



Universitas Nusantara PGRI Kediri

UPT. PERPUSTAKAAN, PUBLIKASI DAN INOVASI

Alamat: Kampus 1, Jl. KH. Ahmad Dahlan No.76 Kota Kediri 64112
Telp. (0354) 771576, (0354) 771503, (0354) 771495, Fax. (0354) 771576
Website: <http://ppi.unpkediri.ac.id/> Email: perpustakaan@unpkediri.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS SIMILARITY

Ketua UPT Perpustakaan, Publikasi dan Inovasi Universitas Nusantara PGRI Kediri menerangkan bahwa mahasiswa dengan identitas berikut:

Nama Mahasiswa : Muhammad Faza Annaufal
NPM : 2213010017
Program Studi : S1-Teknik Mesin

Judul Karya Ilmiah:

"OPTIMALISASI TEKANAN BENDING TERHADAP SUDUT BENDING PADA MATERIAL BAJA STRUKTURAL KS 440 DAN STAINLESS STEEL 304 MENGGUNAKAN MESIN PRESS BRAKE HIDROLIK"

Dinyatakan sudah memenuhi syarat batas maksimal 30% *similarity* sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada setiap subbab naskah Laporan **Tugas Akhir/Skripsi/Tesis** yang disusun. Demikian Surat Keterangan ini kami berikan untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Kediri, 03 Juli 2026
Ka UPT PPI,



Dr. Abdul Aziz Hunaifi, M.A



Turnitin LCCX

2213010017_Muhammad Faza Annaufal.pdf

 MESIN 03

 GOD OF RA

 Konsorsium Turnitin Relawan Jurnal Indonesia

Document Details

Submission ID

trn:oid::1:3605603840

Submission Date

Jul 3, 2026, 3:23 PM GMT+7

Download Date

Jul 3, 2026, 3:24 PM GMT+7

File Name

2213010017_Muhammad_Faza_Annaufal.pdf

File Size

707.0 KB

34 Pages

7,609 Words

47,924 Characters

18% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 16%  Internet sources
- 10%  Publications
- 8%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 16% Internet sources
- 10% Publications
- 8% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Publication	Muhammad Amin Putro, Prantasi Harmi Tjahjanti. "Analysis of Tube Design for Cl...	<1%
2	Internet	ppjp.ulm.ac.id	<1%
3	Internet	repository.trisakti.ac.id	<1%
4	Student papers	UIN Raden Intan Lampung	<1%
5	Internet	repository.unissula.ac.id	<1%
6	Student papers	Universitas Negeri Jakarta	<1%
7	Internet	repository.umsu.ac.id	<1%
8	Student papers	Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya	<1%
9	Internet	adoc.pub	<1%
10	Internet	journal.ubb.ac.id	<1%
11	Internet	core.ac.uk	<1%

12	Student papers	Badan PPSPM Kesehatan Kementerian Kesehatan	<1%
13	Internet	media.neliti.com	<1%
14	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
15	Internet	journal.ummat.ac.id	<1%
16	Internet	www.scribd.com	<1%
17	Internet	eprints.uny.ac.id	<1%
18	Internet	repo.undiksha.ac.id	<1%
19	Student papers	UIN KH. Achmad Siddiq Jember	<1%
20	Internet	repository.pnj.ac.id	<1%
21	Publication	Silvia Novi Fitriana, Agung Dian Putra, Amrina Izzatika, Fadhilah Khairani. "Penga...	<1%
22	Internet	journal.trunojoyo.ac.id	<1%
23	Internet	lib.unnes.ac.id	<1%
24	Internet	vdocuments.net	<1%
25	Internet	es.scribd.com	<1%

26	Internet	jurnal.unugha.ac.id	<1%
27	Internet	repository.stikespanritahusada.ac.id	<1%
28	Student papers	Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri Bojonegoro	<1%
29	Internet	doaj.org	<1%
30	Internet	id.123dok.com	<1%
31	Internet	rama.unimal.ac.id	<1%
32	Internet	repository.ubpkarawang.ac.id	<1%
33	Internet	journal.artei.or.id	<1%
34	Publication	Intan Sulistyawati, Devi Permatasari. "Efektivitas Sistem Pengendalian Internal d...	<1%
35	Student papers	Universitas Muhammadiyah Surakarta	<1%
36	Student papers	Universitas Sumatera Utara	<1%
37	Internet	e-journal.hamzanwadi.ac.id	<1%
38	Internet	journal.ubaya.ac.id	<1%
39	Internet	journal2.um.ac.id	<1%

40	Internet	repository.podomorouniversity.ac.id	<1%
41	Internet	repository.poltekpel-sby.ac.id	<1%
42	Internet	repository.uinpalopo.ac.id	<1%
43	Student papers	Universitas Negeri Semarang	<1%
44	Student papers	iGroup	<1%
45	Internet	repository.unbara.ac.id	<1%
46	Student papers	Sriwijaya University	<1%
47	Student papers	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya	<1%
48	Student papers	College of Banking and Financial Studies	<1%
49	Publication	Rifqah Nuha Nabiilah, Mahesi Agni Zaus. "Pengaruh Penerapan Model Game-Bas...	<1%
50	Internet	prosiding.pnj.ac.id	<1%
51	Internet	repository.upi.edu	<1%
52	Student papers	Fakultas Teknik	<1%
53	Publication	Sufiyanto Sufiyanto, David Ross, Djoko Andrijono, Rudy Hariyanto. "ANALISIS SUR...	<1%

54	Internet	begawe.unram.ac.id	<1%
55	Internet	repository.its.ac.id	<1%
56	Internet	repository.uinjkt.ac.id	<1%
57	Internet	123dok.com	<1%
58	Internet	eprints.walisongo.ac.id	<1%
59	Internet	files01.core.ac.uk	<1%
60	Internet	garuda.ristekdikti.go.id	<1%
61	Internet	text-id.123dok.com	<1%
62	Internet	www.researchgate.net	<1%
63	Student papers	Universitas Airlangga-1	<1%
64	Student papers	Universitas Gadjah Mada	<1%
65	Internet	buygtlonnios.blogspot.com	<1%
66	Internet	docplayer.info	<1%
67	Internet	eprints.mercubuana-yogya.ac.id	<1%

68	Internet	eprints.umm.ac.id	<1%
69	Internet	mafiadoc.com	<1%
70	Internet	ojs.unm.ac.id	<1%
71	Internet	repository.poliupg.ac.id	<1%
72	Internet	repository.uinsaizu.ac.id	<1%
73	Internet	vdocuments.site	<1%
74	Internet	www.bresletestkit.com	<1%
75	Internet	www.coursehero.com	<1%
76	Internet	ykgm.org	<1%
77	Internet	zulfikarmuhammadnugroho95.blogspot.com	<1%
78	Publication	Pratiwi Nila Sari, Cahyadi Husadha. "PENGUNGKAPAN CORPORATE GOVERNANCE..."	<1%
79	Publication	Rantika Khumairah, Agus Sundaryono, Dewi Handayani. "PENGARUH MODEL PEM..."	<1%
80	Publication	Siti Rabiatal Adawiyah, Syarifudin A., Munawar Raharja. "Penurunan Kadar BOD d..."	<1%
81	Publication	Supyan Sori. "Pengaruh Model Pembelajaran Berbasis Masalah terhadap Kemam..."	<1%

BAB I

PENDAHULUAN

A. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi tekanan *bending* terhadap penyimpangan sudut hasil *bending* pada material baja struktural KS 440 dengan ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm menggunakan mesin *press brake* hidrolik?
2. Bagaimana pengaruh variasi tekanan *bending* terhadap penyimpangan sudut hasil *bending* pada material *stainless steel* 304 dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm menggunakan mesin *press brake* hidrolik?
3. Berapakah tekanan *bending* yang optimal untuk menghasilkan sudut *bending* paling mendekati sudut acuan 90° pada masing-masing material dan ketebalan pelat?

B. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi tekanan *bending* terhadap penyimpangan sudut hasil *bending* pada material baja struktural KS 440 dengan ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm menggunakan mesin *press brake* hidrolik.
2. Mengetahui pengaruh variasi tekanan *bending* terhadap penyimpangan sudut hasil *bending* pada material *stainless steel* 304 dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm menggunakan mesin *press brake* hidrolik.
3. Menentukan tekanan *bending* yang optimal untuk menghasilkan sudut *bending* paling mendekati sudut acuan 90° pada masing-masing material dan ketebalan pelat.

C. Latar Belakang

Teknologi pengolahan lembaran logam (*sheet metal*) merupakan salah satu teknologi manufaktur paling awal yang berkembang dan hingga saat ini masih banyak digunakan dalam berbagai sektor industri. Seiring dengan pesatnya perkembangan industri manufaktur, teknologi pemrosesan lembaran logam terus mengalami peningkatan, baik dari sisi metode pembentukan maupun kemampuan mesin yang digunakan. Akibatnya, produk berbasis lembaran logam telah diaplikasikan secara luas pada sektor otomotif, konstruksi, permesinan, hingga industri alat pertanian. Salah satu proses pembentukan lembaran logam yang paling

13 umum digunakan adalah proses *bending*, yang termasuk ke dalam proses pembentukan logam (*metal forming*). Berbagai pendekatan proses *bending* telah dikembangkan untuk memenuhi tuntutan variasi bentuk, spesifikasi pelat, serta toleransi pembentukan yang semakin ketat (Sukarman et al., 2020). Proses *sheet metal forming* terus berkembang seiring meningkatnya tuntutan presisi dan efisiensi manufaktur. Penerapan proses *bending* pada industri modern menuntut pengendalian parameter pembentukan yang tepat agar diperoleh kualitas produk yang konsisten dan sesuai spesifikasi desain

59 PT Corin Mulia Gemilang sebagai salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang produksi mesin dan peralatan pertanian telah mengimplementasikan teknologi *sheet metal forming*, khususnya proses *bending* pelat logam, dalam kegiatan produksinya. Proses *bending* digunakan dalam pembuatan berbagai komponen mesin pertanian yang menuntut ketepatan dimensi dan kesesuaian sudut agar dapat dirakit dengan baik serta berfungsi secara optimal. Untuk menunjang proses tersebut, perusahaan menggunakan mesin *press brake* hidrolik yang mampu menghasilkan gaya tekan besar dan stabil. Namun, dalam praktik produksi, variasi jenis material pelat seperti baja karbon dan *stainless steel*, serta perbedaan ketebalan pelat, berpotensi menimbulkan perbedaan kualitas hasil *bending*, khususnya terhadap pencapaian sudut acuan 90°. Kondisi ini dapat berdampak pada ketepatan perakitan komponen, meningkatnya kebutuhan pengerjaan ulang (*rework*), serta menurunnya efisiensi proses produksi apabila tidak dikendalikan dengan baik.

73 Secara teoritis, proses *bending* merupakan proses pembentukan logam yang dilakukan dengan cara menekuk pelat atau batang logam, baik dari bahan logam ferro maupun non-ferro. Pada proses ini terjadi pemuluran atau peregangan pada sumbu bidang netral di sepanjang daerah *bending* yang menghasilkan garis tekuk yang relatif lurus (Suyuti et al., 2020). Namun demikian, dalam praktiknya sering dijumpai perbedaan antara sudut hasil *bending* dengan sudut yang direncanakan. Perbedaan ini umumnya disebabkan oleh fenomena *springback*, yaitu kecenderungan material untuk kembali sebagian ke bentuk semula setelah gaya pembebanan dilepaskan. Besarnya *springback* dipengaruhi oleh sifat elastis material, khususnya modulus elastisitas, sehingga dapat menyebabkan

penyimpangan sudut dan ketidaksesuaian dimensi pada produk hasil *bending* (Mulyanto & Khaerudini, 2020). Perkembangan teknologi *sheet metal forming* juga diarahkan pada peningkatan akurasi dimensi, pengendalian cacat pembentukan, dan optimasi parameter proses untuk memperoleh kualitas produk yang lebih baik (Trzepieciński, 2020)

Salah satu material yang banyak digunakan dalam proses *bending* adalah *stainless steel SUS 304*. Material ini merupakan baja tahan karat austenitik yang memiliki kombinasi sifat mekanik dan ketahanan korosi yang sangat baik, dengan kandungan kromium sekitar 18% dan nikel sekitar 8%. Struktur mikro austenitik pada SUS 304 memberikan sifat daktilitas dan *formability* yang tinggi, sehingga relatif mudah dibentuk melalui proses *bending*. Namun, dalam proses *bending*, SUS 304 cenderung menunjukkan nilai *springback* yang lebih besar akibat nilai *yield strength* dan modulus elastisitas yang relatif tinggi dibandingkan baja karbon, sehingga memerlukan pengendalian parameter proses yang lebih cermat (Khoirudin et al., 2022; Singh et al., 2018). Selain itu, perilaku *springback* pada *stainless steel SUS 304* juga dipengaruhi oleh karakteristik elastis-plastis material dan fenomena *tension-compression asymmetry* yang menyebabkan penyimpangan sudut setelah pembebanan dilepaskan (Mehrabi & Yang, 2020)

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik manufaktur, khususnya pada kajian proses pembentukan pelat logam (*sheet metal forming*). Hasil penelitian ini dapat menambah referensi ilmiah mengenai hubungan antara tekanan *bending* dan sudut hasil *bending* pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel 304* menggunakan mesin *press brake* hidrolik. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pemahaman teoritis terkait fenomena penyimpangan sudut akibat sifat elastis material (*springback*) dalam proses *bending*, terutama dalam upaya pencapaian sudut tekuk yang mendekati sudut acuan 90°.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Industri

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan teknis bagi pihak industri, khususnya PT Corin Mulia Gemilang, dalam menentukan tekanan *bending* yang optimal pada proses pembentukan pelat menggunakan mesin *press brake* hidrolik untuk material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304. Dengan penerapan tekanan *bending* yang tepat, sudut hasil *bending* dapat mendekati sudut target 90°, sehingga kualitas produk meningkat, potensi kesalahan perakitan akibat penyimpangan sudut dapat diminimalkan, serta efisiensi dan konsistensi proses produksi dapat ditingkatkan.

5 b. Bagi Mahasiswa dan Akademisi

56 Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan bahan pembelajaran bagi mahasiswa dan akademisi dalam memahami proses pembentukan pelat logam (*sheet metal forming*), khususnya terkait hubungan antara tekanan *bending*, sifat material, dan sudut hasil *bending* pada mesin *press brake* hidrolik. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam pengembangan penelitian selanjutnya dengan penambahan variabel, variasi material, maupun penerapan metode analisis yang lebih luas guna memperdalam kajian proses *bending* pelat logam.

9 c. Bagi Peneliti

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengalaman peneliti dalam mengaplikasikan teori yang diperoleh selama perkuliahan ke dalam praktik nyata di lingkungan industri, khususnya pada proses pembentukan pelat logam menggunakan mesin *press brake* hidrolik. Selain itu, penelitian ini dapat meningkatkan kemampuan peneliti dalam melakukan analisis data, pengendalian variabel, serta pelaksanaan penelitian eksperimental di bidang teknik manufaktur secara sistematis dan ilmiah.

11

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Kajian Teori

64

1. Proses Pembentukan Pelat Logam (*Sheet metal forming*)

36

Proses pembentukan pelat logam (*sheet metal forming*) merupakan proses manufaktur yang memanfaatkan deformasi plastis lembaran logam melalui interaksi antara *punch* dan *die* untuk menghasilkan bentuk tertentu tanpa menghilangkan material secara signifikan. Proses ini banyak diterapkan dalam industri karena mampu menghasilkan komponen dengan bentuk kompleks, akurasi dimensi yang baik, serta efisiensi material yang tinggi (Hattalli & Srivatsa, 2018). Proses ini banyak digunakan dalam industri manufaktur karena mampu menghasilkan komponen dengan tingkat presisi tinggi, efisiensi material yang baik, serta cocok untuk produksi massal. Salah satu metode pembentukan pelat yang paling umum digunakan adalah proses *bending*, yaitu pembengkokan pelat logam hingga mencapai sudut tertentu sesuai kebutuhan desain. Proses ini banyak diaplikasikan pada industri otomotif, alat berat, hingga peralatan pertanian karena mampu menghasilkan komponen struktural dan non-struktural dengan kualitas yang konsisten (Sukarman et al., 2020)

2. Proses *Bending*

Proses *bending* merupakan proses pembentukan pelat logam dengan cara memberikan gaya tekan menggunakan *punch* dan *die* sehingga material mengalami deformasi plastis dan membentuk sudut tertentu. Dalam proses ini, sebagian zona pelat mengalami deformasi plastis, sementara zona lainnya masih berada dalam kondisi elastis. Kombinasi deformasi plastis dan elastis tersebut sangat menentukan sudut akhir hasil *bending*. Apabila pengendalian proses tidak dilakukan secara tepat, perbedaan antara sudut rencana dan sudut hasil *bending* dapat terjadi, terutama pada sudut acuan 90°. Kondisi ini menjadi perhatian utama dalam proses pembentukan pelat logam karena berpengaruh terhadap ketepatan dimensi dan kualitas perakitan komponen (Suyuti et al., 2020). Secara prinsip, proses *bending* bekerja dengan memberikan gaya luar pada

material hingga terjadi deformasi plastis permanen, sehingga bentuk logam tetap bertahan meskipun gaya pembebanan telah dilepaskan. Prinsip dasar ini menjadikan proses *bending* banyak digunakan dalam industri manufaktur karena mampu membentuk logam secara permanen dengan metode manual maupun menggunakan mesin *bending* (*press brake*) (Lestari et al., 2018).

3. Mesin *Press brake* Hidrolik

Mesin *press brake* hidrolik merupakan mesin pembentuk pelat logam yang bekerja dengan memanfaatkan tekanan fluida hidrolik untuk menghasilkan gaya tekan yang besar dan stabil. Sistem hidrolik memungkinkan distribusi gaya yang lebih merata sepanjang panjang *bending* serta pergerakan ram yang lebih halus dibandingkan dengan *press brake* mekanik, sehingga mampu meningkatkan akurasi sudut tekuk dan mengurangi variasi hasil pembentukan. Selain itu, penggunaan sistem hidrolik juga memberikan fleksibilitas dalam pengaturan gaya tekan, kecepatan penekanan, dan posisi ram, yang sangat penting dalam proses *bending* pelat dengan variasi ketebalan dan sifat mekanik material yang berbeda (Sukarman et al., 2020). Dalam aplikasi industri dan penelitian, mesin *press brake* hidrolik banyak digunakan untuk proses *air bending* dan *bending* karena mampu menghasilkan deformasi plastis yang terkendali serta meminimalkan risiko kerusakan material. Kestabilan gaya tekan yang dihasilkan sistem hidrolik berperan penting dalam mengurangi ketidakkonsistenan sudut hasil *bending* dan membantu pengendalian fenomena *springback*, khususnya pada material dengan modulus elastisitas dan kekuatan luluh yang tinggi seperti *stainless steel* austenitik (Al-Ghamdi & Hussain, 2019).

4. Sudut *Bending* dan Sudut Acuan

Sudut *bending* merupakan sudut yang terbentuk antara dua bidang pelat setelah proses pembengkokan dilakukan. Dalam praktik manufaktur, sudut *bending* biasanya dirancang sesuai kebutuhan fungsional komponen, salah satunya sudut acuan 90°. Ketepatan sudut hasil *bending* menjadi indikator utama kualitas proses pembentukan karena penyimpangan sudut dapat

menyebabkan ketidaksesuaian dimensi, kesulitan perakitan, serta penurunan performa komponen. Oleh karena itu, pengukuran sudut hasil *bending* dan analisis penyimpangannya menjadi aspek penting dalam evaluasi kualitas proses *bending* pelat logam (Mulyanto & Khaerudini, 2020).

5. Fenomena *Springback*

Springback merupakan fenomena kembalinya sebagian deformasi elastis material setelah gaya pembebanan pada proses *bending* dilepaskan. Fenomena ini menyebabkan sudut akhir hasil *bending* menjadi lebih besar dibandingkan sudut saat proses penekanan berlangsung. Besarnya *springback* dipengaruhi oleh sifat mekanik material, seperti modulus elastisitas dan kekuatan luluh, serta parameter proses *bending* yang digunakan (Suyuti et al., 2020). Fenomena *springback* menjadi salah satu penyebab utama terjadinya penyimpangan sudut hasil *bending*, terutama pada material dengan elastisitas tinggi seperti *stainless steel* austenitik. Hal ini ditunjukkan pada hasil penelitian eksperimental proses *bending* pada *stainless steel* 304 yang memperlihatkan kecenderungan nilai *springback* yang relatif lebih besar dibandingkan baja karbon (Nur et al., 2024). Selain itu, fenomena *springback* telah banyak dikaji melalui pendekatan eksperimental maupun numerik. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa besarnya *springback* tidak hanya dipengaruhi oleh sifat material, tetapi juga oleh kombinasi geometri alat (*die* dan *punch*), ketebalan pelat, serta parameter proses *bending* yang digunakan (Cinar et al., 2021; Sun et al., 2017). Selain faktor geometri dan sifat material, perilaku elastis-plastis material selama proses pembebanan dan pelepasan beban juga berpengaruh signifikan terhadap besarnya *springback*. Karakteristik pada material logam terbukti memengaruhi akurasi prediksi sudut hasil *bending* (Mehrabi & Yang, 2020)

6. Jenis Material Pelat Logam

a. Baja Pelat KS 440

Baja pelat KS 440 merupakan baja karbon struktural yang banyak digunakan dalam industri manufaktur karena memiliki kekuatan tarik

dan kekuatan luluh yang relatif tinggi serta sifat keuletan yang masih memadai. Dalam proses *bending*, baja KS 440 menunjukkan perilaku deformasi yang cukup stabil dan memiliki kecenderungan *springback* yang lebih kecil dibandingkan *stainless steel* austenitik (Suyuti et al., 2018). Karakteristik baja karbon struktural menjadikannya sesuai untuk aplikasi pembentukan pelat yang memerlukan ketepatan dimensi dan kestabilan sudut hasil *bending* (Nur et al., 2024).

b. *Stainless steel 304*

Stainless steel 304 merupakan baja tahan karat austenitik yang banyak digunakan karena memiliki ketahanan korosi yang baik serta sifat keuletan dan *formability* yang tinggi. Namun, sifat elastisitas dan mekanisme *strain hardening* pada material ini menyebabkan kecenderungan *springback* yang lebih besar pada proses *bending* dibandingkan baja karbon (Nur et al., 2024). Perilaku mekanik *stainless steel 304* pada proses deformasi plastis dipengaruhi oleh struktur mikro austenitik yang stabil dan nilai modulus elastisitas material (Singh et al., 2018).

7. Pengaruh Ketebalan Pelat terhadap Kualitas Hasil *Bending*

Ketebalan pelat merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi kualitas hasil *bending*. Pelat dengan ketebalan yang lebih tipis cenderung menghasilkan nilai *springback* yang lebih besar karena dominasi deformasi elastis. Sebaliknya, peningkatan ketebalan pelat menyebabkan deformasi plastis menjadi lebih dominan sehingga sudut hasil *bending* menjadi lebih stabil dan penyimpangan sudut relatif lebih kecil (Suyuti et al., 2020). Pengaruh ketebalan pelat terhadap *springback* juga telah dibuktikan melalui pendekatan eksperimental dan numerik yang menunjukkan bahwa ketebalan pelat berperan signifikan dalam menentukan sudut akhir hasil *bending* (Alhammadi et al., 2018). Hasil penelitian eksperimental pada proses micro V-*bending* menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan pelat *stainless steel* SS304 dapat menurunkan nilai *springback* karena deformasi plastis menjadi lebih dominan dibandingkan deformasi elastis. Oleh karena itu, ketebalan pelat

merupakan salah satu parameter utama yang harus dipertimbangkan dalam optimasi proses *bending* (Sadeghi Tarsi et al., 2025)

B. Kajian Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Radius *Die* terhadap *Springback* Logam Lembaran *Stainless steel* pada Proses *Bending* Hidrolik V-*Die*” meneliti pengaruh variasi radius *die* terhadap nilai *springback* pada proses *bending* pelat *stainless steel*. Penelitian tersebut menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan radius *die*, sementara parameter proses lainnya dijaga tetap konstan. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui hubungan antara perubahan radius *die* dan penyimpangan sudut hasil *bending*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar radius *die* yang digunakan, maka nilai *springback* cenderung meningkat, sehingga sudut hasil *bending* semakin menjauh dari sudut rencana (Sukarman et al., 2020).

Penelitian lain dengan judul “Experimental and numerical investigation of V-bent anisotropic 304L SS sheet with spring-forward considering deformation-induced martensitic transformation” menginvestigasi perilaku *springback* pada *stainless steel* 304L menggunakan pendekatan eksperimen dan simulasi numerik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa anisotropi material dan transformasi martensit akibat deformasi memiliki pengaruh signifikan terhadap besarnya *springback* yang terjadi pada proses V-*bending*. Penelitian ini menegaskan bahwa karakteristik mikrostruktur material perlu dipertimbangkan dalam pengendalian kualitas hasil *bending* (Ahmadi et al., 2017).

Penelitian lain dengan judul “*Springback* Hasil Proses Tekuk Bentuk “V” Pelat Baja Karbon St. 60 Ketebalan 4 mm” membahas perilaku *springback* pada proses *bending* pelat baja karbon dengan variasi parameter proses. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sifat mekanik material terhadap penyimpangan sudut hasil *bending*. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan melakukan pengukuran sudut hasil *bending* dan membandingkannya dengan sudut acuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baja karbon memiliki kecenderungan *springback* yang lebih kecil dibandingkan material dengan elastisitas tinggi, namun tetap mengalami

penyimpangan sudut apabila parameter proses *bending* tidak dikendalikan dengan baik (Suyuti et al., 2018)

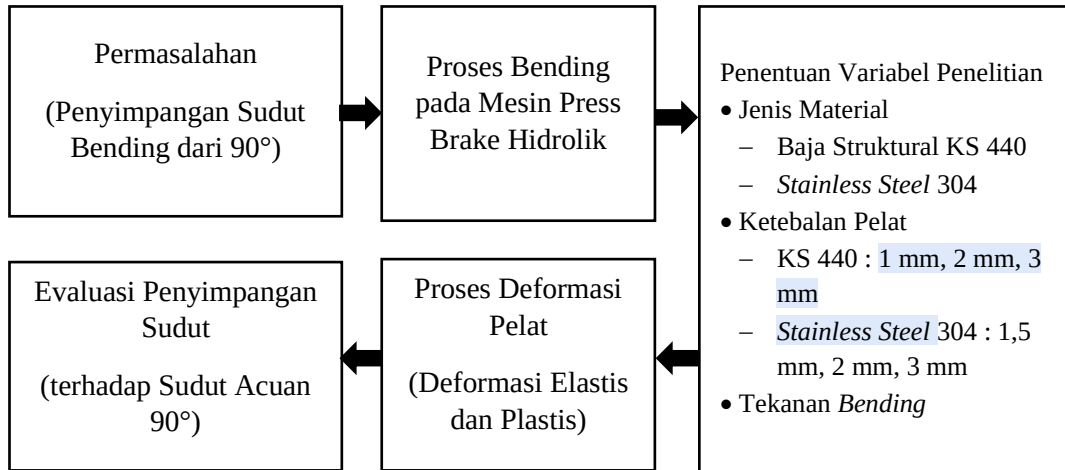
Penelitian selanjutnya berjudul “Investigasi simulasi numeris dan eksperimen proses *springback* berbentuk cup silinder pada lembaran baja karbon Jis-G3141” yang bertujuan untuk mengkaji pengaruh sifat elastis material terhadap besarnya *springback*. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan menganalisis hubungan antara modulus elastisitas, kekuatan luluh, dan sudut hasil *bending*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material dengan modulus elastisitas dan kekuatan luluh yang lebih tinggi cenderung menghasilkan nilai *springback* yang lebih besar, sehingga menyebabkan penyimpangan sudut yang signifikan dari sudut rencana (Mulyanto & Khaerudini, 2020)

Penelitian terbaru dengan judul “*Springback Analysis in the Bending Process of V-Shaped Stainless steel AISI 304 Using CCD Approach*” menganalisis pengaruh parameter proses *bending* terhadap nilai *springback* pada material *stainless steel* AISI 304. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan statistik untuk mengevaluasi pengaruh variasi parameter proses terhadap sudut hasil *bending*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *stainless steel* AISI 304 memiliki kecenderungan *springback* yang relatif besar akibat sifat elastisitas material, dan peningkatan ketebalan pelat terbukti mampu menurunkan nilai *springback* secara signifikan (Nur et al., 2024)

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian terdahulu, diketahui bahwa kualitas hasil *bending* dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis material, sifat mekanik material, parameter proses, serta ketebalan pelat. Namun demikian, penelitian yang secara khusus membandingkan pengaruh jenis material baja karbon struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 dengan variasi ketebalan pelat yang berbeda masih terbatas, khususnya pada penggunaan mesin *press brake* hidrolik. Pada penelitian ini, variasi ketebalan pelat yang digunakan meliputi 1 mm, 2 mm, dan 3 mm untuk baja struktural KS 440, serta 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm untuk *stainless steel* 304. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah penelitian tersebut dengan menganalisis pengaruh jenis material

dan ketebalan pelat terhadap kualitas hasil *bending*, yang dinyatakan berdasarkan penyimpangan sudut hasil *bending* terhadap sudut acuan 90°.

C. Kerangka Berfikir



Gambar 2. 1 Flowchart Kerangka Berfikir

Penelitian ini berangkat dari permasalahan penyimpangan sudut hasil *bending* dari sudut acuan 90° yang sering terjadi pada proses pembentukan pelat logam. Proses *bending* menggunakan mesin *press brake* hidrolik dipengaruhi oleh jenis material, ketebalan pelat, dan tekanan *bending* yang diberikan. Variasi variabel tersebut menyebabkan terjadinya deformasi elastis dan plastis serta fenomena *springback* yang berdampak pada sudut hasil *bending*. Dalam penelitian ini, setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing material, yaitu baja struktural KS 440 sebanyak tiga kali dan *stainless steel* 304 sebanyak tiga kali, guna memperoleh hasil yang konsisten dan reliabel. Sudut hasil *bending* dari setiap percobaan kemudian dievaluasi berdasarkan tingkat penyimpangannya terhadap sudut acuan 90°, dianalisis secara sistematis, dan digunakan untuk menentukan tekanan *bending* yang optimal sehingga diperoleh sudut *bending* yang paling mendekati 90°.

D. Hipotesis Penelitian

1. Hipotesis Umum

H_1 : Terdapat pengaruh yang signifikan dari Parameter Tekanan *Bending* (YP) terhadap sudut *bending* pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 menggunakan mesin *press brake* hidrolik.

H_0 : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari Parameter Tekanan *Bending* (YP) terhadap sudut *bending* pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 menggunakan mesin *press brake* hidrolik.

2. Hipotesis Khusus

a. Material Baja Struktural KS 440

H_{1a} : Terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi Parameter Kedalaman *Punch* (YP) terhadap sudut *bending* pada material baja struktural KS 440.

H_{0a} : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi Parameter Kedalaman *Punch* (YP) terhadap sudut *bending* pada material baja struktural KS 440.

b. Material *Stainless steel* 304

H_{1b} : Terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi Parameter Kedalaman *Punch* (YP) terhadap sudut *bending* pada material *stainless steel* 304.

H_{0b} : Tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi Parameter Kedalaman *Punch* (YP) terhadap sudut *bending* pada material *stainless steel* 304.

c. Perbandingan Jenis Material

H_{1c} : Terdapat perbedaan sudut *bending* yang signifikan antara material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 pada Parameter Kedalaman *Punch* (YP) yang sebanding.

H_{0c} : Tidak terdapat perbedaan sudut *bending* yang signifikan antara material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 pada Parameter Kedalaman *Punch* (YP) yang sebanding.

27

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian

70

Penelitian ini menggunakan desain penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat melalui perlakuan dan pengukuran secara langsung. Desain eksperimental dipilih karena penelitian ini melibatkan perlakuan berupa perbedaan jenis material dan variasi ketebalan pelat dalam proses *bending* menggunakan mesin *press brake* hidrolik.



Gambar 3. 1 Mesin *Press brake* Hidrolik

37

Adapun variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas

67

- a. Parameter kedalaman *punch* (YP) dalam penelitian ini merupakan nilai posisi target *punch* yang diatur melalui *controller* ESTUN E21 pada mesin *press brake* hidrolik. Nilai YP dinyatakan dalam satuan milimeter (mm) dan digunakan untuk mengatur kedalaman penetrasi *punch* ke dalam V-*die* selama proses *bending*. Perubahan nilai YP menyebabkan perubahan deformasi plastis material sehingga mempengaruhi sudut hasil *bending* yang dihasilkan. Oleh karena itu, parameter kedalaman *punch* (YP) digunakan sebagai variabel bebas dalam penelitian ini.
- b. Jenis Material Pelat, yang terdiri dari:
 - 1) Baja pelat KS 440

2) *Stainless steel* 304

c. Ketebalan Pelat, yang terdiri dari:

- 1) Baja pelat KS 440: 1 mm, 2 mm, dan 3 mm
- 2) *Stainless steel* 304: 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm

2. Variabel Terikat

Kualitas hasil *bending*, yang dinyatakan dalam bentuk penyimpangan sudut hasil *bending* terhadap sudut acuan 90°.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dibuat tetap agar pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dapat diamati secara objektif.

Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Mesin yang digunakan (mesin *press brake* hidrolik yang sama)
- 2) Sudut acuan *bending* (90°)
- 3) Metode *bending*
- 4) Alat ukur sudut (*protractor*)
- 5) Prosedur dan kondisi pelaksanaan proses *bending*

B. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah alat yang digunakan untuk memperoleh data penelitian. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mesin *Press brake* Hidrolik

Mesin *press brake* hidrolik digunakan sebagai alat utama untuk melakukan proses *bending* pelat logam. Mesin ini memberikan gaya tekan sehingga pelat mengalami deformasi plastis dan membentuk sudut sesuai sudut acuan. Seluruh pengujian menggunakan mesin yang sama untuk menjaga konsistensi hasil.

Tabel 3. 1 Tabel Parameter Mesin *Press brake* Hidrolik

Parameter	Spesifikasi
Tipe	Hydraulic Sheet metal Press brake
Model	WC67Y100/3200
Kapasitas	1000 kN
Panjang <i>Bending</i>	3200 mm
<i>Controller</i>	ESTUN E21
Sistem	Hydraulic Torsion Bar

2. Alat Ukur Sudut (*Protractor*)

Protractor digunakan untuk mengukur sudut aktual hasil *bending*. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan sudut acuan 90° untuk menentukan penyimpangan sudut sebagai indikator kualitas hasil *bending*.

3. Pelat Logam sebagai Benda Uji

Benda uji yang digunakan 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. Setiap pelat dibentuk melalui proses *bending* menggunakan mesin *press brake* hidrolik, kemudian diukur sudut hasilnya untuk mengetahui penyimpangan terhadap sudut acuan 90°.

4. Alat Bantu dan Perlengkapan Pendukung

Alat bantu digunakan untuk mendukung kelancaran proses penelitian, seperti penggaris baja untuk membantu penempatan benda kerja, alat penjepit untuk menjaga posisi pelat selama proses *bending*, serta alat tulis dan lembar pencatatan data untuk mendokumentasikan hasil pengukuran.

C. Tempat dan Jadwal Penelitian

Penelitian proses *bending* pelat logam dilaksanakan di PT Corin Mulia Gemilang menggunakan mesin *press brake* hidrolik yang tersedia di bagian produksi. Pengujian dan pengukuran sudut hasil *bending* dilakukan di lokasi yang sama menggunakan *protractor* untuk membandingkan sudut aktual dengan sudut acuan 90°. Pelaksanaan penelitian di tempat magang bertujuan memperoleh data yang representatif terhadap kondisi industri serta menjaga konsistensi proses dan hasil pengukuran.

Tabel 3. 2 Waktu Penelitian

No.	Tahap Kegiatan	JADWAL KERJA SELAMA 5 BULAN																			
		I				II				III				IV				V			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Lapangan dan Literatur																				
2	Rumusan Masalah																				
2	Pengambilan Data																				

3	Pengolahan Data																			
4	Analisa																			
5	Penulisan Laporan																			

D. Populasi dan Sampel

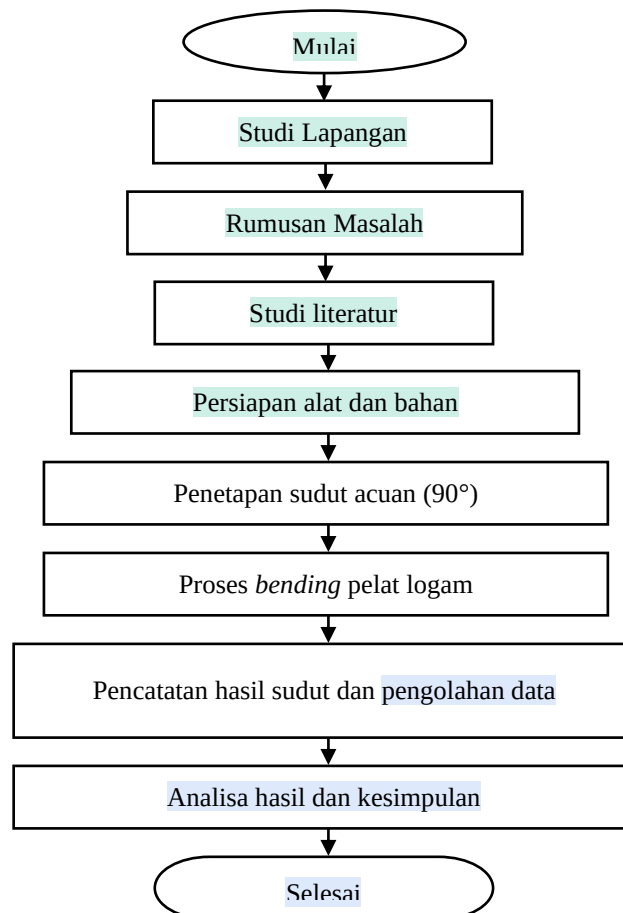
Objek penelitian dalam penelitian ini adalah hasil *bending* pelat logam yang dibentuk menggunakan mesin *press brake* hidrolik.

Sampel penelitian berupa pelat logam dengan variasi jenis material dan ketebalan sebagai berikut:

1. Baja pelat KS 440 dengan ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm
2. *Stainless steel* 304 dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm

Setiap kombinasi jenis material dan ketebalan pelat dilakukan tiga kali pengulangan guna memperoleh data yang representatif untuk analisis pengaruh variabel penelitian terhadap kualitas hasil *bending*.

E. Prosedur Penelitian



Gambar 3. 2 Flowchart Prosedur Penelitian

Flowchart tersebut menjelaskan tahapan pelaksanaan penelitian yang dilakukan secara sistematis dan berurutan untuk menganalisis optimalisasi tekanan *bending* terhadap sudut hasil *bending* pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304. Penelitian diawali dengan studi lapangan di PT Corin Mulia Gemilang untuk mengidentifikasi kondisi aktual proses *bending* pelat logam menggunakan mesin *press brake* hidrolik, khususnya permasalahan penyimpangan sudut hasil *bending* dari sudut acuan 90°. Berdasarkan hasil studi lapangan tersebut, selanjutnya disusun rumusan masalah yang menjadi dasar penentuan tujuan dan arah penelitian.

Tahap berikutnya adalah studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh landasan teori dan referensi ilmiah terkait proses *bending*, karakteristik material baja struktural dan *stainless steel*, pengaruh tekanan *bending*, serta fenomena *springback*. Setelah itu dilakukan persiapan alat dan bahan, meliputi mesin *press brake* hidrolik, alat ukur sudut (*protractor*), serta material pelat baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304. Selanjutnya ditetapkan sudut acuan *bending* sebesar 90° sebagai sudut rencana yang digunakan sebagai pembanding terhadap sudut hasil *bending*.

Tahapan penelitian dilanjutkan dengan proses *bending* pelat logam menggunakan variasi tekanan *bending* pada masing-masing material. Setiap hasil *bending* kemudian dilakukan pengukuran sudut tekuk untuk memperoleh data sudut aktual, yang selanjutnya diolah untuk mengetahui besarnya penyimpangan sudut terhadap sudut acuan 90°. Tahap akhir penelitian adalah analisis hasil dan penarikan kesimpulan untuk menentukan tekanan *bending* yang optimal dalam menghasilkan sudut *bending* paling mendekati sudut acuan serta menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian.

F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan data hasil pengujian yang disajikan pada tabel 3.2. Data yang dianalisis berupa sudut hasil *bending* pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 yang diperoleh dari proses pengukuran menggunakan alat ukur sudut (*protractor*) setelah proses *bending* pada mesin *press brake* hidrolik.

62

Variasi tekanan *bending* yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada nilai tekanan yang umum diterapkan dalam proses produksi di PT Corin Mulia Gemilang, yaitu pada kisaran tekanan kerja mesin *press brake* hidrolik yang disesuaikan dengan jenis material dan ketebalan pelat. Variasi tekanan tersebut diterapkan secara bertahap pada setiap pengujian untuk merepresentasikan kondisi aktual proses *bending* di lapangan.

Tahap awal analisis data dilakukan dengan menghitung penyimpangan sudut hasil *bending* terhadap sudut acuan 90°. Penyimpangan sudut ditentukan dari selisih antara sudut hasil pengukuran dengan sudut acuan, sebagaimana ditunjukkan pada kolom penyimpangan sudut dalam tabel 3.2. Nilai penyimpangan sudut ini digunakan sebagai indikator kualitas hasil *bending*.

75

Selanjutnya, data penyimpangan sudut pada tabel 3.2 dianalisis dengan menghitung nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan pada setiap kombinasi jenis material, ketebalan pelat, dan tekanan *bending*. Perhitungan nilai rata-rata bertujuan untuk memperoleh data yang lebih representatif serta mengurangi pengaruh kesalahan pengukuran.

Tahap berikutnya adalah melakukan perbandingan nilai penyimpangan sudut antara material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 pada tekanan *bending* yang sebanding, sebagaimana tersaji dalam tabel 3.2. Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan tekanan *bending* yang optimal pada masing-masing material, yaitu tekanan yang menghasilkan sudut *bending* paling mendekati sudut acuan 90°.

Tabel 3. 3 Data Hasil Pengujian Proses *Bending*

No.	Ketebalan Pelat (mm)	Parameter Kedalaman Punch (YP) (mm)	Sudut Hasil Bending (°)	Penyimpangan dari 90° (°)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				

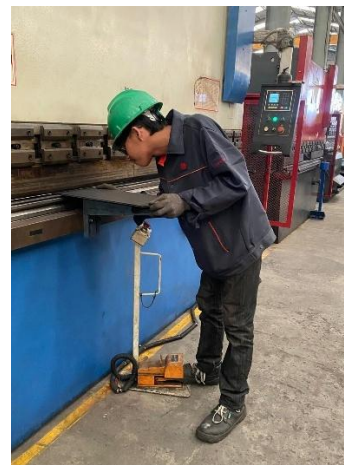
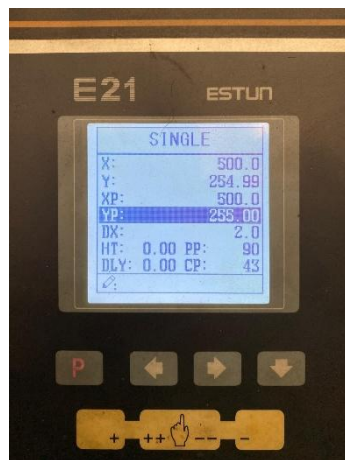
58

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Pembengkokan pelat baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 dilakukan menggunakan mesin hydraulic *sheet metal press brake* tipe WC67Y100/3200 yang dilengkapi dengan *controller* ESTUN E21, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pada penelitian ini, pengaturan proses pembengkokan dilakukan dengan mengubah parameter kedalaman *punch* (YP) pada *controller* untuk memperoleh sudut *bending* yang mendekati sudut acuan 90°.



Gambar 4. 1 Tampilan *Controller* ESTUN E21 Gambar 4. 2 Proses Pembengkokan Pelat Baja

Data penelitian diperoleh dari hasil pengujian pembengkokan pada material baja struktural KS 440 dengan ketebalan 1 mm, 2 mm, dan 3 mm, serta material *stainless steel* 304 dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm. Selama proses pengujian, parameter yang digunakan pada *controller* ESTUN E21 meliputi posisi *back gauge*, posisi *punch*, target kedalaman *punch*, serta parameter pendukung lainnya. Keterangan masing-masing parameter yang digunakan pada *controller* ESTUN E21 ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Keterangan Pada Display E21 ESTUN

Parameter	Arti	Satuan	Fungsi
X	Posisi aktual <i>back gauge</i>	mm	Menunjukkan posisi aktual penahan benda kerja
Y	Posisi aktual <i>punch</i> /ram	mm	Menunjukkan posisi aktual gerakan <i>punch</i>
XP	Target posisi <i>back gauge</i>	mm	Nilai pengaturan <i>back gauge</i>
YP	Target kedalaman <i>punch</i>	mm	Nilai pengaturan kedalaman penetrasi <i>punch</i>
DX	Retract distance	mm	Jarak mundur <i>back gauge</i>

2

1

54

HT	Holding time	detik	Waktu penahanan pada posisi akhir
DLY	Delay time	detik	Waktu tunda operasi
PP	Program number	-	Nomor program yang digunakan
CP	Counter piece	kali	Jumlah benda kerja yang diproses

Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengujian untuk meningkatkan tingkat ketelitian dan keandalan data. Setelah proses *bending* selesai dilakukan, sudut hasil pembengkokan diukur menggunakan busur derajat (*protractor*), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Pengukuran Sudut Tekuk *Bending*

Hasil pengukuran sudut kemudian dibandingkan dengan sudut acuan sebesar 90° untuk memperoleh nilai penyimpangan sudut pada masing-masing variasi parameter kedalaman *punch* (YP), jenis material, dan ketebalan pelat.

1. Hasil Pengujian Material Baja Struktural KS 440

Pengujian pada material baja KS 440 dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan *bending* terhadap sudut hasil pembengkokan. Proses dilakukan menggunakan mesin *press brake* hidrolik dengan sudut acuan sebesar 90° . Setiap variasi tekanan diuji sebanyak tiga kali pada masing-masing ketebalan material untuk memperoleh data yang lebih representatif.

Tabel 4. 2 Parameter Standar yang Digunakan pada Baja KS 440

Ketebalan (mm)	Parameter Kedalaman <i>Punch</i> (YP) (mm)	Sudut ($^\circ$)
1	252,5	86
2	253,8	88
3	255,3	87

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian *Bending* Material Baja KS 440

No	Ketebalan (mm)	Parameter Kedalaman <i>Punch</i> (YP) (mm)	Sudut (°)	Penyimpangan
1.	1	252,5	86	-4
2.	1	252,2	90	0
3.	1	251,9	92	2
4.	2	253,8	88	-2
5.	2	253,5	90	0
6.	2	253,3	94	4
7.	3	255,3	87	-3
8.	3	255	90	0
9.	3	254,7	95	5

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa perubahan parameter tekanan *bending* (YP) menghasilkan perubahan sudut hasil *bending* pada setiap ketebalan material. Pada ketebalan 1 mm, nilai parameter tekanan *bending* (YP) sebesar 252,2 menghasilkan sudut 90° dengan penyimpangan 0°, sedangkan nilai YP 252,5 menghasilkan sudut 86° dengan penyimpangan -4° dan nilai YP 251,9 menghasilkan sudut 92° dengan penyimpangan 2°.

Pada ketebalan 2 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 253,5 yang menghasilkan sudut 90° dengan penyimpangan 0°. Sementara itu, nilai YP 253,8 menghasilkan sudut 88° dan nilai YP 253,3 menghasilkan sudut 94°.

Pada ketebalan 3 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 255,0 dengan sudut hasil *bending* sebesar 90° dan penyimpangan 0°. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap ketebalan material memerlukan nilai parameter tekanan *bending* (YP) yang berbeda untuk menghasilkan sudut pembentukan sebesar 90°. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa ketebalan material memengaruhi kebutuhan parameter tekanan *bending* selama proses pembentukan.

2. Hasil Pengujian Material *Stainless steel* 304

Pengujian pada material *stainless steel* 304 dilakukan dengan tujuan yang sama, yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan *bending* terhadap

penyimpangan sudut hasil pembentukan. Material yang digunakan memiliki ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm dengan sudut acuan pembentukan sebesar 90°.

Parameter standar yang digunakan

Tabel 4. 4 Parameter Standar yang Digunakan pada Material SS 304

Ketebalan (mm)	Parameter Tekanan Bending (YP) (mm)	Sudut (°)
1,5	253,6	94
2	252,6	92
3	254,35	93

Variasi tekanan diberikan pada setiap ketebalan untuk mengetahui perubahan sudut hasil *bending* serta menentukan tekanan yang mampu menghasilkan sudut paling mendekati sudut acuan. Hasil pengujian yang diperoleh berupa nilai tekanan, sudut hasil *bending*, dan penyimpangan sudut yang terjadi setelah proses pembentukan. Data hasil pengujian material *stainless steel* 304 disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Bending Material Baja KS 440

No	Ketebalan (mm)	Parameter Tekanan Bending (YP) (mm)	Sudut (°)	Penyimpangan
1.	1,5	254,2	86	-4
2.	1,5	253,9	90	0
3.	1,5	253,6	94	4
4.	2	253,8	85	-5
5.	2	252,9	90	0
6.	2	252,6	92	2
7.	3	255	86	-4
8.	3	254,65	90	0
9.	3	254,35	93	3

Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa perubahan parameter tekanan *bending* (YP) memengaruhi sudut hasil *bending* pada material *stainless steel* 304. Pada

ketebalan 1,5 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 253,9 yang menghasilkan sudut 90° dengan penyimpangan 0°.

Pada ketebalan 2 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 252,9 yang menghasilkan sudut 90° dengan penyimpangan 0°. Sementara itu, pada ketebalan 3 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 254,65 yang menghasilkan sudut 90° dengan penyimpangan 0°.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap ketebalan material memerlukan nilai parameter tekanan *bending* (YP) yang berbeda untuk menghasilkan sudut *bending* yang sesuai dengan sudut acuan 90°.

3. Perbandingan Tekanan Optimum Material KS 440 dan *Stainless steel* 304

Setelah dilakukan pengujian pada masing-masing variasi ketebalan dan tekanan *bending*, diperoleh tekanan yang menghasilkan sudut pembentukan paling mendekati sudut acuan 90°. Tekanan tersebut selanjutnya ditetapkan sebagai tekanan optimum karena menghasilkan penyimpangan sudut terkecil. Perbandingan tekanan optimum pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 untuk setiap ketebalan material disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Perbandingan Tekanan Optimum Material KS 440 dan *Stainless steel* 304

Material	Ketebalan (mm)	Parameter Tekanan <i>Bending</i> (YP) (mm)	Sudut (°)	Penyimpangan (°)
KS 440	1	252,2	90	0
KS 440	2	253,5	90	0
KS 440	3	255	90	0
SS 304	1,5	253,9	90	0
SS 304	2	252,9	90	0
SS 304	3	254,65	90	0

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa tekanan optimum pada masing-masing material dan ketebalan berbeda. Perbedaan nilai parameter tekanan *bending* (YP) optimum menunjukkan bahwa karakteristik material dan ketebalan pelat memengaruhi kebutuhan parameter pembentukan untuk menghasilkan sudut yang sesuai dengan sudut acuan. Setiap material memiliki respons yang berbeda terhadap proses *bending* sehingga diperlukan pengaturan parameter tekanan *bending* (YP) yang berbeda untuk mencapai hasil pembentukan yang optimal.

B. Pembahasan

1. Pengaruh Parameter Tekanan *Bending* (YP) terhadap Sudut *Bending*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan parameter tekanan *bending* (YP) memengaruhi sudut *bending* yang terbentuk pada material baja struktural KS 440 maupun *stainless steel* 304. Pada setiap variasi ketebalan material ditemukan bahwa nilai YP tertentu menghasilkan sudut pembentukan yang paling mendekati sudut acuan 90°.

Berdasarkan data hasil pengujian, perubahan nilai parameter tekanan *bending* (YP) menyebabkan terjadinya perubahan sudut hasil *bending*. Pada material KS 440, nilai YP optimum diperoleh pada 252,2 untuk ketebalan 1 mm, 253,5 untuk ketebalan 2 mm, dan 255,0 untuk ketebalan 3 mm. Sementara itu, pada material *stainless steel* 304 diperoleh nilai YP optimum sebesar 253,9 untuk ketebalan 1,5 mm, 252,9 untuk ketebalan 2 mm, dan 254,65 untuk ketebalan 3 mm.

Perubahan nilai YP menyebabkan perubahan kedalaman penetrasi *punch* terhadap material. Semakin besar penetrasi *punch* yang terjadi, semakin besar pula deformasi plastis yang dialami material selama proses pembentukan. Kondisi tersebut menyebabkan perubahan sudut hasil *bending* yang terbentuk. Oleh karena itu, pengaturan parameter tekanan *bending* (YP) menjadi faktor penting dalam memperoleh sudut pembentukan yang sesuai dengan sudut target 90°.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap ketebalan dan jenis material memerlukan nilai parameter tekanan *bending* yang berbeda untuk menghasilkan sudut yang sama. Perubahan nilai parameter tekanan *bending* diikuti oleh perubahan sudut hasil pembentukan, sehingga diperlukan pengaturan parameter yang tepat untuk memperoleh sudut *bending* yang mendekati sudut acuan 90°.

2. Pengaruh Jenis Material terhadap Sudut *Bending*

Perbedaan jenis material memberikan respons yang berbeda terhadap proses pembentukan menggunakan mesin *press brake* hidrolik. Hal tersebut terlihat dari perbedaan nilai parameter tekanan *bending* (YP) optimum yang diperlukan untuk menghasilkan sudut pembentukan sebesar 90° pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304.

Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik mekanik masing-masing material, seperti kekuatan luluh, kekuatan tarik, dan sifat elastisitas material.

Material *stainless steel* 304 memiliki kecenderungan mengalami *springback* setelah proses pembentukan. *Springback* merupakan fenomena kembalinya sebagian deformasi elastis setelah beban pembentukan dilepaskan, sehingga sudut hasil *bending* dapat berubah dari sudut yang diinginkan.

Oleh karena itu, diperlukan pengaturan parameter tekanan *bending* (YP) yang sesuai agar pengaruh *springback* dapat diminimalkan dan sudut hasil pembentukan tetap mendekati sudut target 90°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun kedua material dapat menghasilkan sudut pembentukan yang sama, nilai parameter tekanan *bending* (YP) yang digunakan tidak selalu sama karena dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing material.

3. Parameter Tekanan *Bending* (YP) Optimum

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum yang berbeda pada setiap material dan ketebalan pelat. Pada material baja struktural KS 440 diperoleh nilai YP optimum sebesar 252,2 untuk ketebalan 1 mm, 253,5 untuk ketebalan 2 mm, dan 255,0 untuk ketebalan 3 mm. Sementara itu, pada material *stainless steel* 304 diperoleh nilai YP optimum sebesar 253,9 untuk ketebalan 1,5 mm, 252,9 untuk ketebalan 2 mm, dan 254,65 untuk ketebalan 3 mm.

Nilai-nilai tersebut ditetapkan sebagai parameter tekanan *bending* optimum karena menghasilkan sudut pembentukan sebesar 90° dengan penyimpangan sudut sebesar 0°. Dengan demikian, nilai YP tersebut dapat digunakan sebagai acuan pengaturan mesin *press brake* hidrolik untuk memperoleh hasil pembentukan yang sesuai dengan sudut yang direncanakan.

Perbedaan nilai parameter tekanan *bending* (YP) optimum menunjukkan bahwa proses pembentukan dipengaruhi oleh kombinasi karakteristik material dan ketebalan pelat. Oleh karena itu, pengaturan parameter tekanan *bending* (YP) perlu disesuaikan dengan kondisi material yang digunakan agar diperoleh hasil *bending* yang optimal.

4. Analisis Statistik

a. Uji Prasyarat

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis menggunakan analisis *One-Way ANOVA*, terlebih dahulu dilakukan uji prasyarat analisis terhadap data penyimpangan sudut hasil *bending*. Uji prasyarat bertujuan untuk memastikan

bahwa data memenuhi asumsi yang dipersyaratkan dalam analisis statistik parametrik sehingga hasil pengujian yang diperoleh dapat dipercaya dan dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Uji prasyarat yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi uji normalitas untuk mengetahui distribusi data serta uji homogenitas untuk mengetahui kesamaan varians antar kelompok data.

1) 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 pembentukan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui nilai minimum, maksimum, rata-rata (*mean*), dan standar deviasi dari setiap variabel penelitian. Hasil analisis statistik deskriptif menggunakan SPSS disajikan pada Gambar 4.4.

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. 4 Hasil Analisis Statistik Deskriptif Parameter Tekanan *Bending* (YP), Sudut *Bending*, dan Penyimpangan Sudut

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif diperoleh jumlah data penelitian (*N*) sebanyak 18 sampel. Variabel parameter tekanan *bending* (YP) memiliki nilai minimum sebesar 251,90 dan nilai maksimum sebesar 255,30 dengan rata-rata sebesar 253,7333 serta standar deviasi sebesar 1,01590.

Variabel sudut *bending* memiliki nilai minimum sebesar 85° dan nilai maksimum sebesar 95° dengan nilai rata-rata sebesar 89,89° serta standar deviasi sebesar 3,066. Sementara itu, variabel penyimpangan sudut memiliki nilai minimum sebesar -5°, nilai maksimum sebesar 5°, dan rata-rata sebesar -0,11° dengan standar deviasi sebesar 3,066.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sudut *bending* yang dihasilkan relatif mendekati sudut acuan 90° dengan rata-rata penyimpangan yang kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa hasil pembentukan yang diperoleh selama

pengujian memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik terhadap sudut target yang ditetapkan.

2) Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data penyimpangan sudut hasil *bending* pada masing-masing jenis material berdistribusi normal. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Shapiro-Wilk* karena jumlah sampel pada setiap kelompok kurang dari 50. Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi (*Sig.*) lebih besar dari 0,05. Hasil uji normalitas disajikan pada Gambar 4.5.

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 4. 5 Hasil Uji Normalitas Data Penyimpangan Sudut Menggunakan Metode *Shapiro-Wilk*

Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk*, diperoleh nilai signifikansi untuk material KS 440 sebesar 0,693 dan material *stainless steel* 304 sebesar 0,319. Kedua nilai signifikansi tersebut lebih besar dari taraf signifikansi 0,05.

Karena nilai signifikansi masing-masing kelompok memenuhi kriteria $\text{Sig.} > 0,05$, maka H_0 diterima. Dengan demikian, data penyimpangan sudut pada material KS 440 dan *stainless steel* 304 berdistribusi normal.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa asumsi normalitas telah terpenuhi sehingga data layak digunakan untuk analisis statistik parametrik pada tahap selanjutnya.

3) Uji Homogenitas

Setelah data dinyatakan berdistribusi normal, langkah selanjutnya adalah melakukan uji homogenitas varians. Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah varians data penyimpangan sudut pada kedua kelompok material memiliki keragaman yang sama. Pengujian dilakukan

menggunakan *Levene's Test* dengan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Hasil uji homogenitas disajikan pada Gambar 4.6.

Test of Homogeneity of Variances

Penyimpangan Sudut

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

Gambar 4. 6 Hasil Uji Homogenitas Varians Data Penyimpangan Sudut

Berdasarkan hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test* diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,726. Nilai tersebut lebih besar dari taraf signifikansi 0,05 ($0,726 > 0,05$), sehingga H_0 diterima.

Dengan demikian, varians data penyimpangan sudut pada material KS 440 dan *stainless steel* 304 dapat dinyatakan homogen. Hasil ini menunjukkan bahwa data memenuhi asumsi homogenitas sehingga dapat dilanjutkan ke tahap pengujian hipotesis menggunakan *One-Way ANOVA*.

b. Uji *One-Way ANOVA*

Setelah data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, dilakukan pengujian hipotesis menggunakan metode *One-Way Analysis of Variance* (ANOVA). Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan pada penyimpangan sudut hasil *bending* antara material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304. Pengujian dilakukan pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Hasil uji *One-Way ANOVA* disajikan pada Gambar 4.7.

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 4. 7 Hasil Uji *One-Way ANOVA* Data Penyimpangan Sudut pada Material KS 440 dan *Stainless steel* 304

Berdasarkan hasil uji *One-Way ANOVA* diperoleh nilai *F* hitung sebesar 0,203 dengan nilai signifikansi (*Sig.*) sebesar 0,658. Nilai signifikansi

38

tersebut lebih besar dari 0,05 ($0,658 > 0,05$), sehingga H_0 diterima dan H_1 ditolak.

30

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada penyimpangan sudut hasil *bending* antara material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304. Dengan demikian, perbedaan jenis material pada kondisi pengujian yang dilakukan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyimpangan sudut yang dihasilkan.

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data, serta analisis statistik yang telah dilakukan mengenai optimalisasi tekanan *bending* terhadap sudut *bending* pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 menggunakan mesin *press brake* hidrolik, maka dapat dirumuskan beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh Parameter Tekanan *Bending* (YP) terhadap Sudut *Bending* pada Material Baja Struktural KS 440

Berdasarkan hasil penelitian, parameter tekanan *bending* (YP) memberikan pengaruh terhadap sudut hasil *bending* pada setiap variasi ketebalan material baja struktural KS 440. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan nilai parameter tekanan *bending* (YP) menyebabkan perubahan sudut hasil pembentukan. Pada ketebalan 1 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 252,2 yang menghasilkan sudut 90°, sedangkan pada ketebalan 2 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 253,5 dengan sudut 90°, dan pada ketebalan 3 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 255,0 dengan sudut 90°. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap ketebalan material memerlukan nilai parameter tekanan *bending* yang berbeda untuk menghasilkan sudut *bending* yang sesuai dengan sudut acuan 90°.

2. Pengaruh Parameter Tekanan *Bending* (YP) terhadap Sudut *Bending* pada Material *Stainless steel* 304

Penggunaan variasi parameter tekanan *bending* (YP) pada material *stainless steel* 304 juga memberikan pengaruh terhadap sudut hasil *bending* pada setiap variasi ketebalan material. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada ketebalan 1,5 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 253,9 yang menghasilkan sudut 90°, pada ketebalan 2 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 252,9 dengan sudut 90°, dan pada ketebalan 3 mm diperoleh parameter tekanan *bending* (YP) optimum sebesar 254,65 dengan sudut 90°. Perbedaan nilai parameter tekanan *bending* optimum tersebut menunjukkan bahwa karakteristik mekanik material *stainless steel* 304 memengaruhi kebutuhan

parameter pembentukan untuk memperoleh sudut *bending* yang sesuai dengan sudut acuan.

3. Perbandingan Parameter Tekanan *Bending* (YP) Optimum pada Material Baja Struktural KS 440 dan *Stainless steel* 304

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis statistik menggunakan uji *One-Way ANOVA*, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,658 ($> 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada penyimpangan sudut hasil *bending* antara material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 pada kondisi pengujian yang dilakukan. Meskipun demikian, masing-masing material memerlukan nilai parameter tekanan *bending* (YP) optimum yang berbeda untuk menghasilkan sudut *bending* sebesar 90° . Pada material baja struktural KS 440 diperoleh parameter tekanan *bending* optimum sebesar 252,2; 253,5; dan 255,0, sedangkan pada material *stainless steel* 304 diperoleh parameter tekanan *bending* optimum sebesar 253,9; 252,9; dan 254,65. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik material dan ketebalan pelat memengaruhi kebutuhan parameter pembentukan dalam proses *bending*.

B. Implikasi

Berdasarkan hasil penelitian mengenai optimalisasi tekanan *bending* terhadap sudut *bending* pada material baja struktural KS 440 dan *stainless steel* 304 menggunakan mesin *press brake* hidrolik, dapat diuraikan beberapa implikasi sebagai berikut:

1. Implikasi Teoritis

Hasil penelitian ini memperkuat kajian mengenai pengaruh parameter tekanan *bending*, jenis material, dan ketebalan pelat terhadap kualitas hasil pembentukan pada proses *bending* menggunakan mesin *press brake* hidrolik. Temuan penelitian menunjukkan bahwa setiap material dan ketebalan pelat memerlukan parameter tekanan *bending* yang berbeda untuk menghasilkan sudut pembentukan yang mendekati sudut acuan 90° . Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah bagi pengembangan penelitian di bidang teknik manufaktur, khususnya pada kajian *sheet metal forming* dan fenomena *springback*.

2. Implikasi Praktis

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi industri manufaktur dalam menentukan parameter tekanan *bending* yang optimal pada proses pembentukan pelat logam. Pengaturan parameter tekanan *bending* (YP) yang tepat terbukti mampu menghasilkan sudut *bending* yang sesuai dengan sudut target 90°, sehingga dapat meningkatkan kualitas produk, mengurangi penyimpangan dimensi, meminimalkan proses pengerjaan ulang (*rework*), serta meningkatkan efisiensi proses produksi.

3. Implikasi Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi bagi mahasiswa, peneliti, maupun akademisi dalam mengembangkan penelitian mengenai proses *bending* pelat logam menggunakan mesin *press brake* hidrolik. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pembandingan untuk penelitian selanjutnya yang mengkaji pengaruh parameter proses lainnya terhadap kualitas hasil pembentukan.

C. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penelitian selanjutnya mengembangkan variasi parameter proses yang lebih luas, seperti variasi radius *punch* dan *die*, kecepatan *bending*, sudut *punch*, gaya pembentukan, serta jenis metode *bending* sehingga diperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kualitas hasil pembentukan pelat logam. Selain itu, penelitian selanjutnya juga dapat menggunakan jenis material lain, seperti baja karbon, aluminium, atau material paduan lainnya sehingga dapat dilakukan perbandingan karakteristik pembentukan pada berbagai jenis material.

Bagi industri maupun pengguna mesin *press brake* hidrolik, pemilihan parameter tekanan *bending* sebaiknya disesuaikan dengan jenis material dan ketebalan pelat yang digunakan agar diperoleh sudut hasil *bending* yang mendekati sudut rencana. Pengaturan parameter yang tepat dapat mengurangi terjadinya penyimpangan sudut akibat fenomena *springback* serta meningkatkan kualitas dan konsistensi hasil produksi.

Selain itu, penelitian ini masih terbatas pada penggunaan dua jenis material dan beberapa variasi ketebalan pelat, sehingga penelitian berikutnya diharapkan dapat

memperluas variasi material, ketebalan, maupun parameter proses lainnya agar hasil penelitian yang diperoleh semakin komprehensif dan memiliki tingkat penerapan yang lebih luas.