

**Optimasi Pembuatan *Engine Guard* Kawasaki KLX-150
Menggunakan *Single Point Incremental Forming*
Dengan Metode Simulasi**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Naufal Mufid Diyanto

219411018



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Optimasi Pembuatan *Engine Guard* Kawasaki KLX-150
Menggunakan *Single Point Incremental Forming*
Dengan Metode Simulasi**

Oleh:

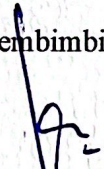
Naufal Mufid Diyanto

219411018

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung
Bandung, 30 Agustus 2023

Disetujui,

Pembimbing I,



Haris Setiawan, SST., MT
197512041001121001

Pembimbing II,



M. Yazid Diratama, S.Tr., MT.
199401032022031014

Disahkan,

Penguji I,


Akil Privamanggala Danadibrata, ST.,MT.
196407271989031003

Penguji II


Dr. Aida Mahmudah, ST.,MT.
19780324200604201

Penguji III,


Dedy Ariefianto, SST., MT.
197112052002121001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Naufal Mufid Diyanto
NIM : 219411018
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : **Optimasi Pembuatan *Engine Guard* Kawasaki KLX-150 Menggunakan *Single Point Incremental Forming* dengan Metode Simulasi**

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 06 – 07 – 2023
Yang Menyatakan,

(Naufal Mufid Diyanto)
NIM 219411018

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Naufal Mufid Diyanto
NIM : 219411018
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : **Optimasi Pembuatan *Engine Guard* Kawasaki KLX-150 Menggunakan *Single Point Incremental Forming* dengan Metode Simulasi**

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 06 – 07 – 2023
Yang Menyatakan,

(Naufal Mufid Diyanto)
NIM 219411018

MOTO PRIBADI

Sabar, semangat, semua punya jalan ceritanya masing-masing.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Optimasi Pembuatan *Engine Guard* Kawasaki KLX-150 Menggunakan *Single Point Incremental Forming* Dengan Metode Simulasi”. Sebagai syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Teristimewa kepada Orang Tua penulis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kepada pembimbing saya Pak Haris dan Mas Yazid yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing saya dalam menyusun tugas akhir.
3. Untuk abang Dzaki yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
4. Buat sahabat – sahabat saya di kelas MED 2019 yang saya banggakan dan saya cintai karena telah membantu support mental selama menjalani kegiatan perkuliahan di.
5. Kepada Mas Rohmat, Mas Agus suherman, dan pegawai produksi ME lainnya yang telah membantu saya dalam melakukan proses eksperimen pada mesin.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 6 Juli 2022

Penulis

ABSTRAK

Salah satu alternatif untuk pembentukan *sheet material* yaitu menggunakan *single point incremental forming*. Proses ini cocok untuk pembuatan produk dengan skala kecil karena dapat dilakukan pada mesin CNC *Milling*. Pembentukan terjadi akibat pergerakan *tool* yang berputar mengikuti program G-Code yang dibuat pada *software* CAM. Pembentukan dengan *single point incremental forming* membutuhkan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, dilakukan simulasi pembentukan menggunakan *software* LS-Dyna untuk melakukan evaluasi sebelum pembentukan pada mesin dengan parameter *step depth* dan *feed rate* menjadi faktor yang diteliti serta bentuk produk, *thinning*, dan *von misses stress* sebagai respons penelitian. Parameter yang dapat menghasilkan bentuk mendekati bentuk profil aslinya yaitu *feed rate* 500 mm/rev dan *step depth* 0,35 mm, untuk *thinning* yaitu *feed rate* 500 mm/rev dan *step depth* 0.2 mm, untuk *stress* yang terjadi yaitu *feed rate* 500 mm/rev dan *step depth* 0.4 mm. Hasil bentuk optimum akan dijadikan acuan untuk proses pembentukan pada mesin dan penunjukan sobek antar mesin dan simulasi memiliki zona yang sama. Pada percobaan tersebut, produk tidak berhasil terbentuk karena deformasi yang terjadi menyebabkan kegagalan bentuk serta deformasi yang terjadi sudah melebihi batas kekuatan plastis material dengan melihat data *sheet thinning* dan *von misses stress* setelah pembentukan pada simulasi *software* LS-Dyna.

Kata kunci : *Single point incremental forming*, *sheet thinning*, *von misses stress*, LS-Dyna

ABSTRACT

One alternative for sheet material forming is using single point incremental forming. This process is suitable for small-scale product manufacturing because it can be done on a CNC Milling machine. Forming occurs due to the movement of the rotating tool following the G-Code program created in the CAM software. Forming with single point incremental forming takes a long time. Therefore, a forming simulation using LS-Dyna software was conducted to evaluate before forming on the machine with the parameters of step depth and feed rate being the factors studied as well as product shape, thinning, and von mises stress as the research response. The parameters that can produce a shape close to the original profile shape are feed rate 500 mm/rev and step depth 0.35 mm, for thinning, feed rate 500 mm/rev and step depth 0.2 mm, for the stress that occurs, feed rate 500 mm/rev and step depth 0.4 mm. The optimum shape results will be used as a reference for the forming process on the machine and the tear designation between the machine and simulation has the same zone. In the experiment, the product was not successfully formed because the deformation that occurred caused shape failure and the deformation that occurred exceeded the plastic strength limit of the material by looking at the thinning data sheet and von mises stress after forming in the LS-Dyna software simulation.

Keywords: Single point incremental forming, sheet thinning, von mises stress, LS-Dyna.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xiv
I BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-3
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat.....	I-3
I.5 Sistematika Penulisan.....	I-4
II BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 Incremental Sheet Metal Forming.....	II-1
II.1.2 <i>Single Point Incremental Forming</i>	II-2
II.1.3 <i>Two Point Incremental Forming</i>	II-2
II.1.4 Kelebihan Metode Incremental Sheet Metal Forming	II-3
II.1.5 Parameter Penting Pada SPIF.....	II-4
II.1.6 Multistage Forming	II-4
II.1.7 Finite Element Analisis	II-4
II.1.8 Carbon Steel (Baja)	II-5
II.1.9 Sifat Mekanik Baja.....	II-6
II.1.10 Material SPCC.....	II-7
II.2 Tinjauan Alat	II-8
II.2.1 CNC Milling IKX 3 Axis	II-8

II.2.2	Siemens NX	II-10
II.2.3	LS-Dyna	II-10
II.2.4	<i>Punch Tool</i>	II-11
II.3	Penelitian Terdahulu.....	II-12
III	BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III-1
III.1	Diagram Alir Penelitian	III-1
III.2	Identifikasi Produk.....	III-3
III.3	Perancangan Variasi Parameter Simulasi	III-4
III.4	Pembuatan <i>Toolpath</i>	III-4
III.5	Pengolahan <i>G-code</i>	III-5
III.6	Pre-Processing	III-7
III.7	<i>Running Job</i> Simulasi LS-Dyna	III-17
III.8	Uji coba <i>single point incremental forming</i>	III-18
IV	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1	Hasil Simulasi	IV-1
IV.2	Uji Coba Pembentukan Hasil Simulasi Pada Mesin.....	IV-4
IV.2.1	Hasil Pembentukan Pada Mesin.....	IV-5
IV.3	Analisis Perbedaan Hasil Pembentukan Pada Simulasi dan Mesin .	IV-9
IV.4	Parameter Optimum Untuk <i>Feed Rate</i> dan <i>Step Depth</i> Terhadap Penipisan Material (<i>Thinning</i>).....	IV-9
IV.5	Parameter Optimum Untuk <i>Feed Rate</i> dan <i>Step Depth</i> Terhadap <i>Von Misses Stress</i>	IV-11
V	BAB V PENUTUP	V-1
V.1	Kesimpulan.....	V-1
V.2	Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Hasil uji tarik dan uji spektro SPCC	II-8
Tabel II.2 Spesifikasi Mesin CNC <i>Milling IKX 3 Axis</i>	II-9
Tabel II.3 Penelitian terdahulu.....	II-12
Tabel II.4 Perbedaan posisi penelitian	II-14
Tabel II.5 Perbandingan bahasan penelitian	II-16
Tabel III.1 Kombinasi Parameter	III-4
Tabel III.2 Pengaturan <i>Pre-Processing</i>	III-7
Tabel III.3 Perhitungan <i>true strain</i> dan <i>true stress</i>	III-17
Tabel III.4 Peralatan untuk eksperimen mesin	III-19
Tabel IV.1 Hasil simulasi.....	IV-1
Tabel IV.2 Perbandingan hasil simulasi dan CAD	IV-4
Tabel IV.3 Perbandingan hasil mesin dan simulasi	IV-7
Tabel IV.4 Tabel <i>full factorial</i> dengan respons <i>thinning</i>	IV-10
Tabel IV.5 Tabel <i>full factorial</i> dengan respons <i>von misses stress</i>	IV-11

i

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Hasil pembentukan produk piramida [1].....	I-1
Gambar I.2 Hasil pembentukan produk <i>air vent</i> [2]	I-2
Gambar I.3 Hasil pengembangan produk <i>engine guard</i> KLX-150 [3]	I-2
Gambar II.1 Jenis-jenis <i>incremental sheet metal forming</i> [7].....	II-1
Gambar II.2 Skema proses SPIF [8]	II-2
Gambar II.3 Skema <i>two point incremental forming</i> [8].....	II-3
Gambar II.4 <i>Meshing</i> komponen [10].....	II-5
Gambar II.5 Hasil uji tarik SPCC	II-8
Gambar II.6 CNC <i>Milling IKX 3 Axis</i>	II-9
Gambar II.7 Siemens NX.....	II-10
Gambar II.8 <i>Punch tool</i> untuk proses SPIF [8].....	II-11
Gambar II.9 Diagram FLD <i>tool</i> diameter 8 mm dan 12 mm [8].....	II-11
Gambar II.10 Pengaruh diameter <i>tool</i> terhadap <i>fracture depth</i> [8].....	II-12
Gambar III.1 Diagram alir Penelitian	III-3
Gambar III.2 <i>Toolpath Z level profil</i> pada Siemens NX	III-5
Gambar III.3 Diagram pengolahan <i>G-Code</i>	III-6
Gambar III.4 Proses <i>running job</i> pada LS-Run	III-18
Gambar III.5 Proses <i>start</i> simulasi SPIF	III-18
Gambar IV.1 Defleksi <i>tool</i> tahap 1	IV-5
Gambar IV.2 Defleksi <i>tool</i> tahap 2	IV-5
Gambar IV.3 Hasil pembentukan tahap satu.....	IV-6
Gambar IV.4 Hasil pembentukan tahap dua	IV-6
Gambar IV.5 <i>Clamping</i> LS-Dyna	IV-9
Gambar IV.6 <i>Clamping</i> pada mesin.....	IV-9
Gambar IV.7 Grafik <i>main effect plot for thinning</i>	IV-10
Gambar IV.8 Hasil ANOVA untuk respons <i>thinning</i>	IV-11
Gambar IV.9 Grafik <i>main effect plot for von misses stress</i>	IV-12
Gambar IV.10 Hasil ANOVA untuk respons <i>von misses stress</i>	IV-12

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 PENGOLAHAN G-CODE

Lampiran 2 HASIL SIMULASI

Lampiran 3 HASIL PEMBENTUKAN PADA MESIN

Lampiran 4 TAHAPAN PROSES

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

T_f	= tebal akhir [mm]
T_0	= tebal awal [mm]
A	= wall angle [derajat]
σ	= tegangan [MPa]
ε	= regangan [mm/mm]
SPIF	= <i>Single Point Incremental Forming</i>
ISMF	= <i>Incremental Sheet Metal Forming</i>

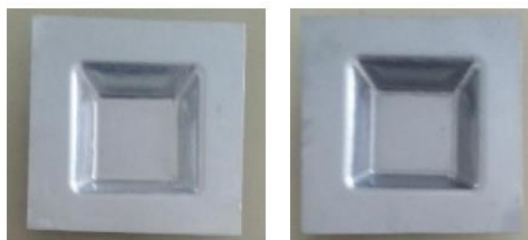
BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, untuk membuat produk dari lembaran baja salah satu metode yang sering digunakan yaitu dengan alat *presstool*. *Presstool* merupakan sebuah alat perkakas yang dibuat untuk melakukan pemotongan atau pembentukan pada lembaran baja dengan sistem langkah penekanan. Karena dengan langkah yang sederhana, alat ini mampu menghasilkan produk dengan jumlah yang sangat banyak serta hasil produk yang akurat sesuai dengan cetakan permintaan *customer*. *Cycle time* produksi dengan *presstool* relatif cepat namun bergantung pada kerumitan bentuk produk yang akan dibuat.

Pembuatan alat *presstool* memerlukan biaya yang cukup mahal karena pembuatan alat *presstool* diperlukan sebuah perancang yang ahli dalam bidang tersebut, mesin yang mampu membuat komponen sesuai toleransi yang dituntut pada rancangan yang sudah dibuat, dan *cost* untuk membayar tenaga kerja dalam melakukan proses pemesinan untuk membuat komponen *presstool*. Metode lain untuk pembentukan lembaran baja selain menggunakan *presstool* yaitu dengan proses pembentukan secara bertahap atau *Incremental Sheet Metal Forming* (ISMF).

Penelitian terkait ISMF sudah dilakukan di POLMAN-Bandung sebelumnya yaitu membuat produk berbentuk piramida pada tahun 2015 dengan material SPCC270 dan Alumunium tebal 1 mm (Gambar I.1) serta membuat produk yang berbentuk setengah bola pada tahun 2020 dengan material Alumunium (Gambar I.2) dengan menggunakan *single point incremental forming* (SPIF) yang dilakukan pada mesin CNC *Milling 3 Axis*.

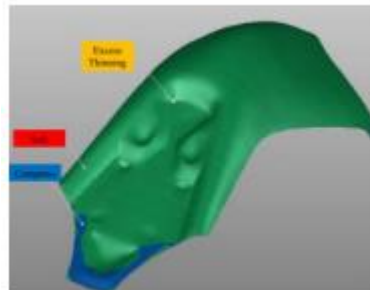


Gambar I.1 Hasil pembentukan produk piramida [1]



Gambar I.2 Hasil pembentukan produk *air vent* [2]

Pada kesempatan ini POLMAN-Bandung akan melakukan penelitian lanjut tentang implementasi SPIF dengan bentuk yang lebih kompleks yaitu komponen otomotif dengan produk *engine guard* KLX-150. Penelitian terkait *engine guard* KLX-150 telah dilakukan pada tahun 2020 dengan melakukan pengembangan bentukan produk untuk pembentukan dengan metode *presstool* tanpa mengubah fungsi utama produk [3]. Pada tahun 2021, dilakukan penelitian untuk perencanaan pembentukan *engine guard* KLX-150 yang dibuat dengan *single point incremental forming* menggunakan metode *multi-stage* karena kedalaman produk yang relatif dalam dan sudut-sudut produk yang berpotensi sobek saat pembentukan [4].



Gambar I.3 Hasil pengembangan produk *engine guard* KLX-150 [3]

Proses pembentukan *air vent* dan piramid dilakukan langsung dengan menguji coba pada mesin tanpa melakukan simulasi untuk melihat kegagalan proses. Pada penelitian dengan tema SPIF untuk bentuk produk yang lebih kompleks ini, dalam menghindari kegagalan proses saat pembentukan berlangsung terutama pada sudut-sudut yang berpotensi sobek, maka dilakukan simulasi pembentukan *engine guard* KLX-150 dengan *single point incremental forming* menggunakan *software* LS-Dyna untuk melihat hasil pembentukan simulasi yang paling mirip dengan desain aslinya dengan variasi berdasarkan kombinasi

parameter yang diteliti sehingga penulis akan mengangkat tugas akhir dengan judul “Optimasi Pembuatan *Engine Guard* Kawasaki KLX-150 Menggunakan *Single Point Incremental Forming* Dengan Metode Simulasi”.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana proses simulasi yang dilakukan untuk pembentukan *engine guard* KLX-150 menggunakan SPIF pada *software* LS-Dyna?
2. Bagaimana hasil simulasi pada *software* LS-Dyna dari program yang dibuat?
3. bagaimana pengaruh dari *depth of cut* dan *feed rate* terhadap *thinning* dan *stress* yang terjadi?
4. Apakah hasil simulasi bisa dijadikan acuan proses pembentukan pada mesin?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Produk yang akan dibuat adalah *engine guard* KLX-150.
2. Pemodelan dan simulasi pergerakan *toolpath* menggunakan *software siemens NX*.
3. Simulasi pembentukan produk dilakukan pada *software* LS-Dyna.
4. Pengolahan data dilakukan pada *software* MINITAB.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dan manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan dokumentasi tahapan proses simulasi pembentukan *engine guard* KLX-150 menggunakan SPIF pada *software* LS-Dyna.
2. Mengetahui parameter *step dpeth* dan *feed rate* yang optimum untuk respons bentuk, *thinning*, dan *von misses stress*.
3. Mendapatkan hasil bentuk produk *engine guard* KLX-150 menggunakan proses *single point incremental forming* yang paling optimum.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penelitian Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut. BAB I PENDAHULUAN, Pada bab ini akan dijelaskan tentang latar belakang penulisan, rumusan masalah, ruang lingkup kajian dan Batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TIJAUAN PUSTAKA, Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori-teori dasar yang mendukung dan berhubungan dengan isi dari karya tulis ini seperti definisi, klasifikasi, serta penelitian terdahulu yang dijadikan referensi pengerjaan karya tulis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN, Bab ini akan menjelaskan tentang proses pengerjaan karya tulis yang dimulai dari merancang variasi parameter optimasi, membuat program simulasi pada *software*, dan perencanaan pengolahan data hasil simulasi pembentukan *engine guard KLX-150*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, Bab ini berisi uraian dari data yang telah didapat selama proses pengerjaan untuk kebutuhan karya tulis serta menampilkan hasil simulasi menggunakan *software* LS-Dyna dan eksperimen pada mesin ketika proses pembentukan berlangsung kemudian membahas tentang perbandingan antara hasil simulasi dan hasil mesin serta analisis dari data yang menjadi respon terhadap faktor yang telah ditentukan.

BAB V PENUTUP, Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dengan mengacu pada rumusan masalah dan tujuan yang telah dijabarkan sebelumnya serta berisi saran dari penulis terhadap laporan karya tulis ilmiah untuk dijadikan referensi bagi penulis selanjutnya.