

KAJIAN LITERATUR: SPRINGBACK PADA PROSES BENDING LOGAM TIPIS

Shine Hikari A.F¹, Al-Faraby A.W², Raditya Mauldani³, Muhammad Zulfikar⁴, Esa Permata⁵, Sri Hastuti⁶
¹Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Tidar, Magelang
E-mail: *shinehikariaf@students.untidar.ac.id¹, hastutisrimesin@untidar.ac.id⁶

ABSTRAK

Springback merupakan peristiwa pemulihan elastis yang terjadi setelah proses pembengkokan logam, menyebabkan deviasi sudut dan bentuk dari desain yang direncanakan. Fenomena ini menjadi tantangan signifikan dalam industri manufaktur terutama pada lembaran logam tipis yang digunakan pada komponen otomotif, elektronika presisi, dan peralatan mekanis. Kajian literatur ini menyintesis temuan dari lima jurnal utama mengenai karakteristik material, parameter proses, dan mekanisme deformasi yang memengaruhi besarnya springback. Analisis menunjukkan bahwa tension-compression asymmetry, kekakuan lentur, tegangan sisa, orientasi pemotongan, kecepatan punch, mekanisme multi-roll, dan homogenitas struktur mikro merupakan faktor dominan. Upaya reduksi springback mencakup optimasi proses menggunakan metode Taguchi, perlakuan panas, rekayasa material berbasis presipitasi, serta pengaturan distribusi tegangan selama deformasi. Hasil kajian ini menekankan perlunya pendekatan integratif untuk memperoleh akurasi proses bending yang lebih tinggi.

Kata kunci

Springback, Bending, Material Anisotropi, Kekakuan Lentur, Optimasi Proses

ABSTRACT

Springback is an elastic recovery phenomenon occurring after metal sheet bending, resulting in deviations from the intended geometric design. This phenomenon presents a significant challenge in manufacturing, especially for thin metal sheets used in automotive, electronic, and precision components. This literature review synthesizes findings from five major studies concerning the influence of material properties, process parameters, and deformation mechanisms on springback. The analysis highlights tension-compression asymmetry, bending stiffness, residual stress, cutting orientation, punch speed, multi-roll mechanisms, and microstructural homogeneity as the dominant factors. Mitigation strategies include process optimization using the Taguchi method, heat treatment, precipitation-strengthened alloys, and deformation-controlled stress distribution. The study concludes that an integrative approach is essential to achieving higher bending accuracy and reducing springback.

Keywords

Springback, Sheet Metal, Bending Deformation, Residual Stress, Process Optimization

1. PENDAHULUAN

Proses pembentukan logam, khususnya melalui metode bending, merupakan salah satu proses fundamental dalam industri manufaktur modern. Berbagai sektor seperti otomotif, elektronika presisi, aeronautika, hingga perangkat mekanis bergantung pada komponen berbahan lembaran logam tipis yang dibentuk dengan tingkat presisi tinggi. Seiring meningkatnya tuntutan kualitas dan ketelitian geometris, tantangan terkait kualitas hasil bending, khususnya fenomena springback, menjadi semakin penting untuk dikendalikan.

Springback merupakan fenomena pemulihan elastis pada material logam setelah beban bending dilepaskan. Ketika logam mengalami deformasi, serat bagian luar mengalami tarik dan bagian dalam mengalami tekan. Ketidakseimbangan pemulihan elastis setelah beban dihilangkan menyebabkan sudut atau radius akhir tidak sesuai dengan desain awal. Akibatnya, terjadi deviasi dimensi, cacat geometris, serta perlunya proses koreksi tambahan yang dapat meningkatkan biaya dan waktu produksi.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa springback dipengaruhi oleh faktor material dan proses. Dari sisi material, anisotropi, modulus elastisitas, tegangan sisa, struktur mikro, dan tension-compression asymmetry (TCA) menjadi faktor penentu respons deformasi. Kuwabara et al. (Toshihiko Kuwabara et al., 2009) menemukan bahwa material dengan TCA tinggi memiliki perilaku tarik-tekan yang tidak simetris sehingga mempersulit prediksi springback menggunakan model elastoplastis konvensional. Tomioka dan Yuki (Yasuo Tomioka & Norio Yuki, 2004) melaporkan bahwa kekakuan lentur berpengaruh signifikan terhadap stabilitas bentuk setelah bending. Selain itu, Hasil studi oleh Hua et al. (Aminudin, 2019) menunjukkan bahwa variasi struktur mikro akibat proses centrifugal casting memengaruhi kekuatan bending dan besarnya springback.

Dari sisi proses, orientasi pemotongan, kecepatan punch, tekanan pembentukan, dan metode deformasi turut memberikan kontribusi besar. Penelitian (Nugraha, 2024) menemukan bahwa orientasi pemotongan memiliki pengaruh terbesar terhadap springback pada material SUS 201 1B. Sementara itu, penelitian (Hua et al., 1995) terkait four-roll bending menunjukkan bahwa distribusi tegangan bertahap dapat mengurangi deviasi sudut secara signifikan.

Meskipun banyak penelitian telah membahas faktor-faktor tersebut, sebagian besar studi masih meneliti parameter secara terpisah sehingga pemahaman yang dihasilkan bersifat terfragmentasi. Hingga kini belum tersedia kajian literatur komprehensif yang mengintegrasikan faktor material, parameter proses, dan mekanisme deformasi secara bersamaan. Oleh karena itu, kajian ini disusun untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai faktor-faktor dominan yang memengaruhi springback serta strategi pengendaliannya.

Ruang lingkup kajian ini dibatasi pada fenomena springback pada proses bending lembaran logam tipis untuk aplikasi industri, dengan fokus pada tiga kelompok bahasan utama, yaitu: (1) pengaruh sifat material yang meliputi anisotropi, kekakuan lentur, tegangan sisa, struktur mikro, dan tension-compression asymmetry (TCA); (2) pengaruh parameter proses bending seperti orientasi pemotongan, kecepatan punch, metode pembebanan, dan skema multi-roll; serta (3) strategi reduksi springback yang dilaporkan dalam lima artikel jurnal utama yang relevan. Kajian ini tidak membahas secara rinci pemodelan numerik lanjutan maupun desain alat bending secara spesifik, melainkan difokuskan pada sintesis hasil penelitian eksperimental dan konseptual yang berkaitan langsung dengan besarnya springback dan kualitas geometris hasil bending.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam kajian ini mengacu pada pendekatan konseptual bidang menurut penelitian (Cahyono et al., 2019) yang dijabarkan ke dalam lima tahapan sistematis, yaitu: (a) menemukan literatur yang relevan, (b) melakukan evaluasi kualitas sumber literatur, (c) mengidentifikasi tema/topik serta kesesuaian konsep teori, (d) menyusun struktur garis besar kajian, dan (e) merumuskan ulasan literatur secara

komprehensif. Pendekatan ini digunakan untuk memastikan bahwa seluruh proses analisis berjalan terarah, terukur, dan mampu menghasilkan sintesis ilmiah yang valid.

Literatur yang digunakan dalam penyusunan artikel ini berfokus pada bidang pembentukan logam (metal forming), khususnya kajian mengenai fenomena springback pada proses bending. Sumber literatur terdiri atas artikel jurnal nasional dan internasional yang relevan, prosiding konferensi, serta penelitian eksperimental terkait sifat mekanik material. Penelitian yang dipilih mencakup variasi material seperti paduan tembaga, baja tahan karat, dan aluminium, serta mencakup variasi metode pembentukan seperti bending konvensional, four-roll bending, optimasi parameter proses, dan pembentukan material dengan metode centrifugal casting.

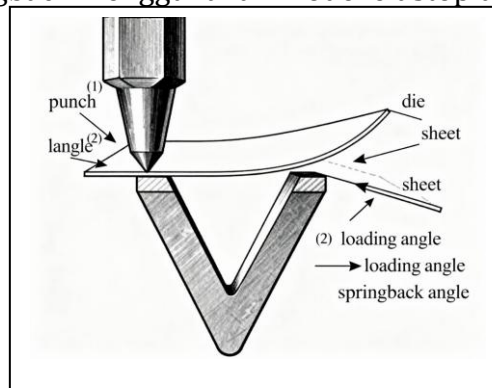
Berdasarkan literatur tersebut, perkembangan penelitian mengenai springback meliputi pengaruh sifat material, anisotropi, struktur mikro, tegangan sisa, variasi parameter proses, dan pendekatan optimasi. Selain sebagai fenomena yang memengaruhi ketepatan dimensi produk, springback juga berkaitan langsung dengan kualitas mekanik dan stabilitas deformasi material setelah pembengkokan. Oleh sebab itu, penyusunan ulasan literatur ini difokuskan untuk mengkaji bagaimana faktor-faktor utama tersebut berpengaruh terhadap besarnya springback serta strategi reduksi yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya.

Artikel yang dikaji dipilih menggunakan kata kunci “springback”, “sheet metal bending”, dan “thin metal sheet” pada basis data jurnal nasional dan internasional terindeks, dengan rentang tahun publikasi 1995–2024. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel membahas springback pada proses bending lembaran logam, (2) memuat data eksperimen atau analisis mekanisme deformasi, dan (3) relevan dengan sifat material, parameter proses, atau strategi reduksi springback. Dari hasil penelusuran tersebut dipilih lima jurnal utama yang dianggap paling representatif terhadap topik kajian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

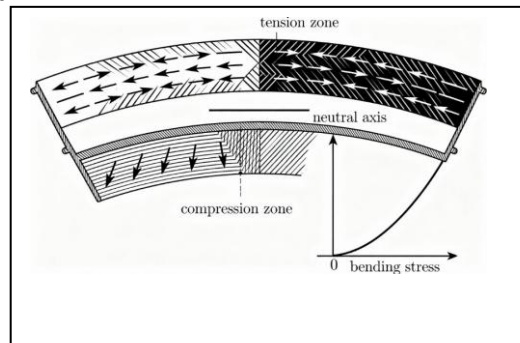
3.1 Analisis Karakteristik Material dan Pengaruhnya terhadap Springback

Berdasarkan kajian terhadap lima jurnal utama, karakteristik material merupakan faktor paling dominan dalam menentukan perilaku springback. Penelitian (Toshihiko Kuwabara et al., 2009) mengungkapkan bahwa material dengan tension-compression asymmetry (TCA) tinggi, seperti phosphor bronze, memiliki perbedaan respons tarik dan tekan yang menyebabkan pola deformasi non-linear dapat dilihat pada Gambar 1. Hal ini mempersulit prediksi springback menggunakan model elastoplastik konvensional.



Gambar 1. Skema fenomena springback V-bending

Sementara itu, pada hasil penelitian (Yasuo Tomioka & Norio Yuki, 2004) menunjukkan bahwa kekakuan lentur (bend stiffness) memiliki peran besar dalam menentukan kestabilan bentuk setelah bending. Foil tembaga dengan struktur presipitasi kuat seperti C7025 memiliki kekakuan lebih tinggi sehingga mampu menahan deformasi elastis berlebih dan mengurangi springback. Distribusi tegangan selama proses bending ditunjukkan pada Gambar 2.



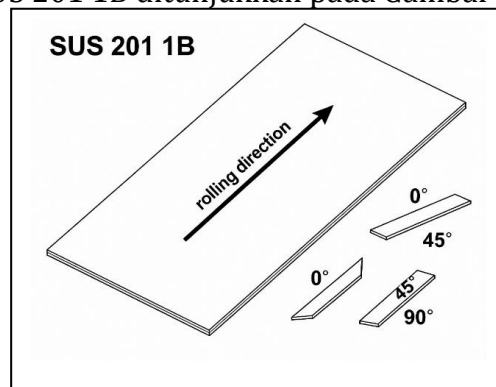
Gambar 2. Distribusi tegangan dan serat netral

3.2 Pengaruh Struktur Mikro terhadap Perilaku Deformasi

Pada penelitian (Aminudin, 2019) mengemukakan bahwa kecepatan putaran pada proses centrifugal casting menghasilkan variasi struktur mikro yang signifikan. Material dengan struktur lebih padat dan homogen cenderung menunjukkan kekuatan bending lebih baik dan deviasi springback lebih kecil. Hal ini menegaskan hubungan erat antara struktur mikro dan respons elastoplastis saat terjadi pembungkakan.

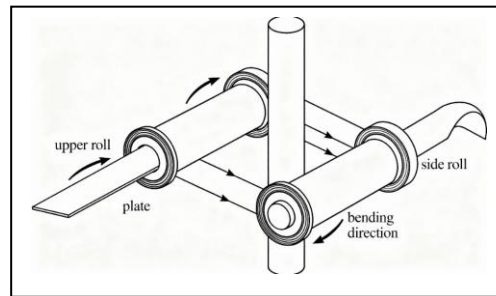
3.3 Parameter Proses Bending dan Perannya terhadap Springback

Melalui studi yang telah dilakukan (Nugraha, 2024), ditemukan bahwa orientasi pemotongan memiliki kontribusi terbesar bahkan mencapai 98% terhadap besarnya springback pada material SUS 201 1B. Hal ini dikaitkan dengan arah serat material terhadap gaya pembungkakan yang memengaruhi distribusi tegangan. Skema orientasi pemotongan spesimen SUS 201 1B ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema orientasi pemotongan SUS 201 1B terhadap rolling

Faktor lain seperti kecepatan punch dan waktu tahan berhipotesis berpengaruh pada kestabilan deformasi plastis, meskipun kontribusinya tidak sebesar orientasi pemotongan. Pada sisi lain, studi dari penelitian (Hua et al., 1995) mengenai four-roll bending menunjukkan bahwa kontrol distribusi tegangan melalui deformasi bertahap dapat mengurangi deviasi sudut secara signifikan. Konfigurasi proses four-roll bending dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema proses four-roll bending pada pelat logam

Tabel 1. Ringkasan penelitian springback bending lembaran logam tipis

Peneliti (Tahun)	Material & Proses	Parameter Utama yang Dikaji	Temuan Utama terkait Springback
Kuwabara et al. (2009)	Phosphor bronze, bending lembaran	Tension-compression asymmetry (TCA)	TCA tinggi menyebabkan respons tarik-tekan tidak simetris dan menyulitkan prediksi springback dengan model elastoplastik konvensional.
Tomioaka & Yuki (2004)	Foil tembaga dan paduan tembaga	Bend stiffness, struktur presipitasi	Kekakuan lentur yang lebih tinggi menurunkan kecenderungan springback dan meningkatkan stabilitas bentuk setelah bending.
Aminudin (2019)	Aluminium, centrifugal casting + uji bending	Kecepatan putar, struktur mikro	Peningkatan kecepatan putar menghasilkan struktur mikro lebih padat dan homogen, sehingga kekuatan bending meningkat dan deviasi springback berkurang.
Nugraha (2024)	SUS 201 1B, bending V	Orientasi pemotongan, Taguchi	Orientasi pemotongan berkontribusi hingga 98% terhadap variasi springback, menunjukkan dominasi arah serat terhadap hasil bending.
Hua et al. (1995)	Pelat baja, four-roll plate bending	Skema four-roll, distribusi tegangan	Deformasi bertahap pada four-roll bending menghasilkan distribusi tegangan lebih merata dan mengurangi deviasi sudut akibat springback.

3.4 Upaya Pengurangan Springback: Strategi Praktis dari Literatur

Beberapa strategi efektif untuk mengurangi springback berdasarkan hasil penelitian meliputi:

- a. Optimasi parameter proses seperti metode Taguchi untuk menemukan kombinasi variabel paling efektif dalam mengurangi springback.

- b. Perlakuan panas (annealing) untuk mengurangi tegangan sisa pada material setelah pembengkokan.
- c. Penggunaan material berstruktur presipitasi kuat guna meningkatkan kekakuan lentur dan mengurangi pemulihan elastis berlebih.
- d. Metode multi-roll untuk menciptakan distribusi tegangan lebih merata selama proses deformasi.
- e. Pengaturan orientasi pemotongan agar sesuai dengan arah deformasi dan meminimalkan anisotropi pengaruh.

4. KESIMPULAN

Springback merupakan fenomena multidimensi yang dipengaruhi oleh sifat material, distribusi tegangan, parameter proses bending, dan struktur mikro. Kajian literatur ini menunjukkan bahwa material dengan kekakuan lentur tinggi, tegangan sisa rendah, dan struktur homogen memiliki kecenderungan springback lebih rendah. Proses bending dengan kontrol orientasi pemotongan dan kecepatan punch, serta penggunaan pendekatan multi-roll, terbukti dapat mengurangi deviasi sudut.

Secara praktis, hasil kajian menunjukkan bahwa pemilihan material dengan kekakuan lentur tinggi dan struktur mikro yang homogen, pengaturan orientasi pemotongan yang searah dengan kondisi pembebanan, serta penggunaan skema pembebanan bertahap seperti four-roll bending merupakan langkah kunci untuk menekan springback pada proses bending logam tipis. Selain itu, penerapan metode optimasi seperti Taguchi dan perlakuan panas yang tepat dapat digunakan sebagai panduan awal dalam penentuan parameter proses di industri. Penelitian lanjutan masih diperlukan untuk mengintegrasikan pengaruh TCA, anisotropi, dan kondisi proses ke dalam model prediksi springback yang lebih akurat untuk berbagai jenis paduan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aminudin. 2019. Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Kekuatan Bending pada Aluminium Menggunakan Mesin Centrifugal Casting. *Jurnal Teknik Mesin* 7(2), pp. 105-110.
- Cahyono, Eko Agus, Sutomo, Hartono and Aris. 2019. Literatur Review: Panduan Penulisan dan Penyusunan. *Jurnal Keperawatan* 2(2), pp. 75-81.
- Hua, M., K. Baines and I.M. Cole. 1995. Bending Mechanisms, Experimental Techniques, and Preliminary Tests for the Continuous Four-Roll Plate Bending Process. *Journal of Materials Processing Technology* 48(1-4), pp. 159-172. doi: 10.1016/0924-0136(94)01647-J.
- Nugraha, A. 2024. Improving the Bending Quality of SUS 201 1B Material by Optimization of the Processing Parameters Using Taguchi Method. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)* 8(2), pp. 110-119. doi: 10.18196/jmpm.v8i2.23439.
- Toshihiko Kuwabaraa, Yutaka Kumanoa, Jindra Ziegelheimb and Ikuya Kurosakic. 2009. Tension-Compression Asymmetry of Phosphor Bronze for Electronic Parts and Its Effect on Bending Behavior. *International Journal of Plasticity* 25(9), pp. 1759-1776. doi: 10.1016/j.ijplas.2009.01.004.
- Yasuo Tomioka and Norio Yuki. 2004. Bend Stiffness of Copper and Copper Alloy Foils. *Journal of Materials Processing Technology* 146, pp. 228-233. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2003.11.017.