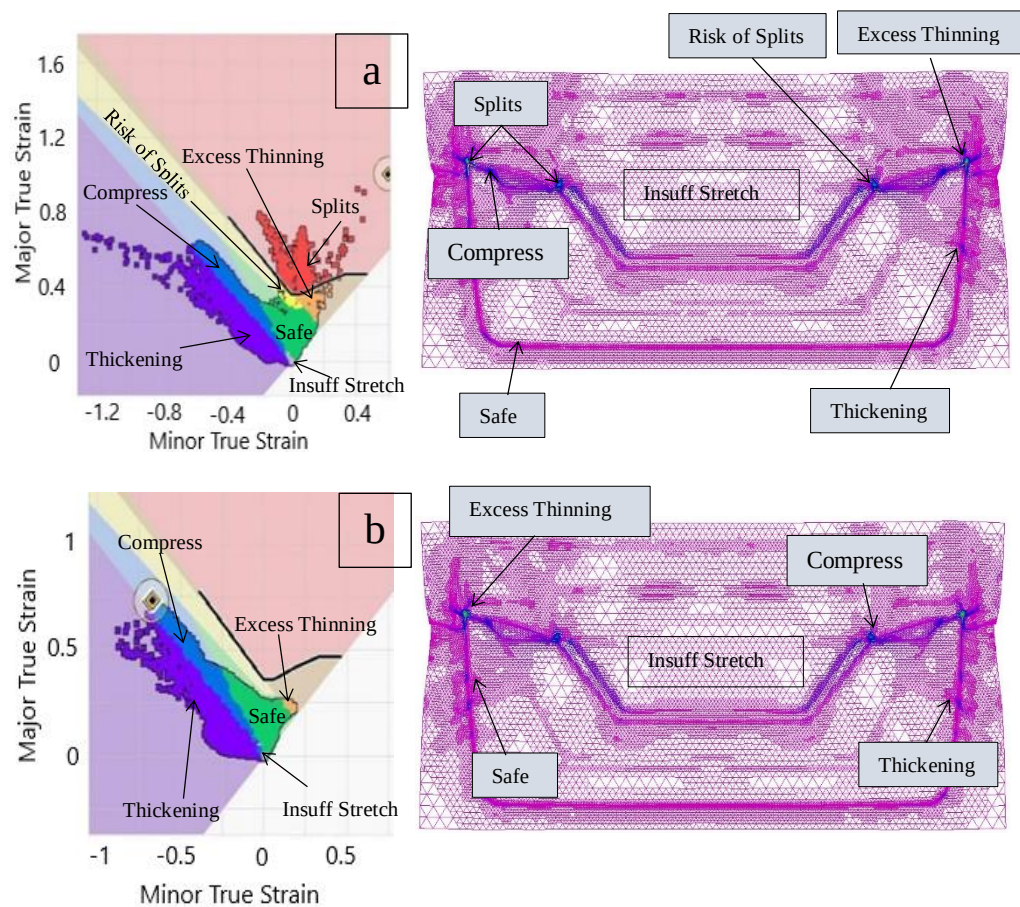


Gambar 5. *Forming Limit Diagram Step 2* (a) *dies* original (b) *dies* modifikasi.

Gambar 5 menunjukkan grafik FLD pada step kedua dengan jarak -120 mm dari akhir proses *drawing*. Terjadi perbedaan kondisi perubahan pada material. Perbedaan yang terjadi pada step kedua, area *thickening* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 0.58 % dan modifikasi 0.55 %. Area *compress* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 0.92 % dan modifikasi 0.85 %. Area *insuff stretch* menggunakan *dies* modifikasi lebih besar daripada *dies*

original yaitu original 99.19 % dan modifikasi 99.31 %. Area *safe* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 0.30 % dan modifikasi 0.29 %. Area *excess thinning*, area *risk of splits*, dan area *splits* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original dan memiliki besar nilai yang sama yaitu original 0.01 % dan modifikasi 0 %.

3.3 Analisis FLD pada Step 3

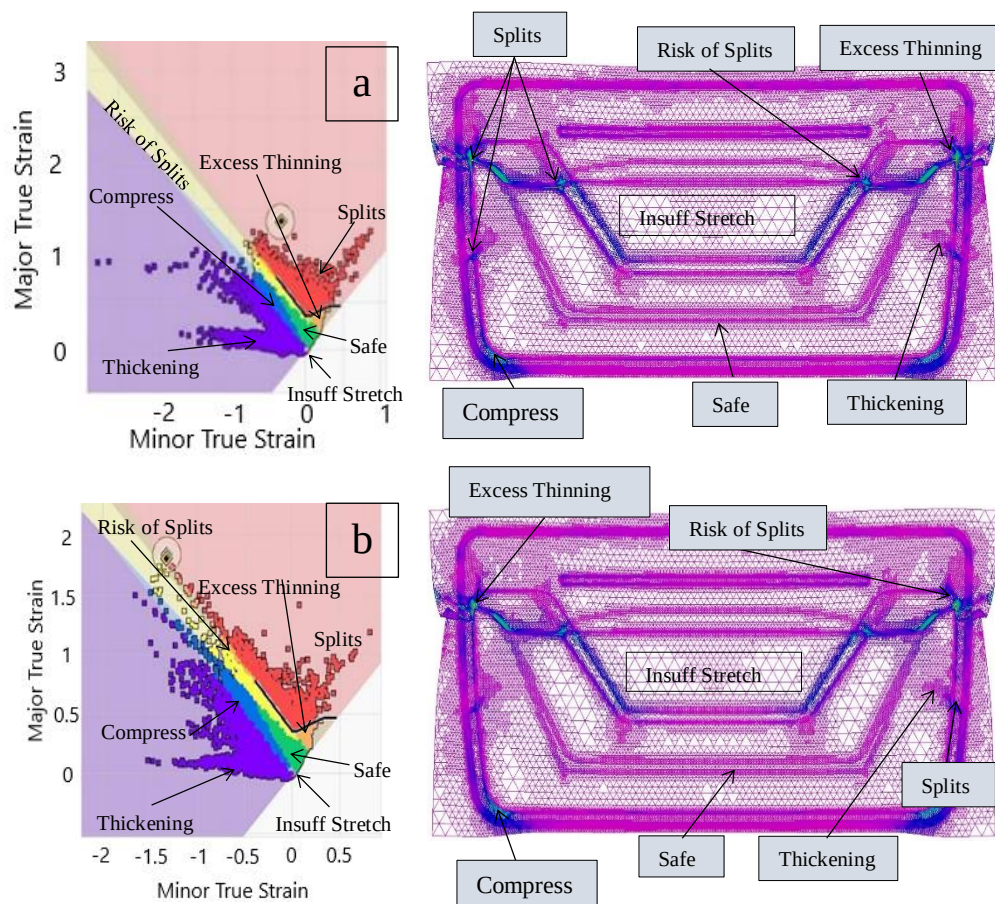


Gambar 6. *Forming Limit Diagram Step 3 (a) dies original (b) dies modifikasi.*

Gambar 6 menunjukkan grafik FLD pada step ketiga dengan jarak -105 mm dari akhir proses *drawing*. Terjadi perbedaan kondisi perubahan pada material. Perbedaan yang terjadi pada step ketiga, area *thickening* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original

1.83 % dan modifikasi 1.64 %. Area *compress* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 5.65 % dan modifikasi 5.48 %. Area *insuff stretch* menggunakan *dies* modifikasi lebih besar daripada *dies* original yaitu original 91.64 % dan modifikasi 92.09 %. Area *safe* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 0.88 % dan modifikasi 0.79 %. Area *excess thinning* besarnya sama yaitu 0.01 %. Sedangkan area *risk of splits* dan area *splits* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original dan memiliki besar nilai yang sama yaitu original 0.01 % dan modifikasi 0 %.

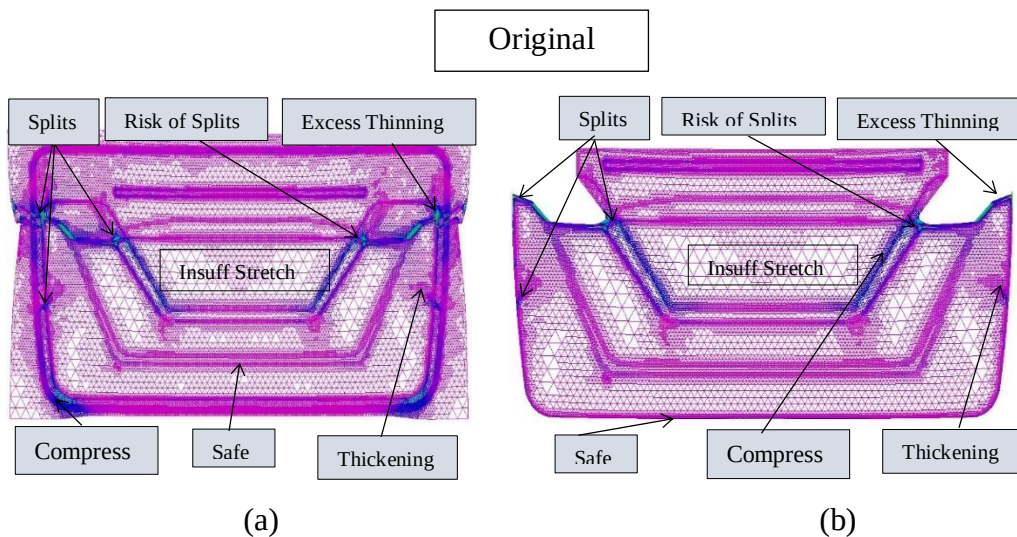
3.4 Analisis FLD pada Step 4

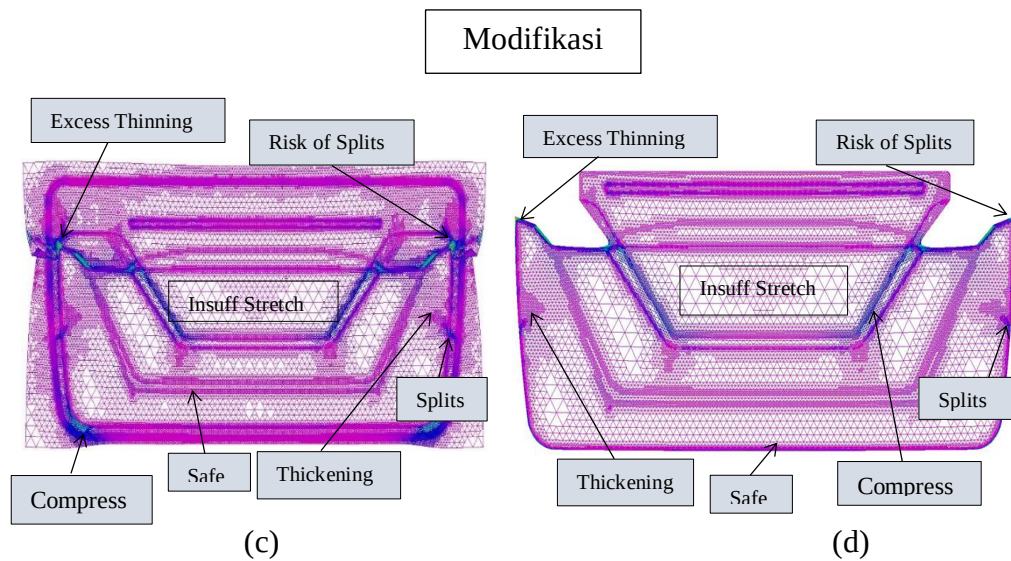


Gambar 7. Forming Limit Diagram step 4 (a) *dies* original (b) *dies* modifikasi.

Gambar 7 menunjukkan grafik FLD pada step keempat dengan jarak - 0.00 mm atau akhir proses *drawing*. Terjadi perbedaan kondisi perubahan pada material. Perbedaan yang terjadi pada step keempat, area *thickening* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 17.19 % dan modifikasi 15.97 %. Area *compress* menggunakan *dies* modifikasi lebih besar daripada *dies* original yaitu original 12.22 % dan modifikasi 12.23 %. Area *insuff stretch* menggunakan *dies* modifikasi lebih besar daripada *dies* original yaitu original 65.79 % dan modifikasi 67.06 %. Area *safe* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 4.78 % dan modifikasi 4.72 %. Area *excess thinning* dan area *risk of splits* besarnya sama yaitu 0.01 %. Sedangkan area *splits* menggunakan *dies* modifikasi lebih rendah daripada *dies* original yaitu original 0.02 % dan modifikasi 0.01 %.

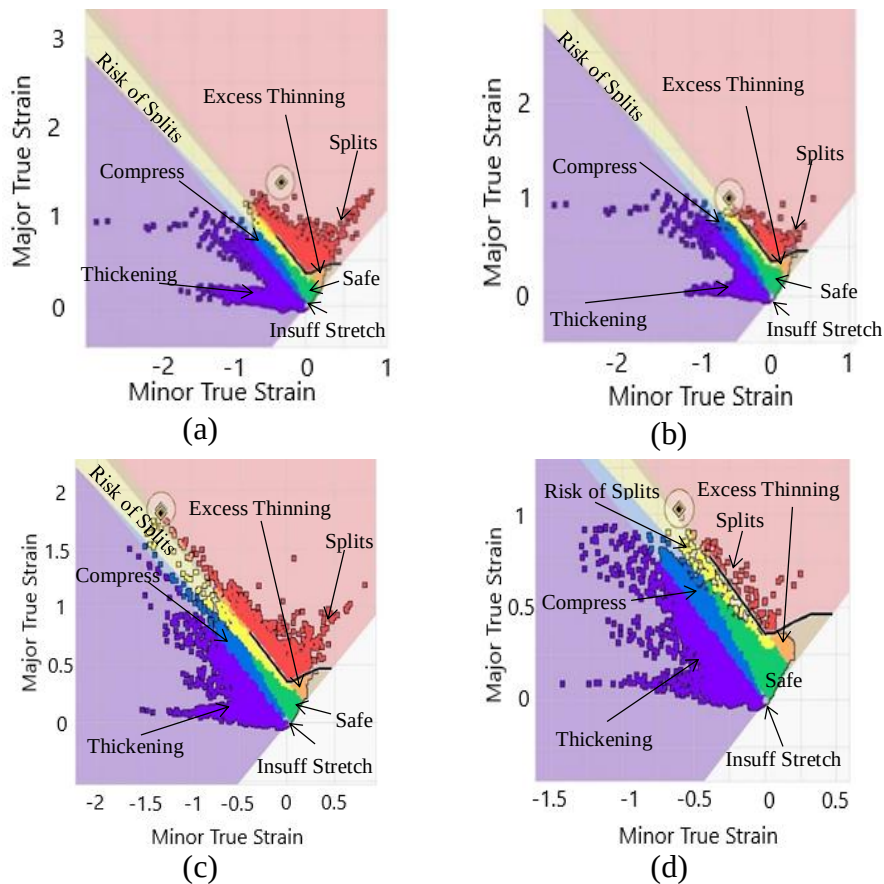
3.5 Analisis FLD pada Step 5





Gambar 8. Kondisi material sebelum (a dan c) dan sesudah (b dan d) proses *trimming*.

Gambar 8 menunjukkan kondisi material pada step keempat dan kelima. Proses keempat merupakan akhir proses dari *drawing* dan step kelima merupakan proses *trimming* yaitu memotong bagian komponen yang tidak digunakan. Dilihat dari proses sebelumnya yaitu proses *drawing* dengan posisi *distance to bottom* 0.00 mm ke proses *trimming* terjadi beberapa perubahan material. Perubahan material menggunakan dies original antara lain, area *thickening*, area *compress*, dan area *splits* mengalami penurunan. Area *excess thinning* dan area *risk of splits* tidak mengalami perubahan. Menggunakan dies modifikasi terjadi penurunan pada area *thickening* dan area *compress*. Area *excess thinning*, area *risk of splits* dan area *splits* tidak mengalami perubahan. Sedangkan area *insuff stretch* dan area *safe* sama-sama mengalami peningkatan untuk kedua *dies*.

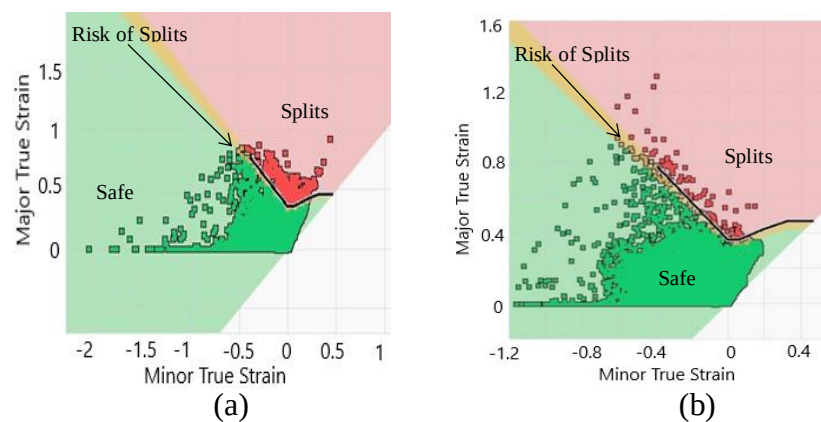


Gambar 9. Perbandingan FLD sebelum proses *trimming* (a) dan (c), sesudah proses *trimming* (b) dan (d).

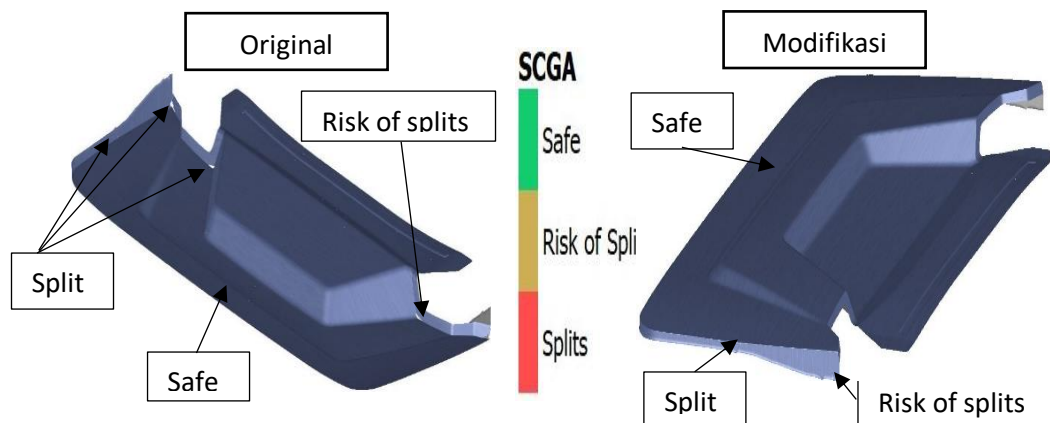
Gambar 9 merupakan kondisi material pada proses material yang dilakukan setelah berakhirnya proses *drawing*. Analisis FLD terjadi perbandingan perubahan material yang *didrawing* menggunakan *dies* original maupun menggunakan *dies* modifikasi. *Drawing* menggunakan *dies* original, terjadi penurunan pada area *thickening* dari 17,19 % menjadi 7.12 % dan area *compress* dari 12.22 % menjadi 12.19 % area *splits* dari 0.02 % menjadi 0.01 %. Area yang menunjukkan peningkatan yaitu *insuff stretch* meningkat dari 65.79 % menjadi 74.51 % dan area *safe* meningkat dari 4.78 % menjadi 6.15 %. Sedangkan area *risk of splits* dan area *excess thinning* tidak mengalami perubahan yaitu 0,01 %. Area *splits* mengalami penurunan dikarenakan bagian komponen yang tidak dipakai dibuang dengan proses *trimming*. Sedangkan *drawing* menggunakan *dies* modifikasi, terjadi penurunan pada area *thickening*

dari 15,97 % menjadi 7.07 % dan area *compress* dari 12.23 % menjadi 12.2 %. Area yang mengalami peningkatan yaitu *insuff stretch* meningkat 67.06 % menjadi 74.65 % dan area *safe* meningkat 4.72 % menjadi 6.04 %. Sedangkan area *risk of splits*, area *excess thinning* dan area *splits* tidak mengalami perubahan yaitu 0,01 %.

3.6 Forming Limit Diagram Nonlinear



Gambar 10. FLD *NonLinear distance to bottom 0.00 (trimming)* menggunakan *dies* a) original b) modifikasi.



Gambar 11. *Blank* dalam kondisi tidak aman.

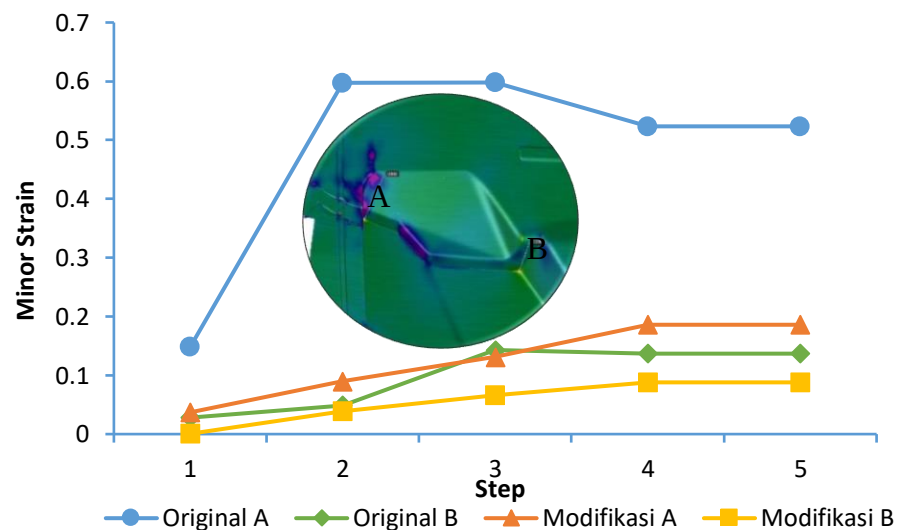
Gambar 10(a) merupakan kurva FLD *Nonlinear* setelah proses *trimming* menggunakan *dies* original. Material mengalami perubahan pada area *safe* sebesar 99.99 %, area *risk of splits* <0.01 % dan *splits* <0.01 %. Gambar

10(b) menggunakan *dies* modifikasi, perubahan pada area *safe* sebesar 100.00 %, area *risk of splits* <0.01 % dan *splits* <0.01 %. Gambar 11 menunjukkan kondisi material tidak aman karena mengalami sobek di area samping. Sobek pada area samping disebabkan material melipat dan mengalami penebalan.

3.7 Analisis pada perubahan jarak *Punch* dan *Dies*

Perubahan jarak *punch* dan *dies* mempengaruhi perubahan kondisi material, diantaranya adalah *thinning*, *major-minor strain* dan *stress* serta *wrinkling*.

3.7.1 Analisis *Minor-Major Strain*

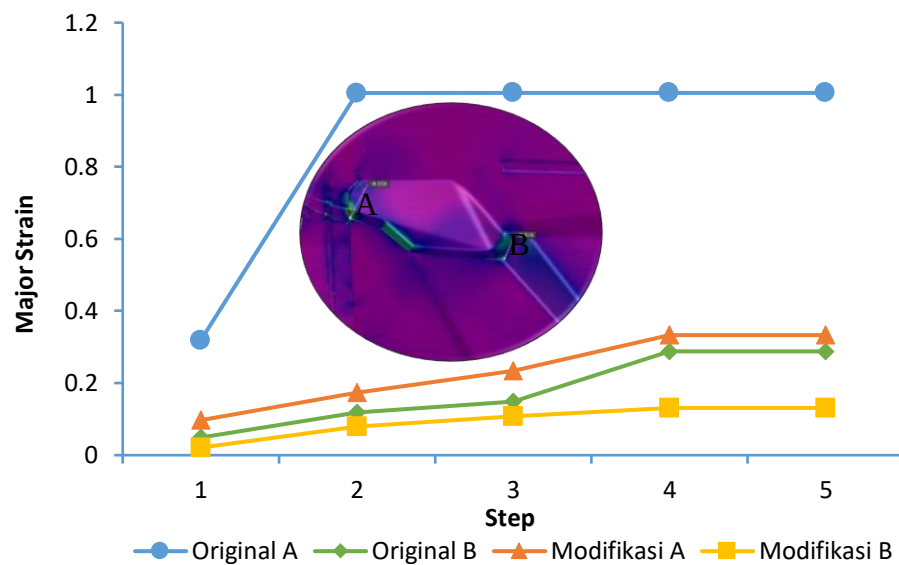


Gambar 12. Grafik *minor strain* pada perubahan jarak *punch* dan *dies*.

Gambar 12 menunjukkan grafik pengamatan perilaku *minor strain* pada material yang dilakukan melalui tahap pertama sampai tahap kelima selama proses *drawing*. Perilaku *minor strain* diamati pada dua tempat yaitu A dan B. Kedua tempat tersebut merupakan area yang mengalami penekanan pada area *dies* sebelum dan sesudah dimodifikasi. Material mengalami perubahan *minor strain* selama lima tahap tersebut. *Minor strain* tertinggi menggunakan *dies* original terjadi pada tahap ketiga di

kedua area yaitu area A sebesar 0.598 dan area B sebesar 0.131. Sedangkan menggunakan *dies* modifikasi pada tahap keempat yaitu area A sebesar 0.186 dan area B sebesar 0.088.

Perubahan *minor strain* pada saat proses *drawing* menggunakan *dies* original tahap pertama ke tahap kedua meningkat signifikan disebabkan material mengalami *cracking* (sobek). Nilai *minor strain* tahap ketiga sedikit meningkat dari tahap kedua dan mengalami penurunan pada tahap keempat. *Cracking* yang terjadi diakibatkan *dies* original terlalu runcing di beberapa sudutnya. Perubahan *minor strain* juga terjadi peningkatan pada setiap tahapnya dan nilai tertinggi terdapat tahap keempat pada saat proses *drawing* menggunakan *dies* yang telah dimodifikasi. Nilai *minor strain* tahap kelima proses setelah *trimming* cenderung sama dengan tahap keempat berada pada material yang dipakai.

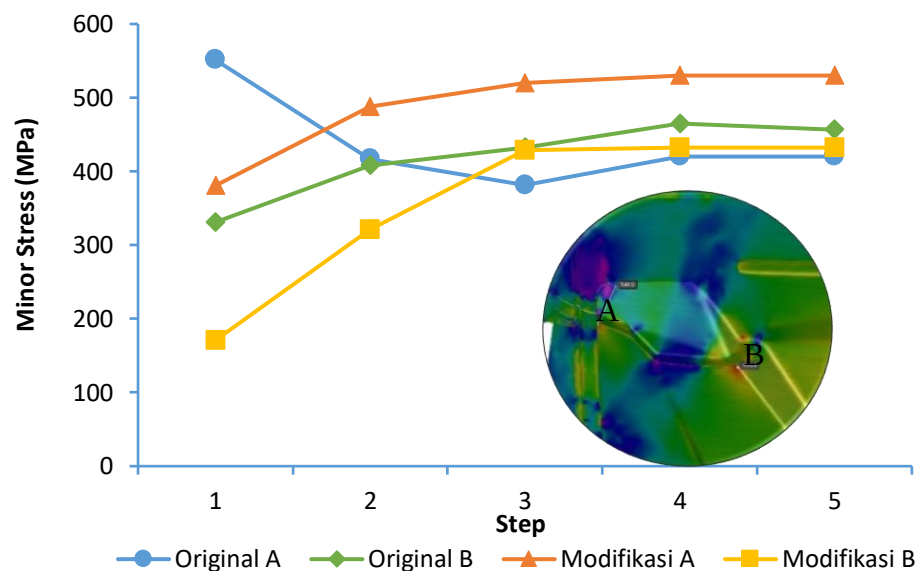


Gambar 13. Grafik *Major Strain* pada perubahan jarak *punch* dan *dies*.

Major strain drawing menggunakan *dies* original dan *dies* modifikasi ditunjukkan pada gambar 13. *Drawing* menggunakan *dies* original mengalami *major strain* yang lebih besar dibandingkan dengan *dies* modifikasi. Dimana *major strain* terbesar di daerah A terjadi pada step

ketiga sampai kelima yaitu 1.005 dan B pada akhir proses *drawing* (step keempat) yaitu 0.288. Sedangkan untuk *dies* modifikasi *major strain* terbesar pada step keempat pada kedua area yaitu A sebesar 0.333 dan B sebesar 0.131. Nilai *major strain* tahap kelima proses setelah *trimming* cenderung sama dengan tahap keempat karena berada pada material yang dipakai.

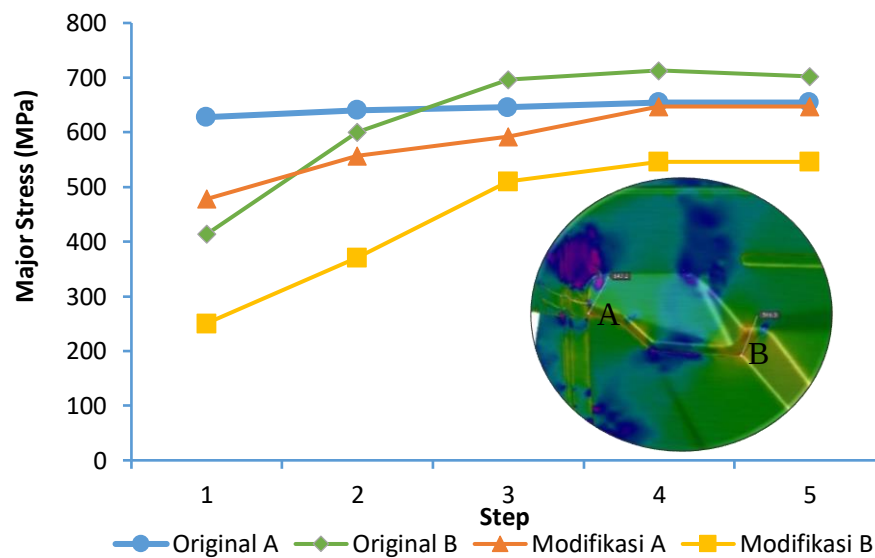
3.7.2 Analisis *Minor-Major Stress*



Gambar 14. Grafik *Minor stress* pada perubahan jarak *punch* dan *dies*.

Gambar 14 menunjukkan grafik *minor stress* pada material selama proses *drawing* menggunakan *dies* original dan *dies* modifikasi. *Minor stress* tertinggi dari proses *drawing* terjadi pada tahap pertama di area A untuk *drawing* menggunakan *dies* original dan tahap keempat untuk *dies* yang sudah dimodifikasi baik di area A maupun B. Penurunan di area A ditunjukkan oleh *drawing* yang menggunakan *dies* original dikarenakan pada tahap pertama material sudah memasuki area *excess thinning* (penipisan yang berlebihan). Tahap kedua dan berikutnya material sudah mengalami *cracking* (sobek), sehingga nilai *minor stress* cenderung

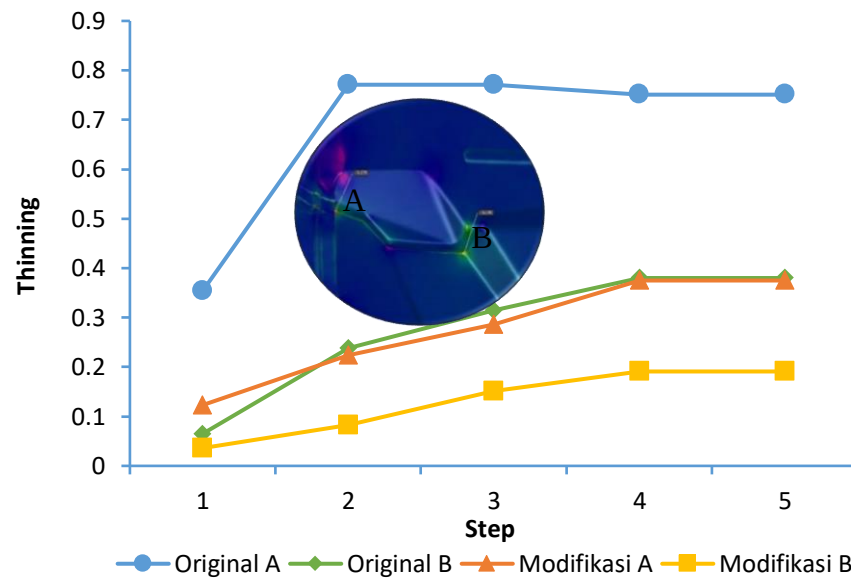
dibawah tahap pertama. Area B mengalami peningkatan *minor stress* mulai dari step pertama hingga keempat dan nilai terbesar pada tahap keempat. Nilai tertinggi *minor stress* proses *drawing* menggunakan *dies* original yaitu area A sebesar 551.3 MPa dan area B sebesar 464.9 MPa. Sedangkan nilai *minor stress* tertinggi menggunakan *dies* modifikasi yaitu area A sebesar 530 MPa dan area B sebesar 432.3 MPa. Nilai *minor stress* tahap kelima proses setelah *trimming* cenderung sama dengan nilai pada tahap keempat berada pada material yang dipakai.



Gambar 15. Grafik *Major stress* pada perubahan jarak *punch* dan *dies*.

Gambar 15 menunjukkan *major stress* terbesar proses *drawing* menggunakan *dies* original dan *dies* modifikasi di area A maupun B terjadi pada step keempat. Menggunakan *dies* original, *major stress* terbesar yaitu area A sebesar 654.5 MPa dan area B sebesar 713.3 MPa. Sedangkan menggunakan *dies* modifikasi yaitu area A sebesar 647.2 MPa dan area B sebesar 546 MPa. Nilai *major stress* tahap kelima proses setelah *trimming* cenderung sama dengan nilai pada tahap keempat karena berada pada material yang dipakai.

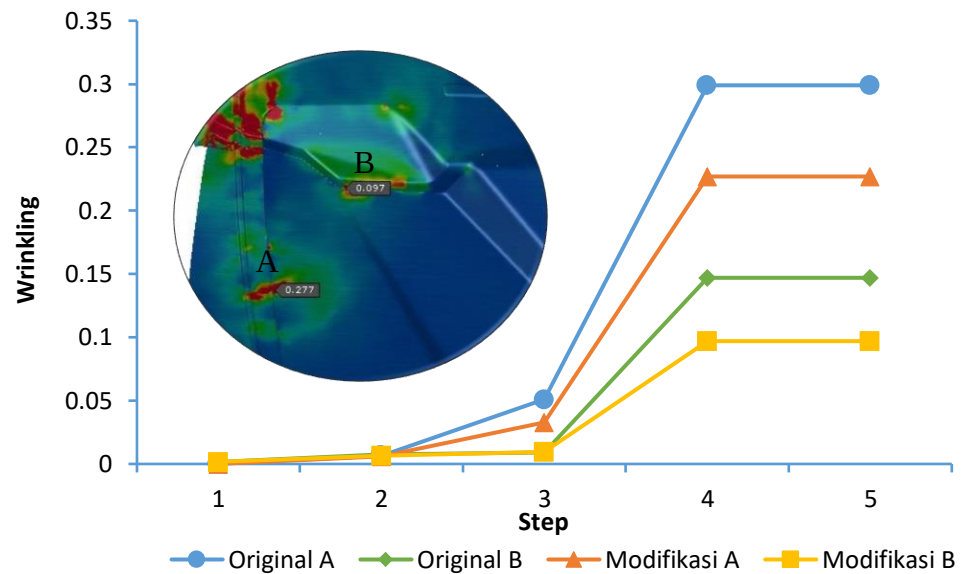
3.7.3 Analisis *Thinning*



Gambar 16. Grafik *Thinning* pada perubahan jarak *punch* dan *dies*.

Gambar 16 menunjukkan grafik *thinning* pada material selama proses *drawing* menggunakan *dies* original dan *dies* yang telah dimodifikasi. *Thinning* tertinggi di Area A dari proses *drawing* menggunakan *dies* original terjadi pada tahap kedua dan ketiga. Hal itu dikarenakan material sudah mengalami *cracking* (sobek). *Thinning* tertinggi di Area B terjadi pada tahap keempat. Sedangkan proses *drawing* menggunakan *dies* yang telah dimodifikasi *thinning* tertinggi pada tahap keempat. Nilai tertinggi *thinning* pada proses *drawing* dengan menggunakan *dies* original yaitu area A sebesar 0.771 dan area B sebesar 0.38. Nilai tertinggi *thinning* menggunakan *dies* yang sudah dimodifikasi yaitu area A sebesar 0.375 dan area B sebesar 0.191. Proses keempat dan kelima (*trimming*) memiliki nilai sama pada semua *dies* dan kedua area.

3.7.4 Analisis Wrinkling



Gambar 17. Grafik *Wrinkling* pada perubahan jarak *punch* dan *dies*.

Gambar 17 menunjukkan grafik *wrinkling* pada material selama proses *drawing* menggunakan *dies* original dan *dies* modifikasi. *Wrinkling* tertinggi dari kedua *dies* ditunjukkan pada tahap keempat di kedua area. Pada area A proses *drawing* menggunakan kedua *dies*, material mengalami pelipatan sehingga terjadi penebalan dan sobek. Nilai *wrinkling* tertinggi pada proses *drawing* dengan menggunakan *dies* original yaitu area A sebesar 0.299 dan area B sebesar 0.147. Nilai tertinggi *wrinkling* menggunakan *dies* dimodifikasi yaitu area A sebesar 0.227 dan area B sebesar 0.097. Setelah proses *trimming* nilai tertinggi tidak berubah karena pengamatan dilakukan pada area yang digunakan.

4. PENUTUP

Kesimpulan penelitian proses simulasi *stamping bottom outer hatch back* adalah sebagai berikut:

1. Perilaku *thinning* selama 5 tahap dalam simulasi *stamping bottom outer hatch back* dengan material SCGA menggunakan *dies* original didapat nilai

tertinggi pada tahap kedua dan ketiga pada area A yaitu 0.771, kemudian menurun karena material *blank* sudah mengalami *cracking*. Hal itu berkebalikan dengan area B yang meningkat dari tahap pertama hingga keempat dan nilai tertinggi pada tahap keempat yaitu 0.38. Sedangkan *thinning* dengan *dies* yang telah dimodifikasi mengalami peningkatan setiap tahapnya dan nilai tertinggi pada tahap keempat di kedua area yaitu area A sebesar 0.375 dan area B sebesar 0.191. Pada tahap kelima (*trimming*) nilai sama dengan tahap keempat.

2. Perilaku *wrinkling* selama 5 tahap dalam simulasi *stamping bottom outer hatch back* dengan material SCGA menggunakan *dies* original maupun setelah dilakukan modifikasi mengalami peningkatan pada setiap tahapnya. *Wrinkling* tertinggi dari kedua *dies* ditunjukkan pada tahap keempat di kedua area. Pada area A proses *drawing* menggunakan kedua *dies*, material mengalami pelipatan sehingga terjadi penebalan dan sobek. Nilai *wrinkling* tertinggi pada proses *drawing* dengan menggunakan *dies* original yaitu area A sebesar 0.299 dan area B sebesar 0.147. Nilai tertinggi *wrinkling* menggunakan *dies* modifikasi yaitu area A sebesar 0.227 dan area B sebesar 0.097. Setelah proses *trimming* nilai tertinggi tidak berubah karena pengamatan dilakukan pada area yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H.-M. Huang, S.-D. Liu, and S. Jiang, "Stress and Strain Histories of Multiple Bending-Unbending Springback Process," *J. Eng. Mater. Technol. Asme - J Eng Mater Technol*, vol. 123, 2001.
- [2] A. R. Joshi, K. D. Kothari, and R. L. Jhala, "Effects Of Different Parameters On Deep Drawing Process: Review," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 2, no. 3, 2013.
- [3] L. Chen, "Finite Element Simulation of Springback in Sheet Metal Forming," in *Intelligent Structure and Vibration Control*, 2011, vol. 50, pp. 615–618.
- [4] M. A. Farsi and B. Arezoo, "Bending force and spring-back in V-die-bending

- of perforated sheet-metal components,” *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 33, no. 1, pp. 45–51, 2011.
- [5] H. Zein, M. El Sherbiny, M. Abd-Rabou, and M. El shazly, “Thinning and spring back prediction of sheet metal in the deep drawing process,” *Mater. Des.*, vol. 53, pp. 797–808, 2014.
 - [6] A. D. Anggono and T. W. B. Riyadi, “Finite element simulation of the drawability of tailor-welded blank,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 660, pp. 3–7, 2014.
 - [7] A. K. Choubey, G. Agnihotri, C. Sasikumar, and M. Singh, “Analysis of Die Angle in Deep Drawing Process Using FEM,” *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, Part A, pp. 2511–2515, 2017.
 - [8] J. Song, H. Huh, and S. Kim, “A simulation-based design parameter study in the stamping process of an automotive member,” vol. 189, pp. 450–458, 2007.
 - [9] R. Mohd Amman, M. F. Halim, D. Sivakumar, I. Abu-Shah, S. N. Sulaiman, and H. Samekto, “Study of thinning effect from deep drawing process on crash analysis,” *Proceeding Mech. Eng. Res. Day 2016*, no. March, pp. 37–38, 2016.
 - [10] J. B. Kim, J. W. Yoon, and D. Y. Yang, “Investigation into the wrinkling behaviour of thin sheets in the cylindrical cup deep drawing process using bifurcation theory,” *Int. J. Numer. Methods Eng.*, vol. 56, no. 12, pp. 1673–1705, 2003.
 - [11] A. I. O. Zaid and F. A. Hashim, “Effect of Punch and Die Profile Radii on Deep Drawing of Galvanized Steel,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 1209–1213, 2017.
 - [12] W. A. Siswanto, A. D. Anggono, B. Omar, and K. Jusoff, “An alternate method to springback compensation for sheet metal forming,” *Sci. World J.*, vol. 2014, 2014.
 - [13] S. K. Patel, R. K. Lal, J. P. Dwivedi, and V. P. Singh, “Springback analysis in sheet metal forming using modified ludwik stress-strain relation,” *ISRN Mech. Eng.*, vol. 2013, 2013.

- [14] P. Dudhat, S. Bagasariya, A. Khun, A. Koladiya, and J. Hirpara, "Study of Deep Drawing Process – A Review," *Int. J. Innov. Res. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 08, pp. 103–106, 2017.
- [15] A. D. Anggono, W. A. Sharif, A. Trianto, and M. Y. Darmawan, "Influence of lubrication and blank holder force in dome wrinkling defect on cup drawing process," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 16, pp. 9985–9991, 2016.
- [16] D. Banabic, *Sheet Metal Forming Processes. Metal Forming. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-88113-1.* 2010.
- [17] R. K. Lal, V. K. Choubey, J. P. Dwivedi, and S. Kumar, "Study of factors affecting Springback in Sheet Metal Forming and Deep Drawing Process," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 4353–4358, 2018.
- [18] A. S. Darmawan, A. D. Anggono, and A. Hamid, "Die design optimization on sheet metal forming with considering the phenomenon of springback to improve product quality," *MATEC Web Conf.*, vol. 154, pp. 2–5, 2018.
- [19] G. Brabie, E. M. Costache, N. Nanu, and B. Chirita, "Prediction and minimisation of sheet thickness variation during deep drawing of micro/milli parts," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 68, pp. 277–290, 2013.
- [20] S. Candra, I. M. L. Batan, W. Berata, and A. S. Pramono, "Analytical study and FEM simulation of the maximum varying blank holder force to prevent cracking on cylindrical cup deep drawing," *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 548–553, 2015.
- [21] J. Pilthammar, M. Sigvant, and S. Kao-Walter, "Introduction of elastic die deformations in sheet metal forming simulations," *Int. J. Solids Struct.*, vol. 151, pp. 76–90, 2018.
- [22] R. Dwivedi and G. Agnihotri, "Study of Deep Drawing Process Parameters," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 820–826, 2017.
- [23] Rohmmadi, Supriyono, and A. D. Anggono, "Desain dan Analisis Statis Dies Outer Rear Door Mobil Esemka Rajawali 2 Dengan Menggunakan Software

CATIA V5,” *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, 2017.

- [24] C. D. Schwindt, M. Stout, L. Iurman, and J. W. Signorelli, “Forming Limit Curve Determination of a DP-780 Steel Sheet,” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 8, pp. 978–985, 2015.
- [25] V. Boljanovic, *Sheet metal forming and Die design*. 2004.
- [26] A. Grab, “Structural Bonding of Lightweight Cars,” p. 12, 2015.
- [27] Z. Deng and R. Hennig, “Influence of material modeling on simulation accuracy of aluminum stampings,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 896, no. 1, 2017.