

ANALISIS *SPRINGBACK* PADA PROSES V-BENDING DENGAN VARIABEL KEKERASAN POLYURETHANE SEBAGAI DIE PEMBENTUK DAN ARAH TEKUNAN SEARAH GRAIN DIRECTION PELAT

Hartono Widjaja^{a,*}, Yuceu Sania Kamulyan^a

^a Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Jl. Kanayakan 21. Dago – Bandung 40135

* hartono@polman-bandung.ac.id

Abstract

Springback is a phenomenon that occurs in plate sheets when they are processed by bending. Bending plates experience deviations in corner dimensions and bending radius from those designed. The springback process begins with a shift in the neutral plane (neutral axis) which divides the thickness of the plate, right in the bending area will experience pressure on the neutral plane boundary towards the inner surface of the bend and withdrawal on the neutral plane boundary towards the outside. From this voltage difference, the springback process occurs. This research will use urethane as a substitute for Die (bottom forming) as a substitute for the steel material that has been used so far while the punch (top forming) still uses steel. The author will conduct experimental research on the V-bending process with an angle of 90° for ST37 material with a thickness of 2 mm with a variable hardness of polyurethane shore 80A, 84A, 93A and 95A duro. The general springback formula that has been used so far is $R_i/R_f = 4 \left(\frac{R_i \cdot Y}{E \cdot t} \right)^3 - 3 \left(\frac{R_i \cdot Y}{E \cdot t} \right) + 1$

Springback results based on the urethane hardness variable were able to produce the smallest springback by using Urethane shore 93 A Duro with a springback of 2.31°. In addition, the amount of springback with the polynomial regression formula is closer to the ideal design compared to the general springback formula (Kalpakjian). The results of this study can be used by a tool designer and recommended for improvement of forming punch angles that can be done in industry.

Kata kunci: grain direction; polyurethane; springback; urethane tooling; v-bending

Abstrak

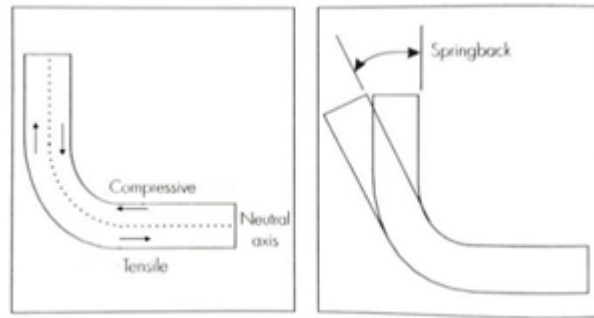
Springback adalah fenomena yang terjadi pada lembaran pelat apabila diproses bending. Pelat yang dibending mengalami penyimpangan dimensi sudut dan radius tekuk dari yang dirancang. Proses terjadinya springback, diawali dengan pergeseran bidang netral (neutral axis) yang membagi ketebalan pelat, tepat di area tekukan akan 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. Penelitian ini akan memakai bahan urethane sebagai pengganti Die (pembentuk bawah) sebagai pengganti material baja yang selama ini dipakai sementara punch (pembentuk atasnya) tetap memakai baja. Penulis akan melakukan penelitian eksperimental pada proses V-bending dengan sudut 90° material ST37 ketebalan 2 mm dengan variable kekerasan polyurethane shore 80A, 84A, 93A dan 95A duro. Rumus umum springback yang selama ini dipakai adalah $R_i/R_f = 4 \left(\frac{R_i \cdot Y}{E \cdot t} \right)^3 - 3 \left(\frac{R_i \cdot Y}{E \cdot t} \right) + 1$

Hasil springback berdasarkan variabel kekerasan urethane mampu menghasilkan springback terkecil yaitu dengan menggunakan Urethane shore 93 A Duro dengan springback sebesar 2.31°. Selain itu, besarnya springback dengan rumus regresi polinomial lebih mendekati ideal rancangan dibandingkan dengan rumus umum springback (Kalpakjian). Hasil penelitian ini dapat dipakai oleh seorang perancang tool dan di rekomendasikan untuk perbaikan sudut punch pembentuk yang bisa dilakukan di industri.

Kata kunci: grain direction; polyurethane; springback; urethane tooling; v-bending

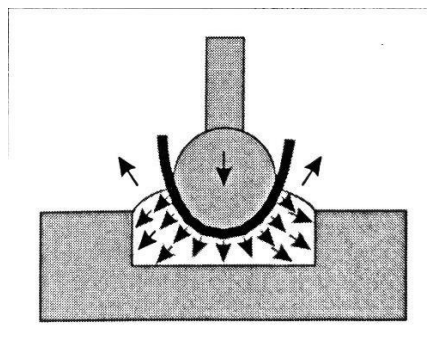
1. Pendahuluan

Press tool adalah alat yang mempunyai prinsip kerja penekanan dengan melakukan pemotongan, pembentukkan, atau gabungan dari keduanya. Press tool memproduksi produk masal dengan keseragaman produk yang sama dalam waktu yang singkat. Salah salah faktor yang mempengaruhi kualitas produk V-bending adalah springback. Springback terjadi ketika tekanan tekuk dihilangkan pada akhir deformasi, energi elastis tetap berada di bagian yang tertekuk dan menyebabkan sebagian pulih menuju bentuk aslinya (lihat gambar 1).



Gambar 1. Springback

Proses springback 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 $R_i/R_f = 4((R_i \cdot \gamma)/(E \cdot t))^3 - 3((R_i \cdot \gamma)/(E \cdot t)) + 1$ dimana R_i : radius punch, R_f : sudut setelah springback, E : modulus elastisitas, T : tebal pelat, dan Y : yield strength dan dapat pula melihat tabel springback. Namun, menurut beberapa penelitian grain direction, kecepatan pembentukkan, holding time dan jenis bahan punch/die yang digunakan dapat berpengaruh mempengaruhi springback. Bahan yang umum untuk digunakan untuk proses bending adalah material baja. Namun, beberapa referensi yang menyebutkan pemakaian urethane tooling terbukti lebih baik dalam menghasilkan produk dengan hasil springback yang kecil. Hal tersebut terjadi karena pada urethane tooling ketika punch penetrasi menembus urethane pad, maka gaya yang diterapkan dipindahkan ke urethane pad merata ke semua titik seperti pada gambar 2. Sedangkan pada proses V-bending dengan material baja, gaya yang diterapkan hanya sepanjang garis lurus dimana ada interaksi antara permukaan *die*, material *bending* dan *punch*.



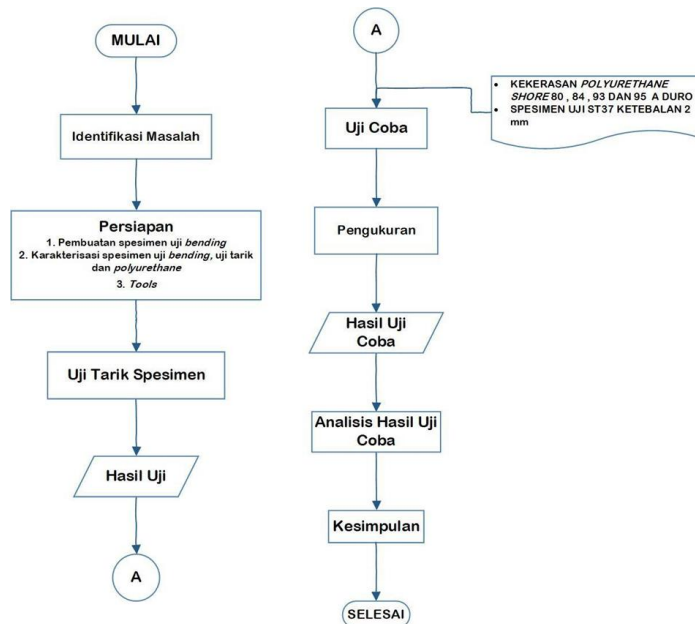
Gambar 2. Gaya yang terjadi pada proses urethane tooling

Pada penelitian sebelumnya (Indraprasta, 2018), telah dilakukan percobaan eksperimental pada proses V-bending dengan jenis material punch/die menggunakan urethane pad shore 90 A sebagai die dan baja sebagai punch dengan variabel kecepatan pembentukkan dan holding time. Namun, pada penelitian sebelumnya untuk penggunaan urethane tooling hanya menggunakan satu kekerasan saja. Maka penulis akan melanjutkan penelitian tersebut, yaitu melakukan percobaan eksperimental pada proses V-bending dengan arah pembentukkan searah dengan grain direction pelat. Dan juga, menambahkan variabel kekerasan polyurethane dengan pemilihan shore dua di atas 90 A dan dua dibawah 90 A seperti polyurethane shore 80 A duro, 84 A duro 93 A dan 95 A duro pada pelat material ST37 ketebalan 2 mm. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh kekerasan polyurethane terhadap springback dan besar kekerasan polyurethane yang mampu mengurangi hasil springback menjadi lebih kecil dengan membandingkan rumus yang didapat dari hasil uji coba bending dengan rumus umum springback.

2. Material dan metode penelitian

2.1 Metode Penelitian

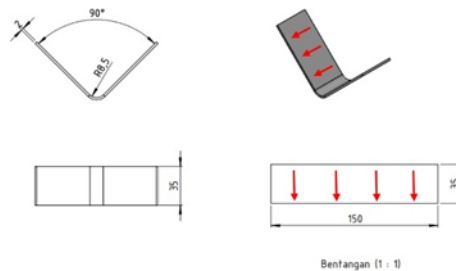
Metodologi dalam penelitian ini ditunjukkan oleh gambar alur penelitian berikut.



Gambar 3. Alur proses penelitian

2.2 Material

Spesimen yang dibuat untuk uji V-bending bermaterialkan pelat ST37 dengan dimensi 150×35×2 mm. Spesimen ditekuk dengan sudut 90° dengan ukuran radius bending sebesar R8,5 dan arah pembentukkan searah rolling direction.



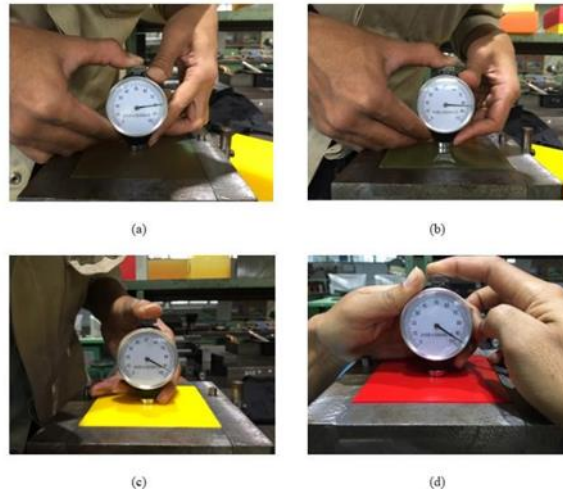
Gambar 4. Spesimen Uji Bending

Selain itu dilakukan uji tarik dengan standar ASTM E8M menggunakan mesin Universal Testing Machine Hung-Ta Instrument 9501 mendapatkan nilai seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Data uji Tarik material ST.37

Parameter Pengukuran	Spesimen ke-1	Spesimen Ke-2	Spesimen Ke-3	Rata-rata
0.2% Y.S.	6.343,8	6.597,9	6.299,6	6.413,8
Yield Strength (γ) [N/mm ²]	297.55	295.95	296.17	296.56
Tensile Strength (σ) [N/mm ²]	370,1	371,2	371,4	370,9
Elongation (ϵ) [%]	43,6	39,8	46,4	43,3
Modulus Elastisitas [E]	65.800	76.600	74.400	72.266

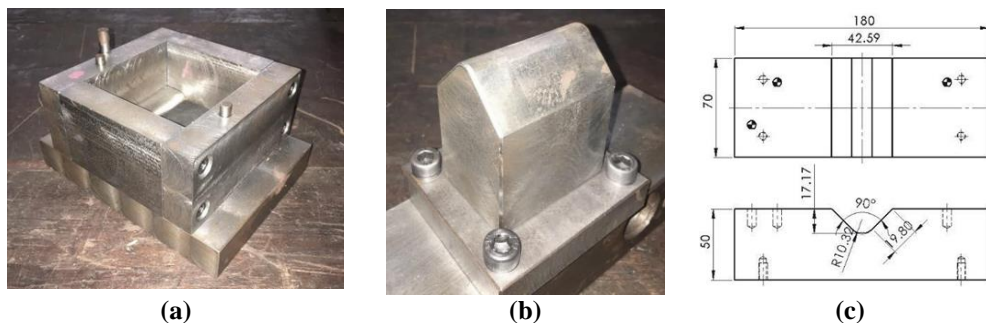
Penggunaan polyurethane pada urethane tooling memiliki dimensi (100×100×50) mm dan nilai kekerasan sebesar 80, 84, 93 dan 95 duro A yang telah diuji dengan menggunakan alat durometer A. Untuk standar mengukur kekerasan menggunakan durometer A dianjurkan menggunakan standar ASTM 2240. Namun karena kebutuhan praktis pada penelitian ini tidak melakukan standar pengukuran tersebut, melainkan penulis meletakkan spesimen pada permukaan rata dan menekankan durometer sejajar terhadap permukaan spesimen dengan bantuan pengarah tangan seperti Gambar 5 berikut



Gambar 5. Pengujian durometer

2.3 Peralatan

Pada penelitian ini tools yang digunakan yaitu retainer box yang berfungsi sebagai sangkar atau tempat polyurethane ketika proses penetrasi berlangsung, dan *punch* pembentuk seperti yang diperlihatkan Gambar 6 berikut.



Gambar 6. (a) Retainer Box (b) punch (c) die bending

Uji coba dilakukan pada mesin press AIDA direct servo formers DSF-C1-A series di laboratorium teknik manufaktur Polman 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 Polman Bandung.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perhitungan Gaya Bending dan Nilai Springback

Perhitungan gaya *bending* menggunakan baja dan *urethane* serta nilai *springback* yang mungkin terjadi berdasarkan gaya *bending* yang ada diperlihatkan oleh Table 2 berikut.

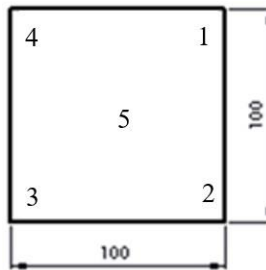
Tabel 2. Perhitungan gaya *bending* dan nilai *springback*

Perhitungan Gaya <i>Bending</i>	Perhitungan Nila <i>Springback</i>
<ul style="list-style-type: none"> Gaya <i>Bending</i> standar <p>Diketahui:</p> <ul style="list-style-type: none"> Lebar tekukan (b) = 35 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Nilai <i>springback</i> <p>Mencari besar sudut <i>springback</i></p>

<p>- Tebal pelat (s) = 1.87 mm - Tensile strength (Rm) = 370.9 N/ mm² - Lebar die (dw) = 42.59 mm</p> <p>Gaya bending (F) adalah:</p> $F = \frac{1.2 \times b \times t^2 \times R_m}{dw}$ $F = \frac{1.2 \times 35 \times 1.87^2 \times 370.9}{42.59}$ $F = 1279.033 \text{ N} \cong 0.1304 \text{ Ton}$ <p>• Gaya Bending untuk die urethane</p> <p>Tonnage per inch = F of standard vee die × 12 = 0.1304/25.4 × 12 = 0.0616 ton</p> <p>Urethane tonnage = tonnage per inch × 4 = 0.0616 × 4 = 0.2464 ton</p> <p>Working tonnage = urethane tonnage × width of workpiece = 0.2464 × 35/25.4 = 0.3396 ton</p> <p>Jadi, total penggunaan gaya pada saat proses bending berlangsung adalah 0.3 Ton.</p>	$\frac{R_i}{R_f} = 4 \left(\frac{R_i \cdot \gamma}{E \cdot t} \right)^3 - 3 \left(\frac{R_i \cdot \gamma}{E \cdot t} \right) + 1$ $\frac{8.47}{R_f} = 4 \left(\frac{8.47 \times 296.56}{72266 \times 1.87} \right)^3 - 3 \left(\frac{8.47 \times 296.56}{72266 \times 1.87} \right) + 1$ $\frac{8.47}{R_f} = 0.944$ $R_f = 8.97 \text{ mm}$ <p>Setelah itu, menghitung besar springback menggunakan persamaan k faktor. Dimana diketahui besar sudut ai = 90.02° atau 1.571 radian, sehingga perhitungannya sebagai berikut:</p> $K_s = \frac{\alpha f}{\alpha i} = \frac{\left(\frac{2R_i}{t} \right) + 1}{\left(\frac{2R_f}{t} \right) + 1}$ <p>Maka,</p> $\frac{\alpha f}{\alpha i} = \frac{\left(\frac{2R_i}{t} \right) + 1}{\left(\frac{2R_f}{t} \right) + 1}$ $\alpha f = \frac{\left(\frac{2R_i}{t} \right) + 1}{\left(\frac{2R_f}{t} \right) + 1} \times \alpha i$ $\alpha f = \frac{\left(\frac{2 \times 8.47}{1.87} \right) + 1}{\left(\frac{2 \times 8.97}{1.87} \right) + 1} \times 1.571$ $\alpha f = 1.492 \cong 85.468^\circ$ <p>Berdasarkan perhitungan tersebut, maka diprediksi springback yang akan terjadi yaitu:</p> $\text{Springback} = \alpha i - \alpha f$ $\text{Springback} = 90.020^\circ - 85.468^\circ$ <p>Besarnya faktor springback Ks adalah:</p> $K_s = \frac{\alpha f}{\alpha i}$ $K_s = \frac{1.492}{1.571} = 0.95$
--	---

3.2 Uji Coba

Pada pengujian setiap kekerasan urethane dihitung sejak awal percobaan, urethane mulai mengalami perubahan pada permukaan tekannya. Dimulai cekungan serta jejak penekanan punch dan pelat. Berikut pendataan hasil akhir perbuahan setiap kekerasan urethane yang diperoleh.

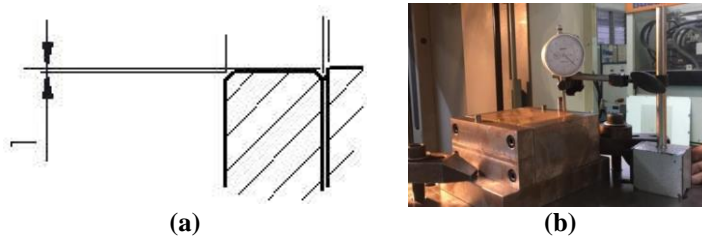


Gambar 7. Nomor Ketinggian

Tabel 3. Data perubahan bentuk polyurethane

No.	Kekerasan Urethane (Duro)	Perubahan Ketinggian Urethane (mm)				
		1	2	3	4	5
1	80 A	1	1	1	1	-0.1
2	84 A	0.5	0.5	1	1	0.2
3	93 A	1	1	1	1.2	-1
4	95 A	1.1	1.2	1.1	1.1	-1

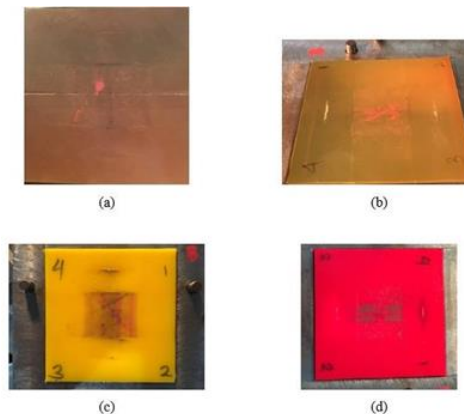
Titik nol pengukuran ketinggian data tersebut diukur menggunakan dial tusuk dari puncak retainer box ke polyurethane yang pengukuran semula memiliki ketinggian 1 mm. Seperti Gambar 8 dan 9 berikut.



Gambar 8. (a) Ketinggian awal *polyurethane* (b) Pengukuran ketinggian *polyurethane* menggunakan dial tusuk

Setelah pendataan diperoleh, perubahan pada permukaan polyurethane mulai terlihat hingga mengalami kesobekan seperti :

- Pada polyurethane 80A Duro tidak terjadi sobekan.
- Pada polyurethane 84A Duro terjadi sobekan pada percobaan ke-6.
- Pada polyurethane 93A Duro terjadi sobekan pada percobaan ke-4.
- Pada polyurethane 95A Duro terjadi sobekan pada percobaan ke-2.



Gambar 9. Sobekan *polyurethane* shore (a) 80 A Duro, (b) 84 A Duro, (c) 93 A Duro, (d) 95 A Duro

Setelah dilakukan uji coba bending dengan penambahan radius pada punch ternyata masih terjadi sobekan pada polyurethane tersebut. Hal tersebut dimungkinkan karena pada segmen polyurethane yang tidak terlibat proses bending ikut tertarik ke daerah proses bending (tengah) sehingga terjadi sobekan.

3.3 Hasil Pengukuran

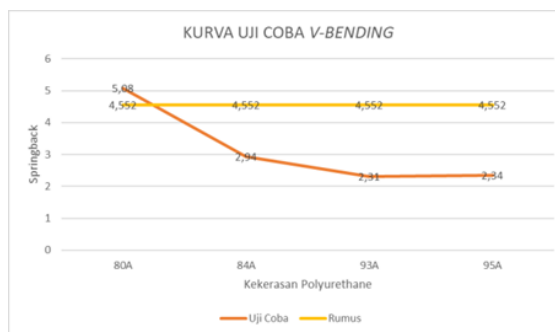
Setelah memprediksi besar springback dari perhitungan sebelumnya, tahap selanjutnya adalah mengukur besarnya springback (sudut akhir) yang terjadi setelah proses v-bending dengan menggunakan variabel kekerasan pada urethane yang telah dilakukan. Adapun besar perhitungan springback dijadikan acuan untuk memprediksi besarnya springback yang terjadi di luar variabel kekerasan polyurethane yang ditentukan. Seperti pada tabel 4 merupakan data hasil pengukuran dimensi sudut dalam spesimen menggunakan mesin CMM Mitutoyo seri BHN706.

Tabel 4. Hasil Pengukuran

Sampel	Sudut yang dihasilkan akibat springback (°)			
	80A	85A	93A	95A
1	94,06	93,98	92,29	92,29
2	94,69	92,76	92,71	92,1
3	94,39	92,75	91,75	92,65
4	95,15	92,64	92,22	92,7
5	95,28	92,72	92,37	92,2
6	95,75	92,74	92,28	92,2
7	95,29	92,72	92,65	92,17
8	95,06	93,17	92,23	92,74
9	95,41	93,34	92,17	92,44
10	95,55	93,08	92,8	92,2
11	95,48	92,67	92,17	92,28
Rerata	95,10	92,96	92,33	92,36

Sampel	Springback (°)			
	80A	85A	93A	95A
1	4,04	3,96	2,27	2,27
2	4,67	2,74	2,69	2,08
3	4,37	2,73	1,73	2,63
4	5,13	2,62	2,2	2,68
5	5,26	2,7	2,35	2,18
6	5,73	2,72	2,26	2,18
7	5,27	2,7	2,63	2,15
8	5,04	3,15	2,21	2,72
9	5,39	3,32	2,15	2,42
10	5,53	3,06	2,78	2,18
11	5,46	2,65	2,15	2,26
Rerata	5,08	2,94	2,31	2,34

Dari data pengukuran dapat dilihat perbandingan nilai springback yang didapatkan dari perhitungan rumus umum dan hasil uji coba dengan menggunakan polyurethane sebagai die pada variabel kekerasan polyurethane seperti pada gambar berikut.



Gambar 10. Grafik nilai springback

Berdasarkan grafik pada gambar 12 dapat disimpulkan bahwa kekerasan polyurethane dapat mempengaruhi nilai springback seperti shore 80A memiliki springback yang lebih besar dibandingkan hasil perhitungan rumus, berbeda dengan kekerasan polyurethane lainnya yang memiliki nilai springback lebih kecil. Nilai springback terkecil terdapat pada kekerasan polyurethane shore 93 A Duro. Dan juga dapat dilihat bahwa arah pergerakan grafik springback

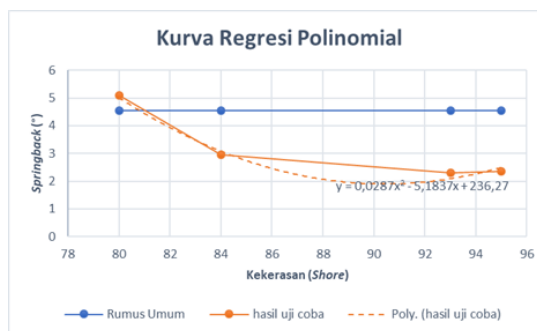
menurun seiring kekerasan polyurethane yang semakin keras. Apabila dihubungkan dengan nilai hasil perhitungan springback berdasarkan rumus umum terdapat selisih yang cukup besar.

3.4 Analisis Regresi polinomial

Setelah melakukan uji coba springback terhadap beberapa kekerasan polyurethane membuktikan bahwa kekerasan polyurethane berpengaruh terhadap nilai springback. Namun, nilai springback hasil uji coba memiliki perbedaan yang signifikan dengan nilai springback hasil perhitungan rumus umum. Hal tersebut membuktikan bahwa perhitungan pada rumus springback tidak spesifik, maka hasil uji coba yang dilakukan dapat digunakan dan diolah serta dibuatkan rumus regresi polinomial. Adapun persamaan yang didapat dari regresi linear sederhana sebagai berikut.

$$\hat{Y} = 0.0287X^2 - 5.1837X + 236.27$$

Berikut merupakan grafik dari regresi polinomial yang telah dihasilkan.



Gambar 11. Hasil grafik regresi polinomial

Rumus regresi polinomial tersebut bisa digunakan untuk mencari besarnya springback dengan menggunakan variabel kekerasan polyurethane pada pemakaian urethane tooling dengan besar nilai variabel masih berada pada range yang tersedia.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada bab sebelumnya, terdapat beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Kekerasan polyurethane sebagai die mempengaruhi besar nilai springback. Dimana semakin tinggi kekerasan polyurethane maka semakin kecil nilai springback yang dihasilkan.
2. Kekerasan polyurethane yang mampu menghasilkan springback terkecil terjadi pada kekerasan 93A Duro dengan hasil springback sebesar 2.31°.
3. Perbandingan hasil pada pemakaian rumus springback regresi polinomial yang didapat ($Y = 17.176 - 0.159X$) dengan hasil rumus springback umum (Kalpakjian) adalah sebagai berikut (Tabel 5).

Tabel 5. Nilai *springback* rumus regresi polinomial dan rumus umum

No	Kekerasan (Duro)	Hasil <i>Springback</i>		
		Hasil Uji Coba(°)	Rumus Regresi Polinomial(°)	Rumus Umum (°)
1	80A	5.08	5.254	4.552
2	84A	2.95	3.3464	4.552
3	93A	2.31	2.4122	4.552
4	95A	2.34	2.836	4.552

Daftar Pustaka

- [1] Luchsinger, H.R., 1984, "Tool design 2", Politeknik Mekanik Swiss-ITB, Bandung.
- [2] Tschaetsch, H., 2005, "Metal forming practise", Vieweg Verlag, Dresden.
- [3] Budiarto, 2021, "sheet metal forming 2", Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung.
- [4] Benson, S.D., 1997, "Press brake technology", Society of Manufacturing Engineers, Dearborn.
- [5] Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R., 2014, "Manufacturing-Engineering and technology", Pearson Education South Asia Pte Ltd, Jurong.

- [6] Choudhury, I.A. dan Ghomi, V., 2013, "Springback reduction of aluminum sheet in v-bending dies", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 228(8): 917-926.
- [7] Dieter, G.E., 1987, "*Mechanical Metallurgy*", Mc Graw Hill Book Company, New York.
- [8] Ostegard, D.E., 1963, "*Basic die making*", McGraw-Hill Book Company, USA.
- [9] Lascoe, O.D., 1988, "*Handbook of fabrication processes*", Carnes Publication Services Inc, West Lafayette.
- [10] Rahmani, B. Alinejad, G. dkk., 2009, "An investigation on springback/negative springback phenomena using finite element method and esxperimental approach", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(7): 841-850.
- [11] Hanafiah, Kemas Ali., 2016, "*Rancangan percobaan teori & aplikasi*", Universitas Sriwijaya Palembang, Palembang.
- [12] Montgomery, D.C. Peck, E.A. dkk., 2012, "*Introduction to linear regression analysis*", John Willey & Sons Inc, Canada.