

ANALISIS *SPRINGBACK* PADA PROSES *V-BENDING* DENGAN MENGGUNAKAN *URETHANE PAD*

Satria Indraprasta, Hartono Widjaja, Wiwik Purwadi

Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Jl. Kanayakan 21. Dago – Bandung 40135

Tromol pos 851, Bandung 40008, INDONESIA Phone: (022) 2500241 Fax: (022) 2502469

Email: indraprasta.satria@gmail.com

Abstrak

Pada proses *bending* atau pembentukan dengan cara tekuk, pelat yang telah ditebuk akan mengalami perubahan dimensi sudut dan radius tekuk yang dinamakan *springback*. Proses terjadinya *springback*, diawali dengan pergeseran bidang netral (*neutral axis*) yang membagi ketebalan pelat, tepat di area tekukan, bersamaan dengan itu menyebabkan area tekukan tersebut mengalami penekanan pada batas bidang netral menuju permukaan dalam tekukan dan penarikan pada batas bidang netral menuju luar. Dari perbedaan tegangan tersebut maka proses *springback* pun terjadi. Proses *springback* dapat diakibatkan oleh elastisitas bahan dan rasio antara radius tekuk terhadap tebal pelat. Akan tetapi, beberapa sumber menyebutkan lima parameter utama yang menyebabkan *springback*, seperti, teknik *bending* (*bottoming* atau *air bending*), *bulk properties of materials* (dimensi pelat, keadaan permukaan dsb), *mechanical properties of material* (kekuatan tarik dsb), *tooling*, dan *process condition* (*warm/hot working* atau *lubrication*). Dari lima parameter tersebut, rumus dan tabel untuk menghitung besarnya *springback* telah ditemukan oleh beberapa peneliti, tapi data pengaruh *springback* untuk parameter kecepatan, penambahan waktu penahanan (*holding time*), serta jenis material *punch/die* yang digunakan pada saat proses *bending*, sulit ditemukan.

Dari permasalahan tersebut, diperlukan analisis mendalam pada proses eksperimental *V-bending* menggunakan variabel kecepatan dan *holding time* dengan material AISI 1005 ketebalan 1,87 mm, serta dengan menggunakan *punch* berbahan baja dan *urethane pad* sebagai *die*. Penggunaan *urethane pad* pada penelitian ini, berdasarkan pada pemakaian material *urethane* yang telah sejajar dengan pemakaian material baja sebagai perkakas di dunia manufaktur khususnya pada proses *bending*. Selain itu, beberapa referensi yang menyebutkan pemakaian *urethane* terbukti lebih baik dalam menghasilkan produk dengan hasil *springback* yang kecil sehingga perlu adanya pembuktian lebih lanjut. Berkaitan dengan hal tersebut, nantinya penelitian ini akan membandingkan hasil *springback* berdasarkan rumus umum, tabel *springback*, dan juga penelitian sebelumnya yang menggunakan *punch* berbahan baja dan *die* berbahan baja pula.

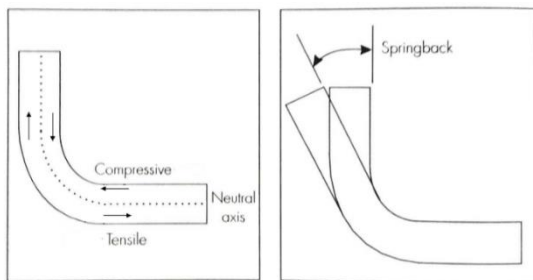
Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini berupa persamaan *springback* mengenai pemakaian *urethane pad* dengan variabel kecepatan *punch* dan *holding time*. Persamaan yang didapat yaitu ($Y = 2.928 + (-0.00249).X_1 + 0.001683.X_2$) dengan hasil *springback* berdasarkan variabel yang diambil seperti besar kecepatan pembentukan yang mampu menghasilkan *springback* terkecil yaitu 28 SPM dengan *springback* sebesar 2.1098° dan besar penahanan (*holding time*) pada pembentukan yang menghasilkan *springback* terkecil yaitu 30 s dengan *springback* sebesar 2.4383° , serta dari grafik regresi linier, kecepatan pembentukan merupakan penyebab *springback* paling dominan dibandingkan *holding time*. Selain itu, dari hasil perbandingan dengan pembentuk berbahan baja diharap mampu menjadi pembuktian dari keuntungan pemakaian *urethane* dibandingkan pemakaian baja dan rumus pemakaian *urethane* dengan menggunakan variabel kecepatan dan *holding time* dapat diaplikasikan pada proses *v-bending*.

Keywords: *v-bending*, *springback*, kecepatan dan *holding time*

1. Pendahuluan

Dewasa ini, perkembangan teknologi di bidang manufaktur telah berkembang pesat. Salah satu contohnya produk-produk *sheet metal* yang merambat ke berbagai jenis keperluan. Sifatnya yang ringan, dapat dibentuk, tahan lama dan kuat menjadi faktor utama mengapa produk berbahan *sheet metal* dipilih. Dengan sifat tersebut banyak material yang kita jumpai berbahan *sheet metal*, seperti sendok, panci, kaleng susu, *body* mobil dan produk lainnya.

Dengan mengandalkan teknologi saat ini, beberapa produsen produk *sheet metal*, akan melakukan berbagai hal untuk membuat produk mereka lebih unggul seperti mengembangkan desain produknya, mencari bahan dengan kualitas unggul atau melakukan metode pembuatan yang berbeda yang disesuaikan dengan kebutuhan produk mereka masing-masing. Untuk metode atau proses yang dilakukan pada *sheet metal* dengan bantuan mesin *press* terdapat beberapa jenis, seperti *blanking*, *pearcing*, *forming*, *drawing*, *deep drawing*, *bending* dan lainnya. Akan tetapi, perlu diketahui disamping keunggulan sifat dan keberagaman jenis proses pada produk *sheet metal*, terdapat beberapa faktor yang memengaruhi hasil yang akan dicapai agar sesuai dengan spesifikasi, salah satu faktor tersebut adalah *springback* material. Proses terjadinya *springback*, diawali dengan pergeseran bidang netral (*neutral axis*) yang membagi ketebalan pelat tepat di area tekukan, bersamaan dengan itu menyebabkan area tekukan tersebut mengalami penekanan pada batas bidang netral menuju permukaan dalam tekukan dan penarikan pada batas bidang netral menuju luar sehingga terjadi perbedaan tegangan yang mengakibatkan pemuluran yang berbeda, lalu *springback* pun terjadi.

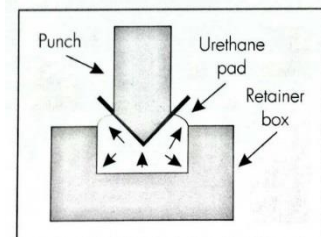


Proses *springback* seperti pada gambar 1, dapat diakibatkan oleh elastisitas bahan dan rasio antara radius tekuk terhadap tebal pelat.

Beberapa peneliti telah mendapatkan formula untuk menghitung *springback*, salah satunya seperti berikut, $\frac{R_i}{R_f} = 4 \left(\frac{R_i Y}{E T} \right)^3 - 3 \left(\frac{R_i Y}{E T} \right) + 1$ yang mana R_i : radius *punch*, R_f : sudut setelah *springback*, E : modulus elastisitas, T : tebal pelat, dan Y : *yield strength*. Akan tetapi, pada kenyataannya saat proses *bending* ada beberapa hal yang dapat memengaruhi besaran *springback* selain tebal pelat dan radius, seperti kecepatan pada saat pembentukan, *holding time*, atau bahkan jenis bahan *punch/die* yang dipakai.

Oleh karena itu, untuk menambah atau mengembangkan rumus yang sudah ada menjadi lebih lengkap, perlu adanya percobaan eksperimental menggunakan metode *V-bending* dengan menambahkan variabel seperti kecepatan pembentukan dan *holding time* pada pelat material AISI 1005 ketebalan 1,87 mm serta menggunakan *urethane pad* sebagai *die*. Dengan menggunakan variabel tersebut diharapkan mampu mendapatkan formula yang baru dan lengkap untuk menghitung nilai *springback*.

Penggunaan *urethane pad* sendiri berdasarkan pada berkembangnya teknologi *die/punch* yang banyak beralih dari



Gambar 2. V-bend pada *urethane pad*

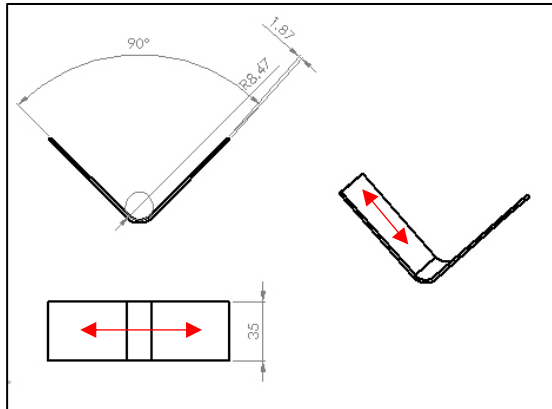
bahan baja menjadi *urethane/rubber* seperti pada gambar 1.2. Selain itu, beberapa penelitian menyebutkan penggunaan *urethane* pada proses pembentukan dapat mengurangi nilai *springback* dan mengurangi cacat pada produk.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Material

Material untuk spesimen yang digunakan berbahan AISI 1005 yang memiliki unsur utama C (4%), Mn (16%), P (0.9%), dan S (1.2%). Hasil uji tarik dengan standar ASTM E 8M menggunakan mesin *Universal Testing Machine Hung-Ta Instrument 9501* mendapatkan nilai *yield strength* (γ) sebesar 223.697 [N/mm²], *tensile strength* (σ) 299.347 [N/mm²], dan *elongation* setelah putus $\epsilon_{\text{setelah plat putus}} = 39\%$.

Spesimen yang dibuat untuk uji *v-bending* pada penelitian ini menggunakan standar ASTM A370 dengan dimensi 150×35×1,87 mm. Spesimen ditekuk hingga sudut 90° dengan ukuran radius *bending* sebesar R8,47 dan arah *rolling direction* (tanda panah merah) seperti berikut.



Gambar 3. Spesimen uji *bending*

Material *punch* menggunakan bahan Amutit, material *die* menggunakan *urethane pad* dengan spesifikasi seperti berikut.

Penggunaan *urethane* sebagai pengganti *die* memiliki dimensi (100×100×50) mm dan nilai defleksi sebesar 90 duro A dengan standar penggunaan yaitu untuk *v-bends* akan diuji dengan menggunakan alat durometer A. Pengujiannya dapat dilihat seperti gambar. Pada pengujian, terlihat jarum penunjuk mengarah ke angka 89 duro A. Ini menunjukkan bahwa nilai defleksi yang dimiliki *urethane* sesuai dengan spesifikasi yang ada.



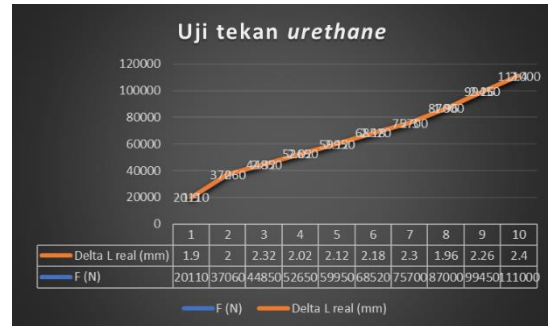
Gambar 4. Uji durometer

Selain itu dilakukan pengujian tekan pada *Universal Testing Machine Hung-Ta Instrument 9501*.

Pada pengujian tekan yang dilakukan pada penelitian ini, diperlukan alat bantu penekan yang memiliki luas permukaan sentuh minimal sama dengan luas permukaan *urethane*. Hal ini berguna agar penekanan dapat dilakukan dengan maksimal dan merata.

Proses penekanan pada mesin UTM dilakukan hingga kedalaman 20 mm, yang

dibagi menjadi 10 langkah atau 2 mm dalam satu langkah. Kedalaman maksimal penetrasi 20 mm diambil untuk mengantisipasi gaya *bending* dengan gaya yang dapat ditahan oleh *urethane*.

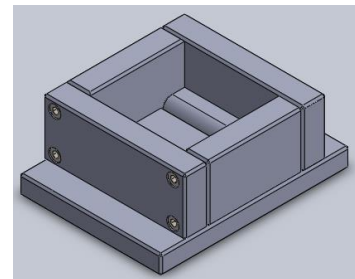


Gambar 5. Hasil uji tekan *urethane*

2.2 Retainer box

Pada perancangan sebuah *urethane tools*, penggunaan sangkar atau *retainer box* umum digunakan untuk mempermudah penyetingan pada mesin, faktor keamanan, serta penggunaannya dapat mengurangi/mengontrol tekanan yang dihasilkan, sehingga *tools* digunakan pada porsi yang tepat.

Pada penelitian kali ini, *retainer box* yang digunakan berjenis *female die pad* yang memposisikan *urethane pad* berada di bawah menggantikan posisi *die* pada umumnya, berikut gambar 6. yang merupakan konstruksi dari *retainer box*.



Gambar 6. *Retainer box*

Retainer box terdiri dari bagian *retainer* dan bagian tambahan yaitu *bar deflector* dibagian dalam yang berfungsi sebagai pengontrol tekanan.

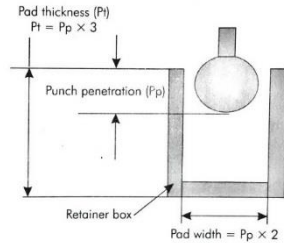
2.3 Uji coba dan pengukuran produk

Uji coba dilakukan pada mesin *press AIDA direct servo formers DSF-C1-A series* di laboratorium teknik manufaktur Politeknik Manufaktur Bandung. Mesin *press* ini menggunakan penggerak utama servo motor sehingga memungkinkan untuk besar penekanan dan kecepatan penekanan yang stabil. Selanjutnya spesimen yang telah diuji

bending diukur dengan menggunakan CMM Mitutoyo seri BHN706 di laboratorium jurusan teknik manufaktur.

3. Perancangan dan perhitungan

3.1 Perancangan *retainer box*



Gambar 7. Urethane tooling parameters (Benson, 1997:155)

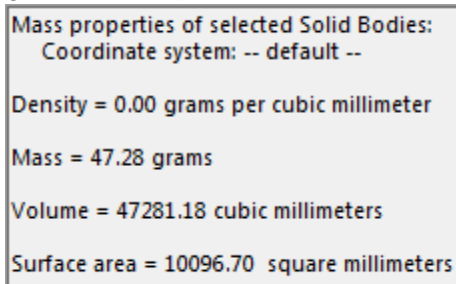
$$\begin{aligned} \text{Punch penetration (Pp)} &= t_{\text{punch}} + t_{\text{pelat}} \\ &= 21.49 + 1.87 \\ &= 23.36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil *punch penetration* yang di dapat, *pad width and pad thickness* dapat dicari.

$$\begin{aligned} \text{Pad width (Pw)} &\geq \text{punch penetration (Pp)} \times 2 \\ &\geq 23.36 \text{ mm} \times 2 \\ &\geq 46.72 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pad thickness (Pt)} &\geq \text{punch penetration (Pp)} \times 3 \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan *working pad volume*. Langkah perhitungannya yakni, mencari volume penetrasi (P_v) dari *punch* dan material yang nanti akan terbenam ke dalam *urethane* dengan bantuan *software solidworks 2016*.



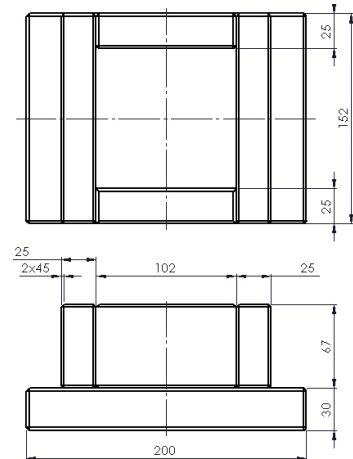
Gambar 8. Perhitungan luas

Dari data tersebut di dapat volume penetrasi *punch* dengan pelat yang terbenam di *urethane* yaitu 47281.18 mm^3 . Setelah mengetahui volume penetrasi (P_v), *working volume* dapat dicari. Berikut perhitungannya, *Pad volume (working pad volume)*

$$\begin{aligned} W_v &\geq P_v \times 10 \\ &\geq 47281.18 \times 10 \\ &\geq 472811.8 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Dari data batasan perhitungan di atas, dimensi *retainer box* dan *urethane* dapat ditentukan.

Pada gambar berikut hasil perancangan *retainer box* dan penentuan dimensi *urethane*. Dari rancangan di samping dapat dihitung *pad volume* atau volume ruang penampung



Gambar 8. Retainer box

sebagai berikut,

$$\begin{aligned} W_v &= 102 \times 102 \times 67 \\ &= 697068 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Dan hasil menunjukkan lebih besar dari 472811.8 mm^3 .

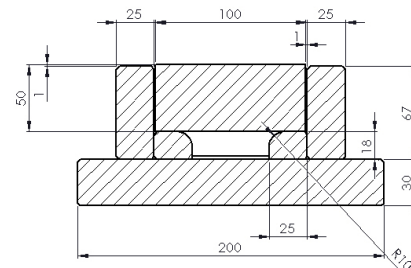
3.2 Perancangan *bar deflector*

Perancangan *bar deflector* dimulai dari perhitungan volume penetrasi. Volume penetrasi dianggap sebagai volume yang harus dipindahkan ke *gap* yang dibuat oleh *bar deflector*.

Berikut langkah-langkah perhitungannya.

1. Ukuran lebar *punch* sebesar 50 mm akan menjadi lebar *gap* antara kedua *bar deflector*. Sehingga, ukuran lebar *bar deflector* masing-masing 25 mm dengan kelonggaran 1 mm *per side*.
2. Penentuan tinggi *bar deflector*, diambil dari keharusan tinggi *urethane* melebihi *retainer* untuk menghindari spesimen uji yang dapat membentur dinding *retainer* ketika penekanan berlangsung sehingga, $t_{\text{bar deflector}} = (67-50) + 1 = 18 \text{ mm}$

Ketinggian *urethane* terhadap *retainer* 1 mm dan *bar deflector* diberi radius



sebesar R10.

Gambar 9. Bar deflector

3.2 Perhitungan ruang defleksi

Volume ruang defleksi sebanding dengan volume penetrasi yang terjadi. Tujuan perhitungan ini, agar ketika *urethane* berdefleksi tidak ada volume yang keluar dan tekanan tetap terkontrol.

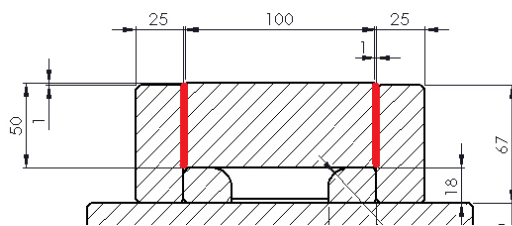
Berikut perhitungannya

1. Perhitungan volume *gap* yang terdapat dari selisih volume *retainer* dan volume *urethane*.

$$V_{gap} = V_{retainer} - V_{urethane}$$

$$= (102 \times 102 \times 49) - (100 \times 100 \times 50)$$

$$= 9796 \text{ mm}^3$$



Gambar 10. Volume gap urethane

2. Volume *gap* di antara *bar deflector*

Mass properties of selected Solid Bodies:	
Coordinate system: -- default --	
Density =	0.00 grams per cubic millimeter
Mass =	94.29 grams
Volume =	94292.04 cubic millimeters
Surface area =	18627.43 square millimeters
Center of mass: (millimeters)	
X =	65.78
Y =	47.64
Z =	50.00

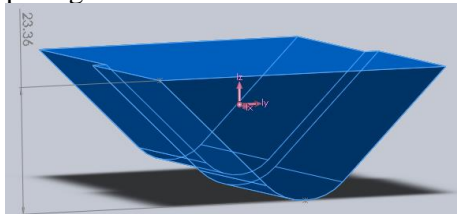
Gambar 10. Volume gap bar deflector

3. Volume total dari ruang kosong untuk *urethane* berdefleksi.

$$V_{total\ gap} = V_{gap} + V_{gap\ di\ antara\ deflector}$$

$$V_{total\ gap} = 104088.04 \text{ mm}^3$$

4. Sedangkan volume penetrasi (P_v) seperti pada gambar sebesar 47281.18 *cubic mm*



Gambar 11. Volume penetrasi

5. Terdapat selisih volume antara $V_{total\ gap}$ dan P_v , yaitu,

$$\text{Selisih volume} = V_{total\ gap} - P_v$$

$$\text{Selisih volume} = 56806.86 \text{ mm}^3$$

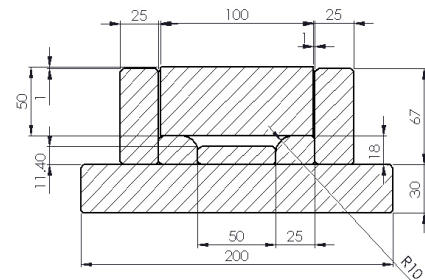
6. Oleh karena itu, solusi dari adanya selisih volume atau ruang kosong yang tidak terpakai ketika proses defleksi berlangsung adalah dengan cara menambahkan suatu pelat di antara *bar deflector* dengan besar volume yang sama dengan selisih volume.

$$V_{bar\ tambahan} = P \times L \times T$$

$$56806.86 = 100 \times 50 \times T$$

$$T = 11.36 \text{ mm}$$

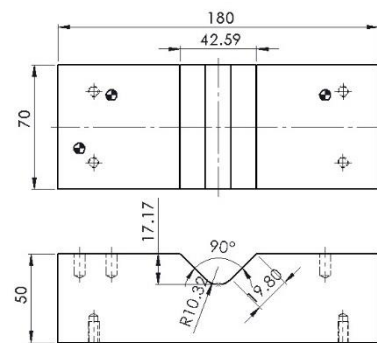
7. Setelah mengetahui dimensi dari *bar tambahan*, *retainer* akan seperti gambar berikut



3.3 Perhitungan gaya bending

Gambar 12. Retainer dan bar deflector

Untuk menentukan besarnya gaya yang dibutuhkan untuk proses *bending* kali ini, perhitungan besar gaya *bending* harus dilakukan terlebih dahulu. Pada gambar 12. berikut merupakan perhitungan gaya *bending* yang dibutuhkan



Gambar 13. Penggunaan die pada proses *bending* yang standar

Dari beberapa perhitungan di atas dapat diambil untuk menghitung besar gaya *bending*, maka bisa diketahui:

- Lebar tekukan (b) = 35 mm
- Tebal plat (s) = 1.87 mm
- Tensile strength (R_m) = 299.347 N/mm²
- Lebar die (dw) = 42.59 mm

Jawab:

$$F = \frac{1.2 \cdot b \cdot s^2 R_m}{dw} (N)$$

$$= \frac{1.2 \times 35 \times 1.87^2 \times 299.347}{42.59}$$

$$= 1032.38 N \approx 0.1053 \text{ Ton}$$

Akan tetapi, rumusan gaya *bending* yang terjadi diproses *bending* dengan menggunakan *urethane pad* sangat berbeda dibandingkan dengan *v-bending* biasa, berikut perhitungan lanjutannya

$$\text{Tonnage per inch} = F \text{ of standard vee die} \times 12$$

$$= 0.1053/25.4 \times 12$$

$$= 0.0497 \text{ ton/inch}$$

$$\text{Urethane tonnage} = \text{tonnage per inch} \times 4$$

$$= 0.0497 \times 4$$

$$= 0.1989 \text{ ton/inch}$$

$$\text{Working tonnage} = \text{urethane tonnage} \times \text{width of workpiece}$$

$$= 0.1989 \times 35/25.4$$

$$= 0.2740 \text{ ton}$$

Jadi, total penggunaan gaya pada saat proses *bending* berlangsung adalah \pm sebesar 0.3 ton.

3.2 Perhitungan *springback*

Sebelum melakukan penelitian, dilakukan terlebih dahulu perhitungan *springback* dengan menggunakan rumus dan tabel yang tersedia. Setelah itu, membandingkan dengan hasil penelitian. Berikut perhitungannya.

Rumus

Langkah awal perhitungan besarnya *springback* yaitu menghitung besarnya modulus elastisitas dari spesimen *bending* yang digunakan dan perhitungan *elongation* menggunakan rumus perbandingan antara *elongation* puncak sebelum plat putus dan *elongation* setelah plat putus. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{sebelum plat putus}}}{\varepsilon_{\text{setelah plat putus}}} = \frac{52.97\%}{38.867\%} = 1.33\%$$

Sehingga modulus elastisitas yang di dapat sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{221.967}{1.33\%} = 16689.25 \text{ N/mm}^2$$

Selanjutnya modulus elastisitas yang sudah dihitung dimasukkan pada rumus *springback* radius akhir. Berikut merupakan perhitungan besar *springback* radius akhir.

$$\frac{R_i}{R_f} = 4 \left(\frac{R_i \cdot Y}{E \cdot t} \right)^3 - 3 \left(\frac{R_i \cdot Y}{E \cdot t} \right) + 1$$

$$\frac{8.45}{R_f} = 4 \left(\frac{8.45 \times 223.697}{16689.25 \times 1.87} \right)^3 - 3 \left(\frac{8.45 \times 223.697}{16689.25 \times 1.87} \right) + 1$$

$$\frac{8.45}{R_f} = 0.819$$

$$R_f = 10.317$$

Setelah itu, menghitung besar *springback* menggunakan persamaan k faktor. Dimana diketahui besar sudut $\alpha_i = 90^\circ$ atau 1.571 radian, sehingga perhitungannya sebagai berikut.

$$K_s = \frac{\alpha_f}{\alpha_i} = \frac{\left(\frac{2R_i}{t} \right) + 1}{\left(\frac{2R_f}{t} \right) + 1}$$

$$\alpha_f = 1.571 \times \frac{\left(\frac{2 \times 8.465}{1.87} \right) + 1}{\left(\frac{2 \times 10.317}{1.87} \right) + 1}$$

$$\alpha_f = 1.312 \approx 75.172^\circ$$

Sehingga besarnya prediksi *springback* yaitu selisih antara α_i dan α_f .

$$\text{Springback} = \alpha_i - \alpha_f = 90^\circ - 75.172^\circ$$

$$= 14.828^\circ$$

Radius awal dan radius akhir serta besarnya α_i dan α_f yang sudah diketahui, dapat digunakan untuk menghitung besarnya k faktor *springback*. Berikut perhitungan k faktor *springback*.

$$K_s = \frac{\alpha_f}{\alpha_i} = \frac{\left(\frac{2R_i}{t} \right) + 1}{\left(\frac{2R_f}{t} \right) + 1} = \frac{1.312}{1.571} = 0.835$$

Tabel 1. Tabel *springback*

Material	Tebal (t) mm	Radius Tekukan	β°
Baja lunak ($\sigma = 220 \text{ N/mm}^2$)	≥ 0.8	$\geq 1. t$	4
		$1. t \div 5. t$	5
		$\leq 5. t$	6
Aluminium	$0.8 \div 2$	$\geq 1. t$	2
		$1. t \div 5. t$	3
		$\leq 5. t$	4
Seng	≤ 2	$\geq 1. t$	0
		$1. t \div 5. t$	1
		$\leq 5. t$	2

Tabel

Dari penggunaan tebal pelat dan radius tekuk pada penelitian maka prediksi *springback* menggunakan ketentuan tabel 2.3 berbahan baja lunak dan *range* radius tekukan yang di dapat $1. t \div 5. t$. Maka *springback* yang dihasilkan sebesar 3° . $Springback = 3^\circ \approx 0.052 \text{ radian}$. Sehingga besarnya α_f adalah selisih antara α_i dan besar *springback*, dengan besar $\alpha_i = 90.02^\circ$ atau 1.571 radian. Berikut merupakan perhitungan untuk mencari besar α_f dan *k factor springback*,

$$springback = \alpha_i - \alpha_f$$

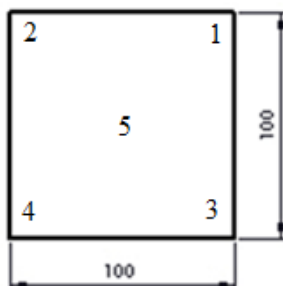
$$\alpha_f = \alpha_i - springback = 1.571 - 0.052 = 1.519 \text{ radian}$$

$$K_s = \frac{\alpha_f}{\alpha_i} = \frac{1.519}{1.571} = 0.967$$

3.3 Uji coba

Perubahan bentuk pada urethane

Pada pengujian selanjutnya dengan menggunakan variabel yang sesungguhnya, terhitung sejak percobaan pelat uji pertama, *urethane* mulai mengalami perubahan pada permukaan



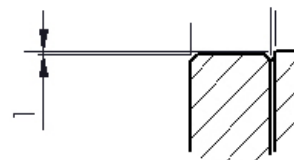
Gambar 14. Nomer ketinggian

tekannya, dimulai dari cekungan serta jejak penekanan *punch* dan pelat. Pada gambar 11. Berikut merupakan pendataan yang diperoleh.

Tabel 2. Data defleksi *urethane*

No*	Kecepatan (SPM)	Holding time (s)	Pertambahan Ketinggian No (mm)				
			1	2	3	4	5
1	1	0	1.2	1.2	1.2	1.1	0.52
2	1	30	1.2	1.2	1.2	1.1	0.05
3	1	60	1.2	1.2	1.2	1.1	-0.2
4	28	0	1.2	1.2	1.2	1.1	0.05
5	28	30	1.2	1.2	1.2	1.1	-0.25
6	28	60	1.2	1.2	1.2	1.1	-0.4
7	56	0	1.2	1.2	1.2	1.1	-0.08
8	56	30	1.2	1.2	1.2	1.1	-0.38
9	56	60	1.2	1.2	1.2	1.1	-0.38

Titik nol pengukuran ketinggian data tersebut diukur menggunakan *dial* tusuk dari puncak *retainer box* ke *urethane* yang pengukuran semula memiliki ketinggian 1 mm.



Gambar 15. Ketinggian *urethane*

3.4 Analisis hasil pengukuran

Setelah memprediksi besar *springback* dari perhitungan sebelumnya, tahap selanjutnya adalah mengukur besarnya *springback* (sudut akhir) yang terjadi setelah proses *v-bending* dengan menggunakan variabel kecepatan penekanan dan *holding time* pada *urethane pad* yang telah dilakukan. Adapun besar perhitungan *springback* dijadikan acuan untuk memprediksi besarnya *springback* yang terjadi di luar variabel kecepatan dan *holding time* yang ditentukan. Berikut tabel 5. merupakan data hasil pengukuran dimensi sudut dalam spesimen menggunakan mesin CMM Mitutoyo seri BHN706.

Tabel 3. Hasil pengukuran

No	Kecepatan (mm/s)	Holding time (s)	Sudut yang dihasilkan (°)		Springback (°)		Rata-Rata (°)
			1	2	1	2	
1	6	0	92.485	92.802	2.500	2.817	2.659
2	6	30	93.372	93.261	3.388	3.276	3.332
3	6	60	93.809	93.438	3.824	3.453	3.639
4	168	0	92.095	92.774	2.111	2.790	2.450
5	168	30	91.494	92.059	1.509	2.074	1.792
6	168	60	91.972	92.265	1.987	2.280	2.134
7	336	0	92.634	92.603	2.649	2.618	2.634
8	336	30	92.279	92.166	2.294	2.181	2.238
9	336	60	93.031	91.486	3.046	1.501	2.273
					Total rata-rata		2.572

Merujuk pada prediksi *springback* menggunakan rumus dan tabel pada sub bab sebelumnya, besarnya prediksi *springback* masing-masing dan *k factor springback* masing-masing yaitu 14.828° dan 3° serta besarnya *k factor springback* 0.835 dan 0.968. Selanjutnya, dilakukan perhitungan *k factor springback* dari total rata-rata *springback* menggunakan *v-bending* dan menggunakan variabel kecepatan penekanan serta waktu penahanan (*holding time*) dengan besar sudut awal $\alpha_i = 90.02^\circ$ atau 1.571 radian. Berikut perhitungan *k factor springback*.

$$\begin{aligned} \text{Total rata - rata springback} &= 2.572^\circ \\ &\approx 0.044 \text{ radian} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{springback} &= \alpha_i - \alpha_f \\ \alpha_f &= \alpha_i - \text{springback} = 1.571 - 0.044 \\ &= 1.527 \text{ radian} \\ K_s &= \frac{\alpha_f}{\alpha_i} = \frac{1.527}{1.571} = 0.971 \end{aligned}$$

Besarnya *springback* yang dicapai berbasis pada besarnya sudut *punch* yang dibuat, besar sudut *punch* yang dibuat yaitu sebesar 89.9847° , pada hasil pengukuran sudut kali ini besarnya *springback* sangat dipengaruhi oleh faktor kecepatan penekanan dan waktu penahanan (*holding time*) juga pada besarnya nilai dari kedua variabel yang diambil (level) bisa dilihat pada hasil pengukurannya yang berbeda-beda. Pengolahan data yang dilakukan pada analisis kali ini menggunakan *software* Minitab18. Penjelasan lebih untuk mengetahui pengaruh dari besarnya variabel kecepatan penekanan dan *holding time* akan disajikan pada *interaction plot* dan *main effect plot*.

Interaction plot

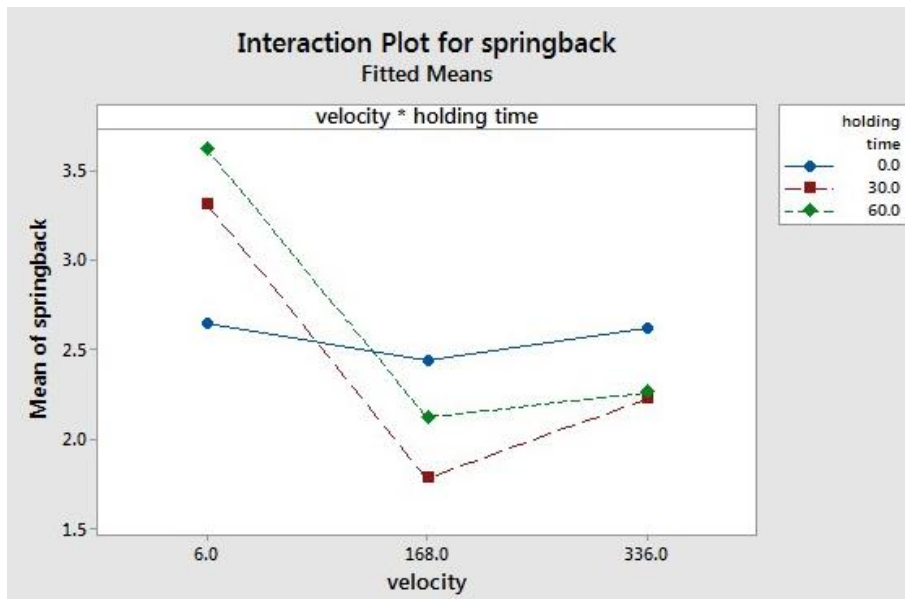
Untuk melihat apakah kedua variabel berpengaruh atau tidaknya terhadap *springback* maka data yang sudah di dapat diolah menjadi *interaction plot*.

Interaction plot mengidentifikasi adanya interaksi yang ditimbulkan oleh variabel kecepatan penekanan dan waktu penahanan (*holding time*) serta besarnya nilai kedua variabel tersebut memengaruhi interaksi pada besarnya *springback* yang dihasilkan. Dari gambar bisa dilihat bahwa interaksi dari kedua variabel yang menghasilkan *springback* yang baik yaitu dengan nilai variabel kecepatan 28 SPM dan *holding time* sebesar 30 s yang menunjukkan nilai 1.77625° , nilai tersebut merupakan nilai yang sangat baik dibandingkan dengan interaksi dari besarnya dua variabel yang lain, sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan *springback* yang paling kecil harus menggunakan variabel kecepatan penekanan 28 SPM dan *holding time* 30 s.

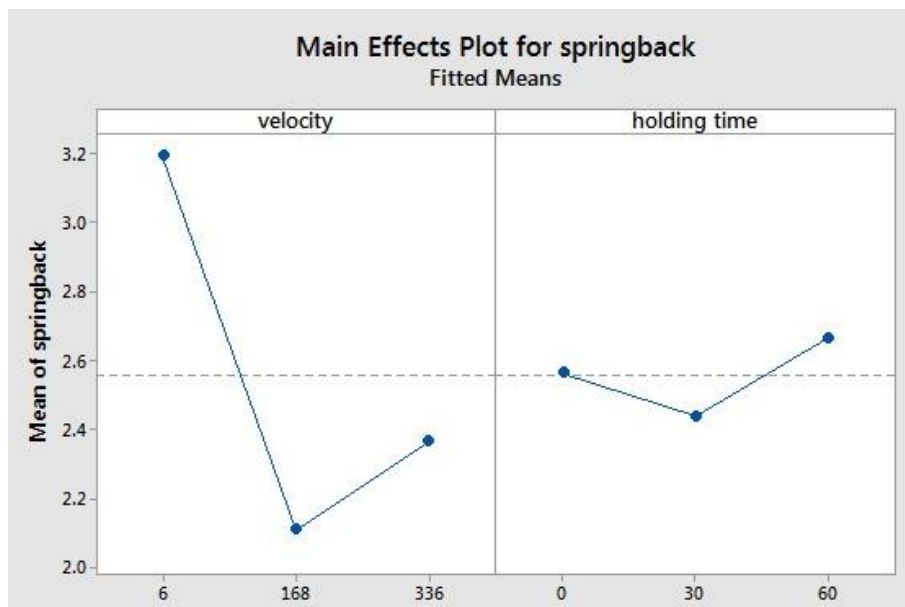
Main effect plot

Main effect plot digunakan untuk menguji perbedaan antara rata-rata besarnya variabel (level) terhadap satu atau lebih variabel. Ketika besarnya nilai variabel berbeda maka akan memengaruhi respon yang berbeda pula. *Main effect plot* ini memberikan informasi mengenai tiap-tiap variabel secara individu memengaruhi besarnya nilai respon atau untuk kasus ini yang memengaruhi besarnya *springback*.

Main effect plot pada gambar 17 berikut menjelaskan bahwa efek dari variabel kecepatan penekanan dan variabel *holding time* memengaruhi besarnya *springback*, ditandai dengan grafik yang fluktuatif dari kedua variabel tersebut.



Gambar 16. Interaction plot



Gambar 17. Main effect plot

Titik paling rendah dari kedua variabel tersebut merupakan besar nilai *springback* yang paling baik. Titik paling rendah untuk variabel kecepatan penekanan yaitu 28 SPM dengan *springback* sebesar 2.1098° dan titik paling rendah untuk variabel waktu penahanan (*holding time*) yaitu 30 detik dengan *springback* di antara 2.4383° sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan hasil *springback* yang baik (terkecil) yaitu menggunakan kecepatan penekanan sebesar 28 SPM atau menggunakan variabel 30 detik *holding time*.

Regresi linier

Dari hasil data pengukuran dan perhitungan prediksi besarnya *springback* dapat disimpulkan bahwa perhitungan prediksi besar *springback*, besarnya sangat berbeda dengan hasil uji coba, hasil perhitungan menunjukkan besar *springback* yaitu 19.885° dan hasil prediksi tabel sebesar 3° sedangkan rata-rata hasil pengukuran *springback* sebesar 2.5568° . Hal ini memungkinkan bahwa adanya variabel kecepatan penekanan dan variabel *holding time* berpengaruh terhadap besarnya *springback* yang dihasilkan, sehingga untuk menyempurnakan rumus perhitungan prediksi

besarnya *springback* terhadap variabel kecepatan penekanan dan *holding time*, hasil pengukuran yang sudah dilakukan bisa digunakan dan selanjutnya data di olah serta dibuatkan rumus regresi linear berganda.

Untuk menghasilkan rumus regresi linear berganda langkah awal yang dilakukan adalah membuat persamaan dasar atas variabel kecepatan penekanan dan *holding time*. Adapun persamaan yang didapat yaitu,

$$Y = 2.928 + (-0.00249).X_1 + 0.001683.X_2$$

Rumus regresi linear berganda tersebut bisa digunakan untuk mencari besarnya *springback* dengan menggunakan variabel

kecepatan penekanan dan waktu penahanan (*holding time*) pada pemakaian *urethane* dengan besar nilai dari kedua variabel tersebut masih ada pada *range* yang tersedia.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada bab sebelumnya, terdapat beberapa kesimpulan di antaranya:

1. Penggunaan *urethane* pada proses *v-bending* dengan menggunakan batasan, standar penelitian dan variabel yang ada, tidak menunjukkan bahwa penggunaan *urethane* mampu mengurangi *springback* dibandingkan dengan menggunakan *die* berbahan baja. Hasil penelitian menggunakan *die* berbahan baja dapat dilihat di lampiran E.
2. Besar kecepatan pembentukan yang mampu menghasilkan *springback* terkecil yaitu 28 SPM dengan *springback* sebesar 2.1098° dan besar penahanan (*holding time*) pada pembentukan yang menghasilkan *springback* terkecil yaitu 30 s dengan *springback* sebesar 2.4383° , serta dari grafik regresi linier, kecepatan pembentukan merupakan penyebab *springback* paling dominan dibandingkan *holding time*.
3. Perbandingan hasil pada pemakaian rumus *springback* (1) yang di dapat ($Y = 2.928 + (-0.00249).X_1 + 0.001683.X_2$), rumus umum *springback* (Kalpakjian) (2), dan tabel *springback* (Budiarto) (3) dan *k factors* adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Perbandingan hasil *springback*

No	Kecepatan (mm/s)	Holding time (s)	Hasil <i>springback</i> ($^\circ$)			k factors
			1	2	3	
1	300	45	2.2567	19.885	3	0.978
2	30	15	2.8785	19.885	3	0.966

Daftar Pustaka

- Luchsinger, H.R. (1984). *Tool design 2*. Bandung: Politeknik Mekanik Swiss-ITB
- Tschaetsch, H. (2005). *Metal forming practise*. Dresden: Vieweg Verlag
- Budiarto. (2012). *Sheet metal forming 2*. Bandung: Politeknik Manufaktur Bandung
- Benson, S.D. (1997). *Press brake technology*. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers
- Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R. (2014). *Manufacturing-Engineering and technology*. Jurong: Pearson Education South Asia Pte Ltd
- Choudhury, I.A. dan Ghomi, V. (2013). *Springback reduction of aluminum sheet in v-bending dies*. (Jurnal). Kuala Lumpur: SAGE
- Dieter, G.E. (1987). *Mechanical Metallurgy*. New York: Mc Graw Hill Book Company
- Ostegard, D.E. (1963). *Basic die making*. USA: McGraw-Hill Book Company
- Lascoe, O.D. (1988). *Handbook of fabrication processes*. West lafayette: Carnes Publication Services, Inc.
- Anonym. (TT). *Urethane forming*. [Online]. Tersedia di: <http://www.artofpressbrake.com>. Diakses pada tanggal 10 Maret 2019.
- Supranto, J. (2000). *Statistik-teori dan aplikasi*. Jakarta: Erlangga
- Rahmani, B. Alinejad, G. dkk. (2009). *An investigation on springback/negative springback phenomena using finite element method and esxperimental approach*. (jurnal). Mazandaran: SAGE

