

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Optimasi Parameter

Setelah melakukan variasi parameter, maka selanjutnya adalah langkah optimasi parameter. Variabel dimasukkan dan urutan optimasi dilakukan sesuai dengan langkah yang telah ditentukan pada Tabel III.14, berikut hasil yang didapat dari langkah tersebut.

IV.1.1 Optimasi Gaya

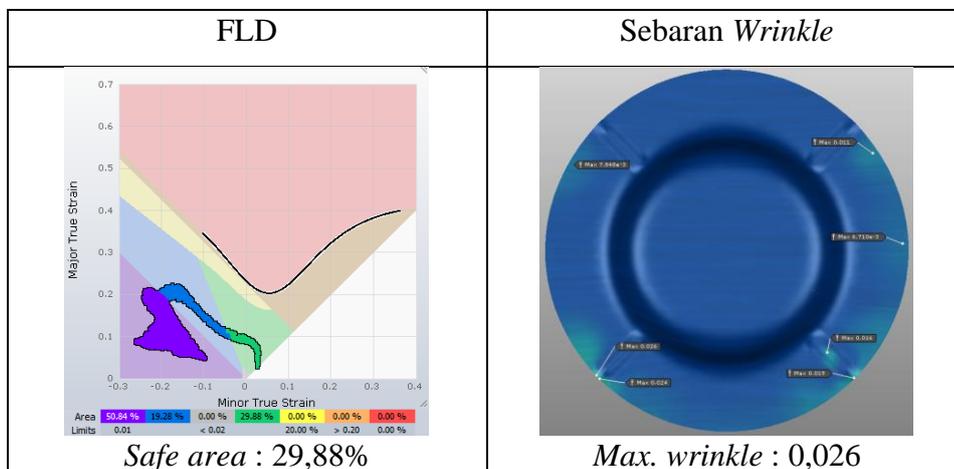
Pada hasil produk *existing*, dapat dilihat bahwa tinggi produk tidak terbentuk hingga kedalaman yang seharusnya. Luaran dari langkah ini adalah gaya optimal yang diberikan dari variabel terikat. Maka dilakukan optimasi gaya yang diatur oleh AutoForm secara mandiri, berikut hasil dari langkah tersebut.

Tabel IV.1 Variabel Hasil Optimasi Gaya

Variabel Bebas	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Draft</i>: 3° • Radius <i>die</i>: 5 mm • Tebal material: 1,5 mm • Jenis material: AA5754-O • <i>Clearance</i>: 1,6 mm • Diameter <i>blank</i>: 112 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • Gaya pembentukan: 77,2 kN • Gaya <i>Blank Holder</i>: 5,7 kN

Adapun hasil produk setelah proses optimasi gaya adalah sebagai berikut.

Tabel IV.2 Visual Hasil Optimasi Gaya



Berdasarkan langkah optimasi gaya, terdapat perbedaan dari gaya yang sebelumnya dimasukkan. Dibandingkan dengan data *existing* pada Tabel III.2, gaya pembentukan berubah dari 65,18 kN menjadi 77,2 kN dan gaya *Blank Holder* berubah dari 2,8 kN menjadi 5,7 kN. Kemudian dibandingkan hasil produk *existing* pada Tabel III.4 dengan hasil proses ini, produk mengalami penurunan *safe area* dari 31,28% menjadi 29,88%. Namun terdapat perubahan yang signifikan pada area *wrinkle* yang dihasilkan. Dapat dibandingkan dengan *wrinkle* produk *existing* pada Gambar III.14, area *wrinkle* menjadi lebih sedikit setelah proses optimasi gaya.

IV.1.2 Optimasi Arah *Rolling*

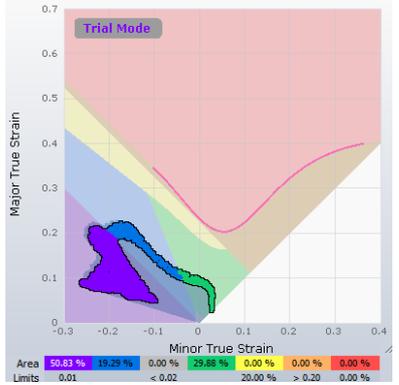
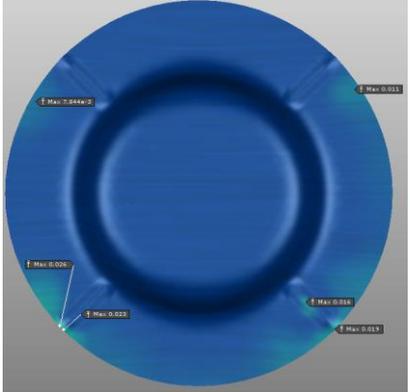
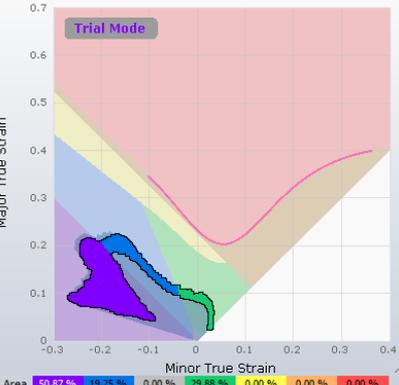
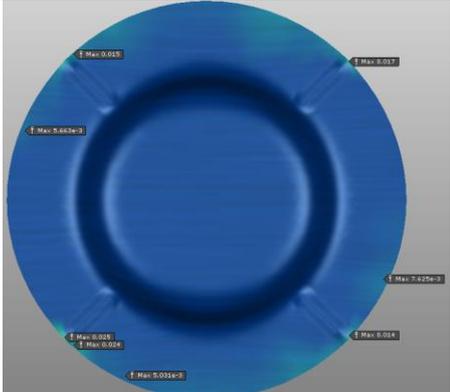
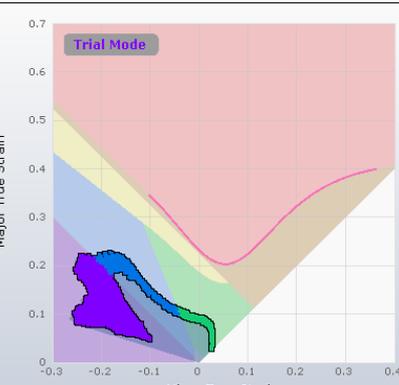
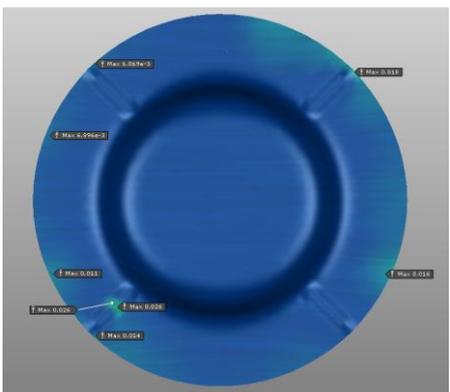
Kemudian dilakukan optimasi dari arah material menggunakan variabel yang telah didapatkan pada tabel langkah optimasi gaya dengan nilai sebagai berikut.

Tabel IV.3 Variabel Hasil Optimasi Arah *Rolling*

Variabel Bebas	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Draft</i>: 3° • Radius <i>die</i>: 5 mm • Tebal material: 1,5 mm • Jenis material: AA5754-O • <i>Clearance</i>: 1,6 mm • Diameter <i>blank</i>: 112 mm • Gaya pembentukan: 77,2 kN • Gaya <i>Blank Holder</i>: 5,7 kN 	<p>Arah <i>Rolling</i>: 180°</p>

Kemudian optimasi dilakukan dengan *absolute range*, sehingga fitur sigma (σ) pada AutoForm dapat digunakan. *Range* diatur dari 0° hingga 360° dengan hasil sebagai berikut.

Tabel IV.4 Hasil Langkah Optimasi Arah Rolling

Arah Rolling	Hasil	
	FLD	Sebaran Wrinkle
180°	 <p>Safe area: 29,88%</p>	 <p>Max. wrinkle: 0,026</p>
90°	 <p>Safe area: 29,88%</p>	 <p>Max. wrinkle: 0,026</p>
45°	 <p>Safe area: 29,88%</p>	 <p>Max. wrinkle: 0,026</p>

Berdasarkan simulasi dengan tiga arah *rolling*, semua *safe area* dan area *wrinkle* memiliki nilai yang sama. Namun walau tidak signifikan, terdapat perbedaan pada area *thickening* yang ditandai warna ungu pada FLD dengan nilai seperti ditunjukkan pada Tabel IV.5 berikut.

Tabel IV.5 Nilai *Thickening* Langkah Optimasi Arah *Rolling*

Arah Material	<i>Thickening</i>
180°	50,83%
90°	50,87%
45°	50,96%

Dalam proses optimasi arah *rolling*, arah 180° dipilih karena menunjukkan persentase *thickening* yang paling rendah sebesar 50,83%.

IV.1.3 Optimasi Pelumasan

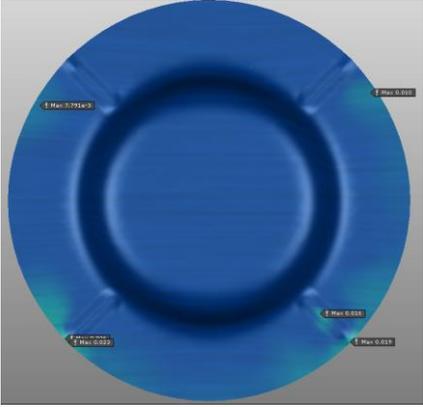
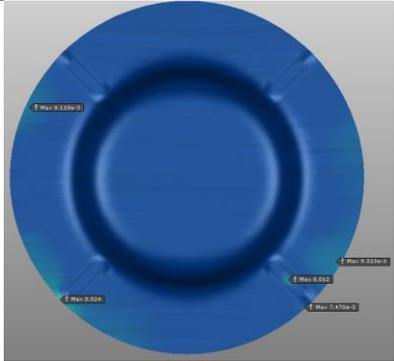
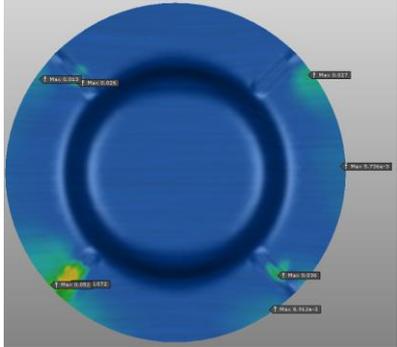
Setelah melakukan optimasi arah *rolling*, variabel pada langkah tersebut kemudian dimasukkan untuk melakukan optimasi pelumasan. Pada langkah ini, setiap pelumas memiliki koefisien gesek masing – masing seperti yang telah disebutkan pada Tabel III.7. Adapun variabel hasil dari langkah ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel IV.6 Variabel Hasil Optimasi Pelumasan

Variabel Bebas	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Draft</i>: 3° • Radius <i>die</i>: 5 mm • Tebal material: 1,5 mm • Jenis material: AA5754-O • <i>Clearance</i>: 1,6 mm • Diameter <i>blank</i>: 112 mm • Gaya pembentukan: 80,2 kN • Gaya <i>Blank Holder</i>: 5,7 kN • Arah <i>rolling</i>: 180° 	<ul style="list-style-type: none"> • Pelumas: <i>Blank Wash</i> • Koefisien Gesek: 0,2

Kemudian ditinjau dari kondisi lain yang mengalami perubahan karena penggunaan pelumas dan koefisien gesek dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel IV.7 Hasil Langkah Optimasi Pelumasan

Pelumas	Hasil	
<i>Mill Oil</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Koefisien gesek: 0,15 • Gaya pembentukan: 77,2 kN • BHF: 5,7 kN • <i>Safe area</i>: 29,88% 	 <p><i>Max. wrinkle</i>: 0,026</p>
<i>Blank Wash</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Koefisien gesek: 0,2 • Gaya pembentukan: 80,2 kN • BHF: 5,7 kN • <i>Safe area</i>: 30,19% 	 <p><i>Max. wrinkle</i>: 0,024</p>
<i>PreLube</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Koefisien gesek: 0,1 • Gaya pembentukan: 76,3 kN • BHF: 5,7 kN • <i>Safe area</i>: 29,43% 	 <p><i>Max. wrinkle</i>: 0,072</p>

Pelumasan mempengaruhi koefisien gesek, dan semakin besar koefisien gesek, semakin besar gaya yang dihasilkan. Hal ini juga menyebabkan perubahan pada *safe region* dan *wrinkle* yang signifikan pada pelumas yang memberikan koefisien

gesek paling besar. Untuk langkah selanjutnya, diambil pelumas *blank wash* dengan koefisien gesek 0,2 yang meningkatkan *safe area* dari produk sebesar 30,19%.

IV.1.4 Optimasi Radius Die

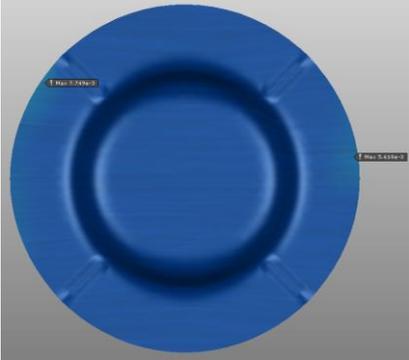
Setelah optimasi pelumasan, dilakukan optimasi radius *die* dengan nilai radius *existing* pada Tabel III.2 dan nilai radius die yang telah didapatkan pada tabel Tabel III. 8 dan Tabel III.10. Kemudian dimasukkan variabel yang telah didapatkan pada langkah sebelumnya, berikut merupakan variabel hasil dari langkah optimasi radius *die*.

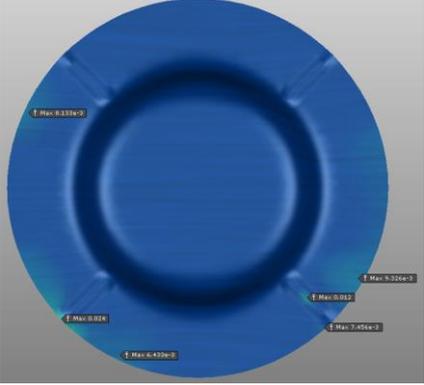
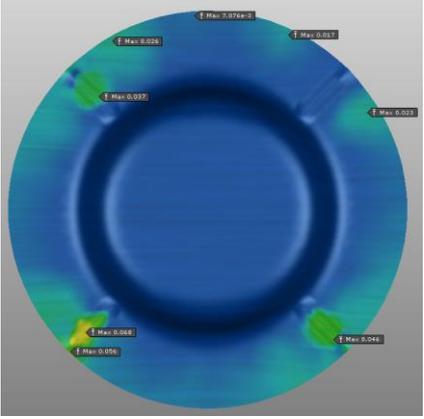
Tabel IV.8 Variabel Hasil Langkah Optimasi Radius Die

Variabel Bebas	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Draft</i>: 3° • Tebal material: 1,5 mm • Jenis material: AA5754-O • <i>Clearance</i>: 1,6 mm • Diameter <i>blank</i>: 112 mm • Arah <i>rolling</i>: 180° • Pelumas: <i>Blank Wash</i> • Koefisien Gesek: 0,2 	<ul style="list-style-type: none"> • Radius <i>Die</i>: 4 mm

Kemudian, ditinjau dari gaya pembentukan dan BHF yang mengalami perubahan karena perbedaan pada nilai radius *die* dapat dilihat pada Tabel IV.9 berikut.

Tabel IV.9 Hasil Langkah Optimasi Radius Die

Radius Die	Hasil	
4 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Gaya pembentukan: 80,1 kN • BHF: 5,8 kN • <i>Safe area</i>: 30,18% 	 <p style="text-align: center;"><i>Max. wrinkle: 0,00749</i></p>

5 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Gaya Pembentukan: 79,9 kN • BHF: 5,7 kN • <i>Safe area</i>: 30,19% 	 <p style="text-align: center;"><i>Max. wrinkle</i>: 0,024</p>
8,71 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Gaya Pembentukan: 82,8 kN • BHF: 5,6 kN • <i>Safe area</i>: 30,21% 	 <p style="text-align: center;"><i>Max. wrinkle</i>: 0,068</p>

Dalam langkah optimasi radius *die*, produk dengan radius *die* 8,71 mm menghasilkan *safe area* tertinggi (30,21%), namun memiliki sebaran *wrinkle* yang paling banyak. Maka diambil radius *die* 4 mm karena menghasilkan *wrinkle* yang paling rendah (0,00749) dan *safe area* yang lebih tinggi daripada produk dengan radius *die* 5 mm.

IV.1.5 Optimasi *Clearance*

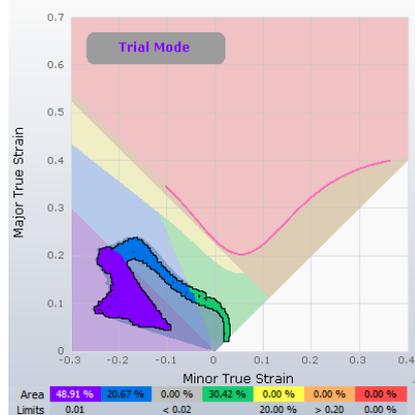
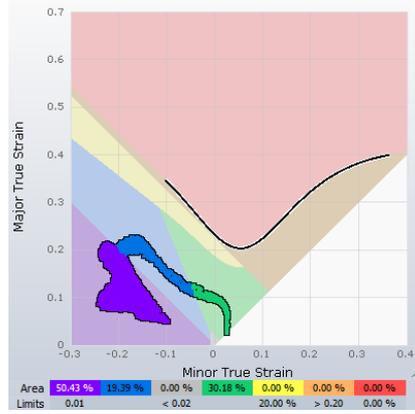
Optimasi *clearance* dilakukan dengan menggunakan fitur sigma. *Range* yang dimasukkan adalah *range* absolut sebesar 1,58 mm hingga 1,6 mm. Variabel hasil pada langkah sebelumnya dimasukkan untuk langkah optimasi *clearance*, dapat dilihat pada Tabel IV.10.

Tabel IV.10 Variabel Hasil Langkah Optimasi *Clearance*

Variabel Bebas	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Draft</i>: 3° • Tebal material: 1,5 mm • Jenis material: AA5754-O • Diameter <i>blank</i>: 112 mm • Arah <i>rolling</i>: 180° • Pelumas: <i>Blank Wash</i> • Koefisien Gesek: 0,2 • Radius <i>Die</i>: 4 mm 	<p><i>Clearance</i>: 1,58 mm</p>

Hasil optimasi *clearance* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel IV.11 Hasil Langkah Optimasi *Clearance*

<i>Clearance</i>	Hasil	
	FLD	Perubahan Gaya
1,58 mm	 <p>Safe area: 30,42%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gaya pembentukan: 80,5 kN • BHF: 5,8 kN
1,6 mm	 <p>Safe area: 30,18%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gaya pembentukan: 80,1 kN • BHF: 5,8 kN

Pada tahap ini, *clearance* tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap *wrinkle*. Kedua nilai *clearance* tidak mengakibatkan *wrinkle*. Selain itu, nilai *clearance* mempengaruhi *safe area* yang dihasilkan. Maka untuk langkah selanjutnya diambil *clearance* sebesar 1,58 mm dengan nilai *safe area* terbesar (30,42%).

IV.1.6 Kecepatan Penekanan dan Tebal Material

Menggunakan variabel yang telah didapatkan pada langkah sebelumnya, maka langkah selanjutnya dapat dilakukan. Berikut hasil variabel optimasi kecepatan penekanan dan tebal material.

Tabel IV.12 Variabel Hasil Langkah Kecepatan Penekanan dan Tebal Material

Variabel Bebas	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Draft</i>: 3° • Jenis Material: AA5754-O • Diameter <i>Blank</i>: 112 mm • Arah <i>Rolling</i>: 180° • Pelumasan: <i>Blank Wash</i> • Koefisien Gesek: 0,2 	<ul style="list-style-type: none"> • Tebal: 2 mm • Kecepatan penekanan: 685,5 mm • Radius <i>die</i>: 4 mm • <i>Clearance</i>: 2,1 mm

Ditentukan tebal material dengan fitur sigma menggunakan *range* dari 1 mm hingga 2 mm. Namun perubahan tebal dapat berpengaruh terhadap radius *die* dan *clearance*, maka dilakukan fitur sigma pada kedua parameter untuk menyesuaikan parameter tebal.

Untuk kecepatan penekanan, diatur nilai maksimal sesuai dengan jenis material yaitu 762 mm/s dan nilai minimal diambil dari nilai yang disarankan oleh AutoForm, yaitu sebesar 10% dari nilai maksimal atau sebesar 685,5 mm/s . Berikut disajikan Tabel IV.13 untuk hasil dari langkah tersebut.

Tabel IV.13 Hasil Langkah Optimasi Kecepatan Penekanan dan Tebal Material

Tebal (mm)	<i>Clearance</i> (mm)	Radius <i>Die</i> (mm)	Kec.Penekanan (mm/s)	<i>Safe Area</i> (%)	<i>Max. Wrinkle</i> (mm)
1	1,6	3	685,5	30,2	0,156
			782	30,2	0,156

1	1,6	6,37	685,5	30,2	0,162
			782	30,2	0,162
1,5	1,58	4	685,5	30,18	0
			782	30,18	0
2	2.03	4	685,5	30,89	0
			782	30,89	0
		8	685,5	30,93	0,00458
			782	30,93	0,00458

Dari hasil simulasi, kecepatan penekanan tidak memiliki pengaruh pada parameter apapun. Maka pada langkah optimasi selanjutnya, variabel ini tidak lagi digunakan. Pada langkah optimasi ini, ditemukan bahwa tebal material 2 mm dengan radius *die* 8 mm memiliki *safe area* tertinggi dibandingkan dengan tebal 1 mm dan 1,5 mm, dengan *safe area* yang dapat dicapai hingga 30,93%. Pada aspek *wrinkle*, material 2 mm dengan radius 4 mm tidak mengalami *wrinkle*, sementara radius 8 mm menghasilkan *wrinkle*. Oleh karena itu, tebal material 2 mm dengan radius *die* 4 mm dipilih karena perbedaan hasil *safe area* yang tidak signifikan pada kedua radius tersebut.

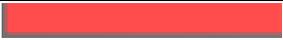
IV.1.7 Jenis Material

Pada langkah ini, perubahan jenis material dari AA5754-O ke Stainless Steel 1.4301 akan berpengaruh pada nilai *clearance*. Nilai *clearance* dimasukkan berdasarkan yang telah dihitung pada Tabel III.12. Nilai tersebut dimasukkan kemudian disimulasikan pada AutoForm. Adapun berikut disajikan Tabel IV.14 yang menunjukkan variabel hasil dari langkah optimasi jenis material. Dengan hasil yang diperoleh pada Tabel IV.15.

Tabel IV.14 Variabel Hasil Langkah Optimasi Jenis Material.

Variabel Bebas	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Draft</i>: 3° • Diameter <i>Blank</i>: 112 mm • Arah <i>Rolling</i>: 180° • Pelumas: <i>Blank Wash</i> • Koefisien Gesek: 0,2 	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis Material: Stainless Steel 1.4301 • <i>Clearance</i>: 2,1 mm

Tabel IV.15 Hasil Simulasi perubahan Jenis Material

Warna	Kondisi Material	AA5754-O	SS 1.4301
	<i>Thickening</i>	50,25%	49,86%
	<i>Compress</i>	18,86%	17,25%
	<i>Insuff Stretch</i>	0,00%	0,00%
	<i>Safe</i>	30.89	32,90%
	<i>Risk of Splits</i>	0,00%	0,00%
	<i>Excess Thinning</i>	0,00%	0,00%
	<i>Splits</i>	0,00%	0,00%

IV.1.8 Konstruksi *Drawbead*

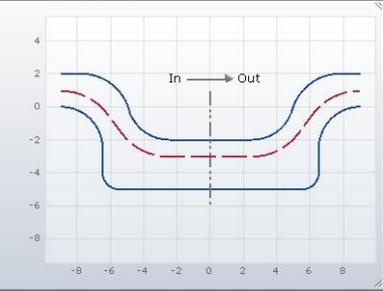
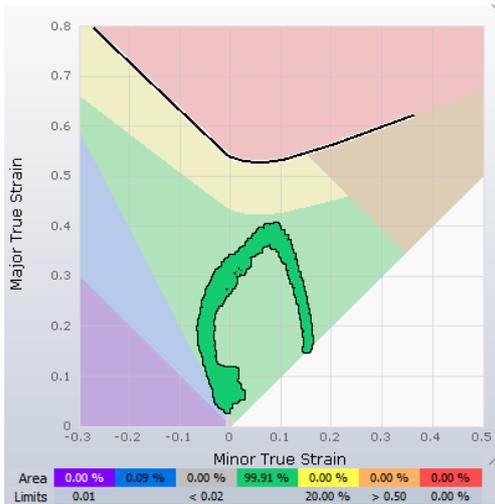
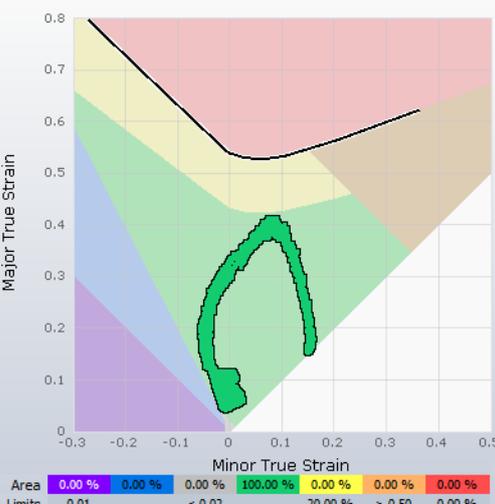
Selanjutnya, untuk mencapai kondisi material yang lebih baik, pada konstruksi *tool* diberi *drawbead*. Adapun variabel yang digunakan adalah variabel yang telah didapatkan pada langkah sebelumnya. Penambahan konstruksi *drawbead* akan berpengaruh pada diameter *blank*, maka dilakukan optimasi diameter *blank* dengan fitur sigma (σ) untuk menemukan ukuran minimal diameter *blank*. Selain itu, adanya konstruksi *drawbead* akan menambah proses *trimming* pada pengerjaan produk. Berikut variabel hasil dari langkah ini.

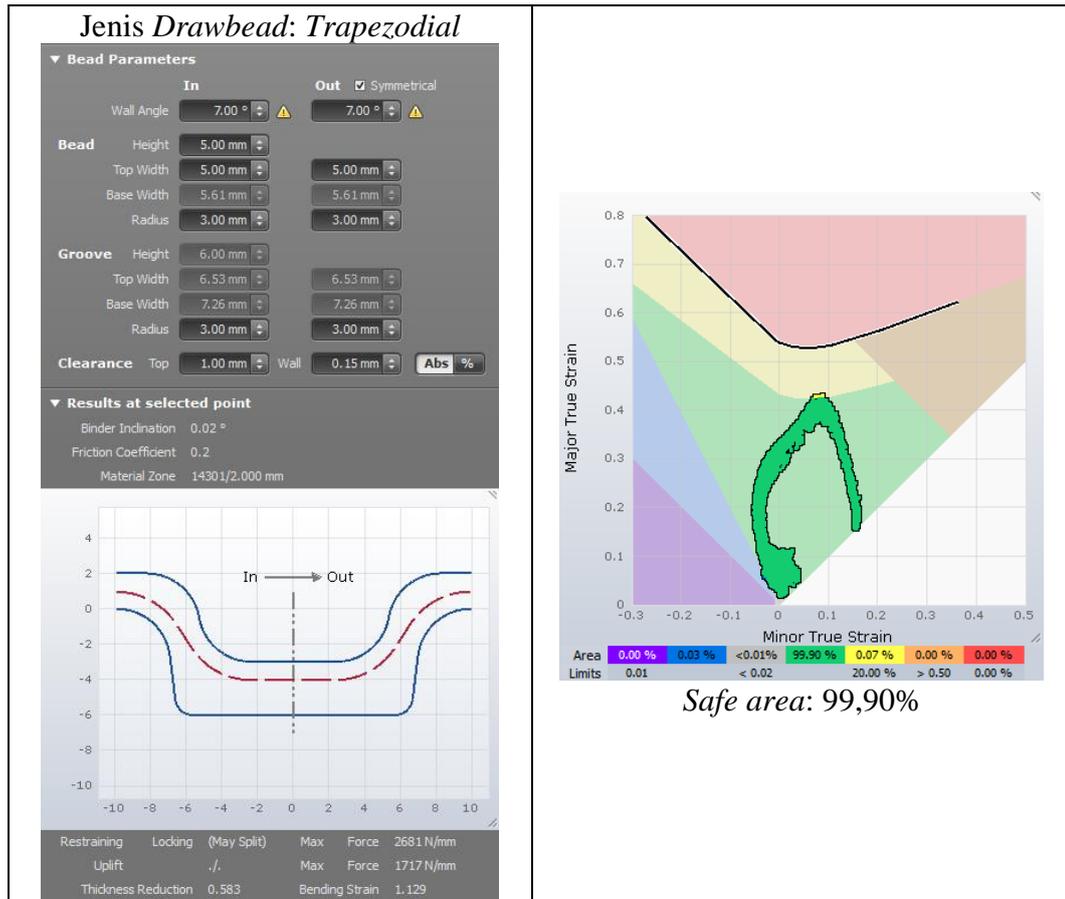
Tabel IV.16 Variabel Hasil Langkah Penambahan Konstruksi *Drawbead*

Variabel Bebas	Variabel Terikat
<ul style="list-style-type: none"> • Tebal: 2 mm • Jenis Material: Stainless Steel 1.4301 • Arah <i>Rolling</i>: 180° • Pelumas: <i>Blank Wash</i> • Koefisien Gesek: 0,2 • Radius <i>Die</i>: 4 mm • <i>Clearance</i>: 2,1 mm • Proses pembuatan: <i>Drawing - Trimming</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Diameter <i>blank</i>: 132 mm • Konstruksi <i>Drawbead</i>: <i>Round</i>

Dimasukkan 3 jenis konstruksi *drawbead* yang disediakan AutoForm, yaitu *rectangular*, *round*, dan *trapezoidal* dengan parameter dan hasil pada tabel berikut.

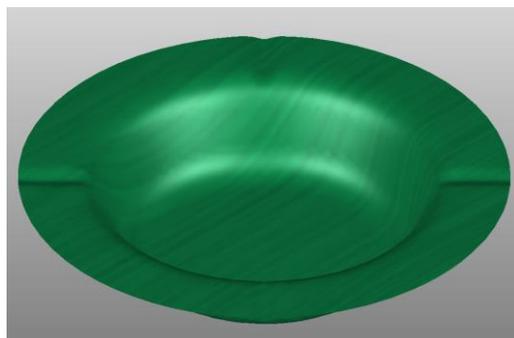
Tabel IV.17 Hasil Langkah Penambahan Konstruksi *Drawbead*

Drawbead	Hasil
<p style="text-align: center;">Jenis Drawbead: Rectangular</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>▼ Bead Parameters</p> <p>Wall Angle In: 0.00° Out: 0.00° Symmetrical</p> <p>Bead Height: 4.00 mm Top Width: 5.00 mm Base Width: 5.00 mm Radius: 2.50 mm</p> <p>Groove Height: 5.00 mm Top Width: 6.49 mm Base Width: 6.49 mm Radius: 2.50 mm</p> <p>Clearance Top: 1.00 mm Wall: 0.15 mm Abs %</p> <p>▼ Results at selected point Binder Inclination: 0.02° Friction Coefficient: 0.2 Material Zone: 14301/2.000 mm</p>  <p>Restraining: Locking (May Split) Max Force: 2681 N/mm Uplift: ./ Max Force: 1717 N/mm Thickness Reduction: 0.583 Bending Strain: 1.129</p> </div>	 <p style="text-align: center;">Safe area: 99,91%</p>
<p style="text-align: center;">Jenis Drawbead: Round</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>▼ Bead Parameters</p> <p>Wall Angle In: 0.00° Out: 0.00° Symmetrical</p> <p>Bead Height: 5.00 mm Top Width: 5.00 mm Base Width: 5.00 mm Radius: 5.00 mm</p> <p>Groove Height: 6.00 mm Top Width: 5.77 mm Base Width: 5.77 mm Radius: 3.00 mm</p> <p>Clearance Top: 1.00 mm Wall: 0.10 mm Abs %</p> <p>▼ Results at selected point Binder Inclination: 0.02° Friction Coefficient: 0.2 Material Zone: 14301/2.000 mm</p>  <p>Restraining: Factor: 1.013 Force: 1358 N/mm Uplift: Factor: 0.920 Force: 1233 N/mm Thickness Reduction: 0.327 Bending Strain: 1.034</p> </div>	 <p style="text-align: center;">Safe area: 100%</p>

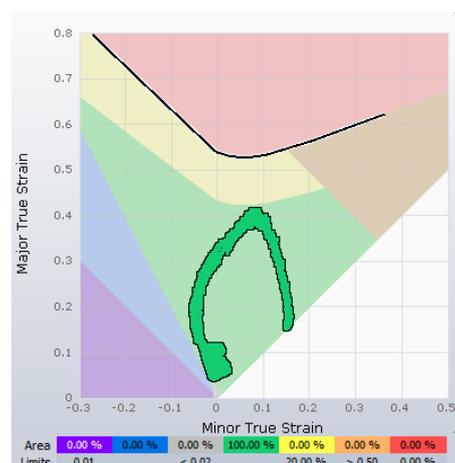


IV.2 Hasil Optimasi

Setelah proses optimasi dilakukan, maka didapat hasil optimasi dari parameter tool dan parameter produk. Kondisi produk hasil optimasi dapat dilihat pada Gambar IV.1 berikut.



(a)

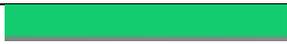


(b)

Gambar IV.1 Hasil Optimasi (a) Kondisi Produk. (b) FLD Produk

Berdasarkan hasil pada Gambar IV.1, didapatkan bahwa selama proses pembentukan produk, tidak ditemukan area yang mengalami sobekan. Didapatkan *safe area* sebesar 100%, dan dengan demikian proses pembentukan produk berlangsung aman. Dibandingkan dengan produk *existing*, optimasi ini juga berhasil untuk mengurangi bagian *thicken* pada bagian kuping/*flange* dan *compress* pada bagian dinding produk. Adapun berikut Tabel IV.18 yang merupakan persentase kondisi produk hasil optimasi dibandingkan dengan hasil produk *existing*.

Tabel IV.18 Perbandingan Kondisi Material *Existing* dan Optimasi.

Warna	Kondisi Material	<i>Existing</i>	Optimasi
	<i>Thickening</i>	49,03%	0,00%
	<i>Compress</i>	19,68%	0,00%
	<i>Insuff Stretch</i>	0%	0,00%
	<i>Safe</i>	31,28%	100%
	<i>Risk of Splits</i>	0%	0,00%
	<i>Excess Thinning</i>	0%	0,00%
	<i>Splits</i>	0%	0,00%

Dari hasil simulasi dan analisis, telah dilakukan optimasi pada parameter *tool* dan produk yang dapat menjadi solusi untuk meminimalisir kegagalan tersebut. Parameter terpilih dapat dilihat pada Tabel IV.19 dan Tabel IV.20.

Dibandingkan dengan parameter produk *existing*, terdapat penambahan *draft* sebesar 3° pada produk. Berikut tabel parameter produk terpilih.

Tabel IV.19 Parameter Produk Terpilih

Parameter Produk	<i>Existing</i>	Optimasi
Material	AA5754-O	Stainless Steel 1.4031
Rm	227,2 MPa	723,27 MPa
<i>Draft</i>	-	3°
Tebal produk	1,5 mm	2 mm
Diameter <i>blank</i>	112 mm	136 mm

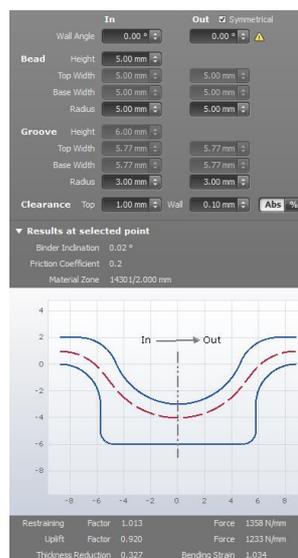
IV.2.1 Parameter *Tool* Terpilih

Tabel IV.20. menunjukkan perbandingan antara *tool existing* dan *tool* hasil optimasi, yang menunjukkan perbedaan dan peningkatan yang dicapai setelah proses optimasi.

Tabel IV.20 Perbandingan Parameter *Tool* Terpilih

Parameter <i>Tool</i>	<i>Existing</i>	Optimasi
Gaya pembentukan	65,18 kN	372 kN
Gaya <i>Blank Holder</i>	2,78 kN	353 kN
Arah <i>rolling</i>	-	180°
Koefisien gesek	-	0,2
Pelumas	-	Ya (<i>Mill Oil</i>)
Radius <i>die</i> (mm)	5 mm	4 mm
<i>Clearance</i> (mm)	1,6 mm	2,1 mm
Konstruksi <i>drawbead</i>	Tidak	Ya
Proses	<i>Drawing</i>	<i>Drawing – Trimming</i>
<i>Scrap</i>	Tidak	Ya

Pada hasil optimasi *tool*, terdapat konstruksi *drawbead*, maka diperlukan proses *trimming* pada pembuatan produk. Penambahan proses tersebut akan menghasilkan *scrap* atau material sisa. Adapun jenis *drawbead* yang digunakan adalah *round* dengan konstruksi sebagai berikut. Dimensi *drawbead* terpilih lebih jelas dicantumkan pada lampiran.



Gambar IV.2 Konstruksi *Drawbead* Terpilih

IV.3 Penyebab Kecacatan pada Produk Asbak dengan Kuping Berbentuk Alur

Setelah melakukan simulasi dan analisis melalui *software* AutoForm, didapatkan geometri produk dan parameter tool yang optimal. Dari simulasi dan analisis tersebut, dapat diketahui penyebab kecacatan yang terjadi dengan penjelasan sebagai berikut.

IV.3.1 Penyebab Kecacatan berdasarkan Hasil Pengamatan Peneliti Terdahulu

Peneliti terdahulu telah melakukan pengamatan selama proses pembentukan. Hasil pengamatan dinyatakan bahwa penyebab lipatan atau lengkungan yang tidak teratur pada alur kuping asbak adalah tidak adanya kontak antara permukaan die dan *blank* tertentu pada bagian alur selama proses penekanan. Akibatnya, gaya yang diberikan oleh *blank holder* tidak merata saat *blank* ditarik ke dalam rongga *die* [18].

IV.3.2 Penyebab Kecacatan berdasarkan Hasil Analisis

Hasil analisis dan simulasi menggunakan *Finite Element* yang dilakukan pada *software* AutoForm dapat mengidentifikasi penyebab kecacatan pada produk Asbak dengan Kuping Berbentuk Alur, sebagai berikut:

1. *Blank Holder Force* terlalu kecil: Saat *blank* ditarik ke dalam rongga *die*, gaya *blank holder* tidak merata.
2. Diameter *blank* terlalu kecil: *blank* yang tidak cukup lebar tidak dapat menahan gaya yang diberikan oleh *blank holder*. Selain itu, jika terdapat konstruksi *drawbead* maka diameter *blank* harus lebih lebar daripada posisi *drawbead*.
3. Tidak adanya konstruksi *drawbead*: *drawbead* memberikan *restraining force* yang berperan untuk menahan aliran material. *Restraining force* yang dihasilkan *drawbead* berfungsi untuk mempertahankan kualitas dari lembaran material ketika proses pembentukan.
4. Material AA5754-O memiliki *yield strength* yang lebih kecil daripada daripada material Stainless Steel 1.4301. Peningkatan beban yang melebihi *yield strength* akan mengakibatkan deformasi plastis pada material. Material dengan *yield strength* yang lebih tinggi dapat menahan gaya tarik lebih lama sebelum mengalami deformasi plastis, sehingga *formability*-nya lebih baik. Budi

Hastomo [33] dalam penelitiannya menyatakan bahwa material dengan nilai *yield* yang tinggi berpengaruh pada kemampuan pembentukan lembaran (*formability*). Sebaliknya, material dengan nilai *yield* yang rendah cenderung mengalami *necking* secara lokal dengan cepat, yang dapat menyebabkan kegagalan sobek.

IV.4 Fenomena pada Proses *Drawing*

Dari hasil analisis, dapat diketahui apa saja fenomena yang terjadi pada proses *drawing* produk Asbak dengan Kuping Berbentuk Alur. Berikut penjelasan mengenai fenomena yang ada pada proses *drawing*.

IV.4.1 Radius *Die*

Dari hasil simulasi pada Tabel IV.9, menunjukkan bahwa semakin besar radius *die* yang digunakan dalam proses pembentukan, maka akan semakin besar gaya yang diperlukan untuk melakukan pembentukan produk tersebut. Semakin besar radius yang digunakan dalam proses pembentukan, maka akan semakin besar gaya yang diperlukan untuk melakukan pembentukan tersebut [34], [20]. Lebih lanjut, Anand dkk. [8] menyatakan tekanan pada proses *forming* optimal yang dibutuhkan dapat dicapai dengan mengurangi parameter radius *die*, radius *punch*, dan BHF. Di sisi lain, peningkatan radius ini juga akan mengakibatkan penurunan nilai BHF, yang berarti gaya yang menahan material agar tetap pada posisinya selama proses pembentukan menjadi lebih kecil. Namun, peningkatan radius ini juga memiliki konsekuensi negatif, yaitu dapat menyebabkan peningkatan sebaran *wrinkle* atau kerutan yang dihasilkan pada material. Dengan kata lain, meskipun radius yang lebih besar dapat mempermudah proses pembentukan, hal ini juga dapat mengakibatkan masalah dalam kualitas akhir produk akibat munculnya *wrinkle* yang tidak diinginkan.

IV.4.2 Koefisien Gesek

Pada perubahan koefisien gesek melalui pelumas, ditemukan bahwa semakin besar koefisien gesek, semakin besar gaya pembentukan. Sama halnya dengan gaya yang dihasilkan oleh *Blank Holder*. Semakin besar koefisien gesek, semakin besar gaya *blank holder*. Selain pelumas, variabel yang mempengaruhi perubahan koefisien gesek adalah kekasaran permukaan *tool* dan kekasaran permukaan *blank*.

Tomasz Trzepieciński, dkk. [35] telah melakukan analisis mengenai koefisien gesek proses *deep drawing* menggunakan metode *multi-layer artificial neural networks* (ANNs). Sebuah alat ukur tribometer didesain untuk uji coba fenomena pada permukaan yang kontak dengan area *Blank Holder*. Parameter yang mempengaruhi koefisien gesek diantaranya tekanan pada permukaan yang kontak dengan pelumas. Area yang mendapatkan tekanan yang tinggi akan menurunkan nilai koefisien gesek. Terdapat juga pengaruh dari viskositas pelumas, walau tidak signifikan parameter ini mempunyai pengaruh pada koefisien gesek yang dihasilkan. Selain pelumas, diperlukan juga untuk mempertimbangkan kondisi kekasaran permukaan material untuk memprediksi nilai koefisien gesek dengan akurat.

IV.4.3 Ukuran *Blank*

- **Diameter *Blank***

Dari simulasi, didapatkan bahwa penggunaan diameter *blank* yang lebih lebar dalam proses pembentukan logam, seperti dalam proses *drawing*, dapat meningkatkan kualitas produk dengan mengurangi cacat. Pada Gambar IV.3, hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan *blank* yang lebih besar menyebabkan kebutuhan gaya pembentukan yang lebih besar.



Gambar IV.3 Gaya *Punch* yang dihasilkan dengan Diameter *Blank* (a) 112 mm

(b) 132 mm

V.M. Brathikan, dkk. [36] telah melakukan penelitian terhadap pengaruh ukuran diameter pada proses *deep drawing*. Objek penelitian berfokus pada ukuran *blank*: 50 mm, 60 mm, dan 70 mm. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar diameter *blank* yang digunakan, maka semakin besar gaya yang diberikan *punch*. Selain itu, penggunaan ukuran *blank* yang lebih besar cenderung mengalami distribusi ketebalan yang merata dibandingkan dengan penggunaan ukuran *blank* yang kecil. Ukuran *blank* yang besar dapat meningkatkan aliran material yang mengalir selama proses pembentukan. Peningkatan aliran material dapat mendistribusikan ketebalan secara merata ke permukaan produk. Penelitian ini juga

menyebutkan bahwa produk yang dibuat dari ukuran diameter lebih besar menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan produk yang dibuat dari ukuran *blank* yang kecil.

- **Ketebalan *Blank***

Berdasarkan rumus ketebalan relatif berikut [37], penggunaan ukuran diameter yang besar harus diikuti dengan ketebalan yang besar.

$$\frac{t}{D_B} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

Jika hasil ketebalan relatif kurang dari 1, maka produk akan sulit dibentuk, selain itu ada kemungkinan munculnya *wrinkle* dan *cracks* ketika terdapat perubahan kecil pada tekanan *Blank Holder*. Jika hasil ketebalan relatif sama dengan 1, maka produk cukup mudah dibentuk dengan adanya tekanan dari *Blank Holder*. Jika ketebalan relatif lebih dari 3, maka produk mudah dibentuk tanpa tekanan *Blank Holder* [37]. *Blank* yang memiliki ketebalan relatif 2% terhadap diameter *blank* dapat dibentuk tanpa *Blank Holder*. Karakteristik *blank* ini meningkatkan *formability* material, dapat mengurangi cacat *wrinkle* dan *earing*. Penggunaan diameter *blank* yang besar harus diseimbangkan dengan ketebalan *blank* yang lebih besar untuk mempertahankan nilai ketebalan relatif *blank*. Hal ini dibutuhkan untuk proses pembentukan. Namun penggunaan *blank* yang besar akan menyebabkan peningkatan ukuran geometri *punch*, dan tahapan penekanan [38].

IV.4.4 *Drawbead*

Drawbead memberikan *restraining force* yang berperan untuk menghambat aliran material, hal ini penting untuk mencapai hasil yang sesuai dengan spesifikasi hasil produk. *Restraining force* yang dihasilkan *drawbead* berfungsi untuk mempertahankan kualitas dari lembaran material ketika proses pembentukan. Namun *restraining force* ini dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk geometri dari *drawbead* dan koefisien gesek yang terjadi selama proses pembentukan [39]. *Drawbead* dapat mempengaruhi sifat material di area yang melewati konstruksi *drawbead*. Material yang memiliki *yield strength* rendah (misalnya pada material AA5754-O) lebih rentan terhadap kegagalan atau kecacatan. Perubahan yang dihasilkan *drawbead* ini dapat mengoptimalkan gaya yang diberikan oleh *blank*

holder selama proses pembentukan sehingga mengurangi kegagalan material [39], [40], [41].

IV.4.5 Clearance

Berdasarkan simulasi AutoForm pada Tabel IV.11, *clearance* mempengaruhi besarnya gaya pembentukan. Semakin kecil *clearance*, maka semakin besar gaya pembentukan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan tekanan yang terjadi ketika dua permukaan berdekatan, yang memungkinkan material untuk lebih mudah terdeformasi. Sebaliknya, semakin besar *clearance*, semakin kecil gaya pembentukan yang dihasilkan. Dalam kondisi ini, jarak yang lebih besar antara permukaan mengurangi interaksi langsung dan tekanan yang ada pada material, sehingga mengurangi kemampuan material untuk mengalami deformasi [42].

Clearance yang tidak tepat dapat menyebabkan *defect* seperti *wrinkle* (kerutan), *tearing* (sobekan), dan *earing*. Agustin dkk. [42] menunjukkan bahwa penggunaan *clearance* yang sesuai dapat meminimalkan kecacatan ini dan meningkatkan kualitas permukaan produk.

IV.4.6 Gaya Pembentukan dan *Blank Holder Force*

Optimasi gaya sangat dibutuhkan pada proses pembentukan untuk mencapai bentuk geometri akhir produk. Hal ini terlihat pada langkah pertama hasil analisis menggunakan simulasi AutoForm. Dibandingkan dengan produk *existing*, Tabel IV.1 dan Tabel IV.2 menunjukkan bahwa optimasi pada gaya pembentukan dan BHF dapat mengurangi cacat *wrinkle* pada bagian *flange* produk.

Romansyah dkk. [11] menemukan bahwa salah satu kecacatan produk dapat terjadi karena *Blank Holder Force* (BHF) yang tidak merata. Albut dkk. [12], [13] menyatakan bahwa optimasi pada BHF penting untuk mencapai hasil yang diinginkan dan dapat meminimalisir *springback*. Lebih lanjut, variasi nilai BHF memiliki pengaruh yang signifikan pada penipisan distribusi aliran material (*thinning*) ketika proses *deep drawing*. *Thinning* maksimum terjadi ketika nilai BHF yang lebih besar menghambat aliran material dan menyebabkan deformasi tidak merata.

IV.4.7 Properti Material

Properti material berpengaruh signifikan pada kegagalan sobek suatu bahan, karena sifat-sifat material seperti kekuatan tarik, keuletan, dan ketahanan terhadap deformasi dapat mempengaruhi kemampuan bahan untuk menahan tekanan dan gesekan [33]. Selain itu, properti material juga merupakan salah satu parameter yang menentukan besarnya koefisien gesek saat proses pembentukan [35].

Penelitian yang dikemukakan Budi Hastomo [33], didapatkan bahwa dari hasil eksperimen dan simulasi proses *deep drawing* menunjukkan bahwa kerutan muncul di semua bagian *flange* atau area *sheet metal* yang bersentuhan dengan *blank holder* untuk keempat jenis material yang diuji. Secara umum, tegangan paling tinggi terlihat pada dinding produk, sedangkan tegangan terendah terjadi dibagian yang menempel pada telapak *punch* seperti pada Gambar II.5. Plastisitas berpengaruh terhadap kualitas produk dari proses *deep drawing* pada keempat material. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *yield strength* yang tinggi sangat berpengaruh pada kemampuan pembentukan lembaran. Sebaliknya, material dengan nilai *yield strength* yang rendah cenderung mengalami *necking* secara lokal dengan cepat, yang dapat menyebabkan kegagalan pada tingkat regangan yang rendah.

Hal ini dapat dilihat pada hasil simulasi produk *existing* dengan material AA5754-O seperti pada Gambar III.13. Bagian dinding mengalami *compress*, yang berarti mendapat tegangan paling tinggi diantara bagian – bagian lain. Dan bagian bawah atau permukaan produk mendapat tegangan yang paling rendah, karena itu bagian ini termasuk *safe area* pembentukan produk.

Terakhir, properti material juga perlu dipertimbangkan dalam menentukan parameter masukan untuk memprediksi koefisien gesek. Properti material ini mempunyai peran untuk menentukan perubahan koefisien gesek pada permukaan material [35].