

## Analisis *Spring-back* dan *Spring-go* pada Variasi Sudut *V-Dies Bending* Menggunakan Material Baja Lembaran SGCC Galvanized

### *Analysis of Spring-back and Spring-go on Variation of V-Dies Bending Angle Using Galvanized SGCC Steel Sheet*

Khoirudin<sup>1\*</sup>, Sukarman<sup>1</sup>, Siswanto<sup>1</sup>, Nana Rahdiana<sup>2</sup>, Ade suhara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Jawa Barat Indonesia, 41361

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Jawa Barat Indonesia, 41361

#### ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang fenomena *spring-back* dan *spring-go* pada proses *bending kinematic forming* menggunakan *V-bending dies* dan material *SGCC galvanized steel sheet* (JIS G 3302). Selama proses *bending*, lapisan seng pada permukaan baja galvanis tidak boleh rusak. Lapisan seng pada baja lembaran galvanis akan berpengaruh pada proses pembentukan material (metal forming process). Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen dengan empat variabel input yaitu bukaan *v-die bending* *L* (mm), sudut *punch* (*punch angle*), kecepatan *punch* (*punch speed*), dan gaya tekuk (*force bending*). *Spring-back* optimum didapatkan pada bukaan *v-die bending* 35 mm, sudut *punch* 40°, kecepatan *punch* 30 mm/menit, dan gaya *bending* 7500 N didapatkan *spring-back degree* terkecil 0,42°. Semetara itu *Spring-go* optimum didapatkan pada bukaan *v-die bending* 30 mm, sudut *punch* 50°, kecepatan *punch* 40 mm/menit, dan gaya *bending* 7000 N didapatkan *spring-go degree* terkecil 1,0°.

**Kata Kunci:** *Bending Force, Spring-back, Spring-go, V-dies bending, Work bending*

#### ABSTRACT

The phenomenon of *spring-back* and *spring-go* in the *bending kinematic forming process* using *V-bending dies* and *SGCC galvanized steel sheet* (JIS G 3302) material is discussed in this study. During the *bending process*, the zinc layer on the surface of the galvanized steel should not be damaged. The zinc coating on galvanized sheet steel will have an impact on the metal forming process. An experimental design is used in this study, with four input variables such as *v-die bending opening L* (mm), *punch angle* (degree), *punch speed* (*punch speed*), and *bending force* (N). The optimum *spring-back* is obtained with a *v-die bending opening* of 35 mm, a *punch angle* of 40°, a 30 mm/minute *punch speed*, and a *bending force* of 7500 N. The smallest degree of *spring-back* was achieved at 0.42°. Meanwhile, the optimum *spring-go* is obtained at a *v-die opening* of 30 mm, *punch angle* of 50°, *punch speed* of 40 mm/min, and *bending force* of 7000 N. The smallest degree of *spring-go* was achieved at 1.0°

**Keywords:** *Bending force, Spring-back, Spring-go, V-dies bending, Work bending*

#### Article information:

- Submitted: 26/07/2022
- Revised: 27/07/2022
- Accepted: 28/07/2022

#### Correspondent

##### Authors:

\*✉:

[khoirudin@ubpkarawang.ac.id](mailto:khoirudin@ubpkarawang.ac.id)

#### Type of article:

- ☒ Research papers
- ☐ Review papers

## 1. PENDAHULUAN

Baja lembaran lembaran galvanis merupakan adalah baja lembaran (*sheet metal*) yang dilapisi dengan seng cair (Zn) sehingga memiliki ketahanan korosi yang baik [1]. Baja lembaran galvanis banyak digunakan pada industri *automotive* [2]. Proses *bending* menggunakan material baja galvanis memerlukan parameter *bending* yang harus diperhatikan. Hal ini karena adanya lapisan *zinc* pada permukaan baja galvanis sehingga harus dipastikan bahwa selama proses *bending* tidak merusaknya.

Teknologi pembentukan logam (*metal forming*) adalah salah satu teknologi paling awal yang dikembangkan dalam industri manufaktur [3]. Pada proses *bending*, tegangan yang diberikan melewati batas elastisitas bahan lembaran, belum melewati tegangan luluhnya. Pada proses *bending* pada sheet metal (lembaran logam), *spring-back* dan *spring-go* merupakan issue yang paling menonjol. *Spring-back* dan *spring-go*, mencegah produk memperoleh ukuran dan presisi yang diinginkan, sehingga meningkatkan waktu yang dihabiskan untuk metode coba-coba dan menambah konsumsi material [4]. *Spring-back* didefinisikan sebagai perubahan sudut tekukan karena pemulihan elastis setelah pembebanan pada proses pembentukan dihilangkan [5]. Fenomena *spring-back* dalam proses *bending* memberikan kontribusi waktu setup yang relative besar [6]. *Spring-back* merupakan masalah fisik yang kompleks dan nilainya dipengaruhi oleh deformasi alami suatu komponen/benda kerja [7].

Beberapa penelitian tentang proses *bending* dan fenomena *spring-back* material pada proses metal forming telah dilakukan oleh [6] [8], [9], [10], dan [11]. Penelitian tentang fenomena pegas kembali dilakukan oleh [6] dengan menganalisis elemen struktural kendaraan dengan baja berkekuatan tinggi, penerapan material ini secara signifikan mengurangi massa kendaraan sambil mempertahankan kekuatan dan daya tahannya yang tinggi. Metode kompensasi virtual mempercepat pengiriman hasil yang akurat. Kompensasi *v-dies bending* dianalisis dengan memanfaatkan perangkat lunak aplikasi yang telah divalidasi dengan prototipe mati. Oleh karena itu, deformasi pegas menjadi masalah yang kritis, terutama untuk baja HSS dengan geometri yang kompleks [6]. Penelitian lanjutan terkait dengan tema *spring-back* pada proses *U-bending* dilakukan menggunakan baja lembaran dengan melakukan simulasi metode elmen hingga. Proses *bending* baja lembaran disimulasikan menggunakan perangkat lunak FEM-ANSYS. Hasil simulasi proses *bending* sudut bengkok baja lembaran diketahui bahwa sudut *spring-back* terkait dengan radius tekukan yang nilainya *relative* terhadap  $R/t$ , serta jarak *bending punch* dan dies [8]. Penelitian lanjutan tentang *spring-back material* dilakukan oleh [9]. Penelitian menggunakan material B210P1 dengan ketebalan 1.6 mm. Material ini memiliki *yield strength* 249 MPa, *tensile strength* 413MPa, dan *elongation* 38.23 %. Hasil penelitian menunjukan bahwa *spring-back* terkonsentrasi pada *area bending* [9]. Phanitwong et al., 2013 melakukan penelitian efek geometri bagian pada fitur *spring-back/spring-go* dalam proses *U-bending*. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi FEM dengan menggunakan material aluminium A1100-O. Peningkatan *radius dies* dan *punch* menyebabkan peningkatan karakteristik *bending* dari *zona bending allowance*, tetapi penurunan karakteristik *bending* juga terjadi pada bagian lurus dari bagian bawah benda kerja. *Spring-back* material meningkat saat jari-jari dies dan *punch* bertambah. Ketebalan benda kerja mengakibatkan penurunan karakteristik lentur pada radius *punch*, serta penurunan karakteristik *reverse bending* pada benda kerja di bawah *punch*. Secara umum *spring-back* material akan meningkat seiring dengan penurunan ketebalan benda kerja. Hasil simulasi FEM yang divalidasi oleh percobaan laboratorium menunjukkan bahwa kesalahan sudut lengkung U dibandingkan dengan hasil percobaan laboratorium adalah sekitar 2% [10].

Wahed et al. melakukan penelitian lanjutan dengan melakukan optimasi *V-dies bending* menggunakan baja paduan Ti-6Al-4V. Penelitian difokuskan untuk mendapatkan *spring-back minimum* dengan mengoptimalkan parameter proses yaitu temperatur, kecepatan *punch* dan waktu penahanan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *array orthogonal Taguchi* (L9), simulasi metode emen hingga pada *V-bending* dan divalidasi dengan eksperimen. Secara bersamaan, simulasi faktorial penuh (L27) dilakukan dan metode permukaan respons telah diterapkan untuk mempelajari dampak parameter proses dan kemudian dioptimalkan dengan menggunakan algoritma genetika. Berdasarkan hasil eksperimen, ANOVA diterapkan untuk mengetahui pengaruh parameter proses individu dalam meminimalkan *spring-back*. Selain itu, hasil simulasi elemen hingga ditemukan sesuai dengan hasil eksperimen. Dari hasil ANOVA, kontribusi persentase dari masing-masing parameter proses menunjukkan bahwa suhu merupakan parameter proses yang paling dominan diikuti dengan waktu penahanan dan *punch speed* untuk mendapatkan *spring-back* minimum. Pada saat suhu meningkat, kekuatan luluh menurun dan karenanya *springbok* kembali menurun secara drastic [11].

Berbeda dengan beberapa penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, penelitian ini difokuskan pada analisis *spring-back* dan *spring-go* pada proses penekukan material *galvanized steel* (SGCC) dengan tebal 0.8 mm. Metode *bending* yang digunakan menggunakan *v-dies bending* yang

divariasikan pada sudut *punch*, kedalaman dan bukaan *V-dies*. Penelitian penelitian ini menggunakan metode ekperimental dengan menggunakan empat *variable input* yaitu, sudut *punch*, kecepatan *punch* dan gaya *bending*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *variable input* terhadap *variable output* yaitu fenomena *spring-back* dan *spring-go*.

## 2. METODOLOGI

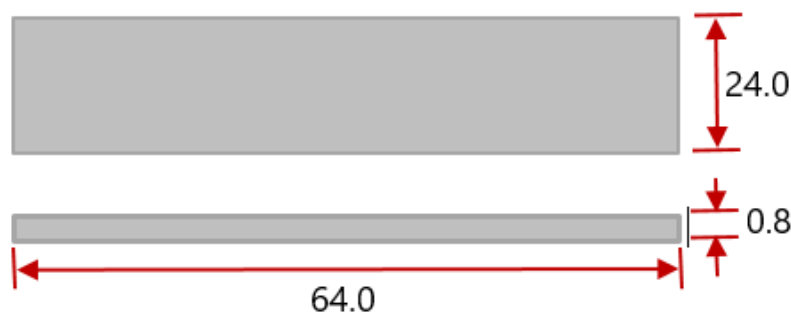
### 2.1. Alat dan bahan

Penelitian ini menggunakan material baja lembaran JIS G-3302 SGCC *galvanized* dengan ketebalan 0.8 mm. Material SGCC diproduksi oleh *PT International Corporation* dengan nomor *coil* CSV4796A. Material JIS G-3302 SGCC memiliki ketahanan karat yang bagus sehingga saat ini banyak digunakan pada *industry automotive*. Karakteristik mekanikal dan komposisi kimia material SGCC mengacu pada standar JIS G-3302 JIS G-3302 [12]. Karakteristik mekanikal dan komposisi kimia material SGCC yang digunakan tersaji pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Sifat mekanik dan komposisi kimia *steel sheet galvanize* [13]

Spesifikasi	Sifat-sifat mekanik				Komposisi kimia (%)			
	T. S. (N/mm <sup>2</sup> )	Y. P. (N/mm <sup>2</sup> )	Elong. (%)	Coating Thic. (μm)	C	Mn	P	S
JIS G-3302	≥ 270	≤ 205	≥ 80.0	≥ 11.2	≤ 0.15	≤ 0.60	≤ 0.04	≤ 0.05
CSV4996B*	337	227	44	12.75	0.0364	0.194	0.002	0.0043

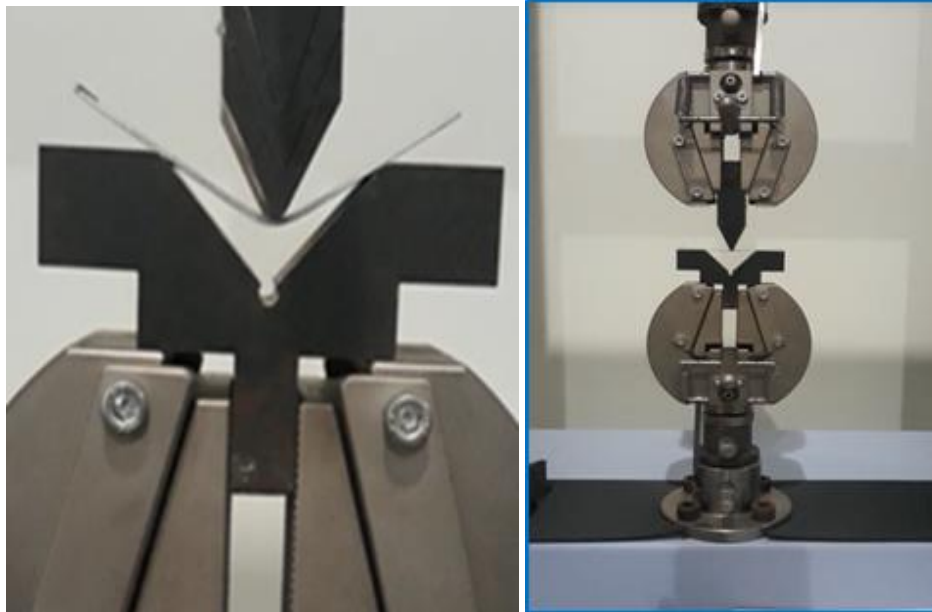
Pada persiapan sample lembaran baja SGCC dengan ketebalan 0.8 mm ukuran 1219 mm x 2438 mm dan dipotong menggunakan mesin *shearing* dengan ukuran panjang dan lebar masing-masing 64 x 24 mm. Setiap parameter dibuat masing-masing 2 unit. Hal ini untuk mengetahui konsistensi *variable output* yang diharapkan. Bentuk geometri sample dan dimensi terjadi pada Gambar 1:



**Gambar 1.** Bentuk geometri sample dan dimensi

*V-dies bending* diproduksi dengan menggunakan proses *wire cut* EDM. Material menggunakan material SKD-11 dengan proses akhir *hardening* mencapai kekerasan 55-65 HRC. Desain dies *V-bending* dibuat dalam dua tipe dengan bukaan/lebar dies dan ketinggian yang berbeda. Pada sisi yang berbeda, *punch-dies* dibuat dalam 3 bentuk sudut *bending* dan menggunakan *radius bending* R1.0 mm. Ketiga sudut *bending* pada *punch-dies* berturut-turut adalah 40°, 50°, dan 60°. Gambar 2 menunjukkan menunjukkan proses *bending* menggunakan dies *V-bending*.

Kualitas hasil *bending* sangat dipengaruhi oleh *radius bending* dari *punch* yang digunakan. Radius *bending* suatu *punch* berpengaruh dari dimensi akhir benda kerja dan juga bisa menyebabkan keretakan material. Radius *bending* yang terlampau kecil akan mengakibatkan keretakan benda kerja, sedangkan jika terlalu besar akan berdampak pemborosan material. *Punch* dan *V-dies* didesain dengan radius 1.0 mm. Dalam menentukan *radius bending* harus memperhatikan sifat mekanik dan ketebalan material yang akan dipakai. Tabel 2. Minimum radius *V-dies bending* untuk sudut di bawah 120° Tabel 2 menunjukkan referensi penggunaan minimum radius *V-dies* pada material yang memiliki *tensile strength* sampai 640 N/m<sup>2</sup> [10].



**Gambar 2.** Proses V-bending galvanish material

**Tabel 2.** Minimum radius V-dies bending untuk sudut di bawah 120°

Tensile strength [N/mm2]	Ketebalan material (s), mm					Bending direction (Arah penekukan)
	1,0	> 1 - 1,5	> 1,5 - 2,5	> 2,5 - 3,0	> 3,0 - 4,0	
Sampai 390	1,0	1,6	2,5	3,0	5,0	Transverse
	1,0	1,6	2,5	3,0	6,0	Longitudinal
>390 - 490	1,2	2,0	3,0	4,0	5,0	Transverse
	1,2	2,0	3,0	4,0	6,0	longitudinal
400 - 640	1,6	2,5	4,0	5,0	6,0	Transverse
	1,6	2,5	4,0	5,0	8,0	Longitudinal

## 2.2. Perhitungan Gaya Bending

Perhitungan *bending force* ( $F_b$ ) dilakukan untuk menentukan kebutuhan tonase mesin *bending* dan penyetingan gaya pada mesin produksi. Minimum *bending force* untuk lebar dan ketebalan rasio lebih besar 10 dihitung dengan persamaan 1 dan jika kurang dari 10 dihitung dengan persamaan 2 [14]:

Perhitungan gaya *bending* untuk  $w/s \geq 10$ ;

$$F_b = \frac{b_s s^2 R_m}{w} \quad (1)$$

Perhitungan gaya *bending* untuk untuk  $w/s < 10$ ;

$$F_b = \left(1 + \frac{4s}{w}\right) \frac{b_s s^2 R_m}{w} \quad (2)$$

Perhitungan kerja *bending*;

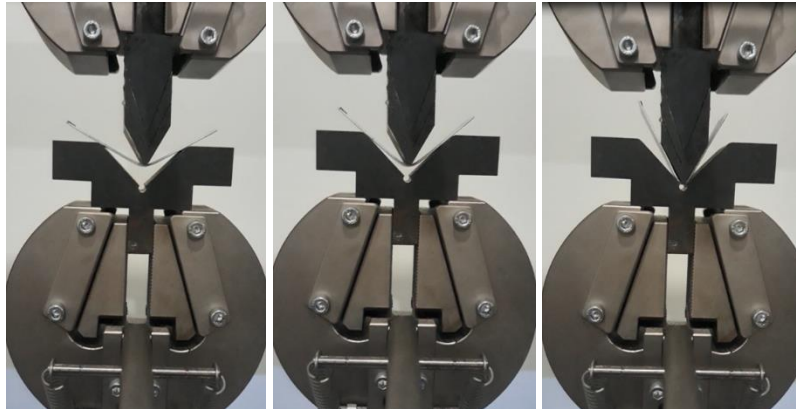
$$W_b = x \cdot F_b \cdot h \quad (3)$$

di mana  $b_s$  adalah lebar pada sisi *bending* benda kerja (mm),  $s$  merupakan ketebalan material (mm),  $R_m$  merupakan tensile strength (N/mm<sup>2</sup>),  $w$  adalah lebar *V-dies* (mm).  $W_b$  adalah kerja *bending* dalam satuan Joule sedangkan konstanta  $x$  adalah konstanta ketidakrataan gaya antara 0,3 - 0,6 [15]. Nilai konstanta ketidakrataan dipengaruhi oleh persyaratan penekukan dan penagturan mesin *bending*. Variabel  $h$  merupakan perpindahan titik *bending* akibat gaya yang diberikan yang merupakan tinggi material saat dimulainya proses *bending* sampai *v-dies punch* berhenti dalam satuan m. Ekperimen ini menggunakan gaya *bending* dengan variasi 6500 N, 7000 N dan 7500 N.



### 2.3. Parameter Uji Bending

Pengujian *bending* bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh parameter *bending* terhadap *spring-back* material dari material SGCC yang ujikan. Pengujian eksperimental proses *bending* dilakukan dengan menggunakan SHIMADZU UTM-Universal Testing Machine dengan model UTM AGS-X 10 kN STD E200V dan memiliki kapasitas 10 kN. Pengujian bekerja dengan menekan sample sampel uji dengan kecepatan dan gaya yang sudah ditetapkan serta suhu ruangan dikontrol pada 25°C. Pengujian dihentikan setelah melewati gaya *bending* yang sudah ditetapkan. Proses dan skema pengujian ditunjukkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** UTM dan proses *bending*

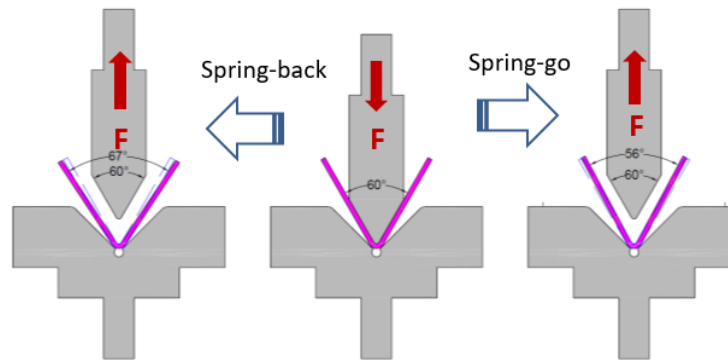
Penelitian ini menggunakan 4 parameter input yang nilainya disusun secara acak. Empat parameter input yang digunakan dalam penelitian ini adalah, *V-die opening*  $L$  (mm), *punch angel*  $\phi$  (°), *punch speed*  $V_b$  (mm/menit) dan *bending force* (N). Nilai dari *v-die opening* yang digunakan yaitu 30.0 mm dan 35.0 mm. Untuk *parameter input punch angle* digunakan nilai 30°, 45°, dan 60°; *punch speed* 30 mm/menit, 40 mm/menit dan 50 mm/menit; *bending force* dengan nilai inut 6500 N, 7000 N, dan 7500 N. Detail enam parameter *V-dies bending* untuk pengujian ini tersaji pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Enam parameter V-dies bending

Parameter <i>Bending</i>	Nilai parameter V-bending					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
<i>Die opening</i> $L$ (mm)	30	30	30	35	35	35
<i>Punch angel</i> $\phi$ (°)	40	50	60	40	50	60
<i>Punch speed</i> $V_b$ (mm/menit)	30	40	50	30	40	50
<i>Bending Force</i> (N)	6500	7000	6500	7500	7500	7000

### 2.4. Fenomena Spring-back dan Spring-go

*Spring-back* dan *spring-go* adalah fenomena proses pembentukan material metode dingin. *Spring-back* dan *spring-go* terjadi karena adanya elastisitas bahan selama pembentukan. Karakteristik *spring-back* dipengaruhi oleh jenis material benda kerja. *Spring-back* terjadi pada setiap pembentukan material menggunakan metode dingin seperti pada *bending*, *roll forming* dan *roll bending* [15]. Fenomena *spring-back* terjadi pada saat perubahan sudut yang lebih besar dari pada sudut sebelum gaya *bending* dilepaskan sedangkan *spring-go* terjadi pada saat perubahan sudut yang lebih kecil terjadi setelah gaya *bending* dilepaskan. Kedua fenomena *bending* ini, sangat berdampak pada presisi dimensi dan bentuk geometris benda kerja. Fenomena *spring-back* dan *spring-go* merupakan salah satu faktor kunci yang menentukan kualitas elastisitas, manaikan biaya produk dan menurunkan efisiensi proses manufaktur [16]. **Gambar 4** menunjukkan *spring-back* factor,  $k_R$  yang merupakan perbandingan antara sudut *bending* pada *dies* ( $\alpha_1$ ), dengan sudut *bending* benda kerja setelah *spring-back* ( $\alpha_2$ ) atau setelah *spring-go* ( $\alpha_3$ ).



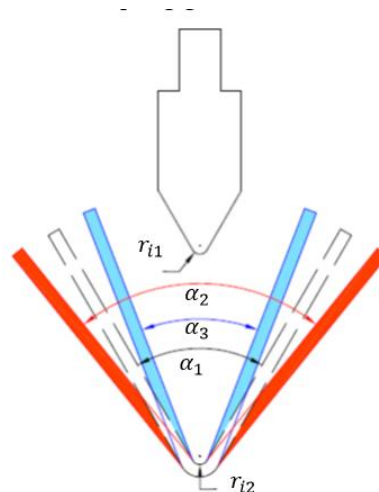
**Gambar 4.** Fenomena spring-back dan spring-go pada proses V-bending

Besarnya *spring-back* dan *spring-go* factor dihitung dengan menggunakan persamaan 4 dan 5 [15][17][18].

$$k_R = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{r_{i1} + 0,5s}{r_{i2} + 0,5s} \quad (4)$$

$$k_R = \frac{\alpha_3}{\alpha_1} = \frac{r_{i1} + 0,5s}{r_{i2} + 0,5s} \quad (5)$$

di mana  $r_{i1}$  dan  $r_{i2}$  berturut-turut merupakan *radius dies* dan *workpieces*. Besaran nilai *spring-back* dan *spring-go* faktor adalah antara 0 sampai 1 ( $0 \leq k_R \leq 1$ ). Nilai  $k_R = 1$  menginformasikan tidak ada *spring-back* atau *spring-go* pada benda kerja, sedangkan  $k_R = 0$  mengindikasikan benda kerja memiliki elastis sempurna [17]. **Gambar 5** menunjukkan fenomena elastisitas material dan pada proses V- dies bending.



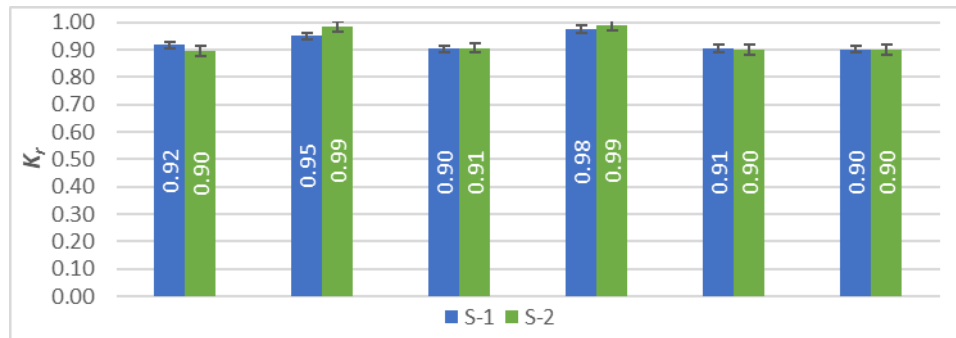
**Gambar 5.** Elastisitas material dan fenomena proses V-bending ( $\alpha_1$  sudut bending,  $\alpha_2$  fenomena spring-back,  $\alpha_3$  fenomena spring-go)

### 3. HASIL DAN DISUKSI

#### 3.1. Analisis Gaya dan Kerja Bending

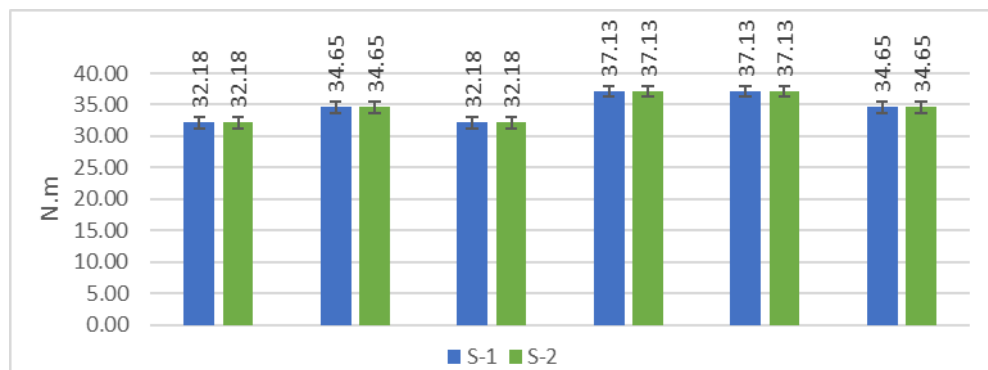
Perhitungan minimum *force bending* dilakukan berdasarkan beberapa parameter yang ditentukan dalam persamaan 1 dan 2. Lebar sisi *bending* pada penelitian ini 24 mm dan menggunakan material SGCC galvanized steel (JIS G-3303) dengan ketebalan material 0.8 mm. Proses V-bending dilakukan secara longitudinal (membujur) menggunakan dies V-bending beradius 1,0 mm dan lebar V-dies 30 mm. Dengan menggunakan material SGCC galvanized steel (JIS G-3303) memiliki tensile strength 337 N/mm<sup>2</sup> maka minimum gaya penekukan (*Force bending*) dihitung menggunakan persamaan 1. Penggunaan persamaan 1 dikarenakan perbandingan lebar sisi *bending* dengan ketebalan material melebihi 10 ( $w/s > 10$ ) seperti yang dijelaskan oleh [14] [15]. Persamaan 2 digunakan untuk menghitung minimum gaya *bending* (*bending force*) ketika perbandingan lebar sisi *bending* dengan ketebalan material kurang atau sama dengan 10 ( $10 \leq w/s$ ) [14] [15]. Berdasarkan persamaan 1 maka dihasilkan minimum gaya *bending* yang dibutuhkan adalah 216 N. Pada

pelaksanaanya, *force bending* yang digunakan adalah 6500 N, 7000 N dan 7500 N sehingga sudah memenuhi kriteria pada persamaan 1. Dari data pengujian *v-bending* dengan menggunakan 6 parameter dengan masing masing sebanyak dua sample didapatkan data bahwa sample no.2 dari parameter ke-4 memiliki nilai spring-back,  $K_r$  yang paling besar yaitu mendekati 1. Nilai  $K_r$  dihitung dengan menggunakan persamaan 4 atau 5. Hasil pengukuran sudut hasil *bending* menunjukkan nilai  $\alpha_1$  sebesar  $K_r = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{40}{40,42} = 0.99$ . **Gambar 6** menunjukkan data faktor spring-back dan *spring-go* untuk ke enam parameter sample uji V-dies *bending* yang diujikan.



**Gambar 6.** Faktor spring-back dan spring-go pada enam parameter V-bending yang diujikan.

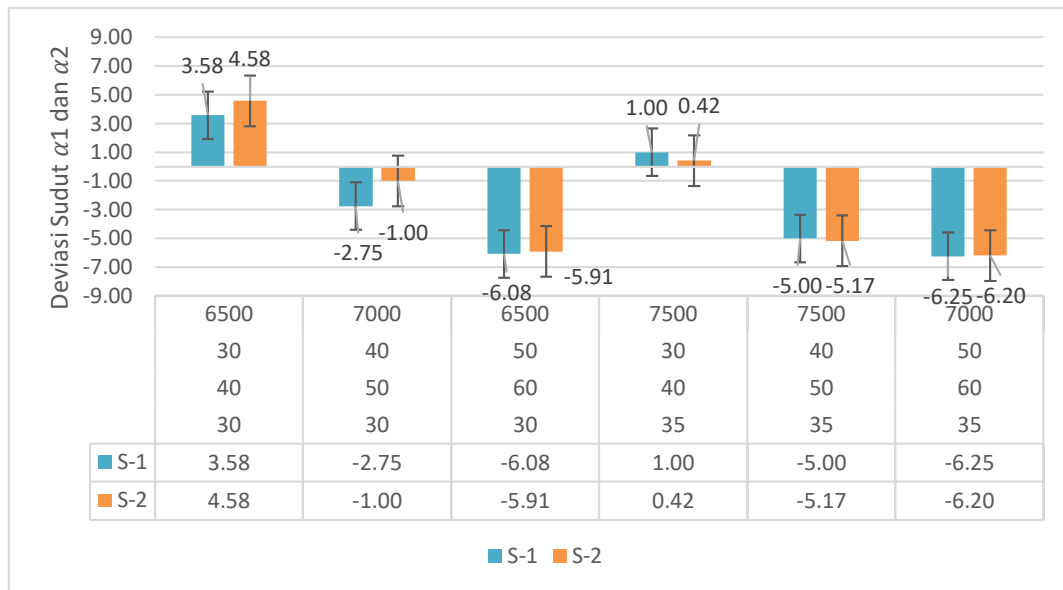
Keja *bending* (work *bending*) dihitung menggunakan persamaan 3. Dengan model V-dies dengan kedalaman *bending* 15 mm dan 17.1 mm. Konstanta ketidakrataan,  $x$  ditetapkan sebesar 1/3 sehingga nilai work *bending* untuk sampel 1 adalah 32.2 N.m (32.2 Joule). Hasil perhitungan work *bending* untuk semua sample tersaji pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Kerja bending untuk semua sample yang diujikan

### 3.2. Analysis of spring-back dan spring-go

Hasil proses V-bending pada sample satu terlihat munculnya fenomena *spring-back* material. Sample satu menggunakan parameter die opening 30 mm, *punch* angel 40o, *punch* speed 30 mm/menit dan *bending* force 6500 N. Fenomena *spring-back* juga terjadi pada sample no. 4 dengan menggunakan parameter die opening 40 mm, *punch* angel 40°, *punch* speed 30 mm/menit dan *bending* force 7500 N. Fenomena *spring-go* terjadi pada empat sampel lainnya yaitu pada sample ke-2, Ke-3 ke-5 dan ke-6. Dari data eksperimen ini terlihat bahwa semua sample yang diproses dengan menggunakan *punch* angel 50° dan 60° mengalami fenomena *spring-go*. Terkait dengan *variable* *punch* speed sebagai *variable* input dapat dianalisis bahwa fenomena *spring-back* terjadi pada pengaturan *punch* speed 30 mm/menit sedangkan pada pengaturan *punch* speed 40 mm/menit dan 50 mm/menit terjadi fenomena *spring-go*. Kedua fenomena ini sesuai dengan analisis fenomena *spring-back* dan *spring-go* yang dilakukan oleh [19] yaitu pada saat sudut *bending* (*punch* angle) naik maka *spring-go* juga akan naik. Pada kedua *variable* input lainnya yaitu bukaan *dies* dan *force bending*, fenomena *spring-back* dan *spring-go* terjadi pada semua nilai yang diberikan. Hasil analisi *spring-back* dan *spring-go* terjadi pada **Gambar 8**.



**Gambar 8.** Fenomena spring-back dan *spring-go* material SGCC galvanize steel sheet

#### 4. KESIMPULAN

Berikut beberapa ringkasan hasil penelitian mengenai *spring-back* dan *spring-go* pada variasi sudut *v-bending* menggunakan galvanized SGCC steel sheet:

- Berdasarkan penelitian tentang proses *bending* menggunakan *V-dies bending* untuk proses *bending* dan material lembaran baja galvanis SGCC, telah ditentukan pengaruh bukaan *v-dies bending*, sudut *punch*, kecepatan *punch*, dan gaya *bending* pada *spring-back* dan *spring-go*.
- Pada pengujian *V-die bending* dengan sudut 40°, 50°, dan 60°, nilai *spring-back* berbanding lurus dengan besar sudut *V-die bending*. Fenomena serupa terjadi pada pengujian *V-dies bending* dengan menggunakan kecepatan *bending* 30, 40 dan 50 mm/menit.

Untuk memberikan data yang presisi, penelitian lanjutan akan dilakukan dengan menggunakan metode experimental Taguchi.

#### AUTHOR'S DECLARATION

##### Authors' contributions and responsibilities

The authors contributed significantly to the conception and design of the study. The authors were responsible for data analysis, results interpretation, and discussion. The authors read the final manuscript and gave their approval.

##### Availability of data and materials

The authors have made all data available.

##### Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

#### ACKNOWLEDGMENT

The author is grateful to Universitas Buana Perjuangan Karawang for funding this research in its entirety and to PT Isaka Alindo Nusantara for providing the testing material.

#### REFERENCE

- [1] BSN, "Galvanisasi (hot dip galvanized) pada besi dan baja fabrikasi - Spesifikasi dan metode pengujian," 2004.
- [2] S. Sukarman *et al.*, "Optimization of Tensile-Shear Strength in the Dissimilar Joint of Zn-Coated Steel and Low Carbon Steel," vol. 3, no. 3, pp. 115–125, 2020.
- [3] Z. C. Lin and D. A. Y. Chang, "Selection of sheet metal bending machines by the PRISM-inductive learning method," *J. Intell. Manuf.*, vol. 7, no. 4, pp. 341–349, 1996.



- [4] M. Özdemir, H. Dilipak, and B. Bostan, "Numerically modeling spring back and spring go amounts and bending deformations of Cr-Mo alloyed sheet material," *Mater. Test.*, vol. 62, no. 12, pp. 1265–1272, 2020.
- [5] V. Gautam and D. R. Kumar, "Experimental and numerical investigations on springback in V-bending of tailor-welded blanks of interstitial free steel," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 232, no. 12, pp. 2178–2191, 2018.
- [6] L. Troive, P. Bałon, A. Świątoniowski, T. Mueller, and B. Kielbasa, "Springback compensation for a vehicle's steel body panel," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 31, no. 2, pp. 152–163, 2017.
- [7] D. K. Leu and Z. W. Zhuang, "Springback prediction of the vee bending process for high-strength steel sheets," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 30, no. 3, pp. 1077–1084, 2016.
- [8] Y. Zhang and G. Cui, "Finite element simulation of springback in sheet metal bending," *Proc. - 2009 Int. Conf. Inf. Eng. Comput. Sci. ICIECS 2009*, pp. 1–4, 2009.
- [9] K. Hu and H. Zhang, "A springback reduction method for sheet metal bending," *Proc. 2011 Int. Conf. Mechatron. Sci. Electr. Eng. Comput. MEC 2011*, pp. 617–620, 2011.
- [10] W. Phanitwong, A. Sontamino, and S. Thipprakmas, "Effects of part geometry on spring-back/spring-go feature in U-bending process," *Key Eng. Mater.*, vol. 549, pp. 100–107, 2013.
- [11] M. A. Wahed, A. K. Gupta, V. S. R. Gadi, K. Supradeepan, S. K. Singh, and N. Kotkunde, "Parameter optimisation in V-bending process at elevated temperatures to minimise spring back in Ti-6Al-4V alloy," *Adv. Mater. Process. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 430–444, 2020.
- [12] JIS G 3302, "JIS G 3302 Hot-dip zinc-coated steel sheet and strip." Japanese Industrial Standard, 2007.
- [13] S. Sukarman, A. Abdulah, A. D. Shieddieque, N. Rahdiana, and K. Khoirudin, "OPTIMIZATION OF THE RESISTANCE SPOT WELDING PROCESS OF SECC-AF AND SGCC GALVANIZED STEEL SHEET USING THE TAGUCHI METHOD," *SINERGI*, vol. 25, no. 3, pp. 319–328, 2021.
- [14] I. Suchy, *Handbook of Die Design*, Second. McGraw-Hill, 2006.
- [15] T. Altan, *Metal Forming Handbook*, no. 5. Springer Verlag Berlin, 1998.
- [16] H. Yang, H. Li, Z. Zhang, M. Zhan, J. Liu, and G. Li, "Advances and trends on tube bending forming technologies," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–12, 2012.
- [17] G. M. S. Ahmed, H. Ahmed, M. V. Mohiuddin, and S. M. S. Sajid, "Experimental Evaluation of Springback in Mild Steel and its Validation Using LS-DYNA," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmpc, pp. 1376–1385, 2014.
- [18] M. Osman, M. Shazly, A. El Mokaddem, and A. S. Wifi, "Springback prediction in V-die bending : modelling and experimentation," *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 38, no. 2, pp. 179–186, 2010.
- [19] K. Özdin, E. Büyük, F. Abdalov, H. Bayram, and A. Çini, "Investigation of spring-back and spring-go of AISI 400 S sheet metal in 'V' bending dies depending on bending angle and punch radius," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 532, pp. 549–553, 2014.