

PENGARUH PENYESUAIAN SUDUT TERHADAP DESAIN PERMUKAAN DIE PADA SIMULASI PEMBENTUKAN LOGAM PELAT

Rusdi Dahlan, MT.

Program Studi Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta,
rusdidahlan73@gmail.com

Abstrak

Proses pembentukan logam pelat (sheet metal forming) merupakan metode penting dalam industri manufaktur yang memungkinkan pembuatan komponen dengan geometri kompleks dan toleransi tinggi. Namun, fenomena springback menjadi tantangan utama yang mempengaruhi akurasi bentuk akhir produk. Springback terjadi akibat perubahan bentuk elastis pada material setelah proses pembentukan, yang dipengaruhi oleh kekuatan tarik dan kekuatan luluh material. Oleh karena itu, diperlukan strategi untuk mengatasi springback, seperti penyesuaian sudut desain permukaan die. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh kompensasi sudut terhadap toleransi springback pada tipe material JSC270D, JSC340H, dan JSC590Y serta mengevaluasi dampaknya terhadap penebalan material secara lokal di produk akhir. Penelitian dilakukan menggunakan simulasi pembentukan logam pelat untuk mengevaluasi kompensasi sudut yang diperlukan untuk mencapai toleransi springback $\pm 0,5$ mm dan dampaknya terhadap perubahan ketebalan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompensasi sudut yang diperlukan bervariasi berdasarkan kekuatan tarik material. Material JSC270D, JSC340H, dan JSC590Y, kompensasi sudut yang diperlukan adalah masing-masing $0,498^\circ$, $0,505^\circ$, dan $1,148^\circ$ untuk mencapai toleransi springback yang diinginkan. Selain itu, penyesuaian sudut yang lebih besar menyebabkan penurunan luas area ketebalan material. Penelitian ini memberikan panduan dalam desain permukaan die untuk mengurangi efek springback, meningkatkan akurasi dimensi produk, dan mengoptimalkan proses produksi dalam industri manufaktur.

Kata kunci: springback, kompensasi sudut, simulasi

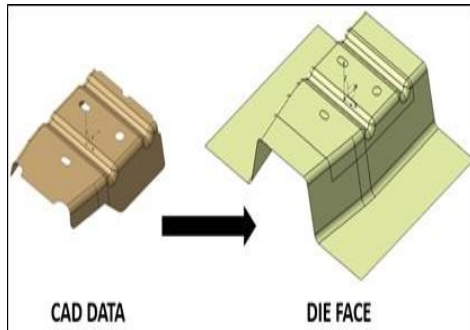
1. PENDAHULUAN

Dalam proses pembentukan logam pelat (sheet metal forming), fenomena *springback* merupakan salah satu tantangan yang signifikan. *Springback* adalah perubahan bentuk yang terjadi pada logam pelat setelah proses pembentukan selesai, di mana logam tersebut berusaha kembali ke bentuk aslinya karena sifat elastisnya. Fenomena ini dapat mempengaruhi akurasi bentuk akhir produk, sehingga perlu diatasi dengan strategi yang tepat.

Springback disebabkan oleh perubahan stres elastis yang terjadi selama proses pembentukan, terutama karena kombinasi *Yield Strength* (YS) dan *Tensile Strength* (TS) material yang digunakan. Material dengan YS tinggi cenderung menunjukkan *springback* yang lebih besar.

Beberapa strategi dapat digunakan untuk mengatasi *springback*, seperti:

- *Overbending*: membengkokkan logam pelat melebihi sudut yang diinginkan untuk mengkompensasi *springback*.
- Penggunaan Tool dengan Radius yang Lebih Besar: Mengurangi stres konsentrasi selama pembengkokan, sehingga mengurangi *springback*.
- Pemakaian *Bottoming*: Menerapkan gaya yang cukup untuk deformasi plastis material, sehingga mengurangi *elastic recovery*.
- Pemilihan Material yang Tepat: Menggunakan material dengan YS yang lebih rendah dapat mengurangi material *springback*.



Gambar 1. Crash Box yang disimulasikan
Sumber : Data olahan penelitian

- Penggunaan *Draw Beads*: Mengontrol aliran material ke dalam die untuk mengurangi *springback*.

Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh kompensasi sudut terhadap desain permukaan die melalui simulasi pembentukan logam pelat dengan berbagai kekuatan tarik. Fokus penelitian ini adalah menentukan berapa derajat kompensasi sudut yang diperlukan untuk mencapai toleransi *springback* $\pm 0,5$ mm dan mengevaluasi apakah kompensasi sudut mempengaruhi *thickening* selama simulasi. Hasil penelitian ini memiliki dampak signifikan pada industri manufaktur, terutama dalam meningkatkan akurasi pembentukan logam, mengurangi percobaan berulang, dan mengoptimalkan proses produksi dengan efisiensi biaya dan waktu yang lebih baik.

Untuk hasil yang lebih efektif, penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Part yang diteliti adalah *Crash Box*.
2. Software untuk membuat desain permukaan menggunakan CATIA V5.
3. Software simulasi menggunakan Autoform® R11.
4. Tebal material adalah 1,6 mm.
5. Tipe material yang digunakan adalah JCS270D, JCS440H, JCS590Y.
6. *Friction Coefficient* yang digunakan 0,15 dengan asumsi proses berjalan normal tanpa pengolesan pasta.

7. *PAD Stroke* yang digunakan adalah 60 mm
8. *PAD Force* yang digunakan initial pressure 0,2 MPa
9. Hasil penelitian didasarkan pada keluaran simulasi software.

Crash box adalah salah satu bagian yang sangat penting dalam desain mobil yang bertujuan untuk melindungi pengemudi dan penumpang dalam kecelakaan. *Crash box* sendiri merupakan struktur yang terletak di depan mobil yang dirancang untuk menyerap energi saat mobil mengalami tabrakan. Ketika mobil mengalami tabrakan, *crash box* akan mengalami deformasi atau kerusakan sehingga energi tabrakan yang dihasilkan akan diserap oleh *crash box* dan tidak menyebar ke bagian lain dari mobil yang bisa membahayakan pengemudi atau penumpang.[1]

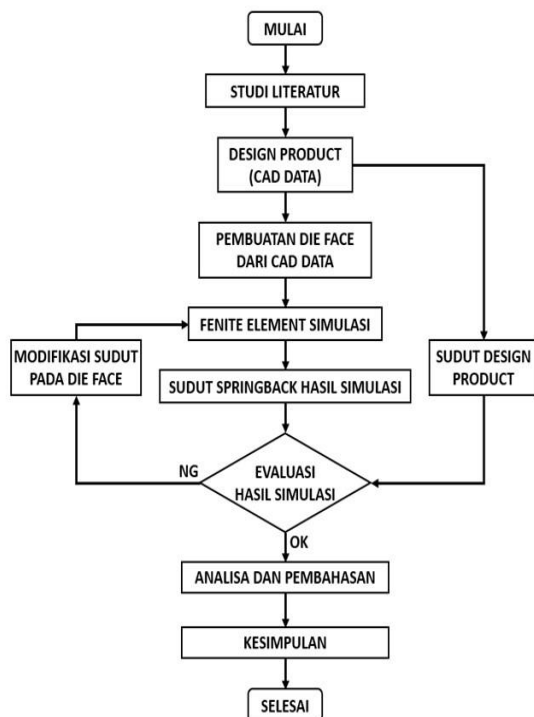
Ada 2 tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui derajat kompensasi atau penyesuaian sudut yang digunakan untuk mencapai toleransi *springback* $\pm 0,5$ mm pada material JSC270D, JSC440H dan JSC590Y.

Mengetahui pengaruh kompensasi sudut terhadap material thickness pada simulasi

2. METODOLOGI

Alur proses penelitian Pengaruh Penyesuaian Sudut terhadap Desain Permukaan Die pada Simulasi Pembentukan Logam Pelat ditunjukkan pada diagram alir berikut ini



Gambar 2. Diagram alir penelitian Pengaruh Penyesuaian Sudut terhadap Desain Permukaan Die pada Simulasi Pembentukan Logam Pelat
Sumber : Data olahan penelitian

2.1.TAHAPAN PENELITIAN DAN SIMULASI

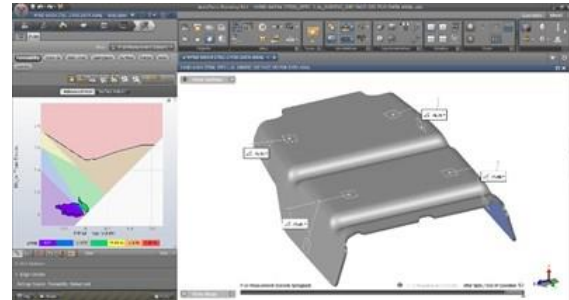
a. Pembuatan die face dari CAD data

Fungsi utama die face adalah sebagai permukaan yang menekan dan membentuk bahan logam pelat saat proses pembentukan menjadi bentuk yang diinginkan, selain itu die face juga digunakan sebagai komponen tools untuk proses simulasi, Pembuatan die face dilakukan berdasarkan bentuk dari CAD data yang ada menggunakan software CATIA V5. CAD data dan Die Face yang disimulasikan diperlihatkan pada gambar 1.

b. Simulasi metoda Elemen Hingga (Finite Element Method)

Keluaran dari proses *Finite element* simulasi pembentukan dengan software *AutoForm®* adalah data sudut *springback*, di mana pada tahap awal simulasi die face yang digunakan masih dalam kondisi tanpa penyesuaian sudut. Dalam proses ini, material yang sedang dianalisis akan mengalami deformasi, dan setelah simulasi selesai,

pengukuran sudut dilakukan untuk mendapatkan sudut yang terbentuk setelah terjadinya fenomena *springback* pada part. Data yang diperoleh dari pengukuran ini



digunakan untuk mencari K factor.

Gambar 3. Pengukuran sudut part.
Sumber : Data olahan penelitian

Proses simulasi menggunakan software *Autoform* dengan data yang diinput adalah:

1. *Tools*: Die face yang sudah dimodifikasi sebagai *Upper die*, *Lower die* dan *PAD*
2. *Reference*: CAD data sebagai acuan referensi analisa *springback*
3. *Material Type*: sesuai dengan material yang akan diuji
4. *Thickness*: ketebalan part yang digunakan
5. *Friction Coefficient*: koefisien gesek yang digunakan sesuai standar yaitu 0.15.



Gambar 4. Proses simulasi pembentukan menggunakan *Autoform®*.
Sumber : Data olahan penelitian

c. Modifikasi Sudut pada Die Face

Die face yang telah selesai dibuat kemudian akan dimodifikasi pada sudut penekukan (*bending*) dengan tujuan mengompensasi *springback*.

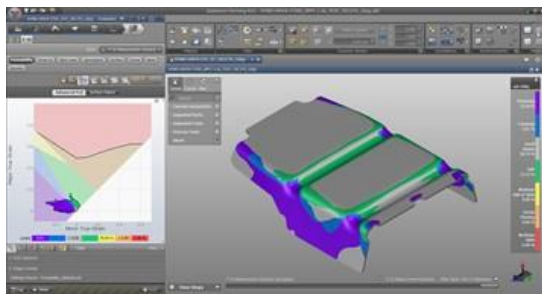
Modifikasi sudut penekukan ini dilakukan untuk memastikan bahwa produk akhir memiliki bentuk yang tepat dan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Sudut yang diterapkan dalam modifikasi ini sesuai dengan hasil perhitungan K-factor. Proses ini

tidak hanya meningkatkan akurasi produk akhir tetapi juga mengurangi kebutuhan akan pengulangan atau koreksi tambahan setelah proses pembentukan part.

d. Evaluasi Keluaran Proses Simulasi

Data part yang sudah disimulasikan perlu dievaluasi pada area yang mengalami pembentukan (forming), dengan faktor pengecekan meliputi:

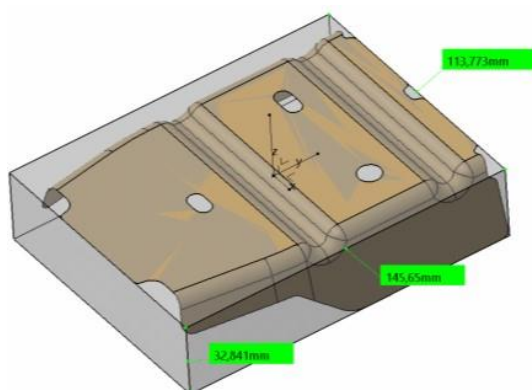
1. *Advance Formability*: identifikasi pada batas-batas kemampuan bahan dalam proses pembentukan seperti *Thickening, Compress, Insuff Stretch, Safe, Risk of Split, Excess Thinning, Splits*.
2. *Surface Failure*: identifikasi pada area surface untuk mendeteksi terjadinya *Orange peel/ Flattening, Surface Cracks*.
3. *Springback*: identifikasi untuk mengetahui nilai dari *springback* pada part



Gambar 5. Evaluasi hasil Simulasi
Sumber : Data olahan penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Spesifikasi CAD DATA



Gambar 6. Dimensi CAD Data.
Sumber : Data olahan penelitian

Tabel spesifikasi yang disajikan berikut ini menggambarkan data part yang digunakan dalam simulasi, yang mencakup aspek-aspek penting seperti geometri, tebal material, dan sudut yang akan diteliti, dan tabel 2 menampilkan *property* material yang digunakan.

Tabel 1. Spesifikasi CAD Data

Keterangan	Spesifikasi	Satuan
Nama Part	Crash Box	
Dimensi	145,65x113,77x32,84	mm
Tebal Material	1,6	mm
Sudut Bending	75	°

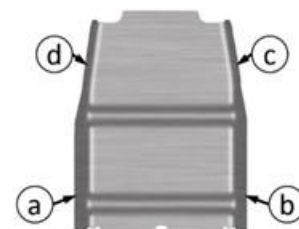
Sumber : Data olahan penelitian

Tabel 2. Spesifikasi Material

Tipe material	Tensile Strength (MPa)	Yield Stress (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Uniform Elongation (%)
JSC270D	303,09	154.84	2.10E+05	25,8
JSC340H	341,99	198.96	2.10E+05	23,3
JSC590Y	605,91	366.29	2.10E+05	22,1

Sumber : Data olahan penelitian

3.2. Hasil Sudut & dimensi permukaan springback sebelum modifikasi sudut



Gambar 7. Area Pengukuran Sudut *Springback*.

Sumber : Data olahan penelitian

Setelah dilakukan *running* simulasi di software *Autoform* ® akan diperoleh sudut *springback* dan dimensi yang terkorelasi akibat adanya sudut *springback* sehingga menjadi berbeda dari target dimensi part

seharusnya. Perbedaan dimensi ini jika melebihi toleransi $\pm 0,5$ dijudgement NG.

Tabel 3. Hasil Simulasi *Finite Element*

No.	Tipe material	Tensile Strgth (MPa)	Sudut Springback (°)	Dimensi Springback (mm)	Judge ment
1a	JSC270D	303.09	74,31	0,337	OK
1b			74,41	0,341	OK
1c			74,47	0,234	OK
1d			74,82	0,187	OK
2a	JSC340H	341.99	74,83	0,340	OK
2b			74,53	0,342	OK
2c			74,42	0,208	OK
2d			74,20	0,214	OK
3a	JSC590Y	605.91	73,03	0,458	OK
3b			72,86	0,502	NG
3c			73,56	0,356	OK
3d			73,37	0,378	OK

Sumber : Data olahan penelitian

Dari tabel 3 terlihat ada 1 dimensi springback yang NG untuk material JSC590Y dengan sudut springback yang muncul sebesar 72,86 derajat. Walaupun dimensi lain memenuhi standard nilai yang dipersyaratkan konsumen, tetapi secara nilai cukup mendekati limit yang diizinkan.

3.3. Perhitungan *Springback Value* sebagai Acuan Modifikasi Die Face

Untuk menetapkan berapa nilai kompensasi sudut springback yang selanjutnya akan divalidasi dengan simulasi maka perlu dihitung K_s Factor dengan menggunakan persamaan berikut :

$$K_s = \frac{R_i + \frac{T}{2}}{R_f + \frac{T}{2}} = \frac{\frac{2R_i}{T} + 1}{\frac{2R_f}{T} + 1} = \frac{\phi_f}{\phi_i} = \frac{180^\circ - \alpha_2}{180^\circ - \alpha_1} \quad (\text{pers. 1})$$

Dimana:

K_s = *Springback factor*

α_1 = Sudut sebelum *springback* (°)

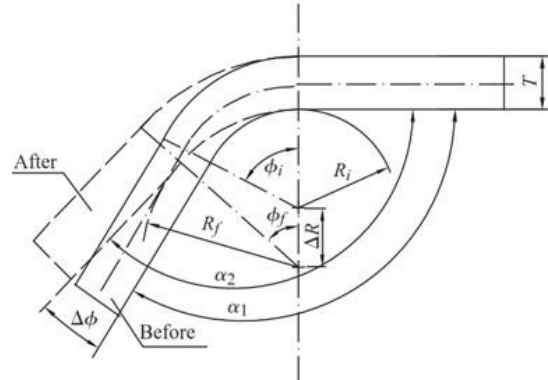
α_2 = Sudut setelah *springback* (°)

R_i = Radius sebelum *springback* (mm)

R_f = Radius setelah *springback* (mm)

T = Tebal material (mm)

Secara skematik definisi variabel di persamaan 1 dapat dilihat pada gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Ilustrasi Skematik terkait variabel *Springback*.

Sumber : Data olahan penelitian

Hasil simulasi finite element di tabel 3 digunakan untuk mencari K-factor dan *springback value* menggunakan persamaan (1) dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Springback Value*

No	Tipe material	Sudut CAD Data (φi)	Sudut Springback (φf)	K-Factor (Ks)	Springback value (Δα) Φi - φf
		(°)	(°)		(°)
1a.	JSC270D	75	74,31	0,991	0,69
1b.			74,41	0,992	0,59
1c.			74,47	0,993	0,53
1d.			74,82	0,998	0,18
1a.	JSC340H		74,83	0,998	0,17
2b.			74,53	0,994	0,47
2c.			74,42	0,992	0,58
2d.			74,20	0,989	0,80
3a.	JSC590Y		73,03	0,974	1,97
3b.			72,86	0,971	2,14
3c.			73,56	0,981	1,44
3d.			73,37	0,978	1,63

Sumber : Data olahan penelitian

3.4. Hasil dimensi dan tebal material setelah modifikasi sudut

Hasil simulasi kedua finite element dengan *die face* yang sudah dilakukan modifikasi berdasar *springback value* tabel 4, menghasilkan kondisi part dengan data *springback* seperti ditampilkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil simulasi *finite element* dengan *die face* yang telah dikompensasi sudut sesuai *springback value* tabel 4.

No.	Tipe material	Sudut CAD Data (Φ_i) (°)	Sudut Modifikasi Die Face (°)	Dimensi Springback (mm)	Area Penebalan Material (%)
1a.	JSC270D	75	75,69	-0,060	22,32
1b.			75,59	-0,095	
1c.			75,53	0,065	
1d.			75,18	0,150	
2a.	JSC340H	75	76,59	0,021	21,69
2b.			76,21	-0,073	
2c.			76,29	0,056	
2d.			75,80	0,031	
3a.	JSC590Y	75	76,97	-0,074	21,14
3b.			77,14	-0,027	
3c.			76,44	0,026	
3d.			76,63	0,037	

Sumber : Data olahan penelitian

Tabel 6 berikut ini menyajikan hasil rata-rata dari serangkaian simulasi yang dilakukan pada berbagai jenis material dalam penelitian ini. Data yang diperoleh sebagai berikut:

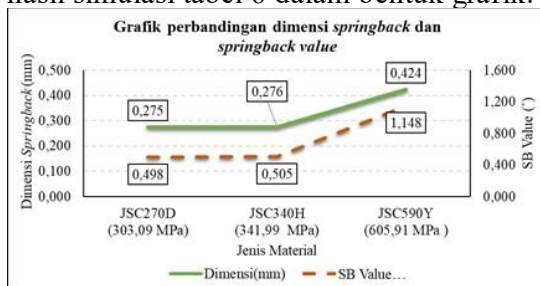
Tabel 6. Rata-rata hasil simulasi setiap jenis material.

Jenis Material	Tensile Strength (MPa)	K-Factor	SB Value (°)	Dimensi Sebelum Modifikasi Sudut (mm)	Dimensi Setelah Modifikasi Sudut (mm)
JSC270D	303,09	0,993	0,498	0,275	0,015
JCS340H	341,99	0,993	0,505	0,276	0,009
JSC590Y	605,91	0,985	1,148	0,424	-0,010

Sumber : Data olahan penelitian

3.5. Analisis modifikasi sudut terhadap hasil dimensi springback

Gambar 9 berikut menunjukkan rata-rata hasil simulasi tabel 6 dalam bentuk grafik.



Gambar 9. Grafik perbandingan *springback value* dengan dimensi *Springback*

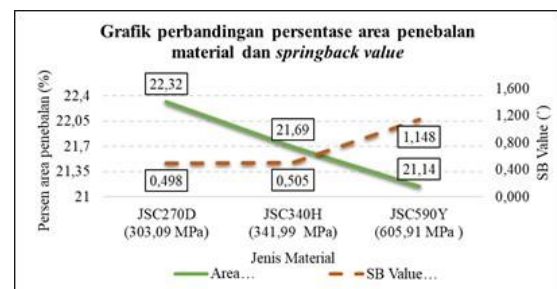
Sumber : Data olahan penelitian

Berdasarkan grafik perbandingan *springback value* dengan dimensi *springback* (Gambar 9) hasil simulasi finite element pada material JSC270D, JSC340H dan JSC590Y dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tensile strength pada material maka *springback* yang dihasilkan juga semakin besar atau semakin kecil nilai K-Factor maka akan semakin besar pula *springback* yang terjadi. Hasil data sesuai dengan pernyataan Vukota Boljanovic bahwa penambahan sudut bending dapat mengatasi fenomena *springback* [2].

Dari tabel 6 juga terlihat bahwa dimensi akibat *springback* setelah dilakukan modifikasi sesuai kompensasi sudut akan menghasilkan nilai yang mendekati 0, jauh dari batas nilai yang disyaratkan konsumen sebesar $\pm 0,5$ mm.

3.6. Pengaruh Modifikasi Sudut terhadap Ketebalan Part

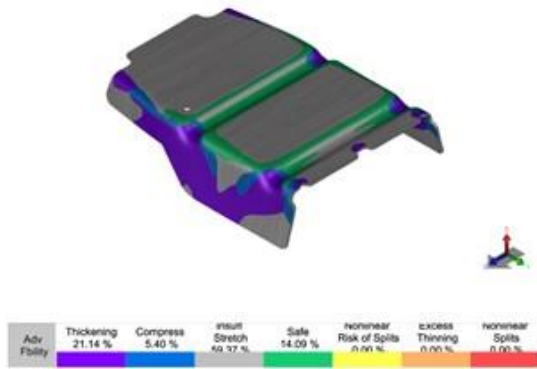
Dari tabel 5 dapat digambarkan korelasi area penebalan material terhadap modifikasi sudut seperti ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik perbandingan persentase area penebalan material dan *springback value*.

Sumber : Data olahan penelitian

Hasil dari simulasi *finite element* diperoleh kondisi penebalan material seperti terlihat di gambar 11 di bawah. Korelasi penebalan material dengan *springback value* untuk material JSC270D, JSC340H dan JSC590Y dapat dilihat pada gambar 10 di atas. Terlihat bahwa semakin besar *springback value* yang dihasilkan maka area penebalan material pada proses pembentukan akan semakin berkurang.



Gambar 11. Advanced formability pada simulasi *finite element*.

Sumber : Data olahan penelitian

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian penyesuaian sudut terhadap desain permukaan die pada simulasi pembentukan logam pelat dengan tipe material JSC270D, JSC340H dan JSC590Y adalah sebagai berikut:

1. Penyesuaian sudut desain permukaan die akan mempengaruhi tingkat *springback* pada material. Derajat kompensasi atau penyesuaian sudut akan bervariasi mengikuti besar kekuatan tarik material. Dari hasil penelitian pada material JSC270D dan JSC340H didapatkan hasil *springback* kurang dari 0,5 mm dan pada material JSC590Y *springback* yang dihasilkan melebihi 0,5 mm sehingga diperlukan kompensasi sudut agar *springback* yang dihasilkan masuk pada toleransi $\pm 0,5$ mm. Setelah dilakukan kompensasi sudut, diperoleh *springback* mendekati 0 mm. Material JSC270D dengan kekuatan tarik 303,09 MPa memerlukan kompensasi sudut sebesar $0,498^\circ$, material JSC340H dengan kekuatan tarik 341,99 MPa memerlukan kompensasi sudut sebesar $0,505^\circ$ dan material JSC590Y dengan kekuatan tarik 605,91MPa memerlukan kompensasi sudut sebesar $1,148^\circ$.

2. Penyesuaian sudut pada desain permukaan die akan mempengaruhi ketebalan (*thickness*) material berdasarkan hasil simulasi pembentukan logam pelat. Penyesuaian sudut yang lebih besar akan menyebabkan persentase penebalan pada area tertentu dari logam pelat menurun.

DAFTAR PUSTAKA

1. C. Wiratama, *Desain dan analisis Crash box pada mobil*, www.aeroengineering.co.id. Accessed: Oct. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.aeroengineering.co.id/2023/04/desain-dan-analisis-crash-box-pada-mobil/?formCode=MG0AV3>
2. V. Boljanovic, 2014. *SHEET METAL FORMING PROCESSES AND DIE DESIGN Second Edition*, 2nd ed. South Norwalk: Industrial Press, Inc.,
3. T. T. Le Tran and T. T. Truong, 2024. *Analysis of the springback phenomenon using finite element method*, Vietnam J. Mech., vol. 46,
4. T. Taylan, A. Altan, A. A. E. Erman, and T. Tekkaya, 2012. *Sheet Metal Forming Fundamentals*, ASM International,