

**Perencanaan proses pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda**

***Manufacturing process planning of horseshoe nails upsetting dies***

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Nama: Muhammad Andre Fadillah**

**NPM: 203030105**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN  
BANDUNG  
2025**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Muhammad Andre Fadillah

Nomor Pokok Mahasiswa : 203030105

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarism.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 10 Februari 2025

Penulis,



Muhammad Andre Fadillah

## SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a: Muhammad Andre Fadillah

NPM: 203030105

Program Studi: Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya: Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Perencanaan Proses Pembuatan *Dies Upsetting* Paku Tapal Kuda”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 10 Februari 2025

Yang menyatakan,



Muhammad Andre Fadillah

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

### Perencanaan proses pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda



**Nama: Muhammad Andre Fadillah**  
**NPM : 203030105**

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T.

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

### Perencanaan proses pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda



**Nama: Muhammad Andre Fadillah**  
**NPM : 203030105**

Tanggal sidang skripsi: Selasa 22 April 2025

Ketua : Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T.

.....

Sekretaris : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

.....

Anggota : Dr. Ir. Dedi Lazuardi, DEA.

.....

Anggota : Dr. Ir. Endang Achdi, M.T.

.....

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala tuhan yang maha esa berkat Rahmat hidayah karunia-Nya kepada kita semua sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dengan judul “**Perencanaan proses pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda**” salawat serta salam terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun materi sehingga penelitian skripsi ini mampu selesai. Ucapan terima kasih ini Penulis ditujukan kepada:

1. Allah SWT dengan rahmat, petunjuk dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini
2. Orang tua tersayang, doa dan kesabaran yang tak terbatas, untuk pelajaran dan didikan yang diberikan selama ini, motivasi, nasihat, dukungan mental dan materil, serta perjuangan yang tidak pernah lelah demi memberikan pendidikan yang terbaik kepada penulis,
3. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.
4. Bapak Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T. selaku pembimbing utama Skripsi yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat dalam menyelesaikan laporan ini.
5. Bapak Dr. Ir. Ade Bagdja MME. Selaku pembimbing pendamping skripsi yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat dalam menyelesaikan laporan ini.
6. Keluarga Teknik Mesin 2020 yang telah memberikan motivasi dan saling menguatkan dalam menyelesaikan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih banyak kesalahan dan kekurangan bahkan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini, atas perhatian dan masukannya, penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.*

Bandung, 10 Februari 2025

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'MAF', written over a light grey rectangular background.

Muhammad Andre Fadillah

## DAFTAR ISI

<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>I</b>
<b>SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>	<b>II</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....</b>	<b>III</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....</b>	<b>IV</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>VII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>X</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1. Latar belakang .....	1
2. Rumusan masalah.....	1
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Lingkup masalah.....	2
6. Sistematika penulisan .....	2
<b>BAB II STUDI LITERATUR .....</b>	<b>4</b>
1. Paku tapal kuda.....	4
2. Pengertian proses <i>upsetting</i> .....	5
A. <i>Upset ratio (Ru)</i> .....	7
B. <i>Principle strain</i> .....	8
C. Diameter awal minimal benda kerja.....	8

D.	<i>Gaya upsetting</i> .....	8
E.	Kerja <i>upsetting</i> .....	9
3.	<i>Metal forming</i> .....	10
A.	<i>Bulk deformation processes</i> .....	11
B.	<i>Sheet metal forming</i> .....	11
C.	Sifat material dalam proses <i>metal forming</i> .....	12
4.	<i>Cold forging</i> .....	13
5.	Pemilihan material proses.....	14
A.	Material <i>dies</i> paku tapal kuda.....	14
B.	Material paku tapal kuda .....	16
C.	Proses manufaktur pada pembuatan <i>dies</i> paku tapal kuda .....	16
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>		<b>18</b>
1.	Tahapan penelitian.....	18
A.	Identifikasi masalah .....	18
B.	Studi literatur dan pengumpulan informasi.....	19
C.	Perancangan desain paku tapal kuda.....	19
D.	Perencanaan proses pembentukan <i>dies</i> paku tapal kuda .....	21
E.	Pembuatan dan pengujian prototipe <i>dies upsetting</i> paku tapal kuda.....	21
F.	Analisis pengujian <i>dies upsetting</i> dan benda kerja.....	22
G.	Pembuatan laporan .....	22
2.	Jadwal kegiatan.....	22
3.	Tempat penelitian .....	22
4.	Bentuk desain konseptual paku tahap 1 .....	23
5.	Peralatan dan material untuk pengujian.....	25
<b>BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>26</b>
1.	Desain konseptual dan pengertian <i>dies upsetting</i> .....	26
2.	Desain konseptual <i>dies upsetting</i> pembentukan paku tapal kuda tahap 1 .....	26

3.	Sketsa proses <i>upsetting</i> dari benda kerja .....	28
4.	<i>Tensile properties of lead – free solders</i> .....	28
5.	Hasil perhitungan gaya .....	29
6.	Hasil perhitungan energi proses <i>upsetting</i> .....	30
7.	Rincian anggaran .....	31
8.	Pembuatan prototipe <i>dies upsetting</i> .....	31
9.	Pengujian <i>dies upsetting</i> paku tapal kuda.....	33
10.	Hasil analisis setelah penempaan paku kuda proses <i>upsetting</i> .....	36
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>38</b>
1.	Kesimpulan.....	38
2.	Saran .....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>39</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>40</b>
1.	Hasil perhitungan gaya proses <i>upsetting</i> .....	40
2.	Hasil perhitungan energi proses <i>upsetting</i> .....	40
3.	Gambar teknik .....	40
4.	Dokumentasi.....	43

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Paku tapal kuda [2].....	4
Gambar 2. Standar ukuran paku tapal kuda [2].....	5
Gambar 3. Sketsa proses <i>upsetting</i> [3].....	6
Gambar 4. Terdapat perbedaan teknik <i>upsetting</i> [3].....	6
Gambar 5. Benda kerja <i>upsetting</i> .....	9
Gambar 6. Klasifikasi proses pembentukan.....	10
Gambar 7. <i>Bulk deformation processes</i> .....	11
Gambar 8. <i>Sheet metal forming</i> .....	11
Gambar 9. Kurva hasil uji tarik.....	12
Gambar 10. <i>Slab milling, face milling, up milling, dan down milling</i> [8].....	16
Gambar 11. Diagram alir tahapan penelitian .....	18
Gambar 12. Paku tahap satu.....	19
Gambar 13. Paku tahap dua .....	19
Gambar 14. Paku tahap tiga .....	20
Gambar 15. Paku tahap empat .....	20
Gambar 16. Paku tahap lima.....	20
Gambar 17. Paku tahap enam .....	21
Gambar 18. Paku tahap tujuh.....	21
Gambar 19. Lokasi penelitian .....	23
Gambar 20. Paku kuda tahap 1 .....	23
Gambar 21. <i>Dies</i> atas .....	24
Gambar 22. <i>Dies</i> bawah L .....	24
Gambar 23. <i>Dies</i> bawah pasangan L.....	25
Gambar 24. <i>Assembly dies upsetting</i> pembentukan paku tahap 1.....	27
Gambar 25. Desain <i>dies upsetting</i> dan hasil pembentukan paku tahap 1 .....	27
Gambar 26. Tahapan deformasi proses <i>upsetting</i> .....	28
Gambar 27. Proses pemotongan material .....	32
Gambar 28. Proses pembuatan <i>dies upsetting</i> .....	33
Gambar 29. Proses pengecilan benda kerja menggunakan <i>wire drawing</i> .....	34
Gambar 30. Hasil pemotongan kawat berukuran 45,3 mm.....	34
Gambar 31. Pemasangan alat <i>drop hammer</i> dan <i>dies upsetting</i> .....	35
Gambar 32. Proses pengujian .....	35
Gambar 33. Benda kerja kriteria nilai 1 .....	37

Gambar 34. Benda kerja kriteria nilai 0,75 .....	37
Gambar 35. <i>Dies</i> atas <i>upsetting</i> .....	41
Gambar 36. <i>Dies</i> bawah huruf L .....	41
Gambar 37. <i>Dies</i> bawah <i>upsetting</i> .....	42
Gambar 38. Desain <i>assembly dies upsetting</i> .....	43
Gambar 39. Desain <i>dies upsetting</i> dan hasil pembentukan paku tahap 1 .....	43
Gambar 40. Pemotongan <i>AISI steel 1045</i> menggunakan <i>bench saw</i> .....	44
Gambar 41. Hasil pemotongan.....	44
Gambar 42. Alat <i>drop hammer</i> .....	45
Gambar 43. Hasil penempaan dari tahap 1 hingga tahap 6.....	46
Gambar 44. Hasil penempaan proses pembentukan paku tapal kuda tahap 3.....	46
Gambar 45. Hasil penempaan pada proses pembentukan paku tapal kuda tahap 4 .....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Ru proses <i>cold upset forging</i> [3] .....	7
Tabel 2. Nilai Koefisien kekuatan material .....	13
Tabel 3. Jenis baja perkakas untuk <i>dies</i> [7] .....	15
Tabel 4. Jadwal kegiatan .....	22
Tabel 5. Peralatan dan material .....	25
Tabel 6. <i>Tensile properties of lead – free solders</i> .....	29
Tabel 7. Rincian anggaran biaya .....	31
Tabel 8. Hasil analisis .....	36
Tabel 9. Gaya proses <i>upsetting</i> .....	40
Tabel 10. Energi proses <i>upsetting</i> .....	40

## ABSTRAK

Maraknya kejuaraan pacuan kuda tingkat nasional menyebabkan kebutuhan akan paku tapal kuda meningkat. Satu tapal kuda membutuhkan enam buah paku dan satu kuda membutuhkan hingga 32 paku sehingga kebutuhan akan paku beserta tapal semakin meningkat jumlahnya. Permasalahan saat ini proses pembuatan paku tapal kuda lokal masih menggunakan alat-alat tradisional. Proses tradisional ini membutuhkan waktu cukup lama dan kualitasnya yang jauh dari standar paku tapal kuda *import*. Oleh karena itu, dalam negeri harus mampu mengembangkan dan memproduksi paku tapal kuda lokal. Penelitian ini fokus pada pembuatan cetakan *upsetting* yang merupakan tahapan proses pertama dalam produksi paku kuda. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu perencanaan proses desain cetakan *upsetting* untuk penempaan, dan operasi pembentukan cetakan dan paku tapal kuda menggunakan bantuan software *solidworks*. Cetakan terdiri dari cetakan atas dan cetakan bawah menggunakan material baja karbon medium. Dalam mencapai tujuan dari penelitian ini agar produk paku tapal kuda yang dihasilkan dapat meningkatkan akurasi dan sesuai dengan standar, maka mesin *milling cnc* digunakan dalam proses pembuatan *dies*. Kawat timah digunakan sebagai benda kerja untuk melakukan penelitian. Dalam tahap perencanaan yang diperlukan untuk mendeformasi material paku, gaya penempaan dan energi potensial pada saat proses *upsetting* dibutuhkan sebesar 1.027 N dan 38.46 joule untuk membentuk ujung kawat menjadi kepala dan melebarkan luas penampangannya. Setelah cetakan dibuat, pengujian cetakan dilakukan untuk memeriksa hasil pembentukan paku tapal kuda dari cetakan yang telah dibuat. Hasil pengujian pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa cetakan yang telah dibuat menghasilkan produk yang sesuai dengan rancangan produk. Dengan persentase keberhasilan sebesar 87.5% dari 200 kali penempaan.

Kata kunci: cetakan, gaya penempaan, *upsetting*, paku tapal kuda

## ABSTRACT

The rise of the national horse racing championship has caused the need for horseshoe nails to increase. One horseshoe requires six nails and one horse requires up to 32 nails so that the need for nails and horseshoes is increasing in number. The current problem is that the process of making local horseshoe nails still uses traditional tools. This traditional process takes a long time and the quality is far from the standard of imported horseshoe nails. Therefore, the country must be able to develop and produce local horseshoe nails. This research focuses on making upsetting molds which is the first process stage in the production of horseshoe nails. The method used in this research is the planning of the upsetting mold design process for forging, and the forming operation of the mold and horseshoe nails using solidworks software. The mold consists of an upper mold and a lower mold using medium carbon steel material. In order to achieve the objectives of this research so that the horseshoe nail products produced can improve accuracy and conform to standards, a cnc milling machine is used in the process of making dies. Lead wire is used as a workpiece to conduct research. In the planning stage required to deform the nail material, the forging force and potential energy during the upsetting process required 1,027 N and 38,46 joules to form the wire tip into a head and expand its cross-sectional area. After the mold is made, mold testing is carried out to check the results of horseshoe nail formation from the mold that has been made. The test results in this study can be concluded that the dies that have been made produce products that are in accordance with the product design. With a success percentage of 87,5% of 200 times forging.

Keywords: dies, forging force, upsetting, horseshoe nails

# BAB I PENDAHULUAN

## 1. Latar belakang

Kuda merupakan jenis hewan yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk aktivitas. Karakteristik kuda diantaranya memiliki tenaga yang sangat kuat, gagah, berani juga merupakan hewan yang bergerak cepat. Umumnya sepatu kuda terbuat dari bahan baja dan aluminium. [1]

Salah satu pemanfaatan kuda yang semakin banyak diminati yaitu pada bidang olahraga. Saat ini marak diadakannya kejuaraan pacuan kuda tingkat nasional yang digelar khususnya oleh Pordasi (Persatuan Olahraga Berkuda Seluruh Indonesia). Tapal kuda merupakan pelindung besi yang dipasang pada kuku kuda untuk menjaga ketahanan kuku saat kuda melakukan aktivitas berat, seperti berlari di lintasan atau saat berkompetisi. Paku tapal kuda adalah logam khusus yang biasanya terbuat dari baja berkualitas tinggi dan dirancang dengan ujung yang tajam untuk mengikat tapal pada kuku kuda dengan kuat. Fungsi utama dari paku yaitu untuk mengikat dan memastikan tapal tetap terpasang pada kuku kuda supaya tidak mudah terlepas atau aus selama berjalan atau berlari. Rancangan paku tapal kuda yang presisi dan bahan berkualitas sangat penting, karena kuku kuda merupakan bagian sensitif yang perlu dilindungi dari cedera.

Pada satu tapal biasanya membutuhkan enam buah paku untuk pemasangan yang kuat dan stabil. Dengan masa pakai tapal yang hanya sekitar enam minggu, satu kuda untuk latihan setahun dapat membutuhkan hingga 32 tapal. Sehingga kebutuhan akan tapal beserta pakunya jumlahnya semakin meningkat. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya ketersediaan tapal dan paku berkualitas dalam jumlah yang cukup bagi pemilik kuda, Namun proses pembuatan paku tapal kuda lokal masih menggunakan alat-alat tradisional dimana proses tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama dan kualitasnya yang jauh dari standar paku tapal kuda *import*. Oleh karena itu, dalam negeri harus mampu mengembangkan dan memproduksi paku dan tapal sendiri. Dan juga menjadi peluang pasar yang perlu dipertimbangkan dan dikembangkan di dalam negeri.

## 2. Rumusan masalah

Berdasarkan permasalahan latar belakang, penulis merumuskan pokok permasalahan dalam penelitian ini. Rumusan masalahnya sebagai berikut:

- a. Bagaimana perencanaan proses pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda, dan

- b. Bagaimana proses pembentukan paku tapal kuda menggunakan *dies upsetting*.

### **3. Tujuan**

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan. Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

- a. Merencanakan proses pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda,
- b. Membuat *dies upsetting* paku tapal kuda, dan
- c. Menguji *dies upsetting* paku tapal kuda yang telah dibuat.

### **4. Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Hasil dari penelitian ini dapat menjadikan langkah pengembangan produksi yang cepat pada paku tapal kuda dalam negeri, dan
- b. Penelitian ini dapat menghasilkan produk yang berkualitas dan dapat diterima oleh pasar dalam maupun luar negeri.

### **5. Lingkup masalah**

Lingkup masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Material *dies* menggunakan *AISI Steel 1045*/baja S45C,
- b. Benda kerja menggunakan material kawat timah (*lead wire*) diameter 4,1 dan panjang awal 45,3 mm,
- c. Desain dan pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda dibuat hanya untuk membuktikan keberhasilan prosesnya.

### **6. Sistematika penulisan**

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri atas 5 bab besar disertai daftar pustaka dan lampiran, yaitu:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup masalah, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II STUDI LITERATUR**

Menjelaskan beberapa teori yang mendukung penelitian tentang pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda. Studi literatur yang dibahas meliputi pengertian paku tapal kuda,

pengertian proses *upsetting*, *metal forming*, pemilihan material proses, material *dies* paku tapal kuda.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan mengenai tahapan penelitian, jadwal kegiatan, tempat penelitian, bentuk desain konseptual paku tapal kuda tahap 1, peralatan dan material untuk pengujian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menjelaskan mengenai desain konseptual *dies upsetting* dan perhitungan gaya dan energi, hasil pengujian dan analisis dalam penelitian ini.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini membahas mengenai kesimpulan dan saran tentang hal-hal penting yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

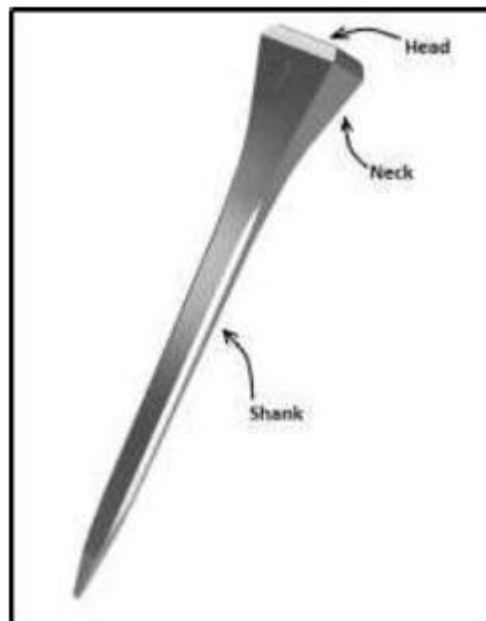
## BAB II STUDI LITERATUR

### 1. Paku tapal kuda

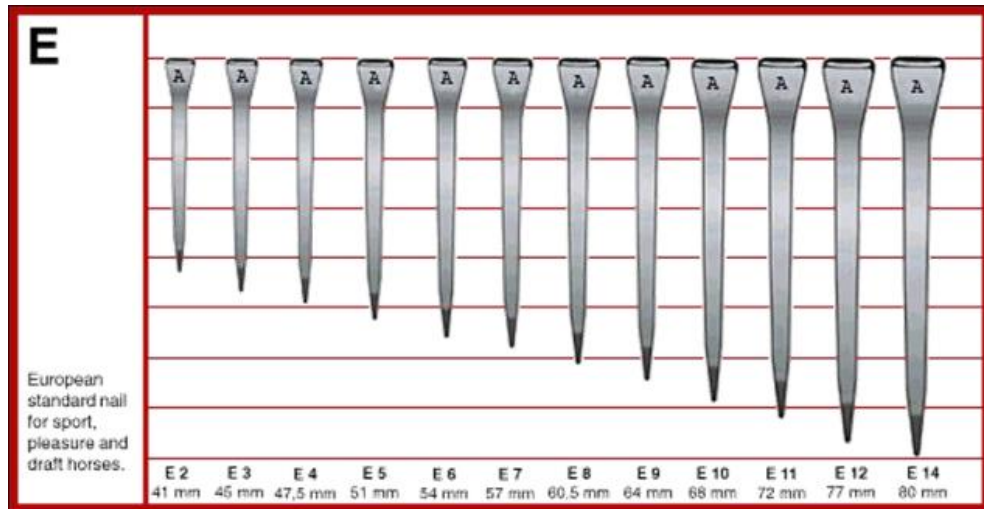
Paku tapal kuda adalah elemen penting dalam pemasangan ladam atau tapal kuda yang memiliki peran khusus dalam menjaga keselamatan dan kinerja kuda. Biasanya mengandung material baja karbon rendah, paku ini dipilih karena ketahanan dan kekuatannya, yang membantu memastikan tapal tetap kokoh terpasang saat kuda melakukan aktivitas berat seperti berlari dan bekerja. Baja karbon rendah juga memberikan fleksibilitas yang cukup untuk menahan beban tanpa mudah patah atau mengalami keausan berlebihan.

Paku ini memiliki ujung yang tajam atau sedikit melengkung, sehingga dapat menembus dan mencengkram kuku kuda dengan baik. Desain ini tidak hanya memberikan stabilitas ekstra, tetapi juga melindungi kuku kuda dengan baik, memastikan keamanan dan kenyamanan selama aktivitas berkuda di berbagai kondisi.

Paku tapal kuda memiliki bagian-bagian diantaranya badan (*shank*), leher (*neck*), dan kepala (*head*) seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Bentuk dan ukuran paku tapal kuda dapat bervariasi dari E2-E14 seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 1. Paku tapal kuda [2]



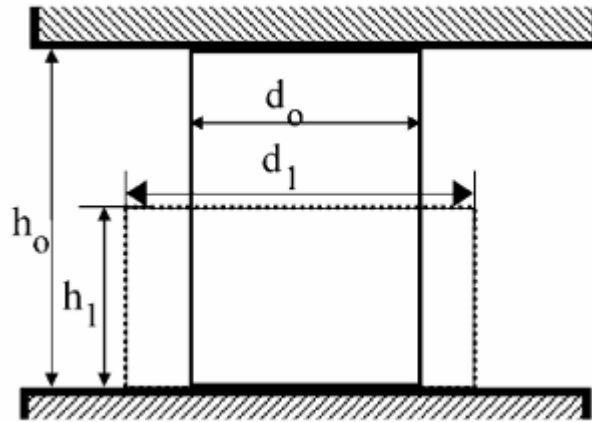
Gambar 2. Standar ukuran paku tapal kuda [2]

Pada bagian kepala kuku kuda seharusnya memiliki dimensi yang sesuai agar dapat menembus dengan optimal pada lubang tapal. Saat paku dipasang pada kaki kuda, kepala paku harus sejajar dengan kepala tapal dan tidak boleh menonjol keluar. Apabila terdapat ketidaksesuaian antara tapal dan kepala paku, dapat memunculkan gaya gesek yang signifikan saat bersentuhan dengan tanah, yang berpotensi menyebabkan paku menjadi bengkok atau terlepas, serta mengakibatkan cedera pada kuku kuda. Bagian leher paku tapal kuda perlu memiliki lebar yang proporsional dan berbentuk mirip agar dapat dengan mudah meresap ke dalam kuku kuda. Bagian badan paku tapal kuda harus memiliki panjang yang cukup, tetapi tidak boleh mengakibatkan luka pada bagian dalam kuku kuda. Saat dipasang, bagian badan paku harus melengkung ke arah luar kuku kuda. Jarak antara lubang paku dibagian dalam dan luar tapal bervariasi berdasarkan lebar dinding kuku kuda yang akan dipasangkan tapal. Paku yang terpasang memiliki ukuran yang beragam, dengan paku bagian *toe* lebih besar dibandingkan dengan paku bagian *heels*. Aspek lain yang harus dipertimbangkan pada lubang paku di tapal adalah ketebalan tapal, di mana posisinya harus semakin masuk seiring dengan peningkatan ketebalan. Jika posisi lubang paku terlalu di luar, itu dapat menyebabkan ujung paku menembus dinding paku kuku (*wall*), kendatipun apabila terlalu dalam, dapat menyebabkan cedera di bagian dalam kuku kuda. Posisi yang tepat harus disesuaikan dengan berat kuda, ketebalan kuku kuda yang dipengaruhi oleh asupan makanan yang diberikan, serta medan dan kondisi lingkungan hidup kuda.

## 2. Pengertian proses *upsetting*

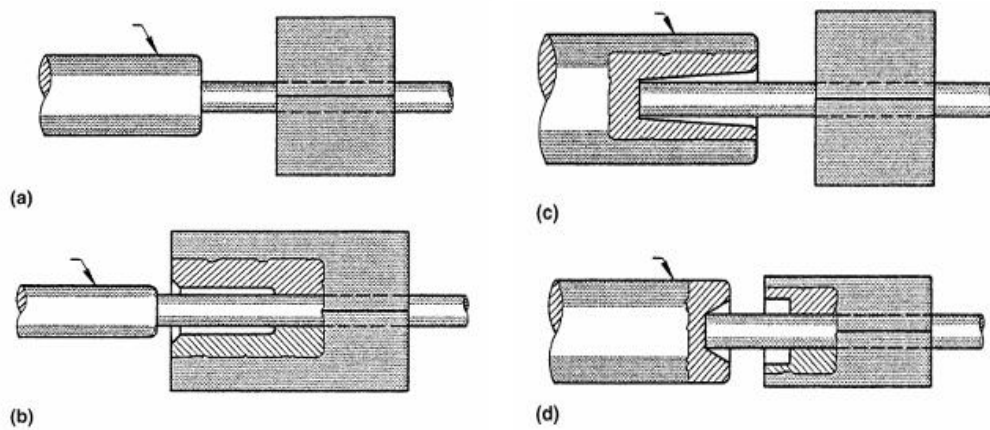
Proses *Upsetting* biasanya dijelaskan istilah sebagai "*free forming*" di mana material spesimen mengalami penurunan tinggi akibat pemberian tekanan pada dua bidang yang

sejajar atau paralel. Karakteristik utama proses *upset forging* adalah arah deformasi material logam yang tegak lurus dengan arah gerakan *dies*.



Gambar 3. Sketsa proses *upsetting* [3]

Keberhasilan proses *upsetting* sangat ditentukan oleh dua elemen kunci, yaitu rasio *Upset* ( $R_u$  atau  $s$ ) yang menetapkan batas pembentukan atau karakteristik *forgeability* suatu material. Ilustrasi pada proses *upsetting* dapat ditemukan pada Gambar 3. Elemen kedua adalah deformasi yang disebabkan oleh *upset* atau prinsip regangan. Parameter ini menetapkan batas kemungkinan terjadinya pembengkokan.



Gambar 4. Terdapat perbedaan teknik *upsetting* [3]

Pada gambar 4 memiliki penjelasan yaitu:

- (a) Dimana spesimen tidak memiliki rongga penopang
- (b) Rongga penopang ada dicetakan bawah
- (c) *Dies* atas memiliki rongga penopang
- (d) Terdapat rongga penopang pada cetakan atas dan bawah.

Dalam proses *upset forging*, ada beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan, yaitu ukuran komponen, ketahanannya, karakteristik kemampuannya untuk dimodifikasi, nilai *upset ratio*, tingkat presisi yang diinginkan, serta mutu permukaan. Saat pembentukan dilakukan secara bertahap, sketsa perlakuan pertama dalam proses *heading* akan mempengaruhi hasil akhir. Oleh karena itu, proses perlakuan awal untuk penggandaan bentuk yang melibatkan lebih dari satu tahap perlu dirancang dengan seksama, agar komponen diarahkan secara maksimal pada setiap tahap untuk mencegah terjadinya kerutan dan lipatan.

H. Tschaetsch pada bukunya yang berjudul *metal forming* menyajikan formula untuk menghitung parameter dalam proses *upset forging*, seperti:

#### A. *Upset ratio (Ru)*

*Upset Ratio Ru* atau *S* adalah nilai batasan yang akan menentukan potensi terjadinya *buckling* pada benda kerja.

$$R_U = S = \frac{h_0}{d_0} = \frac{h_0 h_d}{d_0} \quad (2 - 1)$$

Dimana:

$R_U$  =  $S$  = *Upset ratio*

$h_0$  = Tinggi awal spesimen pada *free upsetting* (mm)

$d_0$  = Diameter awal spesimen (mm)

$h_0 h_d$  = Tinggi awal spesimen yang tidak dijepit di cetakan (mm)

Batas nilai *upset ratio* agar proses tetap terkendali dan terhindar dari kemungkinan terjadinya *buckling* dalam langkah *single stroke process* adalah  $s \leq 2,6$ .

Tabel 1. Nilai  $R_U$  proses *cold upset forging* [3]

Operation	$R_U$ Value
<i>One operation (single-stroke process)</i>	$\leq 2.3$
<i>Two operations (two-stroke process)</i>	$\leq 4.5$
<i>Three operations (three-stroke)</i>	$\leq 8.0$

<i>Multistroke (more than three) with whole die (limited by difficulties arising during ejection)</i>	$\leq 10.0$
<i>Multistroke (more than three) with split die</i>	$\leq 20.0$

### B. Principle strain

Batas maksimal untuk rasio tinggi akhir dan tinggi awal yang diperbolehkan dalam proses deformasi pada suatu material dapat diidentifikasi

$$\varphi = \ln \frac{h_1}{h_0} \quad (2 - 2)$$

Dimana:

$h_0$  = Tinggi awal benda kerja (mm)

$h_1$  = Tinggi akhir benda kerja setelah proses deformasi (mm)

### C. Diameter awal minimal benda kerja

Diameter minimum awal untuk benda kerja dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \pi \cdot r^2 h_1}{\pi \cdot s}} \quad (2 - 3)$$

Dimana:

$s$  = *Upset ratio*

$h_1$  = Tinggi akhir benda kerja (mm)

$V$  = Volume *head*  $mm^3$

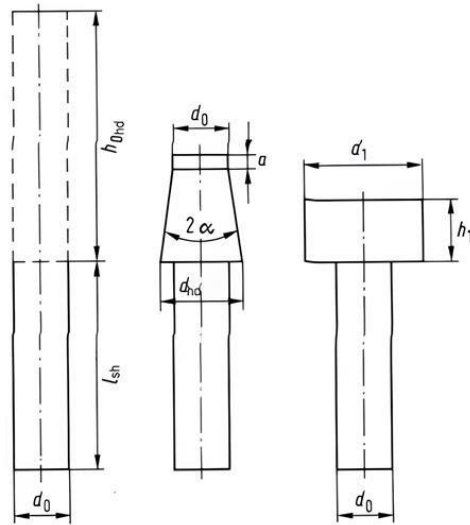
$d_0$  = Diameter awal benda kerja (mm)

$r$  = Jari-jari *head* (mm)

### D. Gaya upsetting

Gaya *upsetting* yang perlu dirumuskan:

$$F = A_1 k_{str1} \left( 1 + \frac{1}{3\sqrt{3}} \mu \frac{d_1}{h_1} \right) \quad (2 - 4)$$



Gambar 5. Benda kerja *upsetting*

$F$  = Gaya *upsetting* (N)

$A_1$  = Luas permukaan setelah *upset forging* ( $mm^2$ )

$k_{str1}$  = *Flow stress* di akhir *upset forging* ( $N/mm^2$ )

$\mu$  = koefisien gesekan (0,1 – 0,15)

$d_1$  = Tinggi akhir benda kerja (mm)

$h_1$  = Diameter akhir benda kerja (mm)

### E. Kerja *upsetting*

Nilai  $W$  dihitung dengan rumus:

$$W = V \cdot k_{strm} \cdot \varphi_p \quad (2 - 5)$$

$$k_{strm} = \text{Mean flow stress} \left( \frac{k_{str0} + k_{str1}}{2} \right)$$

$k_{str0}$  = *Flow stress* pada principle strain 0

$k_{str1}$  = *Flow stress* pada principle strain maksimum

Atau juga nilai  $W$  dapat dihitung dengan rumus:

$$W = F \cdot s \cdot x = F(h_0 - h_1) \cdot x \quad (2 - 6)$$

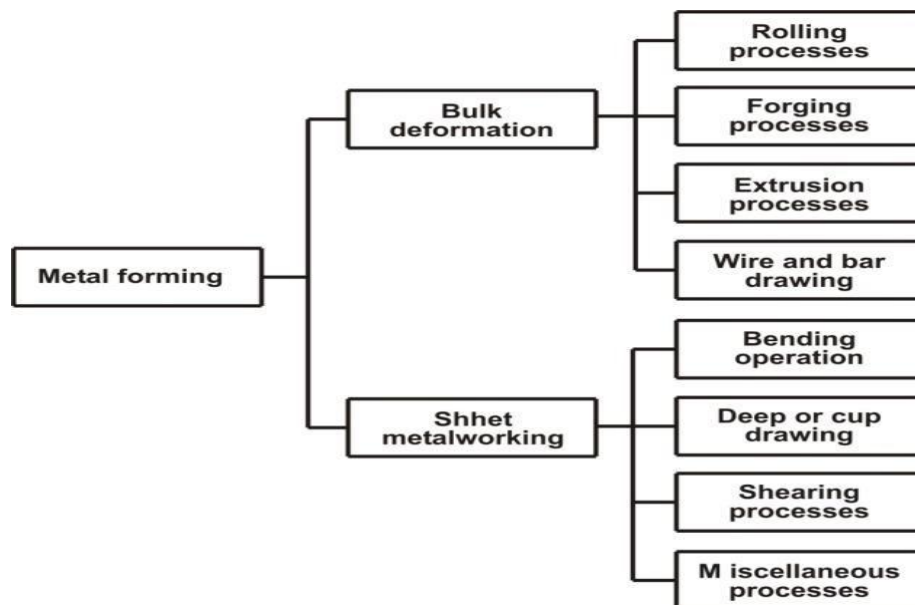
Dalam konteks ini,  $x = M$  = merupakan faktor pengali yang sesuai dengan karakteristik kurva proses *Load-stroke* pada *upset forging*, dengan nilai berkisar antara 0,5 hingga 0,6

### 3. Metal forming

Proses pembentukan logam (*metal forming*) adalah proses mengubah bentuk logam dengan cara mendeformasi plastis logam yang bersangkutan. Deformasi plastis diperoleh dengan cara membebani logam (biasanya berupa gaya tekan) yang besarnya melebihi kekuatan luluh logam. Beban pada proses pembentukan selain berupa gaya tekan (*compressive*) dapat juga berupa gaya tarik (*stretch*), momen lentur (*bend*) maupun gaya geser (*shear*). Perlakuan *forming* kepada material mempengaruhi nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan struktur kristal material. [4]

Material yang akan dibentuk harus memiliki tegangan luluh yang rendah dan keuletan yang sangat baik. Sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur material, semakin ulet material tersebut, dan semakin rendah kekuatan luluhnya. Proses pembentukan diklasifikasikan menjadi dingin (*cold*), hangat (*warm*), panas (*hot*) tergantung pada temperatur material yang sedang diproses. Selain tegangan luluh dan keuletan material, laju regangan dan gesekan antara material dan *dies* semuanya berdampak pada kinerja proses pembentukan.

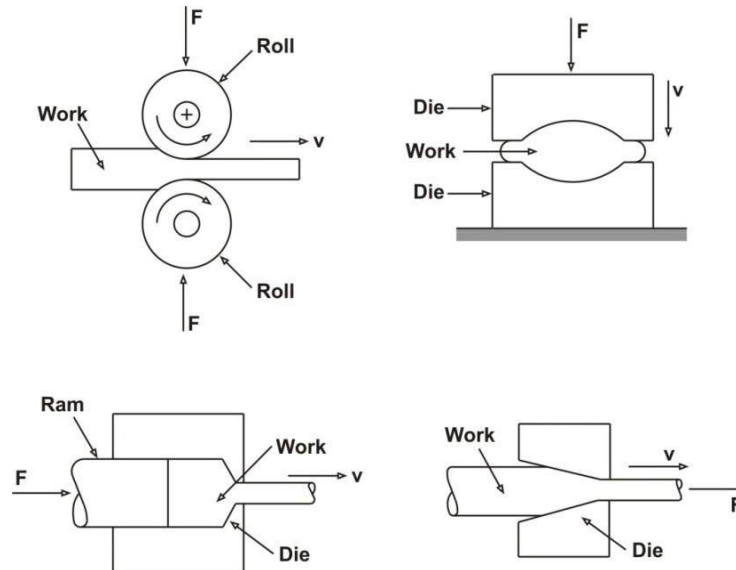
Berdasarkan pada bentuk material yang sedang diproses, proses pembentukan dikarakterisasikan menjadi *bulk deformation processes* dan *sheet metal working processes*. Klasifikasi proses pembentukan secara umum dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Klasifikasi proses pembentukan

### A. Bulk deformation processes

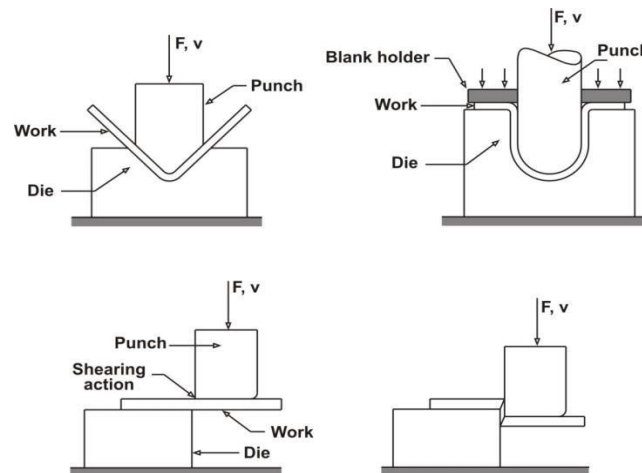
*Bulk deformation processes* melibatkan deformasi yang cukup besar dan masif. Perbandingan antara luas permukaan material benda kerja dengan volume material benda kerja relatif kecil. Beberapa contoh *bulk deformation processes* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. *Bulk deformation processes*

### B. Sheet metal forming

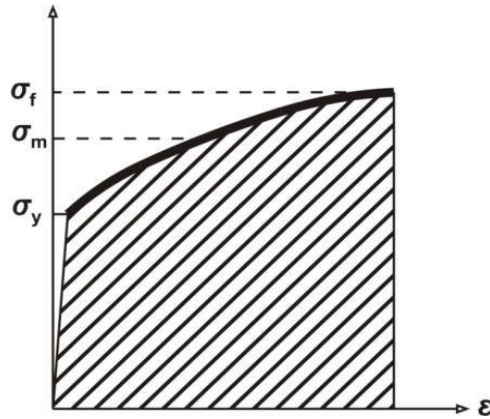
*Sheet metal forming* merupakan proses pembentukan yang dilakukan pada logam yang berbentuk lembaran. Luas permukaan benda kerja jauh lebih besar daripada volumenya. Beberapa contoh *sheet metal forming* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Sheet metal forming*

### C. Sifat material dalam proses *metal forming*

Secara umum, gambar dibawah ini menunjukkan kurva yang dihasilkan dari pengujian tarik. Bagian kurva garis tipis diwakili oleh daerah elastis, sedangkan daerah plastis diwakili oleh garis tebal didalam kurva.



Gambar 9. Kurva hasil uji tarik

Persamaan berikut ini menjelaskan hubungan antara tegangan sebenarnya dan regangan sebenarnya di daerah plastis:

$$\sigma = K \epsilon^n \quad (2 - 7)$$

Keterangan:

$\sigma$  : Tegangan sebenarnya (MPa)

$K$  : Koefisien kekuatan material (MPa)

$\epsilon$  : Regangan sebenarnya

$n$  : Eksponen pengerasan regangan

Agar benda kerja dapat mengalir dalam keadaan padat, persamaan tersebut menentukan jumlah tegangan yang harus diterapkan. Kuantitas deformasi plastis yang diperlukan menentukan nilai tegangan. Semakin banyak deformasi plastis yang diperlukan, semakin banyak tegangan yang harus diberikan pada benda kerja. Tabel 2 menampilkan biaya dari eksponen pengerasan regangan ( $n$ ) dan koefisien kekuatan material ( $K$ ). Tegangan rata-rata yang diperlukan untuk mendeformasi material selama *metal forming* adalah:

$$\sigma_m = \frac{K \epsilon^n}{1 + n} \quad (2 - 8)$$

Keterangan:

$\sigma_m$  : Tegangan rata-rata (MPa)

K : Koefisien kekuatan material (MPa)

$\epsilon$  : Regangan sebenarnya

n : Eksponen pengerasan regangan

Tabel 2. Nilai Koefisien kekuatan material

Material	Strength Coefficient, K		Strain Hardening Coefficient, n
	MPa	(lbf/in <sup>2</sup> )	
<i>Aluminum, pure, annealed</i>	175	25000	0.20
<i>Aluminum, alloy, annealed</i>	240	35000	0.15
<i>Aluminum, alloy, heat treated</i>	400	60000	0.10
<i>Copper, pure, annealed</i>	300	45000	0.50
<i>Copper, alloy: brass</i>	700	100000	0.35
<i>Steel, low C, annealed</i>	500	75000	0.25
<i>Steel, high C, annealed</i>	850	125000	0.15
<i>Steel, alloy, annealed</i>	700	100000	0.15
<i>Steel, stainless, austenitic, annealed</i>	1200	170000	0.40

#### 4. Cold forging

*Cold forging* adalah proses pembentukan logam yang dilakukan pada suhu ruang, di mana logam dibentuk melalui deformasi plastis menggunakan tekanan tinggi tanpa pemanasan sebelumnya. Proses ini memungkinkan pembentukan komponen dengan presisi tinggi dan permukaan akhir yang halus, serta menghasilkan produk dengan kekuatan mekanik yang superior karena efek pengerasan regangan (*strain hardening*). *Cold forging* umumnya digunakan untuk memproduksi komponen otomotif dan dirgantara, seperti poros, baut, dan komponen struktural lainnya.

Keunggulan utama dari *cold forging* meliputi efisiensi material yang tinggi karena minimnya limbah, peningkatan kekuatan material, dan kemampuan untuk menghasilkan bentuk kompleks dengan toleransi ketat. Namun, proses ini juga memiliki tantangan, seperti kebutuhan akan gaya tekan yang besar dan risiko retak pada material yang kurang ulet. Untuk mengatasi tantangan ini, desain proses yang tepat dan penggunaan simulasi elemen hingga (*Finite Element Analysis*) menjadi penting dalam mengoptimalkan parameter proses dan memastikan kualitas produk akhir. [5]

### **Karakteristik utama**

Karakteristik utama dari *cold forging* prosesnya dilakukan pada suhu ruang dan mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangannya yaitu

keuntungan: Presisi dimensi tinggi, permukaan akhir yang halus, peningkatan kekuatan material akibat pengerasan regangan, efisiensi material tinggi karena minimnya limbah.  
Kekurangan: memerlukan gaya tekan yang besar, risiko retak lebih tinggi pada material yang kurang ulet. [6]

## **5. Pemilihan material proses**

Salah satu tahap krusial dalam desain produk yang perlu diperhatikan memilih material yang akan digunakan untuk merancang dan membuat *dies* paku tapal kuda. Tidak peduli seberapa baik suatu produk dirancang, semuanya akan percuma jika bahan yang dipilih atau digunakan tidak tepat. Sebaiknya pahami tujuan utama atau fungsi produk sebelum memutuskan material yang akan digunakan. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan saat memilih material:

- Mengetahui sifat atau karakteristik material.
- Material yang mudah didapatkan di pasaran.
- Kisaran harga material di pasaran.
- Dampak lingkungan.
- Mampu bentuknya atau mampu diproses dalam pembuatan.

### **A. Material *dies* paku tapal kuda**

#### **Baja perkakas**

Elemen yang paling penting dalam mencapai masa pakai yang lama dan mempersingkat proses produksi adalah pemilihan material. Baja perkakas, yaitu jenis baja dengan

kandungan karbon antara 0,3 hingga 1,6%, dicampur dengan beberapa elemen, termasuk silikon (Si), mangan (Mn), tembaga (Cu), vanadium (V), molibdenum (Mo), dan lainnya. Untuk material *hand tool* seperti *cutting*, *shaping*, *forming*, dan *blanking*, baja jenis ini sering digunakan. Baja perkakas digunakan secara luas karena kekuatannya yang tinggi, daya tahan, dan ketahanannya terhadap keausan. Kandungan karbon, komponen paduan, dan teknik perlakuan panas semuanya mempengaruhi kinerja baja perkakas. Tabel 3 menunjukkan jenis-jenis baja perkakas yang digunakan untuk *dies*.

Tabel 3. Jenis baja perkakas untuk *dies* [7]

Table 6.7.3: Survey of the most frequently used cold, warm and hot forging tool steels

Die materials I / Cold forging tool steels / Active components																
Material No. to DIN	DIN	ANSI	JIS	Composition in %												
	Germany	USA	Japan	C	Si	Mn	P	S	Co	Cr	Mo	Ni	V	W	Ti	
1.2363	X100CrMoV51	A2	SKD11	1.00	0.30	0.55	0.03	0.03	-	5.00	1.10	-	0.20	-	-	
1.2369	81M0CrV4216			0.81	0.25	0.35	-	-	-	4.00	4.20	-	1.00	-	-	
1.2379	X155CrVMo12 1	D2	SKD11	1.55	0.30	0.35	0.03	0.03	-	12	0.70	-	1.00	-	-	
1.2709	X3NiCoMoTi1895			0.03	0.10	0.15	0.01	0.01	9.25	0.25	5.00	18	-	-	-	
1.2713	1. NiCrMo 55NiCrMoV6	6F2	SKT4	0.55	0.30	0.60	0.03	0.03	-	0.70	0.30	1.70	0.10	-	-	
1.2714	57NiCrMoV7		SKT4	0.58	0.30	0.70	0.03	0.03	-	1.00	0.50	1.70	0.10	-	-	
1.2767	X45NiCrMo4	6F7		0.45	0.25	0.30	0.03	0.03	-	1.35	0.25	4.00	-	-	-	
1.3207	HSS S10-4-3-10	T42	SKH57													
1.3343	S-6-5-2	M2	SKH51	0.90	0.45	0.40	0.03	0.03	-	4.15	5.00	-	1.85	6.35	-	
1.3344	S-6-10-2	M3/2		1.20	0.45	0.40	0.03	0.03	-	4.15	5.00	-	3.00	6.35	-	

Die materials I / Hot-warm forging tool steels / Active components																
Material No. to DIN	DIN	ANSI	JIS	Composition in %												
	Germany	USA	Japan	C	Si	Mn	P	S	Co	Cr	Mo	Ni	V	W	Ti	
1.2713	1. NiCrMo 55NiCrMoV6	6F2	SKT4	0.55	0.30	0.60	0.03	0.03	-	0.70	0.30	1.70	0.10	-	-	
1.2714	57NiCrMoV7		SKT4	0.58	0.30	0.70	0.03	0.03	-	1.00	0.50	1.70	0.10	-	-	
1.2343	2. CrNiMoV X32CrMoV51	H11	SKD6	0.38	1.00	0.40	0.03	0.03	-	5.30	1.10	-	0.40	-	-	
1.2344	X40CrMoV51	H13	SKD61	0.40	1.00	0.40	0.03	0.03	-	5.30	1.40	-	1.00	-	-	
1.2365	X32CrMoV33	H10		0.32	0.30	0.30	0.03	0.03	-	0.30	2.80	-	-	-	-	
1.2367	X40CrMoV53		SKD7	0.30	0.20	0.30	0.03	0.03	-	2.40	-	-	-	4.30	-	
1.2606	3. WCrV X40CrMoW51		SKD62													
1.2622	X60WCrCoV93		SKH51													

Kromium, molibdenum, tungsten, mangan, dan vanadium adalah beberapa elemen paduan yang ditemukan dalam konsentrasi tinggi pada baja perkakas. Untuk mendapatkan paduan karbida yang tepat dalam matriks martensit temper yang sesuai dengan aplikasinya, maka diperlukan penanganan khusus selama proses berlangsung. Baja perkakas digunakan dalam berbagai alat permesinan, termasuk alat pengerolan, ekstrusi, pemotongan, pembentukan, dan penarikan.

Baja perkakas atau *tool steel* AISI D2 adalah material yang digunakan untuk membuat *dies* paku tapal kuda. Baja perkakas seri D adalah jenis baja yang digunakan untuk aplikasi cetakan (*dies*) yang bekerja pada suhu dingin, seperti ekstrusi dingin, penempaan dingin (*cold forging*), dan pekerjaan penekanan pada lembaran baja.

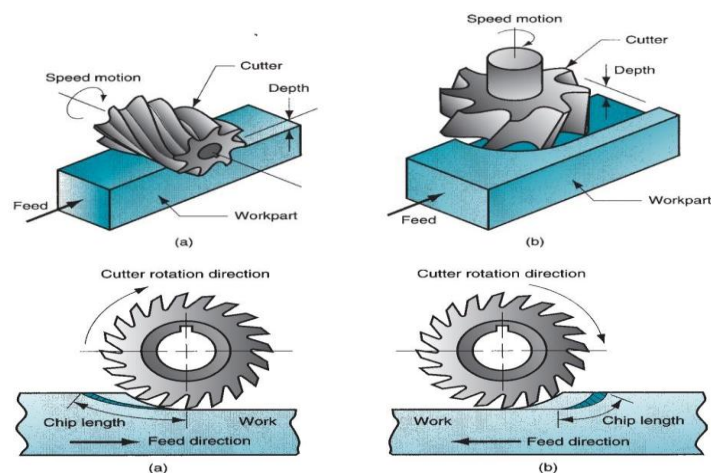
## B. Material paku tapal kuda

Baja karbon rendah adalah paduan baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3 % C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling mudah diproduksi diantara semua karbon, mudah di-*machining* dan dilas, serta keuletan dan ketangguhan yang sangat tinggi namun, memiliki kekerasan yang rendah. Sehingga baja karbon rendah sering digunakan sebagai material paku tapal kuda *import*.

## C. Proses manufaktur pada pembuatan *dies* paku tapal kuda

### Proses *milling*

Proses *milling* adalah proses pemesinan yang melibatkan pemotongan benda kerja dengan menggunakan alat potong yang dilengkapi dengan mata potong berputar. Proses pemotongan dengan gigi potong yang mengelilingi pahat dapat meningkatkan efisiensi proses pemesinan. Permukaan yang disayat dapat berbentuk menyudut, datar atau melengkung. Proses *milling* adalah proses pemesinan yang dilakukan dengan cara memutar pahat untuk melakukan gerak potong dan mengumpalkan benda terhadap pahat untuk melakukan gerak makan. Pahat mesin *milling* secara umum terbuat dari material baja karbida serta biasanya dilapisi oleh material lain seperti TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan TiCN. Pahat yang tidak dilapisi lebih cepat aus dibandingkan dengan pahat yang dilapisi.



Gambar 10. *Slab milling*, *face milling*, *up milling*, dan *down milling* [8]

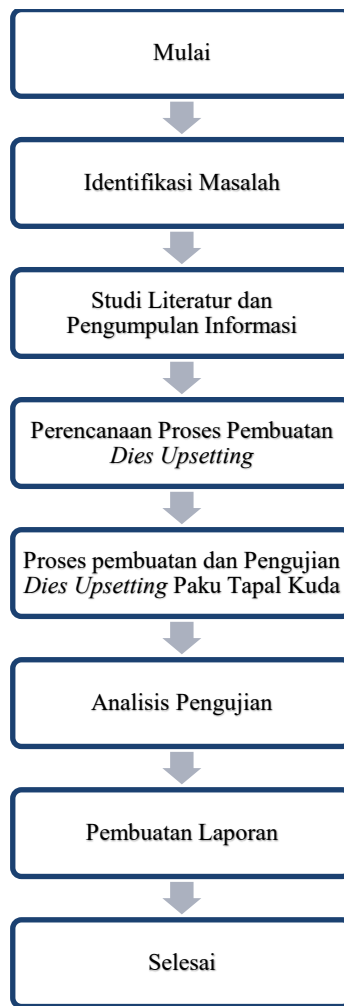
Mesin *milling* (freis) adalah suatu mesin perkakas yang fungsi utamanya adalah melakukan proses *milling*. Pahat berputar melakukan gerak potong dan benda kerja bergerak translasi melakukan gerak makan.

Dalam dunia industri ada beberapa yang menggunakan mesin *milling* CNC. Mesin *milling* CNC merupakan mesin yang berfungsi sebagai alat potong yang diprogram dan dikelola oleh sistem *Computer Numerical Control* (CNC) untuk memotong material dari benda kerja secara akurat dan presisi.

## BAB III METODOLOGI

### 1. Tahapan penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam laporan ini dapat dilihat pada diagram alir yang tertera di bawah ini.



Gambar 11. Diagram alir tahapan penelitian

Berikut merupakan keterangan tahapan penelitian:

#### A. Identifikasi masalah

Dengan merinci latar belakang yang telah dijelaskan, dilakukan identifikasi masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana perencanaan proses pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda pada proses pembuatan paku tapal kuda serta produk paku tapal kuda yang sesuai dengan standar kuda pacu yang diinginkan oleh konsumen.

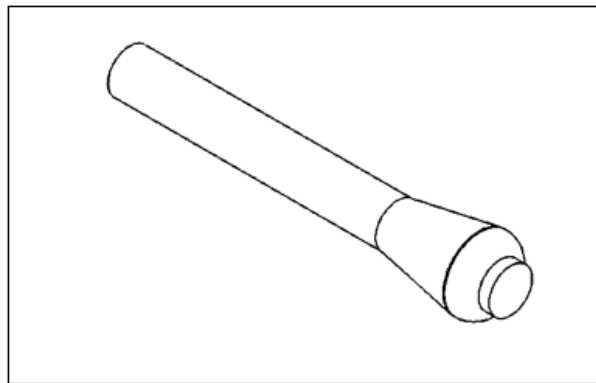
## B. Studi literatur dan pengumpulan informasi

Studi literatur dan pengumpulan informasi dilakukan sebagai dasar acuan permasalahan yang akan diteliti dengan mencari informasi melalui beberapa buku pedoman yang berkaitan dengan penelitian beberapa artikel baik dari internet ataupun jurnal, serta data penelitian dan paten yang sudah ada sebelumnya.

## C. Perancangan desain paku tapal kuda

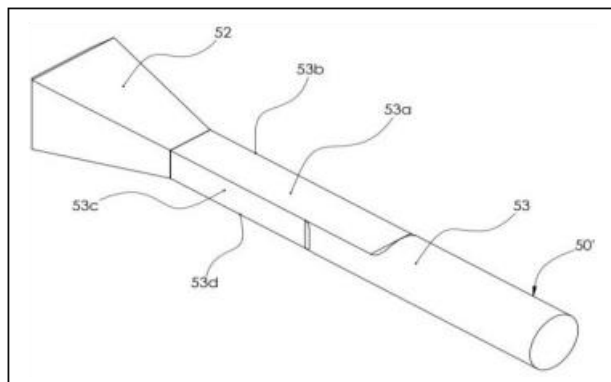
Pada tahap ini merupakan penentuan proses pembuatan paku tapal kuda. Dalam pembuatan paku tapal kuda terdapat tahapan proses, seperti proses *upsetting* sampai *labelling* hasil akhirnya mempengaruhi dari produk tapal kuda. Namun pada penelitian ini perancangan desain paku tapal kuda lebih difokuskan membentuk paku tahap pertama yang menggunakan proses *upsetting*. Berikut tahapan pembentukan paku tapal kuda.

- Tahap satu *upsetting*



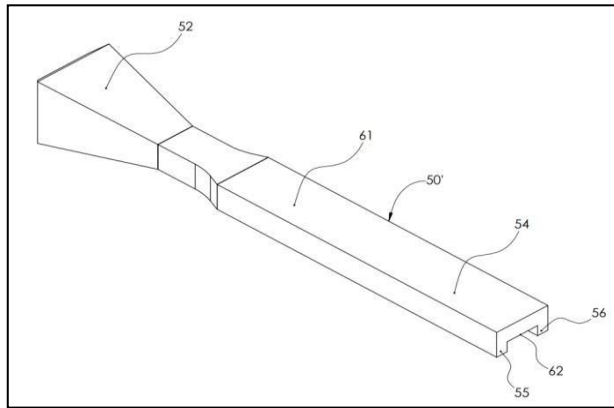
Gambar 12. Paku tahap satu

- Tahap dua proses *forging, trimming*



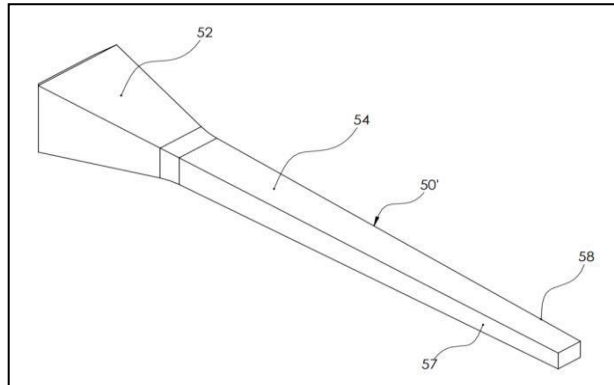
Gambar 13. Paku tahap dua

- Tahap tiga proses *forging forming*



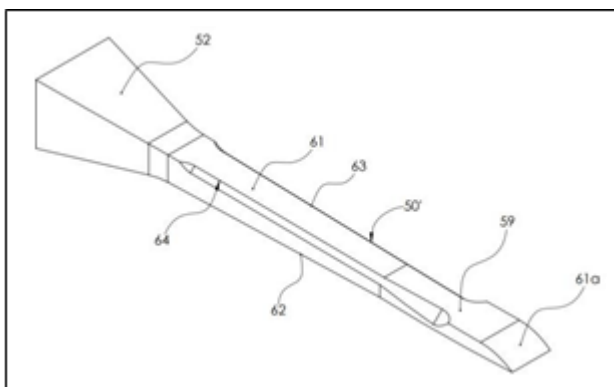
Gambar 14. Paku tahap tiga

- Tahap empat proses *trimming*



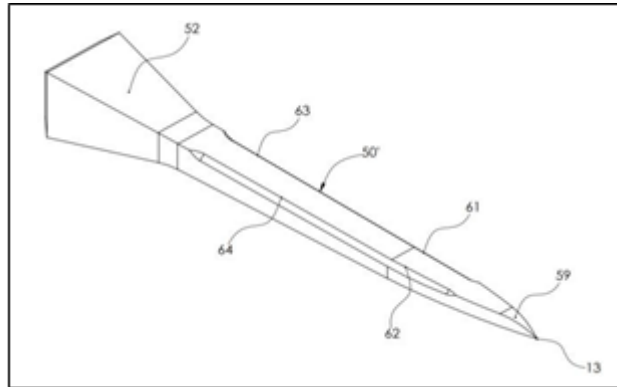
Gambar 15. Paku tahap empat

- Tahap lima proses *forging forming*



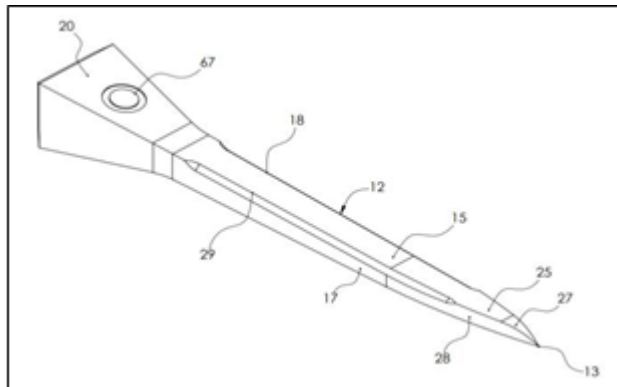
Gambar 16. Paku tahap lima

- Tahap enam proses *trimming*



Gambar 17. Paku tahap enam

- Tahap tujuh proses *forging forming*



Gambar 18. Paku tahap tujuh

#### D. Perencanaan proses pembentukan *dies* paku tapal kuda

Perencanaan proses pembentukan *dies* paku tapal kuda dimaksudkan untuk membentuk *dies upsetting* pada proses pembuatan paku tapal kuda tahap 1 yang sesuai dengan tahapan proses pembentukan paku tapal kuda hasil dari perancangan desain paku tapal kuda yang digunakan.

#### E. Pembuatan dan pengujian prototipe *dies upsetting* paku tapal kuda

Proses pembuatan dan pengujian *dies upsetting* untuk memeriksa hasil pembentukan paku tapal kuda dari *dies* yang telah dibuat apakah sesuai dengan yang diinginkan atau belum.

## F. Analisis pengujian *dies upsetting* dan benda kerja

Analisis pengujian *dies upsetting* dan benda kerja merupakan studi sistematis terhadap respons material dan kinerja cetakan saat mengalami deformasi plastis akibat gaya tekan aksial. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi distribusi tegangan, regangan, serta potensi cacat pada benda kerja dan cetakan selama proses pembentukan. Dengan pendekatan eksperimental, analisis ini penting dalam optimasi desain cetakan dan peningkatan kualitas produk akhir.

## G. Pembuatan laporan

Pada tahap ini dilakukannya penulisan laporan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan mengenai proses pembentukan *dies upsetting* paku tapal kuda yang telah dibuat.

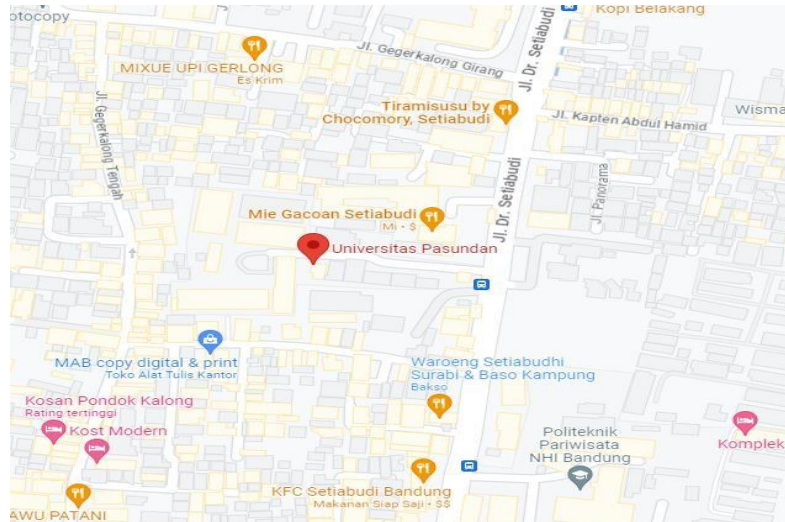
## 2. Jadwal kegiatan

Tabel 4. Jadwal kegiatan

Jenis Kegiatan	Waktu Penelitian (2024-2025)																											
	Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur dan Pengumpulan Informasi	■	■	■	■																								
Penyusunan Proposal	■	■	■	■																								
Perencanaan Desain dan pembuatan dies upsetting					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Pemilihan Material dan Proses					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Seminar Usulan Penelitian									■																			
Pembelian Alat dan Material																	■											
Proses Pembuatan Prototipe Dies Upsetting																	■	■										
Proses Pengujian Dies Upsetting																	■	■	■									
Pembuatan Laporan																												
Seminar Skripsi																												
Sidang Skripsi																												■

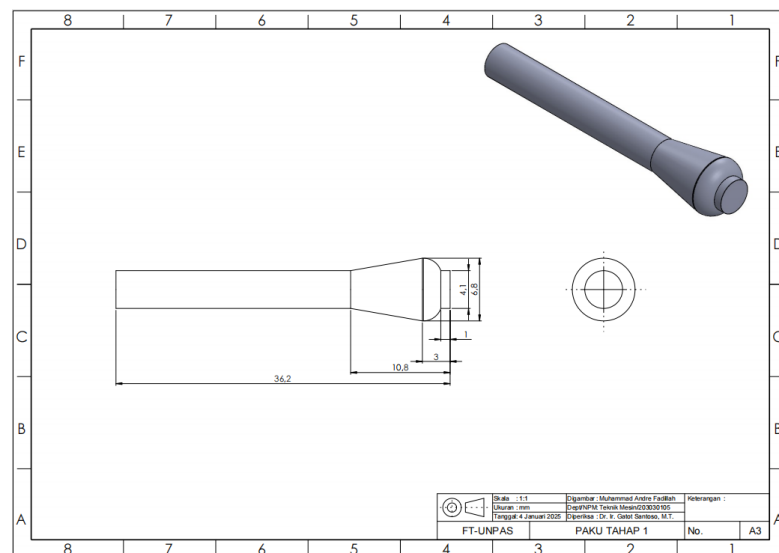
## 3. Tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin FT UNPAS yang berlokasi di Jl. Dr. Setiabudi No.193, Gegerkalong, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40153. Berikut denah lokasi yang dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Lokasi penelitian

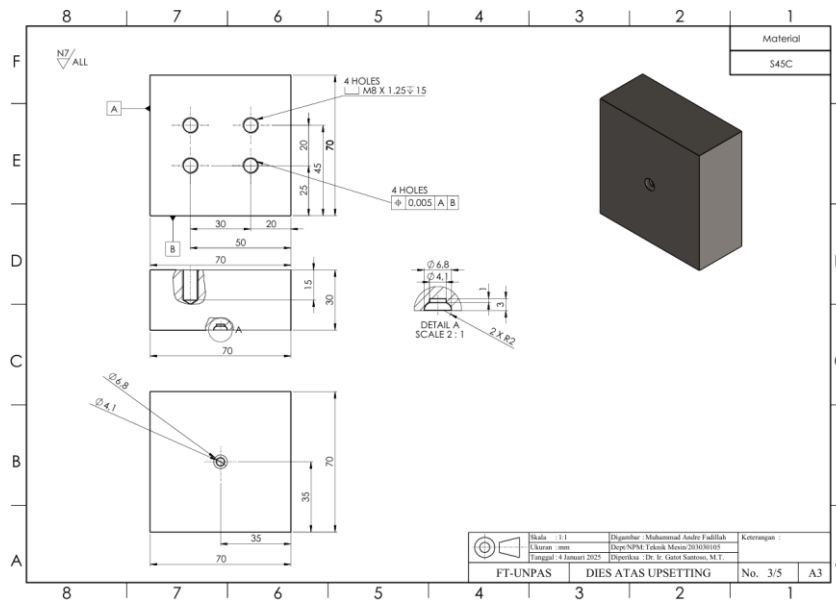
#### 4. Bentuk desain konseptual paku tahap 1



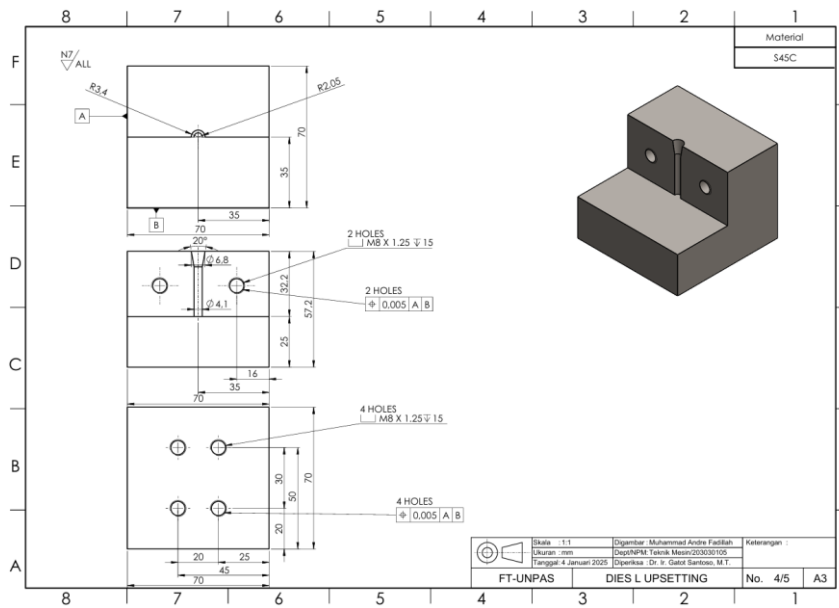
Gambar 20. Paku kuda tahap 1

Bentuk paku tahap 1 luas penampang pada ujung kawat timah mengalami perubahan volumenya dan membentuk kepala. Dalam pengujian ini panjang kawat timah awal yang digunakan yaitu 45,3 mm, diameter 4,1 mm, massa 4,55 g. Setelah proses *upsetting* panjang kawat menjadi 36,2 mm. Pada gambar menunjukkan ujung kawat berubah bentuknya menjadi oval/lonjong dampak dari penempaan menggunakan *drop hammer* yang hasilnya ujung kawat semakin berkurang ketinggiannya dan volume semakin bertambah yaitu sebesar  $593,40 \text{ mm}^3$ . Menunjukkan badan kawat tetap dalam bentuknya yaitu silinder.

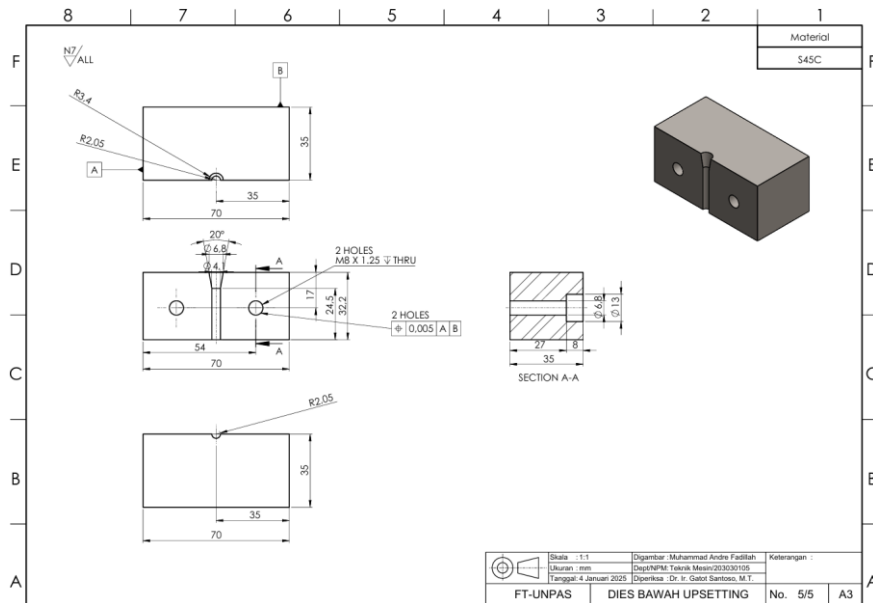
Komponen *dies*/cetakan yang sesuai untuk pembentukan paku tahap pertama ditunjukkan pada gambar 21-23



Gambar 21. Dies atas



Gambar 22. Dies bawah L



Gambar 23. Dies bawah pasangan L

Setelah desain konseptual *dies*/cetakan sudah diseragamkan untuk membentuk paku kuda sesuai standar. Material yang digunakan harus mempunyai kriteria seperti:memiliki sifat tahan aus yang tinggi, mudah saat dilakukan pemesinan, sifat tangguh yang badan tidak mudah terdeformasi. Oleh karena itu material yang sesuai kriteria tersebut dalam pembuatan *dies* menggunakan *AISI Steel 1045* atau baja S45C.

## 5. Peralatan dan material untuk pengujian

Pada proses pembuatan *dies* paku tapal kuda terdapat peralatan dan material yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Peralatan dan material

No	Peralatan dan Material	Jumlah	Satuan
1	Mesin <i>Milling</i> CNC	1	Set
2	Socket Head Cap Screw M8	2	Pcs
3	AISI Steel 1045/baja S45C	3	Kg
4	Kawat Timah (diameter 4,3 mm)	1,5	Kg

## **BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini dijelaskan mengenai pengertian desain konseptual dan pengertian *dies upsetting* dan juga konsep desain *dies upsetting* pembentukan paku tapal kuda tahap 1. Selanjutnya akan dijelaskan mengenai proses pembuatan prototipe *dies upsetting* untuk dilakukan pengujian *dies upsetting* dan hasil analisis setelah pengujian.

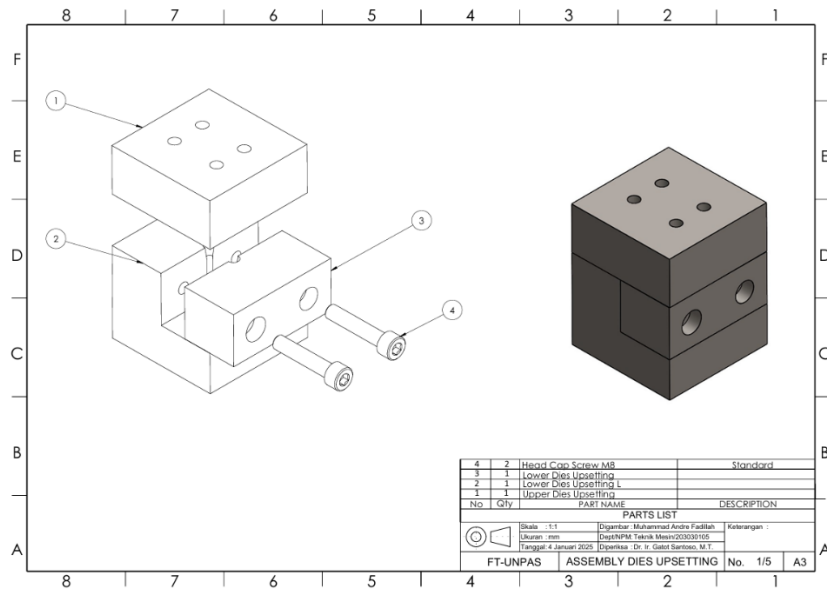
### **1. Desain konseptual dan pengertian *dies upsetting***

Desain konseptual merupakan suatu ide yang menjelaskan bagaimana suatu mekanisme dapat direncanakan untuk mencapai tujuan tertentu. Desain konseptual yang digunakan berbagai macam salah satu yang paling populer adalah kesederhanaan dan ketajaman bentuk.

*Dies upsetting* adalah proses dalam manufaktur logam, khususnya dalam teknik pembentukan logam (*metal forming*), yang digunakan untuk memperpendek dan memperbesar diameter suatu benda kerja dengan cara ditekan secara aksial menggunakan cetakan (*dies*). Proses ini termasuk dalam kategori *forging* (tempa) dan umumnya dilakukan pada material dalam kondisi panas (*hot forging*) agar lebih mudah dibentuk tanpa menyebabkan retak atau kerusakan. Namun pada proses penelitian ini penempaan dilakukan menggunakan material dalam kondisi dingin (*cold forging*). *Upsetting* sering digunakan untuk membentuk kepala dari suatu komponen seperti kepala baut, poros bertingkat yang memerlukan penebalan pada bagian tertentu.

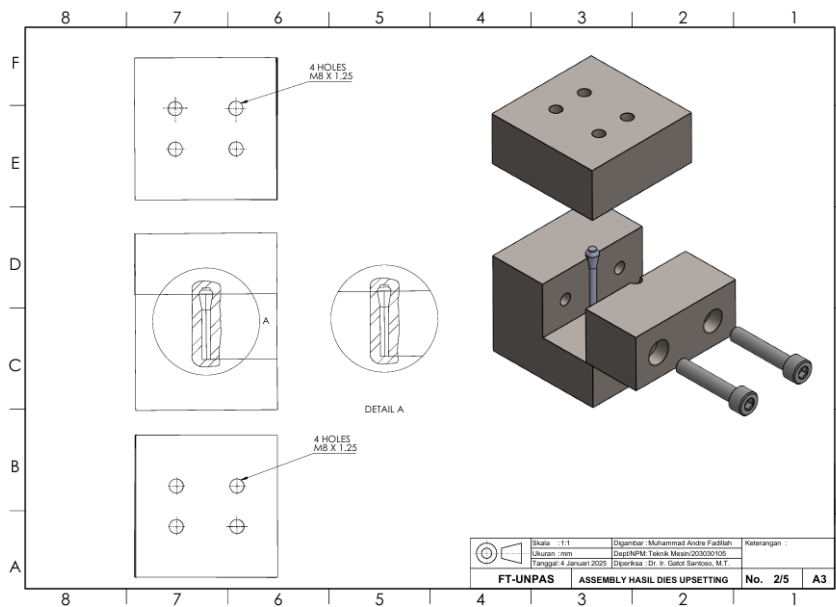
### **2. Desain konseptual *dies upsetting* pembentukan paku tapal kuda tahap 1**

Setelah mengetahui bentuk desain paku tapal kuda tahap 1 yang sudah dijelaskan pada bab 3 dilakukan pemodelan *assembly* untuk mengetahui prinsip kerja *dies upsetting* pembentukan paku tapal kuda tahap 1 dan juga saat dilakukan proses penempaan dan sesudah penempaan yang bertujuan untuk menghasilkan benda kerja. Gambar 24-25 menunjukkan tahapan apa saja untuk membentuk paku tahap 1.



Gambar 24. *Assembly dies upsetting* pembentukan paku tahap 1

*Assembly dies upsetting* pembentukan paku tapal kuda tahap 1 merupakan penyatuan komponen untuk pembentukan paku tapal kuda. Pada gambar 25 mempunyai empat komponen yaitu *dies* atas, *dies* bawah berbentuk huruf L dan *dies* bawah berbentuk persegi panjang juga ada komponen baut yang berukuran M8 yang berfungsi sebagai pengikat antara *dies* bawah huruf L dan *dies* bawah berbentuk persegi panjang.

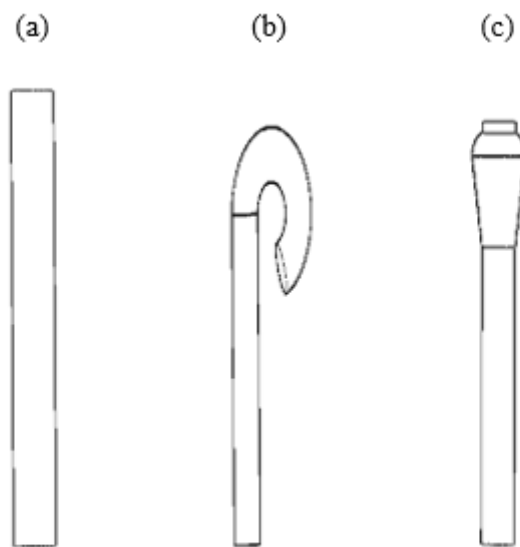


Gambar 25. Desain *dies upsetting* dan hasil pembentukan paku tahap 1

*Assembly* hasil *upsetting* dijelaskan penyatuan komponen dan benda kerja setelah melewati proses penempaan dan gambar 25 menunjukkan benda kerja mempunyai kepala dan luas penampangnya bertambah dan badan dari paku tidak ikut terbentuk.

### 3. Sketsa proses *upsetting* dari benda kerja

Sketsa proses *upsetting* benda kerja merupakan proses tahapan deformasinya benda kerja dimana panjang benda kerja berkurang dan diameter atau penampang lintangnya diperbesar akibat penempaan. Berikut gambar 26 menunjukkan proses terdefomasinya benda kerja



Gambar 26. Tahapan deformasi proses *upsetting*

### 4. *Tensile properties of lead – free solders*

*Tensile properties of lead – free solders* merupakan data eksperimental mengenai sifat mekanik solders bebas timbal (*lead free solders*). Fokus utamanya pada kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan luluh (*yield strength*), modulus elastisitas, dan elongasi dari berbagai jenis paduan solder bebas timbal seperti Sn-3.5Ag, Sn-3.5Ag-0.75Cu, Sn-9Zn, dan Sn-57Bi. Data tersebut memberikan acuan teknis dan ilmiah dalam pemilihan material solder yang ramah lingkungan dan memiliki performa mekanik yang baik. Berikut tabel 6 sebagai rujukan untuk material solders

Tabel 6. *Tensile properties of lead – free solders*

A.C.	Chemical Composition	Elastic Modulus		Yield Strength (0.2 % offset)		Tensile Strength		Relative Elongation (%)		Strength Coefficient		Hardening Exponent	
		% by Mass	(ksi)	GPa	(psi)	MPa	(psi)	MPa	Uni-form	Total	(psi)		MPa
A1	Sn-37Pb		2,273	15.7	3,950	27.2	4,442	30.6	3	48	4,917	33.9	0.033
A2	Sn-2Ag-36Pb		2,617	18.0	6,287	43.3	6,904	47.6	1	31	7,223	49.8	0.011
A3	Sn-97Pb		2,753	19.0	1,126	7.8	2,383	16.4	27	38	3,934	27.1	0.235
A4	Sn-3.5Ag		3,793	26.2	3,256	22.5	3,873	26.7	3	24	4,226	29.1	0.026
A5	Sn-5Sb		6,460	44.5	3,720	25.7	5,110	35.2	3	22	4,177	28.8	0.031
A6	Sn-58Bi		1,720	11.9	7,119	49.1	8,766	60.4	3	46	9,829	67.8	0.029
A7	Sn-3.5Ag-0.5Sb-1Cd				7,545	52.0				15			
A8	Sn-75Pb				3,426	23.6				53			
B1	Sn-50Bi				8,263	57.0	8,965	61.8		53			
B2	Sn-52Bi				6,414	44.2	8,834	60.9		57			
B5	Sn-2Ag-46Bi-4Cu				9,806	67.6	10,070	69.4		3			
B6	Sn-56Bi-2In				7,224	49.8	8,429	58.1		116			
C1	Sn-2Ag-1.5Sb-29Pb				6,489	44.7	6,865	47.3		25			
C2	Sn-3Ag-4Cu				6,276	43.3	7,006	48.3		22			
C3	Sn-2.5Ag-2Bi-1.5Sb				7,070	48.7	8,117	56.0		21			
C4	Sn-3Ag-1Bi-1Cu-1.5Sb				8,361	57.6	9,256	63.8		21			
C5	Sn-2Ag-9.8Bi-9.8In				14,560	100.4	15,380	106.0		7			
D2	Sn-57Bi-2In				7,304	50.4	8,436	58.2		72			
D3	Sn-2Ag-57Bi				9,487	65.4	10,390	71.6		31			
D4	Sn-57Bi-2Sb				8,521	58.8	9,586	66.1		47			
D5	Sn-57Bi-1Sb				8,285	57.1	8,944	61.7		60			
D6	Sn-2Ag-56Bi-1.5Sb				9,063	62.5	9,946	68.6		27			
D7	Sn-3Ag-55.5Bi-1.5Sb				8,665	59.7	9,379	64.7		45			
D8	Sn-3Ag-55Bi-2Sb				8,984	61.9	9,807	67.6		44			
D9	Sn-3Ag-54Bi-2In-2Sb				5,055	34.9	11,640	80.3		13			
D10	Sn-3Ag-54Bi-2Cu-2Sb				11,440	78.9	12,280	84.7		4			

## 5. Hasil perhitungan gaya

Perhitungan gaya dilakukan bertujuan mengetahui gaya yang dibutuhkan agar material atau benda kerja dapat terdeformasi dengan baik pada saat dilakukannya proses *upsetting*. Perhitungan gaya dilakukan secara manual menggunakan formula yang telah dicantumkan pada studi literatur. Berikut ini adalah perhitungan gaya proses *upsetting*.

### A. Proses *upsetting*

#### 1. Luas permukaan proyeksi setelah *upsetting*

$$A = \pi r^2 = \pi (3,4)^2 = 36,32 \text{ mm}^2$$

#### 2. Kepala paku

Diketahui:

$$d_o = 4,1 \text{ mm}$$

$$d = 6,8 \text{ mm}$$

$$h = 3 \text{ mm}$$

$$V = 36,32 \text{ mm}^2 \times 3 \text{ mm} = 108,96 \text{ mm}^3$$

$$A_o = \frac{\pi}{4} \times (4,1)^2 = 13,20 \text{ mm}^2$$

$$h_o = \frac{108,96}{13,20} = 8,254 \text{ mm}$$

### 3. Regangan sebenarnya

Diketahui

$$h_o = 8,254 \text{ mm}$$

$$h = 3 \text{ mm}$$

$$\epsilon = \ln\left(\frac{h_o}{h}\right) = \ln\frac{8,254}{3} = 1,012$$

### 4. Flow stress diakhir *upsetting*

Diketahui

$$K = 27,1 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = 1,012$$

$$n = 0,1$$

$$K_{str1} = K \epsilon^n = 27,1 \times 1,012^{0,1} = 27,13 \text{ MPa}$$

### 5. Gaya *upsetting*

Diketahui

$$A = 36,32 \text{ mm}^2$$

$$K_{str1} = 27,13 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,1$$

$$d_1 = 6,8 \text{ mm}$$

$$h_1 = 3 \text{ mm}$$

$$F = A \cdot K_{str1} \left(1 + \frac{1}{3\sqrt{3}} \mu \frac{d_1}{h_1}\right) = F = 36,32 \times 27,13 \times \left(1 + \frac{1}{3\sqrt{3}} 0,1 \frac{6,8}{3}\right) \\ = 1027,73 \text{ N}$$

### 6. Hasil perhitungan energi proses *upsetting*

Perhitungan energi proses *upsetting* merupakan jumlah energi mekanis yang dibutuhkan untuk mereduksi tinggi dan memperbesar diameter suatu benda kerja (biasanya silindris)

melalui pembebanan tekan aksial. Proses ini merupakan salah satu jenis dari proses pembentukan logam secara plastis, di mana material mengalami deformasi tanpa terjadi pemutusan. Hasil perhitungan energi dalam proses *upsetting* menunjukkan seberapa besar energi yang dibutuhkan untuk menyebabkan deformasi plastis pada material. Perhitungan energi dilakukan secara manual. Berikut ini adalah perhitungan energi proses *upsetting*.

$$E = \frac{\sigma_1 + \sigma_0}{2} \Delta\varepsilon \quad (4 - 1)$$

Keterangan:

$\sigma_1$  = nilai tegangan sebenarnya setelah penempaan (MPa)

$\sigma_0$  = nilai tegangan sebenarnya sebelum penempaan (MPa)

$\Delta\varepsilon$  = selisih nilai regangan sebenarnya

$$\sigma_0 = 0$$

$$\sigma_1 = 28,49$$

$$\Delta\varepsilon = 6,8 - 4,1 = 2,7$$

$$E = \frac{\sigma_1 + \sigma_0}{2} \cdot \Delta\varepsilon = \frac{28,49 + 0}{2} \cdot 2,7 = 38,46 \text{ Joule}$$

## 7. Rincian anggaran

Rincian anggaran yang harus disiapkan dalam pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda. Berikut adalah rincian anggaran yang sudah dikeluarkan pada tabel 7.

Tabel 7. Rincian anggaran biaya

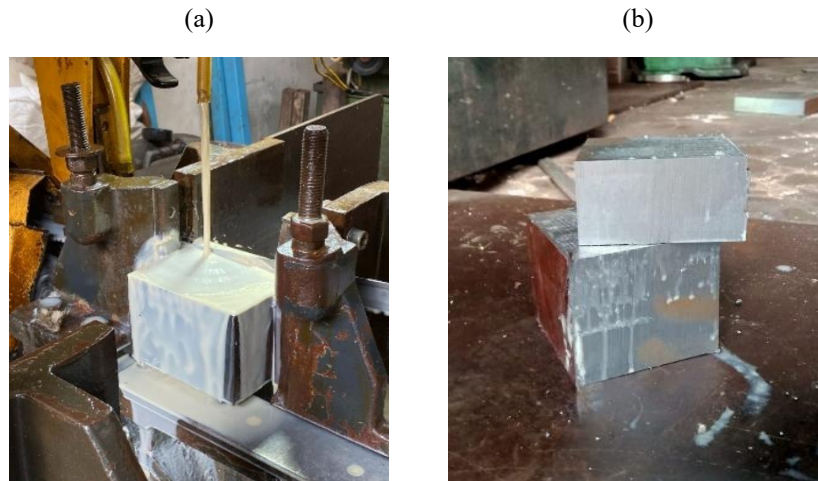
No	Peralatan dan Material	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Jasa Proses <i>Machining CNC</i>	3	Set	875.000	875.000
2	Socket Head Cap Screw M8	2	Pcs	7.182	14.364
3	AISI steel 1045/S45C	3	kg	40.000	120.000
4	Kawat Timah (diameter 4,3 mm)	1,5	kg	111.500	111.500
Total					1.120.864

## 8. Pembuatan prototipe *dies upsetting*

Dari hasil perancangan menggunakan bantuan software dilakukan pembuatan prototipe *dies upsetting* paku tapal kuda. Berikut proses pembuatan *dies upsetting* paku tapal kuda, yaitu:

## 1. Pemotongan material *AISI steel 1045*

Pada proses pemotongan material *AISI steel 1045* dilakukan untuk menyesuaikan dimensi atau ukuran yang telah dirancang. Sebelum tahap pengerjaan pemesinan CNC saat pemotongan ukuran material harus dilebihkan dari ukuran yang telah dirancang sekitar 5-10 mm hal ini bertujuan mengantisipasi pengecilan ukuran pada saat proses pemesinan *CNC face milling*. Berikut gambar-gambar prosesnya:

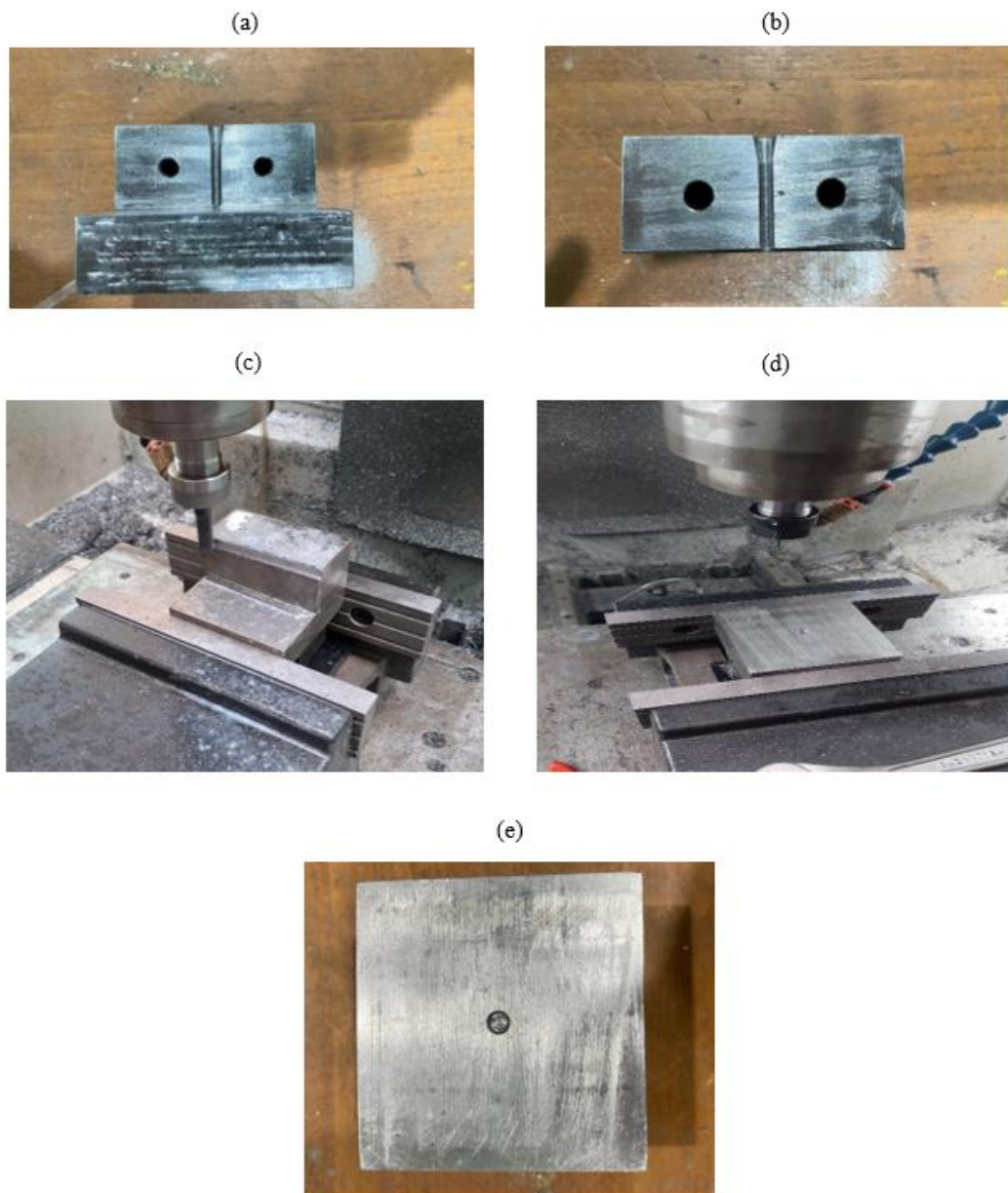


Gambar 27. Proses pemotongan material

Melebihkan ukuran atau dimensi perlukan untuk mencapai dimensi akhir yang diinginkan dan juga memastikan hasil akhir yang presisi sesuai dengan spesifikasi desain. Jika material mentah memiliki dimensi yang terlalu pas dapat menyebabkan hasil pemesinan tidak presisi dan tidak sesuai spesifikasi desain. Pada gambar 27 merupakan proses pemotongan menggunakan mesin *bench saw* dan dari hasil pemotongan material mentah digunakan untuk proses pembuatan prototipe *dies upsetting* paku tapal kuda tahap satu.

## 2. Pembuatan *dies upsetting*

Pembuatan *dies upsetting* menggunakan mesin CNC dilakukan supaya menyesuaikan dengan hasil yang sudah dirancang pada proses pembuatan *dies upsetting* kesejajaran rongga *dies* atas dan rongga *dies* bawah harus dilakukan secara presisi dikarenakan sangat mempengaruhi hasil spesimen pada saat penempaan menggunakan alat *drop hammer* berikut gambar proses pembuatan pada gambar 28



Gambar 28. Proses pembuatan *dies upsetting*

### 9. Pengujian *dies upsetting* paku tapal kuda

Pengujian *dies upsetting* paku tapal kuda bertujuan mengetahui ketahanan *dies* saat proses penempaan dan apakah *dies* tersebut dapat membentuk kawat timah sesuai hasil desain yang telah dibuat ataupun tidak sesuai dengan rancangan produk. Penempaan dilakukan sebanyak 200 kali dan diambil dari hasil terbaik untuk digunakan penempaan tahap 2 dimana jumlah hasil terbaik yang diperoleh sebanyak 175 kali maka untuk tahap 2 penempaan dilakukan sebanyak 175 kali. Berikut tahapan dilakukan pengujian *dies upsetting* untuk pembuatan paku tapal kuda.

## 1. Pengecilan diameter kawat timah menggunakan *wire drawing*

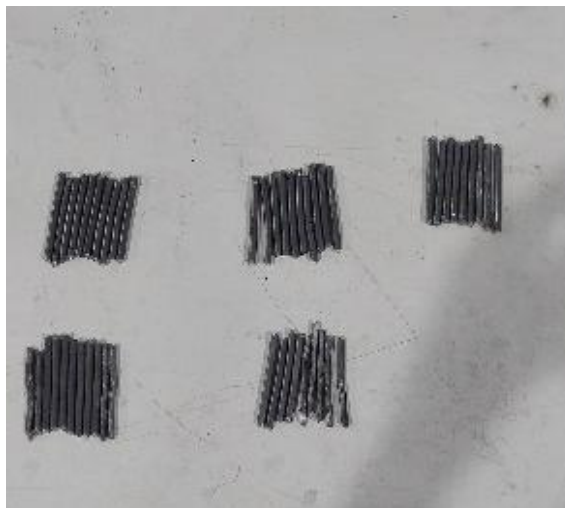
*Wire drawing* berfungsi sebagai alat pengecilan diameter dari sebuah benda untuk menyesuaikan kebutuhan yang diinginkan. Kawat timah 4,3 mm perlu diperkecil diameternya menjadi 4,1 mm supaya spesimen kawat dapat diuji saat penempaan.



Gambar 29. Proses pengecilan benda kerja menggunakan *wire drawing*

## 2. Pemotongan kawat

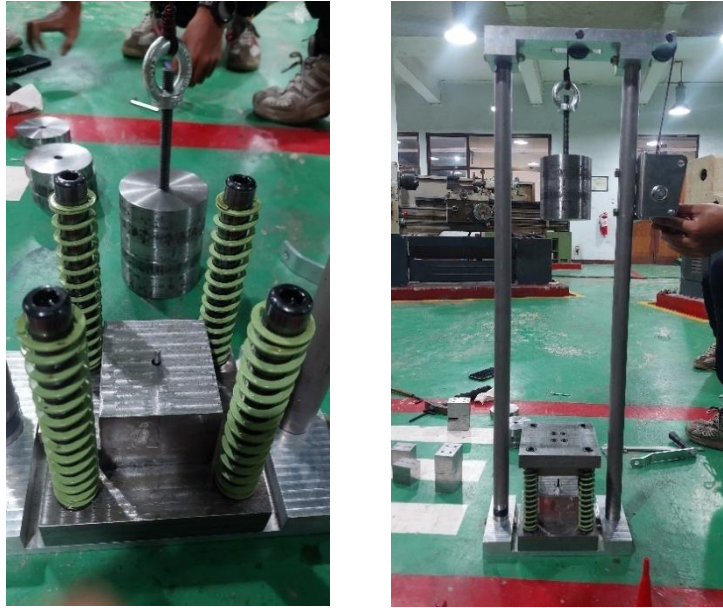
Pemotongan kawat timah menggunakan tang pemotong kawat bertujuan untuk mencapai ukuran spesimen paku sesuai standar ukuran yang dibutuhkan pada saat penempaan yaitu 45,3 mm berikut proses pemotongan kawat pada gambar 30



Gambar 30. Hasil pemotongan kawat berukuran 45,3 mm

### 3. Pengujian *dies upsetting*

Pengujian *dies* penelitian ini menggunakan alat *drop hammer* untuk membentuk kepala paku yang dimana spesimen kawat diletakan pada rongga cetakan bawah. Pengujian penempaan *dies* dilakukan secara bertahap untuk ketinggian dan beban berikut proses pengujian *dies* pada gambar 31 dan 32



Gambar 31. Pemasangan alat *drop hammer* dan *dies upsetting*



Gambar 32. Proses pengujian

Pengujian yang dilakukan pada tahap 1 proses pembuatan paku tapal kuda membutuhkan gaya sebesar 1.027, 73 N (Perhitungan) dan langkah kerja yang dibutuhkan sebesar 40 mm. Pada kenyataannya di lapangan penempaan yang dilakukan dengan alat *drop hammer* menggunakan beban sebesar 8 kg pada ketinggian 40 cm 1 kali penjatuhan beban (*hammer*). Langkah kerja yang diperoleh di lapangan sebesar 47,91 mm. Berikut adalah hasil dari penempaan tahap 1 proses pembentukan paku tapal kuda.

### 10. Hasil analisis setelah penempaan paku kuda proses *upsetting*

Hasil analisa penempaan proses *upsetting* dilakukan sebanyak 200 kali pengujian. Dari penempaan tersebut memiliki beberapa kriteria. Berikut kriteria analisa pada tabel 6

Tabel 8. Hasil analisis

<b>Hasil Pengujian</b>			
<b>Nilai</b>	<b>Kriteria</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Persentase</b>
<b>1</b>	<b>Tinggi 36,2 mm, kepala dari spesimen terbentuk dengan sempurna sesuai dengan cetakan</b>	<b>175</b>	<b>87,5%</b>
<b>0,75</b>	<b>Tinggi mendekati 36,2 mm, kepala dari spesimen terbentuk namun terdapat ketidak sesuaian sekitar seperempat dari bentuk cetakan</b>	<b>25</b>	<b>12,50%</b>
<b>0,50</b>	<b>Tinggi mendekati 36,2 mm, kepala dari spesimen terbentuk namun terdapat ketidak sesuaian sekitar setengah dari bentuk cetakan</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>
<b>0,25</b>	<b>Tinggi tidak mendekati dan kepala dari spesimen terbentuk hanya seperempat dari bentuk cetakan</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>

Kriteria nilai 0,25 memiliki beberapa pengertian diantaranya:

- a) Benda kerja permukaannya tidak rata dan lurus
- b) Terjadi lonjakan dari rangka drop hammer saat proses penempaan
- c) Benda kerja awal tidak sesuai dengan rancangan sehingga aliran material dapat terjadi sisa (*flash*) dan pembentukan kepala paku tidak sesuai dengan rancangan

Berikut gambar masing masing kriteria dari hasil analisis penempaan:



Gambar 33. Benda kerja kriteria nilai 1



Gambar 34. Benda kerja kriteria nilai 0,75

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

### **1. Kesimpulan**

Pengujian *dies upsetting* dilakukan sebanyak 200 kali. Untuk membentuk spesimen dibutuhkan gaya sebesar 1.027 N. Penempaan dilakukan menggunakan alat *drop hammer* dengan memberikan beban *hammer* sebesar 8 kg dengan ketinggian 40 cm. Pada pengujian tersebut panjang awal kawat atau benda kerja 45.3 mm, dan benda kerja yang berhasil ditempa memiliki panjang akhir 36.2 mm. Dari 200 kali pengujian, sebanyak 175 benda kerja terbentuk dengan sempurna atau memiliki nilai 1. Dengan demikian persentase keberhasilan *dies* dalam proses *upsetting* sebesar 87.5%.

### **2. Saran**

Penempatan dan pengambilan benda kerja dilakukan dengan cara melonggarkan dua buah baut pada *dies* bawah sehingga prosesnya tidak praktis. Maka dari itu perlu dirancang metode pin *ejector* pada bagian *dies* bawah sehingga benda kerja dapat langsung terlontarkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munawar Alfansury and W. Septiawan, “Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 137–143, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>
- [2] M. S. Permana, G. Santoso, and B. Heru, “Pengembangan Metode Proses Manufaktur dan Pemilihan Material Ladam & Paku Untuk Kuda Pacu dan Ketangkasan Berkuda,” *Univ. Pas.*, vol. 0030105601, pp. 1–54, 2017.
- [3] T. Altan and G. Ngaile, *Cold and Hot Forging*. 2005. doi: 10.31399/asm.tb.chffa.9781627083003.
- [4] B. A. Santoso and F. X. Suryadi, “Pengaruh Jenis *Forming* Terhadap Struktur Kristal dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Rendah Tipe MR,” vol. 03, no. 02, pp. 86–94, 2023.
- [5] A. R. Jo, M. S. Jeong, S. K. Lee, Y. H. Moon, and S. K. Hwang, “Multi-stage cold forging process for manufacturing a high- strength one-body input shaft,” *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 3, pp. 1–14, 2021, doi: 10.3390/ma14030532.
- [6] M. R. Hawryluk *et al.*, “Analysis and Improvement of an Industrial Process of Hot Die Forging of an Elongated Forging Tipped with a Joggle with the Use of Numerical Simulation Results,” *Adv. Sci. Technol. Res. J.*, vol. 17, no. 2, pp. 192–205, 2023, doi: 10.12913/22998624/162158.
- [7] Schuler (c) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, *Metal Forming Handbook*, no. c. 1998. doi: 10.1007/978-3-642-58857-0.
- [8] Groover and M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing Material, Processes, and Systems*. 2013.

## LAMPIRAN

### 1. Hasil perhitungan gaya proses *upsetting*

Perhitungan gaya proses *upsetting* merupakan proses deformasi plastis di mana benda kerja ditekan secara aksial sehingga panjangnya berkurang dan diameternya bertambah. Pada penelitian ini pertemuan antara *dies* dan benda kerja diperlukan perhitungan yang teliti supaya mendapatkan hasil pembentukan yang dicapai terutama pada gaya penempaan pada proses *upsetting* dengan menggunakan formula yang telah dijelaskan pada studi literatur dapat dilihat pada tabel 9 hasil dari gaya yang dibutuhkan pada saat penempaan saat proses *upsetting*.

Tabel 9. Gaya proses *upsetting*

No	Tahapan Proses	Gaya (N)
1	Proses <i>Upsetting</i> tahap 1	1.027,73 N

### 2. Hasil perhitungan energi proses *upsetting*

Perhitungan energi proses *upsetting* merupakan evaluasi kuantitatif terhadap jumlah energi mekanis yang dibutuhkan untuk melakukan deformasi plastis pada material selama suatu proses manufaktur. Analisis ini penting untuk menentukan efisiensi energi, meminimalkan kehilangan energi, serta mengoptimalkan parameter proses guna mencapai hasil pembentukan yang optimal. Dapat dilihat pada tabel 10 hasil dari energi yang dibutuhkan pada saat proses *upsetting*.

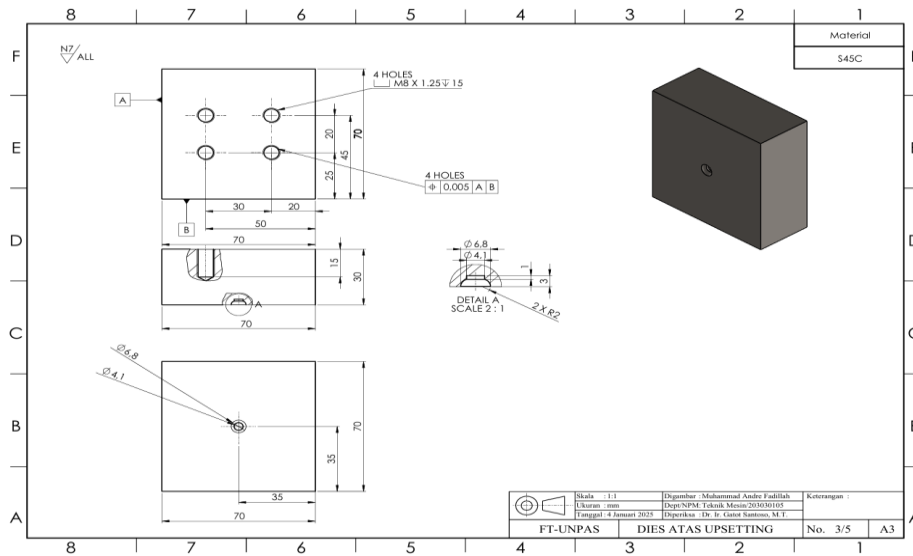
Tabel 10. Energi proses *upsetting*

No	Tahapan Proses	Joule (N)
1	Proses <i>Upsetting</i> tahap 1	38,46 J

### 3. Gambar teknik

#### A. *Dies* atas *upsetting*

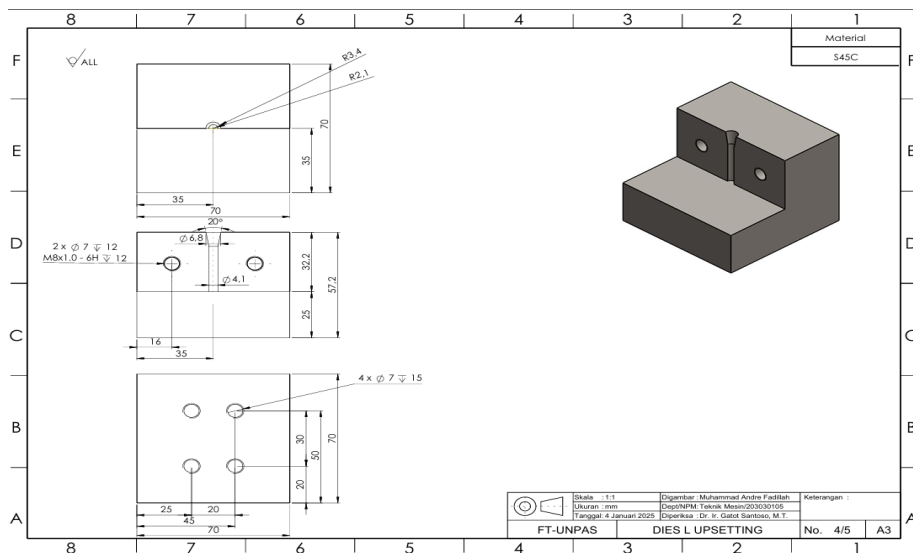
*Dies* atas *upsetting* merupakan komponen untuk menempa benda kerja secara aksial dan *dies* atas ini akan bertumbukan dengan *dies* bawah untuk proses pembentukan kepala paku tapal kuda dapat dilihat pada gambar 35 rinci pengukuran dimensi untuk pembentukan komponennya.



Gambar 35. Dies atas upsetting

### B. Dies bawah huruf L upsetting

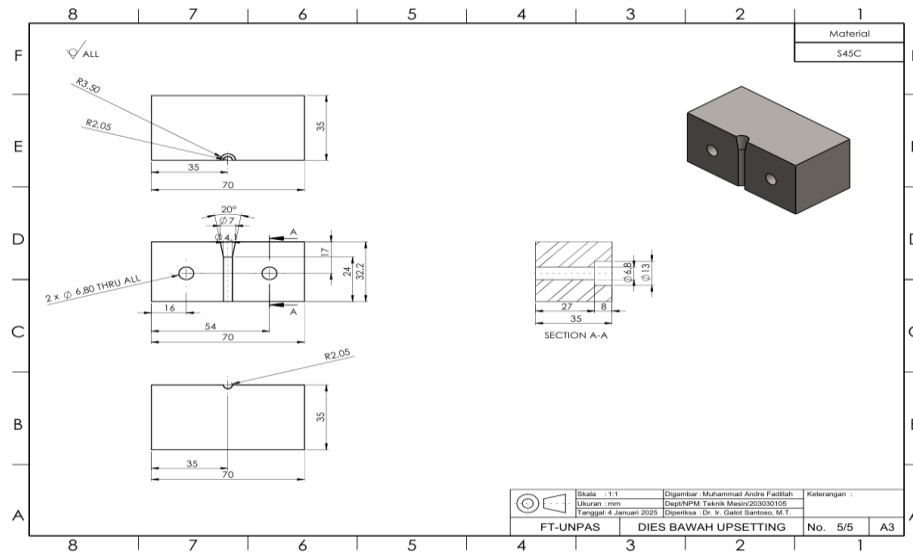
Dies bawah huruf L merupakan dies yang berfungsi sebagai pengikat dengan cover dies dan mempunyai dua lubang ulir di bagian badan dan dibagian bawah dan juga berfungsi menopang benda kerja sebelum proses penempaan upsetting dapat dilihat pada gambar 36 rinci pengukuran dimensi untuk pembentukan komponennya.



Gambar 36. Dies bawah huruf L

### C. Dies bawah upsetting

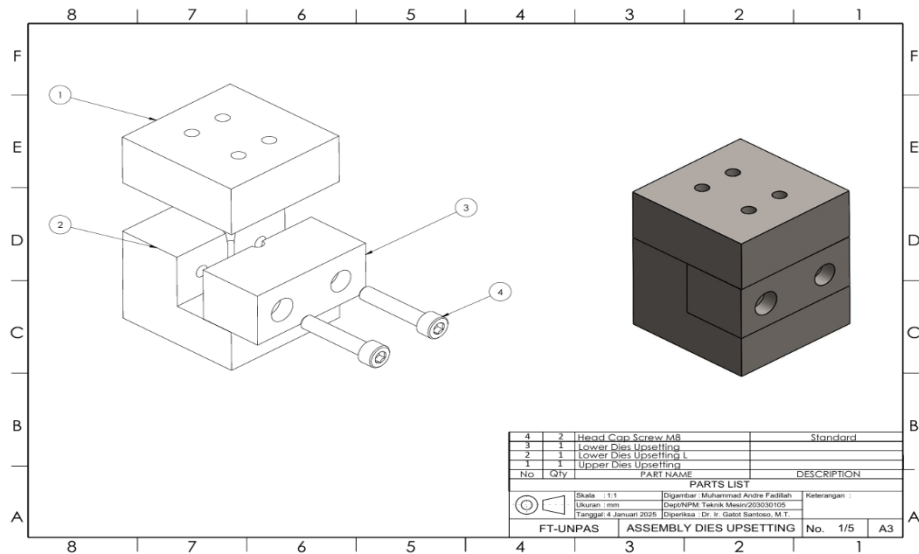
*Dies* bawah *upsetting* berfungsi sebagai pasangan dengan dies bawah L yang akan mencengkram benda kerja sebelum proses penempaan dan *dies* ini diletakan dengan *dies* L dapat dilihat pada gambar 37 rinci pengukuran dimensi untuk pembentukan komponennya.



Gambar 37. Dies bawah *upsetting*

### D. Assembly dies upsetting

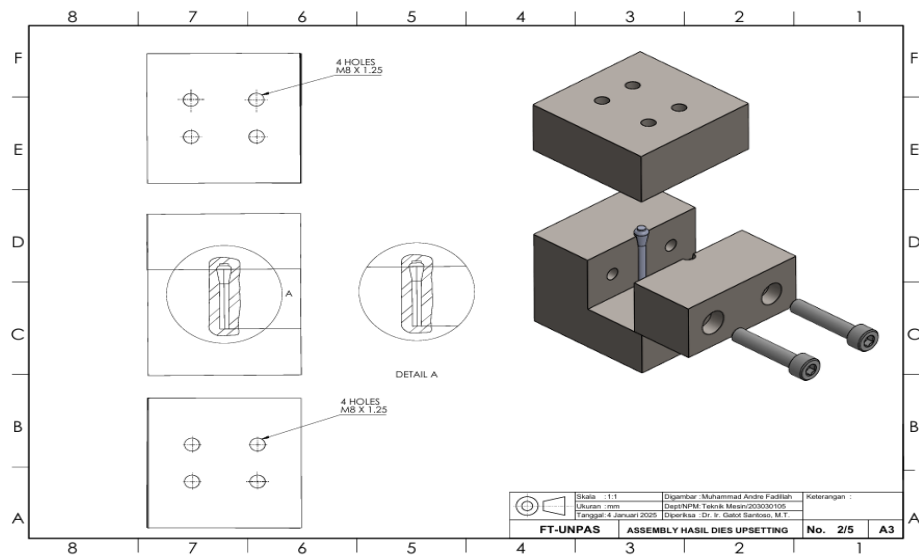
*Assembly dies upsetting* pembentukan paku tapal kuda tahap 1 merupakan penyatuan komponen untuk pembentukan paku tapal kuda. mempunyai empat komponen yaitu *dies* atas, *dies* bawah berbentuk huruf L dan *dies* bawah berbentuk persegi panjang dan juga ada komponen baut yang berukuran M8 yang berfungsi sebagai pengikat antara *dies* bawah huruf L dan *dies* bawah berbentuk persegi panjang. Berikut gambarnya



Gambar 38. Desain *assembly dies upsetting*

### E. *Assembly hasil upsetting*

*Assembly* hasil *upsetting* dijelaskan penyatuan komponen dan benda kerja setelah melewati proses penempaan dan gambar tersebut menunjukkan benda kerja mempunyai kepala dan luas penampangnya bertambah dan badan dari paku tidak ikut terbentuk. Berikut gambarnya



Gambar 39. Desain *dies upsetting* dan hasil pembentukan paku tahap 1

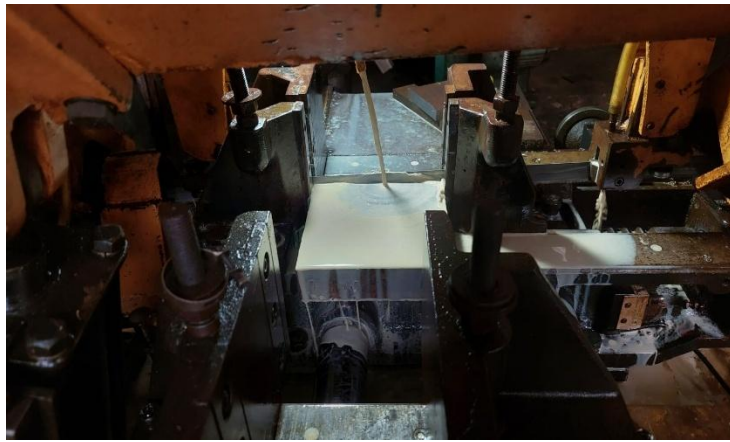
## 4. Dokumentasi

Dokumentasi proses mulai dari material mentah menjadi material yang digunakan untuk membuat *dies* paku kuda tahap 1. Material yang digunakan yaitu *AISI steel 1045*/baja

S45C. Ukuran material mentah perlu dilebihkan 5-8 mm untuk dilakukan proses *machining CNC milling*.

1. Pemotongan material mentah

Pemotongan material mentah bertujuan untuk mengurangi ukuran untuk menyesuaikan dengan hasil desain yang telah dibuat. Pada proses pemotongan material mentah ini menggunakan bantuan mesin *bench saw*. Berikut gambar 40 dan 41 merupakan proses dan hasil dari pemotongan material mentah



Gambar 40. Pemotongan *AISI steel 1045* menggunakan *bench saw*



Gambar 41. Hasil pemotongan

## 2. Alat *drop hammer*

Alat *drop hammer* yang digunakan untuk pengujian perencanaan proses pembuatan paku tapal kuda tahap 1. Dimana nanti hasil produk dari setiap prosesnya dihitung persentase keberhasilannya. Pada setiap kegagalannya dianalisis faktor apa saja yang menyebabkan hasil produk tidak sesuai. Alat ini memiliki beban minimum 2 kg dan beban maksimum 10 kg. Ketinggian jatuh maksimum alat ini 45 cm dan jarak kerja sebesar 47,9 mm. Ruang kerja pada rangka *dies* sebesar 80 x 80 x 138,7 mm yang dimana hasil dimensi tersebut mengikuti acuan dari *dies upsetting* bertujuan agar ada ruang untuk memasang *dies* ke alat *drop hammer*. berikut gambar 42 menunjukkan alat *drop hammer*



Gambar 42. Alat *drop hammer*

## 3. Hasil penempaan benda kerja tahap 1 hingga 6

Hasil penempaan dari tahap 1 hingga tahap 6. Pada setiap tahapannya memiliki perubahan bentuk dan geometri yang sangat signifikan. Namun, terdapat kekurangan pada hasil tahapan ke 6 pada proses pembentukan paku tapal kuda. Penyebab utamanya yaitu dari

*cavity dies* itu sendiri dimana hasil dari pemesinan CNC *milling* tidak dapat menjangkau dimensi yang dibutuhkan pada *dies* tahap 6. Proses pemesinan yang cocok untuk manufaktur *dies* tahap 6 pada proses pembentukan paku tapal kuda yaitu dengan proses EDM (*Electrical discharge machining*). Berikut gambar 43 - 45 hasil penempaan benda kerja



Gambar 43. Hasil penempaan dari tahap 1 hingga tahap 6

Gambar dibawah ini menunjukkan hasil dari tahap 3 proses pembentukan paku tapal kuda. *Dies* yang digunakan yaitu dari hasil penelitian sebelumnya dan dimodifikasi. Modifikasi dilakukan agar kepala dari paku tidak ikut terbentuk.



Gambar 44. Hasil penempaan proses pembentukan paku tapal kuda tahap 3

Gambar dibawah ini menunjukkan hasil dari tahap 4 proses pembentukan paku tapal kuda. *Dies* yang digunakan yaitu dari hasil penelitian sebelumnya dan dimodifikasi. Modifikasi dilakukan agar kepala dari paku tidak ikut terbentuk.



Gambar 45. Hasil penempaan pada proses pembentukan paku tapal kuda tahap 4