

Analisis Tekanan Bending Optimal pada Baja KS 440 dan Stainless Steel 304

¹Muhammad Faza Annaufal, ²A.h Sulhan Fauzi, ³Kuni Nadliroh

Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹muhammadfaza370@gmail.com, ²sulhanfauzi@unpkediri.ac.id, ³kuninadliroh@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Muhammad Faza Annaufal

Abstrak— Proses bending merupakan salah satu metode pembentukan logam yang banyak digunakan dalam industri manufaktur. Kualitas hasil bending dipengaruhi oleh parameter proses, terutama tekanan bending yang berhubungan dengan akurasi sudut pembentukan. Penelitian ini bertujuan menentukan tekanan bending optimal pada baja KS 440 dan Stainless Steel 304 menggunakan mesin press brake hidrolik untuk menghasilkan sudut pembentukan mendekati 90 derajat. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan desain faktorial menggunakan dua jenis material dan variasi ketebalan yang berbeda. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan statistik deskriptif, uji normalitas Shapiro-Wilk, uji homogenitas Levene, dan One-Way ANOVA menggunakan perangkat lunak SPSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan bending optimal berada pada rentang 252,2 hingga 255,0 dan cenderung meningkat seiring bertambahnya ketebalan material. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan jenis material tidak berpengaruh signifikan terhadap penyimpangan sudut. Temuan ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pengaturan parameter press brake untuk meningkatkan akurasi pembentukan dan efisiensi proses produksi.

Kata Kunci— Baja KS 440, Press Brake Hidrolik, Stainless Steel 304, Sudut Bending, Tekanan Bending

Abstract— Bending is one of the most widely used metal forming processes in the manufacturing industry. The quality of bending results is strongly influenced by process parameters, particularly bending pressure, which is related to the accuracy of the formed angle. This study aims to determine the optimal bending pressure for KS 440 steel and Stainless Steel 304 using a hydraulic press brake machine to achieve a bending angle close to 90 degrees. An experimental method with a factorial design was employed using two material types and various material thicknesses. The experimental data were analyzed using descriptive statistics, Shapiro-Wilk normality test, Levene homogeneity test, and One-Way ANOVA with SPSS software. The results showed that the optimal bending pressure ranged from 252.2 to 255.0 and tended to increase with increasing material thickness. The ANOVA results indicated that differences in material type did not significantly affect angular deviation. These findings can be used as a reference for press brake parameter settings to improve forming accuracy and production efficiency.

Keywords— Bending Pressure, Hydraulic Press Brake, KS 440 Steel, Stainless Steel 304, Bending Angle

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur modern menuntut proses produksi yang mampu menghasilkan produk dengan tingkat presisi tinggi, efisiensi material yang baik, serta kualitas yang konsisten. Salah satu proses yang banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah

sheet metal forming, yaitu proses pembentukan lembaran logam melalui deformasi plastis untuk menghasilkan bentuk tertentu sesuai kebutuhan desain. Di antara berbagai metode sheet metal forming, proses bending merupakan teknik yang paling umum digunakan dalam pembuatan komponen otomotif, konstruksi, peralatan industri, dan mesin pertanian karena mampu menghasilkan bentuk yang kompleks dengan biaya produksi yang relatif rendah [1].

Dalam proses bending, kualitas produk sangat dipengaruhi oleh kemampuan material mempertahankan bentuk setelah pembebanan dilepaskan. Permasalahan yang sering muncul adalah terjadinya penyimpangan sudut hasil bending terhadap sudut rancangan akibat fenomena springback, yaitu kecenderungan material kembali sebagian ke bentuk semula setelah gaya pembentukan dihentikan [2]. Fenomena ini menyebabkan sudut hasil bending berbeda dari sudut yang direncanakan sehingga dapat menurunkan akurasi dimensi, mengganggu proses perakitan, meningkatkan kebutuhan rework, dan menurunkan efisiensi produksi [3], [4].

Pada praktik industri, khususnya pada penggunaan mesin press brake hidrolik, keberhasilan pembentukan sudut sangat dipengaruhi oleh kombinasi parameter proses, seperti tekanan bending, geometri punch dan die, ketebalan material, serta sifat mekanik material yang digunakan [4]. Perbedaan karakteristik material menyebabkan respons deformasi yang berbeda terhadap tekanan yang diberikan. Material baja struktural KS 440 memiliki karakteristik kekuatan tarik dan kekuatan luluh yang relatif tinggi dengan kecenderungan springback yang lebih rendah dibandingkan baja tahan karat austenitik. Sebaliknya, Stainless Steel 304 memiliki ketahanan korosi dan formability yang baik, namun cenderung menghasilkan springback lebih besar karena sifat elastisitas dan strain hardening yang lebih tinggi [5].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji faktor-faktor yang memengaruhi kualitas hasil bending. Sukarman[6] meneliti pengaruh radius die terhadap springback pada proses bending stainless steel dan menemukan bahwa peningkatan radius die menyebabkan peningkatan nilai *springback*. [7] menunjukkan bahwa baja karbon tetap mengalami penyimpangan sudut akibat springback meskipun nilainya lebih kecil dibandingkan material dengan elastisitas tinggi. Mulyanto dan Khaerudini [2] menjelaskan bahwa peningkatan modulus elastisitas dan kekuatan luluh material berkontribusi terhadap meningkatnya nilai springback. Penelitian[8] membuktikan bahwa ketebalan pelat memiliki pengaruh signifikan terhadap sudut akhir bending, di mana peningkatan ketebalan cenderung mengurangi springback. Sementara itu, Nur *et al.* [9] melalui pendekatan Central Composite Design (CCD) menunjukkan bahwa parameter proses bending berpengaruh signifikan terhadap nilai springback pada Stainless Steel 304.

Selain penelitian tersebut, kajian terkini juga menunjukkan bahwa fenomena springback merupakan hasil interaksi kompleks antara sifat material dan parameter pembentukan. Cinar *et al.* [10] menyatakan bahwa karakteristik elastis-plastis material, geometri alat, dan kondisi pembebanan merupakan faktor utama yang menentukan besarnya springback. Hattalli dan Srivatsa [1] menegaskan bahwa peningkatan tuntutan presisi manufaktur mendorong perlunya optimasi parameter proses pembentukan pelat logam untuk memperoleh kualitas produk yang lebih baik.

Berdasarkan kajian literatur tersebut dapat disimpulkan bahwa penelitian terdahulu umumnya berfokus pada pengaruh radius die, geometri alat, sifat mekanik material, atau ketebalan pelat terhadap springback dan kualitas hasil bending. Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji optimalisasi parameter tekanan bending pada material baja struktural KS 440 dan Stainless Steel 304 dengan variasi ketebalan pelat menggunakan mesin press brake hidrolik masih sangat terbatas. Selain itu, belum banyak penelitian yang melakukan

perbandingan langsung kedua material tersebut untuk menentukan tekanan bending optimum yang mampu menghasilkan sudut paling mendekati sudut acuan 90° . Kondisi ini menunjukkan adanya research gap yang perlu diteliti lebih lanjut.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi tekanan bending terhadap sudut hasil bending pada material baja struktural KS 440 dan Stainless Steel 304 dengan ketebalan yang berbeda menggunakan mesin press brake hidrolik. Penelitian ini juga bertujuan menentukan tekanan bending optimum yang menghasilkan penyimpangan sudut terkecil terhadap sudut acuan 90° sehingga dapat digunakan sebagai referensi dalam peningkatan kualitas proses pembentukan pelat logam di industri.

Secara umum, tujuan penelitian ini adalah memperoleh hubungan antara parameter tekanan bending dan sudut hasil bending pada kedua jenis material yang diteliti. Secara khusus, penelitian ini bertujuan: (1) menganalisis pengaruh tekanan bending terhadap penyimpangan sudut pada baja struktural KS 440; (2) menganalisis pengaruh tekanan bending terhadap penyimpangan sudut pada Stainless Steel 304; dan (3) menentukan tekanan bending optimum untuk menghasilkan sudut yang paling mendekati 90° pada masing-masing material.

Hipotesis penelitian yang diajukan adalah bahwa variasi tekanan bending berpengaruh signifikan terhadap sudut hasil bending pada material baja struktural KS 440 dan Stainless Steel 304. Selain itu, terdapat perbedaan respons pembentukan antara kedua material akibat perbedaan karakteristik mekanik yang dimiliki sehingga tekanan optimum yang diperlukan untuk mencapai sudut acuan 90° juga berbeda.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh parameter tekanan bending terhadap sudut hasil bending pada material baja struktural KS 440 dan Stainless Steel 304 menggunakan mesin press brake hidrolik. Metode eksperimen dipilih karena memungkinkan pengamatan secara langsung terhadap hubungan antara variasi tekanan bending dan penyimpangan sudut hasil pembentukan sehingga dapat ditentukan parameter tekanan optimum yang menghasilkan sudut paling mendekati sudut acuan 90° [5].



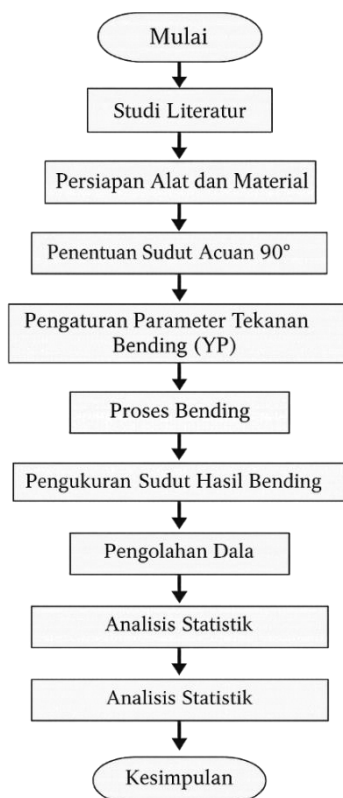
Gambar 1. Mesin Press Brake Hidrolik dan Spesimen Uji

Penelitian menerapkan desain eksperimen faktorial dengan dua faktor utama, yaitu jenis material dan parameter tekanan bending (YP). Faktor pertama terdiri atas dua jenis material, yaitu baja struktural KS 440 dan Stainless Steel 304. Faktor kedua berupa variasi parameter tekanan bending yang disesuaikan dengan ketebalan material untuk memperoleh sudut bending mendekati 90°. Desain faktorial dipilih karena mampu mengevaluasi pengaruh masing-masing faktor serta interaksi antar faktor terhadap kualitas hasil bending secara simultan, sehingga lebih efektif dibandingkan metode satu faktor pada satu waktu (*one factor at a time*) [5].

Material yang digunakan dalam penelitian adalah baja struktural KS 440 dengan ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm serta Stainless Steel 304 dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm. Proses pembentukan dilakukan menggunakan mesin press brake hidrolik yang tersedia di PT Corin Mulia Gemilang. Pengukuran sudut hasil bending dilakukan menggunakan busur derajat (*protractor*) dengan sudut target pembentukan sebesar 90°. Parameter lain seperti mesin yang digunakan, metode bending, punch, die, dan prosedur pengukuran dijaga tetap untuk meminimalkan pengaruh variabel luar terhadap hasil penelitian [6].

Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk meningkatkan reliabilitas data. Nilai sudut hasil bending yang digunakan dalam analisis merupakan rata-rata hasil pengukuran dari setiap pengulangan. Penyimpangan sudut dihitung berdasarkan selisih antara sudut hasil bending dengan sudut acuan 90° sehingga dapat digunakan sebagai indikator kualitas hasil pembentukan [7].

Tahapan penelitian diawali dengan persiapan alat dan material, dilanjutkan dengan pengaturan parameter tekanan bending (YP), proses bending menggunakan mesin press brake hidrolik, pengukuran sudut hasil bending, pengolahan data, dan analisis statistik. Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian, tahapan penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Tahapan Penelitian

Data hasil penelitian dianalisis menggunakan perangkat lunak IBM SPSS. Analisis diawali dengan statistik deskriptif untuk memperoleh nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan maksimum. Selanjutnya dilakukan uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk dan uji homogenitas menggunakan Levene Test untuk memastikan data memenuhi asumsi analisis parametrik. Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan One-Way Analysis of Variance (One-Way ANOVA) pada tingkat signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$) untuk mengetahui pengaruh parameter tekanan bending terhadap penyimpangan sudut hasil bending pada masing-masing material [8]. Nilai signifikansi yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa parameter tekanan bending memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sudut hasil bending.

Tabel 1. Desain Eksperimen Penelitian

Material	Ketebalan (mm)	Jumlah Pengulangan
KS 440	1	3
KS 440	2	3
KS 440	3	3
Stainless Steel 304	1,5	3
Stainless Steel 304	2	3
Stainless Steel 304	3	3

Secara keseluruhan diperoleh 18 data pengujian yang digunakan untuk menentukan hubungan antara parameter tekanan bending dan sudut hasil bending serta menentukan parameter tekanan optimum yang menghasilkan sudut paling mendekati sudut acuan 90°.

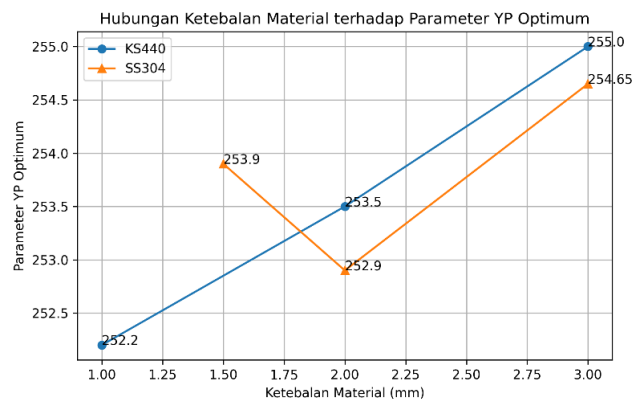
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Tekanan Bending Optimal

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter tekanan bending (YP) yang mampu menghasilkan sudut pembentukan mendekati sudut target 90° pada material baja KS 440 dan Stainless Steel 304. Pengujian dilakukan menggunakan mesin press brake hidrolik dengan variasi ketebalan material yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap material dan ketebalan memerlukan nilai tekanan bending yang berbeda untuk mencapai sudut pembentukan yang sama.

Tabel 2. Tekanan Bending Optimal pada Masing-Masing Material

Material	Ketebalan (mm)	YP Optimal	Sudut Hasil (°)
KS 440	1	252,2	90
KS 440	2	253,5	90
KS 440	3	255	90
Stainless Steel 304	1,5	253,9	90
Stainless Steel 304	2	252,9	90
Stainless Steel 304	3	254,65	90



Gambar 3. Hubungan Ketebalan Material terhadap Tekanan Bending Optimal

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 3 terlihat bahwa peningkatan ketebalan material cenderung meningkatkan kebutuhan tekanan bending untuk menghasilkan sudut pembentukan 90°. Pada material KS 440, nilai tekanan bending optimal meningkat dari 252,2 pada ketebalan 1 mm menjadi 255,0 pada ketebalan 3 mm. Pola yang relatif serupa juga terlihat pada Stainless Steel 304, di mana peningkatan ketebalan material menyebabkan meningkatnya kebutuhan tekanan pembentukan.

Fenomena tersebut terjadi karena material yang lebih tebal memiliki luas penampang deformasi yang lebih besar sehingga membutuhkan gaya pembentukan yang lebih tinggi untuk menghasilkan deformasi plastis yang cukup. Temuan ini sesuai dengan teori pembentukan

logam yang menyatakan bahwa kebutuhan gaya bending meningkat seiring bertambahnya ketebalan material [11]. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Alhammadi et al. [12] yang menyatakan bahwa ketebalan material merupakan faktor penting yang memengaruhi hasil akhir proses bending.

B. Analisis Statistik Deskriptif

Untuk memperoleh gambaran umum mengenai data penelitian, dilakukan analisis statistik deskriptif terhadap parameter tekanan bending (YP), sudut bending, dan penyimpangan sudut. Hasil analisis menggunakan SPSS ditunjukkan pada Gambar 4.

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Parameter Tekanan Bending (YP)	18	251.90	255.30	253.7333	1.01590
Sudut Bending	18	85	95	89.89	3.066
Penyimpangan Sudut	18	-5	5	-.11	3.066
Valid N (listwise)	18				

Gambar 4. Hasil Analisis Statistik Deskriptif

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif diperoleh jumlah data penelitian sebanyak 18 sampel. Parameter tekanan bending memiliki rentang nilai antara 251,90 hingga 255,30 dengan rata-rata sebesar 253,73 dan standar deviasi sebesar 1,02. Sudut bending yang dihasilkan berada pada rentang 85° hingga 95° dengan nilai rata-rata sebesar 89,89°. Sementara itu, penyimpangan sudut memiliki nilai rata-rata sebesar -0,11° yang menunjukkan bahwa secara umum hasil pembentukan telah mendekati sudut target 90°.

Nilai rata-rata penyimpangan sudut yang sangat kecil menunjukkan bahwa parameter tekanan bending yang digunakan selama pengujian mampu menghasilkan akurasi pembentukan yang baik. Hal ini mengindikasikan bahwa proses bending pada kedua material dapat dikendalikan dengan baik melalui pengaturan parameter tekanan yang sesuai.

C. Uji Normalitas dan Homogenitas Data

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, data terlebih dahulu diuji menggunakan uji normalitas dan homogenitas untuk memastikan bahwa data memenuhi asumsi analisis parametrik.

Tests of Normality							
	Jenis Material	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Penyimpangan Sudut	KS 440	.196	9	.200 [*]	.950	9	.693
	SS 304	.221	9	.200 [*]	.910	9	.319

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 5. Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa nilai signifikansi Shapiro-Wilk untuk material KS 440 sebesar 0,693 dan Stainless Steel 304 sebesar 0,319. Kedua nilai tersebut lebih besar dari 0,05 sehingga data penyimpangan sudut pada kedua kelompok material dapat dinyatakan berdistribusi normal.

Test of Homogeneity of Variances

Penyimpangan Sudut

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.127	1	16	.726

Gambar 6. Hasil Uji Homogenitas Varians

Selanjutnya, hasil uji homogenitas menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,726 ($>0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa varians kedua kelompok data bersifat homogen sehingga memenuhi persyaratan untuk dilakukan pengujian menggunakan One-Way ANOVA.

D. Pengaruh Jenis Material terhadap Penyimpangan Sudut

Setelah asumsi normalitas dan homogenitas terpenuhi, dilakukan pengujian menggunakan One-Way ANOVA untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan penyimpangan sudut hasil bending antara baja KS 440 dan Stainless Steel 304.

ANOVA

Penyimpangan Sudut

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.000	1	2.000	.203	.658
Within Groups	157.778	16	9.861		
Total	159.778	17			

Gambar 7. Hasil Uji One-Way ANOVA

Hasil pengujian menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,658 ($>0,05$). Nilai tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada penyimpangan sudut hasil bending antara baja KS 440 dan Stainless Steel 304 pada tingkat kepercayaan 95%.

Secara statistik, hasil tersebut menunjukkan bahwa jenis material tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyimpangan sudut hasil bending. Namun demikian, secara teknis kedua material menunjukkan karakteristik pembentukan yang berbeda. Stainless Steel 304 memiliki kecenderungan springback yang lebih tinggi dibandingkan baja KS 440 akibat sifat elastis-plastis material austenitik yang dimilikinya [13]. Perbedaan karakteristik tersebut terlihat dari kebutuhan parameter tekanan yang berbeda untuk mencapai sudut target 90°.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh sifat mekanik material dapat dikompensasi melalui penyesuaian parameter tekanan bending yang tepat. Temuan tersebut mendukung penelitian Singh et al. [14] yang menyatakan bahwa kualitas hasil pembentukan tidak hanya ditentukan oleh jenis material, tetapi juga oleh optimasi parameter proses yang digunakan.

E. Implikasi Penelitian dan Keterbatasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter tekanan bending merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan pembentukan sudut pada proses *press brake* hidrolik. Nilai tekanan optimal yang diperoleh dapat digunakan sebagai referensi dalam proses produksi untuk meminimalkan penyimpangan sudut dan mengurangi kebutuhan *rework* pada komponen berbahan baja KS 440 maupun Stainless Steel 304.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya mempertimbangkan parameter tekanan bending dan ketebalan material. Variabel lain seperti radius punch, lebar bukaan die, kecepatan pembentukan, serta gaya aktual pembebanan belum dianalisis secara mendalam. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengombinasikan parameter tekanan bending dengan variasi geometri tooling atau menggunakan metode optimasi seperti Response Surface Methodology (RSM) dan simulasi Finite Element Method (FEM) untuk memperoleh model prediksi yang lebih komprehensif.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis tekanan bending optimal pada baja KS 440 dan Stainless Steel 304 menggunakan mesin *press brake* hidrolik, dapat disimpulkan bahwa parameter tekanan bending merupakan faktor penting dalam menghasilkan sudut pembentukan yang sesuai dengan target 90°. Setiap jenis material dan ketebalan pelat memerlukan nilai tekanan bending yang berbeda untuk mencapai akurasi sudut yang diinginkan. Tekanan bending optimal yang diperoleh pada penelitian ini mampu menghasilkan sudut pembentukan mendekati 90° pada seluruh spesimen yang diuji, sehingga tujuan penelitian untuk menentukan parameter tekanan bending optimal pada baja KS 440 dan Stainless Steel 304 telah tercapai.

Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan material cenderung meningkatkan kebutuhan tekanan bending karena bertambahnya tahanan deformasi material terhadap proses pembentukan. Meskipun kedua material memiliki karakteristik mekanik yang berbeda, pengujian statistik menunjukkan bahwa perbedaan penyimpangan sudut yang dihasilkan tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaruh karakteristik material terhadap hasil pembentukan dapat diminimalkan melalui penentuan parameter tekanan bending yang tepat.

Penelitian ini memberikan kontribusi pada bidang manufaktur dan pembentukan logam lembaran dengan menyediakan informasi mengenai parameter tekanan bending yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pengoperasian mesin *press brake* hidrolik. Penerapan parameter tekanan yang sesuai berpotensi meningkatkan akurasi dimensi produk, mengurangi penyimpangan sudut, meminimalkan kebutuhan *rework*, serta meningkatkan efisiensi proses produksi pada industri yang menggunakan material baja KS 440 dan Stainless Steel 304.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. L. Hattalli and S. R. Srivatsa, "Sheet Metal Forming Processes - Recent Technological Advances," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 1, pp. 2564–2574, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.040.
- [2] B. Mulyanto and D. S. Khaerudini, "Investigasi simulasi numeris dan eksperimen proses *springback* berbentuk cup silinder pada lembaran baja karbon Jis-G3141," *Din. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 60, 2020, doi: 10.29303/dtm.v10i1.326.
- [3] M. A. Suyuti, R. Nur, and M. Iswar, "SPRINGBACK HASIL PROSES TEKUK

- BENTUK “V“ PELAT BAJA KARBON St. 60 KETEBALAN 4 mm,” *Semin. Nas. Has. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 3, no. 1, pp. 30–34, 2018.
- [4] M. A. Suyuti, R. Nur, and M. Iswar, “RANCANG BANGUN PRESS TOOL UNTUK ALAT BENDING PELAT TIPE DIE-V AIR BENDING Jurusan Teknik Mesin , Politeknik Negeri Ujung Pandang Jalan Perintis Kemerdekaan Km . 10 Tamalanrea Makassar 90245 Sulawesi Selatan , Indonesia 39 Suyuti , Muhammad Arsyad ., dkk ;,” *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 39–45, 2020.
- [5] K. A. Al-Ghamdi and G. Hussain, “On the free-surface roughness in incremental forming of a sheet metal: A study from the perspective of isf strain, surface morphology, post-forming properties, and process conditions,” *Metals (Basel)*., vol. 9, no. 5, 2019, doi: 10.3390/met9050553.
- [6] Sukarman, C. Anwar, N. Rahdiana, Khoirudin, and A. I. Ramadhan, “Analisis Pengaruh Radius Dies Terhadap Springback Logam Lembaran Stainless-Steel Pada Proses Bending Hidrolik V-Die,” *Junal Teknol.*, vol. 12, no. 2, 2020.
- [7] R. Nur, M. A. Suyuti, M. Iswar, and A. N. Muttaqin, “Springback Analysis in the Bending Process of V-shaped Stainless Steel AISI 304 Using Central Composite Design (CCD) Approach,” *E3S Web Conf.*, vol. 517, pp. 4–7, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202451712001.
- [8] A. Alhammadi, H. Rafique, M. Alkaabi, and J. Abu Qudeiri, “Experimental investigation of springback in air bending process,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 323, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/323/1/012021.
- [9] K. et al 2023, “No Title 済無 No Title No Title No Title,” vol. 32, no. 3, pp. 167–186, 2021.
- [10] Z. Cinar, M. Asmael, Q. Zeeshan, and B. Safaei, “Effect of Springback on A6061 Sheet Metal Bending: A Review,” *J. Kejuruter.*, vol. 33, no. 1, pp. 13–26, 2021, doi: 10.17576/jkukm-2020-33(1)-02.