

**Perancangan *dies forging* tahap lima pada proses pembentukan
paku tapal kuda**

***Dies forging design stage five in the process of forming horseshoe
nails***

SKRIPSI

**Oleh:
Nama: Ahmad Wijaya
NPM: 193030009**



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Ahmad Wijaya

Nomor Pokok Mahasiswa : 193030009

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 plagiarisme.

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

Bandung, 24 Januari 2025

Penulis,



Ahmad Wijaya

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

N a m a : Ahmad Wijaya
NPM : 193030009
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:

Perancangan *dies forging* tahap lima pada proses pembentukan 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, 24 Januari 2025

Yang menyatakan,



Ahmad Wijaya

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Perancangan *dies forging* tahap lima pada proses pembentukan paku tapal kuda



Nama : Ahmad Wijaya
NPM : 193030009

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Perancangan *dies forging* tahap lima pada proses pembentukan paku tapal kuda



Nama : Ahmad Wijaya
NPM : 193030009

Tanggal sidang skripsi: 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

Puji dan syukur panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala tuhan yang maha esa berkat rahmat, hidayah, karunia-Nya kepada kita semua sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi dengan judul **“Perancangan *dies forging* tahap lima pada proses pembentukan paku tapal kuda”** salawat serta salam terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

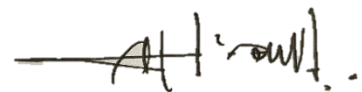
Pada saat ini, Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah memberikan dukungan baik dari segi semangat maupun materi, sehingga laporan skripsi ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih ini ditujukan kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.
2. Bapak Dr. Ir. Gatot Santoso, M.T. sebagai pembimbing utama Skripsi, telah memberikan bimbingan dan pengetahuan yang berguna dalam menuntaskan laporan ini.
3. Bapak Dr. Ir. Ade Bagdja, MME. Sebagai pembimbing pendamping Skripsi, saya telah diberikan bimbingan dan pengetahuan yang bermanfaat dalam proses penyelesaian laporan ini.
4. Kedua orang tua yang tak henti-hentinya mendo'akan dan memberikan dorongan semangat kepada Penulis untuk menyelesaikan laporan ini.
5. Keluarga Teknik Mesin 2019 yang telah memberikan motivasi dan saling mengingatkan untuk menyelesaikan laporan.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi 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 skripsi ini, atas perhatian dan masukannya, penulis ucapkan terima kasih.

Bandung, 22 Februari 2025

Penulis,



Ahmad Wijaya

NPM: 193030009

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	IX
DAFTAR TABEL	XI
ABSTRAK	XII
<i>ABSTRACT</i>	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang.....	1
2. Rumusan masalah.....	1
3. Tujuan	2
4. Manfaat	2
5. Lingkup masalah	2
6. Sistematika penulisan.....	2
BAB II STUDI LITERATUR	4
1. Paku tapal kuda	4
2. Pengertian tempa (<i>forging</i>).....	5
A. <i>Open dies forging</i>	6
B. <i>Impression dies forging</i>	8
C. <i>Flashless forging</i>	9

3. <i>Forging</i>	9
4. <i>Draft angle</i>	10
5. Pemilihan material dan proses.....	10
A. Material <i>dies</i> paku tapal kuda.....	11
B. Material paku tapal kuda	12
C. Proses manufaktur pada proses perancangan <i>dies</i> paku tapal kuda.....	13
BAB III METODOLOGI	14
1. Tahapan penelitian	14
2. Jadwal kegiatan	18
3. Tempat penelitian.....	19
4. Peralatan dan material yang digunakan.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
1. Penjelasan <i>dies forging</i> tahap lima.....	20
2. Hasil perhitungan gaya tahap lima	20
3. Perhitungan gaya <i>forging</i> tahap lima	21
4. Gambar teknik paku tapal kuda tahap empat	22
5. Gambar teknik <i>dies</i>	23
6. Rincian anggaran.....	28
7. Pembuatan prototipe <i>dies</i>	28
A. Pemotongan baja karbon menengah S45C	28
B. Proses pembuatan <i>dies</i>	29
8. Pengujian <i>dies</i> paku tapal kuda	30
A. Wire <i>drawing</i> dan pemotongan kawat timah.....	30
B. Pengujian <i>dies forging</i>	31
C. Hasil analisis pada hasil penempaan	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	35
1. Kesimpulan	35

2. Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN.....	39
1. Tabel hasil perhitungan	39
2. Gambar teknik.....	39
3. Dokumentasi	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tahapan proses pembuatan paku tapal kuda lokal	1
Gambar 2. Paku tapal kuda	4
Gambar 3. Standar paku tapal kuda	5
Gambar 4. <i>Ideal forging</i>	6
Gambar 5. <i>Forging</i>	7
Gambar 6. <i>Open dies forging</i>	8
Gambar 7. <i>Impression dies forging</i>	9
Gambar 8. <i>Draft angle</i>	10
Gambar 9. <i>Up milling</i> dan <i>down milling</i>	13
Gambar 10. <i>Slab milling</i> dan <i>face milling</i>	13
Gambar 11. Diagram alir tahapan penelitian	14
Gambar 12. Paku tahap pertama	15
Gambar 13. Paku tahap dua	16
Gambar 14. Paku tahap tiga	16
Gambar 15. Paku tahap empat	16
Gambar 16. Paku tahap lima	17
Gambar 17. Paku tahap enam	17
Gambar 18. Paku tahap tujuh.....	17
Gambar 19. Tempat kegiatan.....	19
Gambar 20. Sketsa paku tahap 4 dan 5	20
Gambar 21. Paku tahap empat	22
Gambar 22. Paku kuda tahap lima	23
Gambar 23. Assembly dies tahap lima.....	23
Gambar 24. <i>Assembly forging</i> tahap lima (sesudah).....	24
Gambar 25. <i>Forging</i> tahap lima (hasil <i>forging</i>)	25
Gambar 26. <i>Dies</i> dies tahap lima	26
Gambar 27. Dies bawah tahap lima	27
Gambar 28. Material mentah baja.....	28
Gambar 29. Pemotongan baja.	29
Gambar 30. Hasil pemotongan material awal pemesinan.....	29
Gambar 31. Proses manufaktur <i>dies</i> tahap lima.....	30
Gambar 32. Hasil proses pemesinan <i>dies</i> tahap lima.....	30
Gambar 33. Proses wire drawing dan pemotongan kawat	31

Gambar 34. Benda kerja tahap lima paku tapal kuda (<i>trimming</i>)	31
Gambar 35. Penempaan menggunakan <i>drop hammer</i>	32
Gambar 36. Benda kerja sebelum penempaan	32
Gambar 37. Benda kerja sesudah penempaan.....	32
Gambar 38. Hasil penempaan tahap lima paku tapal kuda	33
Gambar 39. Hasil penempaan kriteria nilai 1.....	34
Gambar 40. Hasil penempaan kriteria nilai 0,75.....	34
Gambar 41. <i>Assembly dies</i> tahap lima	39
Gambar 42. <i>Assembly forging</i> tahap lima (sesudah).....	40
Gambar 43. <i>Forging</i> tahap lima (hasil <i>forging</i>).....	41
Gambar 44. <i>Dies</i> atas tahap lima	42
Gambar 45. <i>Dies</i> bawah tahap lima	43
Gambar 46. Material mentah baja.....	44
Gambar 47. Pemotongan baja	44
Gambar 48. Hasil pemotongan material awal pemesinan.....	45
Gambar 49. Alat <i>drop hammer</i>	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis baja perkakas untuk dies	12
Tabel 2. Jadwal kegiatan.....	18
Tabel 3. Peralatan dan material yang digunakan.	19
Tabel 4. Rincian anggaran biaya.....	28
Tabel 5. Tabel kriteria nilai tahap lima	33

ABSTRAK

Paku tapal kuda adalah sebuah logam berujung runcing biasanya terbuat dari material baja untuk meletakkan sepatu kuda/ logam pada kuku kaki kuda agar tapal kuda tetap melekat dan tidak terlepas. Para konsumen lebih memilih membeli paku tapal kuda import daripada paku tapal kuda produk lokal. Paku tapal kuda lokal kalah bersaing dikarenakan proses manufaktur yang dilakukan menggunakan proses konvensional dan kualitas yang masih jauh dari standar paku tapal kuda import. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis merumuskan masalah utama yaitu kalahnya persaingan antara produk paku tapal kuda lokal dengan paku tapal kuda import. Penelitian ini membahas tentang Perancangan dies forging tahap lima pada proses pembentukan paku tapal kuda yang bertujuan agar produk paku tapal kuda yang dihasilkan sesuai dengan standar khususnya untuk kuda pacu serta dalam hal kualitas dan harga. Dies yang akan dibuat menggunakan material baja perkakas atau *tool steel* AISI D2 sedangkan rangka dies terbuat dari material baja karbon menengah yaitu S45C. Tahapan yang telah dilakukan yaitu perancangan proses bentuk paku tapal kuda, pembuatan desain dies paku tapal kuda menggunakan solidworks, menghitung gaya yang diperlukan untuk mendeformasi material paku tapal kuda dalam proses forging, dan membuat prototipe *dies* paku tapal kuda. Material paku tapal kuda menggunakan material kawat timah (Pb). Gaya yang dibutuhkan dies sebesar 701,25 N. Presentase tingkat keberhasilan hasil forging sebesar 92,08% (93 dari 101 kali penempaan).

Kata kunci: dies, forging, paku tapal kuda.

ABSTRACT

A Horseshoe nails are a horseshoe nail pointed metal usually made of steel material to place horseshoes/metal on the hooves of horses so that the horseshoe remains attached and does not come off. Consumers prefer to buy imported horseshoe nails rather than local horseshoe nails. Local horseshoe nails are less competitive because the manufacturing process is carried out using conventional processes and the quality is still far from the standard of imported horseshoe nails. Based on this background, the author formulates the main problem, namely the loss of competition between local horseshoe nail products and imported horseshoe nails. This study discusses the Design of stage five forging dies in the horseshoe nail forming process which aims to ensure that the horseshoe nail products produced are in accordance with standards, especially for racehorses and in terms of quality and price. The dies to be made use AISI D2 tool steel material while the die frame is made of medium carbon steel material, namely S45C. The stages that have been carried out are designing the horseshoe nail shape process, creating a horseshoe nail die design using solidworks, calculating the force required to deform the horseshoe nail material in the forging process, and creating a horseshoe nail die prototype. The horseshoe nail material uses tin wire (Pb) material. The force required by the dies is 701.25 N. The percentage of success rate of forging results is 92.08% (93 out of 101 forging times)

Keywords: dies, forging, horseshoe nails.

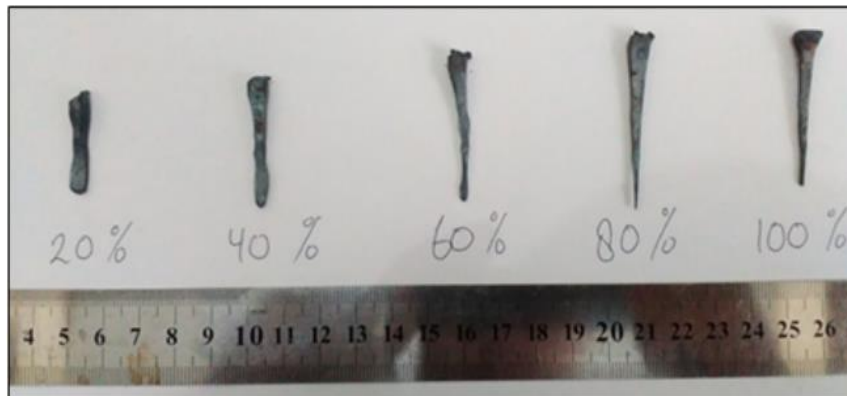
BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Paku tapal kuda adalah paku khusus yang digunakan untuk menempelkan tapal pada kaki kuda, material paku tapal kuda terbuat dari baja karbon rendah. Paku tapal kuda merupakan komponen penting dalam dunia berkuda, karena paku ini dipasang pada bagian bawah kaki atau sepatu kuda untuk memberikan cengkraman, stabilitas, dan perlindungan ketika kuda sedang berlari, berjalan dan bekerja.

Paku tapal kuda adalah sebuah logam berujung runcing biasanya terbuat dari material baja untuk melekatkan tapal pada kuku kaki kuda agar tapal kuda tetap melekat dan tidak terlepas. Paku tapal kuda lokal kalah bersaing dikarenakan proses manufaktur yang dilakukan menggunakan proses konvensional kualitas yang masih jauh dari standar paku tapal kuda *import* khususnya Australia dan Swedia.

Proses pembuatan paku tapal kuda lokal masih menggunakan alat-alat yang tradisional. Prosesnya memakan waktu yang sangat panjang dan kualitasnya yang jauh dari standar paku tapal kuda *import*. Berikut adalah gambar tahapan proses pembuatan untuk paku tapal kuda lokal [1].



Gambar 1. Tahapan proses pembuatan paku tapal kuda.

Untuk meningkatkan kualitas paku tapal kuda dalam negeri yang sesuai standar kuda pacu, diperlukan pengetahuan untuk meningkatkan mutu serta kualitas produk yang dapat bersaing dengan produk *import*.

2. Rumusan masalah

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

- a. Bagaimana perancangan dan pembuatan *dies forging* pada operasi tahap lima pembentukan paku tapal kuda,
- b. Bagaimana proses pembentukan paku tapal kuda pada *dies forging* dari operasi tahap lima.

3. Tujuan

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

- a. Merancang dan manufaktur *dies forging* pada tahapan proses paku tapal kuda.
- b. Menguji prototipe *dies forging* paku tapal kuda yang telah dibuat.

4. Manfaat

Dari penelitian ini diperoleh manfaat yaitu sebagai berikut:

- a. Penelitian ini dapat menjadi pengganti metode pembuatan paku tapal kuda bagi pengrajin lokal dalam negeri, dan
- b. Penelitian ini membantu meningkatkan kualitas paku tapal kuda lokal.

5. Lingkup masalah

Batasan masalah yang dilakukan dalam penelitian rancangan ini adalah:

- a. Merancang dan membuat prototipe dari *dies forging* pada operasi pembentukan paku tapal kuda tahapan lima, dan
- b. Untuk pembuktian dari fungsi kerja *dies* yang dirancang, pembuatan *dies* menggunakan material *dies* menggunakan Baja S45C dan material paku menggunakan kawat timah (*lead wire*) dengan diameter awal 4 mm dan panjang 45 mm.

6. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan proposal usulan penelitian terdiri atas 4 (empat) bab dan daftar Pustaka yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisi tentang teori-teori dasar pada penelitian.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi table hasil dan pembahasan beserta perhitungan anggaran biaya yang digunakan untuk tugas akhir.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran pada penelitian

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

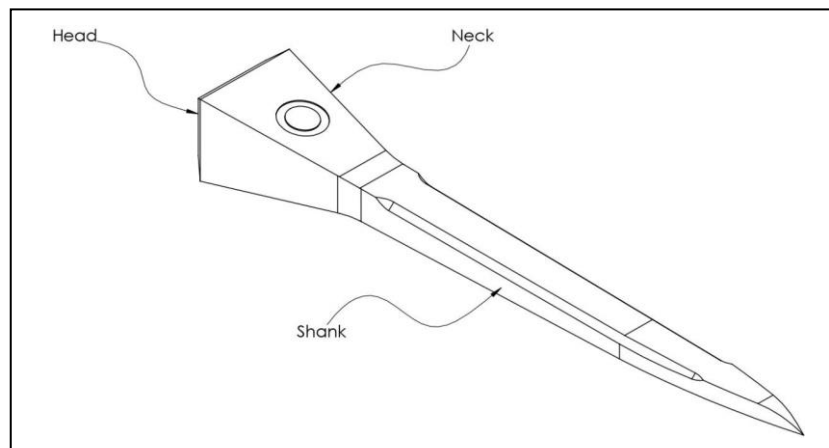
BAB II STUDI LITERATUR

1. Paku Tapal Kuda

Paku tapal kuda adalah paku khusus yang digunakan untuk menempelkan ladam atau tapal kuda pada kaki kuda. Material yang digunakan terbuat dari baja karbon rendah. Paku tapal kuda merupakan komponen penting karena memberikan cengkraman, stabilitas, dan perlindungan pada kaki kuda.

Paku tapal kuda biasanya terbuat dari material yang kuat dan relatif tahan aus. Secara geometrik paku tapal kuda memiliki ujung yang runcing dan bengkok untuk menembus berbagai kuku kuda.

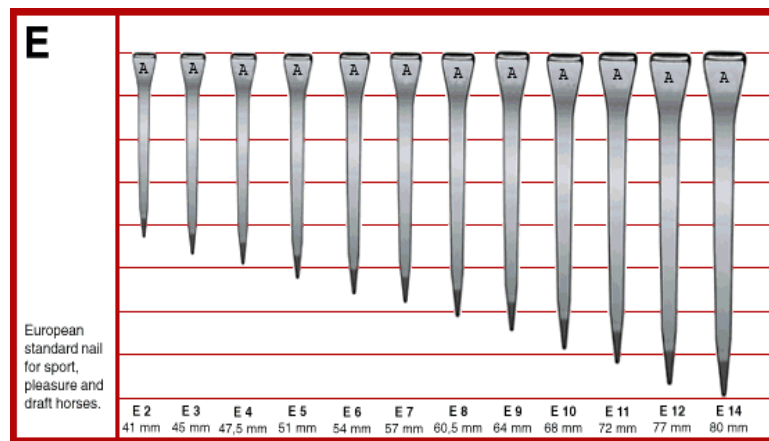
Paku tapal kuda memiliki bagian- bagian: badan (*shank*), leher (*neck*), dan kepala (*head*) seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Bentuk dan ukuran paku ladam kuda dapat bervariasi dari E2-E14 Gambar 2.



Gambar 2. Paku tapal kuda [11].

Kepala paku tapal kuda harus cukup kecil sehingga dapat masuk dengan sempurna pada lubang yang dibuat pada tapal kuda, juga kepala paku tidak menonjol ke luar dari tapal. Apabila terjadi ketidaksesuaian antara kepala paku dan lubang pada tapal kuda, maka pada saat kuda melangkah akan terjadi gesekan yang besar dan dapat menarik paku lepas atau bengkok. Hal tersebut dapat melukai kuku kuda. Bagian leher pada paku tapal kuda harus mempunyai lebar yang tepat dan berbentuk baji sehingga mudah menembus kuku kuda. Bagian badan harus cukup panjang tetapi tidak sampai melukai bagian dalam dari kuku kuda dan apabila dipasang harus berbelok ke arah luar kuku.

Jarak antara lubang paku bagian dalam dengan bagian luar tapal kuda bervariasi tergantung lebar *wall* dari kuku kuda yang akan dipasang tapal kuda. Ukuran paku tidak sama, paku pada bagian *toe* lebih besar daripada paku bagian *heels*. Faktor lain yang harus diperhatikan pada lubang paku pada tapal kuda adalah tebal tapal kuda. Apabila lubang paku terletak terlalu keluar maka akan menyebabkan ujung paku menembus dinding kuku (*wall*) tetapi jika lubang terlalu dalam maka akan melukai bagian dalam dari kuku kuda. Penempatan yang tepat disesuaikan dengan berat kuda dan tebal kuku kuda. Hal tersebutlah yang menjadi acuan dibentuknya standar paku tapal kuda [2].



Gambar 3. Standar paku tapal kuda [11].

2. Pengertian tempa (*forging*)

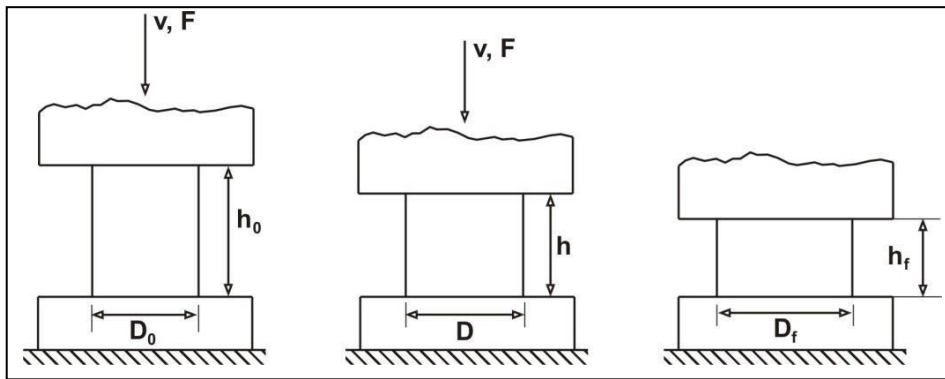
Tempa atau *forging* adalah proses merubah bentuk bahan dengan cara menekannya menggunakan dua cetakan. Pembentukan bisa dipercepat dengan gaya penekanan yang bertambah secara perlahan. Cara kerja proses tempa adalah dengan menggunakan tekanan untuk membentuk material benda kerja hingga menjadi produk yang diinginkan.

Penampaan (*forging*) digunakan untuk membentuk logam dengan menerapkan gaya tekan agar logam tersebut dapat diubah bentuk atau ukurannya. Proses tempa dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu pengerjaan dingin (*cold working*) dan pengerjaan panas (*hot working*).

Berdasarkan seberapa cepat benda kerja berubah bentuk karena gaya yang diterapkan, mesin perkakas untuk proses *forging* dapat dibagi menjadi dua jenis: *Forging press* dengan laju deformasi yang lebih lambat, dan *forging hammer* dengan laju deformasi yang lebih cepat. Berdasarkan tingkat kebebasan aliran material saat proses deformasi dilakukan, teknik *forging* dapat dibagi menjadi tiga, diantaranya *open die forging*, *impression die forging*, dan *flashless forging* [3].

A. *Open dies forging*

Pada proses *open dies forging*, benda kerja ditekan dengan menggunakan penekan yang mempunyai permukaan rata. Selama proses penekanan, material benda kerja bebas mengalir ke arah tegak lurus dengan penekanan. Jika *open dies forging* dilakukan pada kondisi yang *ideal* (tidak ada gesekan pada permukaan *dies* dengan permukaan benda kerja), maka deformasi material pada arah tegak lurus arah penekanan akan seragam di setiap posisi tertentu pada ketinggian benda kerja [4]. Regangan sebenarnya yang dialami oleh benda kerja selama penekanan adalah:



Gambar 4. *Ideal Forging* [12]

$$\epsilon = \ln\left(\frac{h_0}{h}\right) \quad (2.1) [5]$$

Keterangan:

ϵ : Regangan sebenarnya (MPa)

h_0 : Tinggi awal benda (cm)

h : Tinggi benda saat ditekan (cm)

Gaya yang untuk mendeformasi material pada saat proses *open dies forging* adalah:

$$F = \sigma \cdot A \quad (2.2) [5]$$

Keterangan:

F : Gaya yang diperlukan untuk mendeformasi material (N)

σ : Tegangan sebenarnya (MPa)

A : Luas penampang benda kerja (cm)

untuk mencari tegangan sebenarnya menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = K \epsilon^n \quad (2.3) [5]$$

Keterangan:

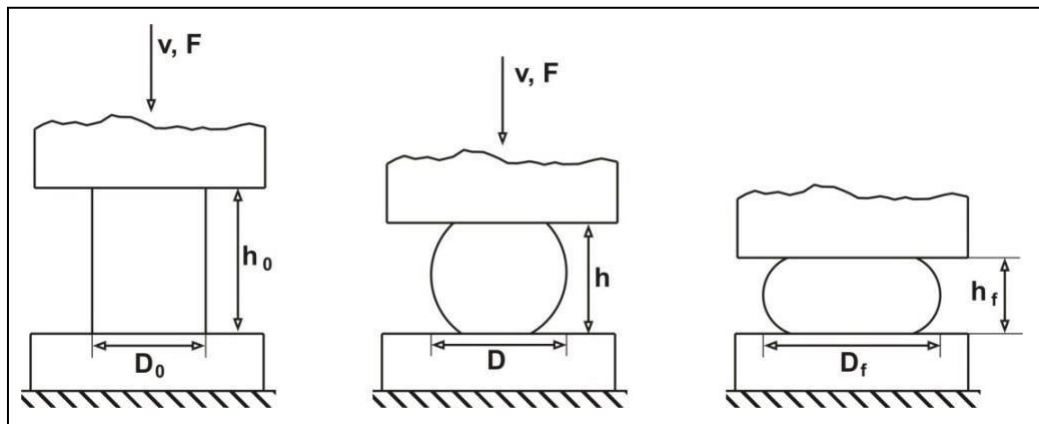
σ : Tegangan sebenarnya (MPa)

K : Koefisien kekuatan material (MPa)

ε : Regangan sebenarnya (Mpa)

n : Eksponen pengerasan regangan

Ketika *dies* bergesekan dengan permukaan benda yang ditekan, deformasi benda kerja pada setiap posisi pada ketinggian benda kerja berbeda-beda. Semakin jauh posisi benda kerja dari permukaan kontak dengan *dies*, semakin besar deformasi pada bagian benda kerja tersebut.



Gambar 5. Forging [2].

Pada kondisi sebenarnya, gaya yang diperlukan untuk mendeformasi material dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$F = K_f \sigma A \quad (2.4) [5]$$

Keterangan:

F : Gaya yang diperlukan untuk mendeformasi material (N)

K_f : Faktor bentuk

σ : Tegangan sebenarnya (Mpa)

A : Luas penampang benda kerja (m^2)

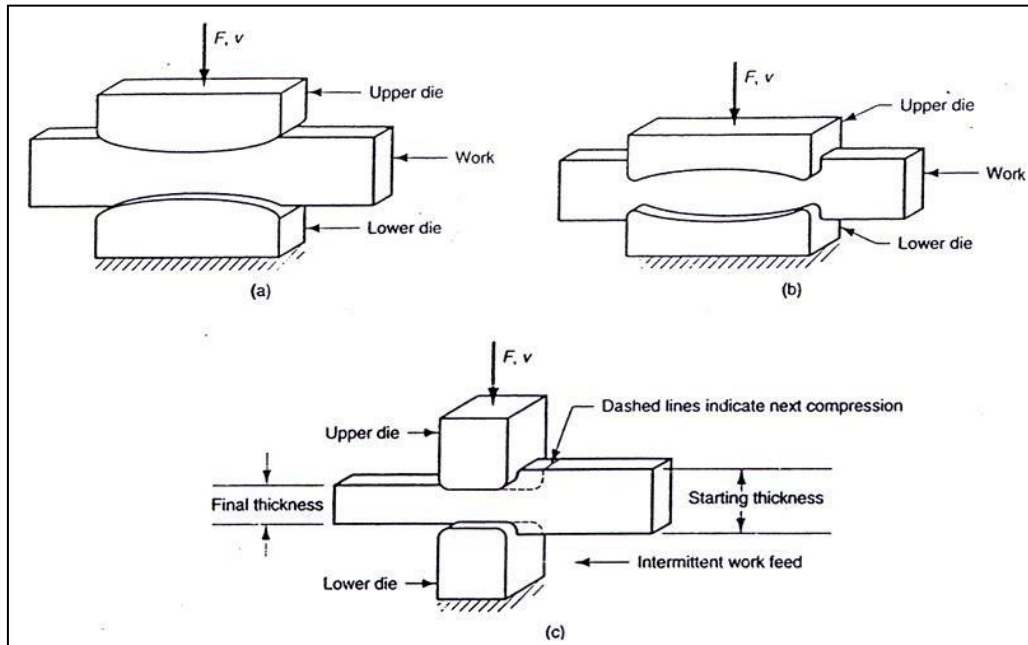
Faktor bentuk dicari dengan persamaan berikut:

$$K_f = 1 + \frac{0.4 \mu D}{h} \quad (2.5) [5]$$

Ketarangan:

- K_f : Faktor bentuk
 μ : Koefisien gesek antara *dies* dengan permukaan benda
 D : Diameter benda kerja saat benda kerja dideformasi
 h : Tinggi benda saat ditekan

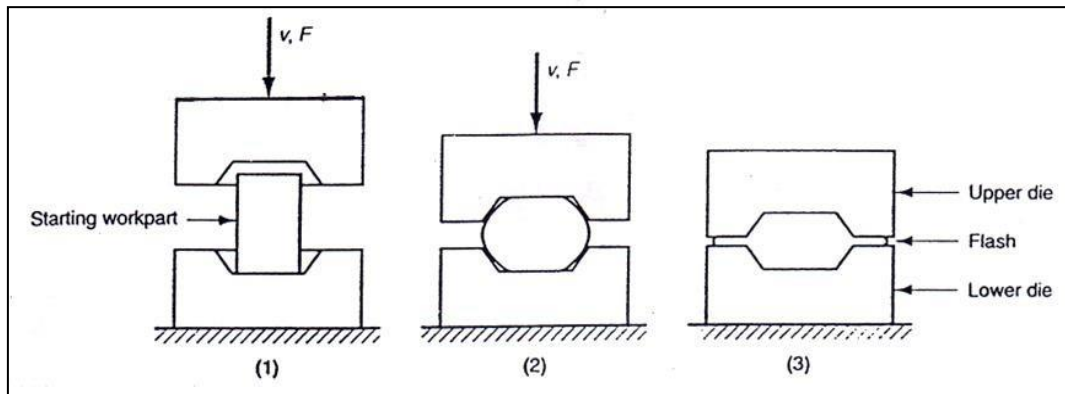
Beberapa operasi *open dies forging* yang sering dilakukan di industri meliputi *fullering*, *edging*, and *cogging*.



Gambar 6. *Open Dies Forging* [9].

B. *Impression Dies Forging*

Pada *impression dies forging*, material atau benda kerja ditekan dengan menggunakan penekanan yang permukaannya memiliki kantong yang membentuk cetakan. Dinding cetakan tersebut menjadi batas aliran material selama proses deformasi dilakukan. Pada proses ini, sejumlah kecil material masih dapat mengalir secara bebas ke arah tegak lurus dengan arah penekanan. *Impression dies forging* dilakukan dengan cara menekan material dengan menggunakan pahat yang permukaannya memiliki cekungan (kantong) yang bentuknya menyesuaikan produk yang akan dibuat, biasanya merupakan bentuk negative produk yang akan dibuat. Aliran material selama proses pembentukan dilakukan cukup kompleks sehingga analisis gaya-gaya pembentukan juga menjadi kompleks. Secara umum gaya yang diperlukan untuk mendeformasi material pada *impression die forging* adalah:



Gambar 7. *Impression dies forging* [13].

$$F = K_f \sigma A \quad (2.6) [5]$$

Keterangan:

F : Gaya yang diperlukan untuk mendeformasi material

K_f : Faktor bentuk

σ : Tegangan sebenarnya

A : Luas penampang benda kerja

C. *Flashless Forging*

Pada *flashless forging*, benda kerja ditekan dengan menggunakan cetakan atau *dies* yang membentuk ruangan tertutup. Selama proses penekanan, seluruh dinding cetakan menghalangi aliran material benda kerja sehingga tidak terbentuk *flash* [6].

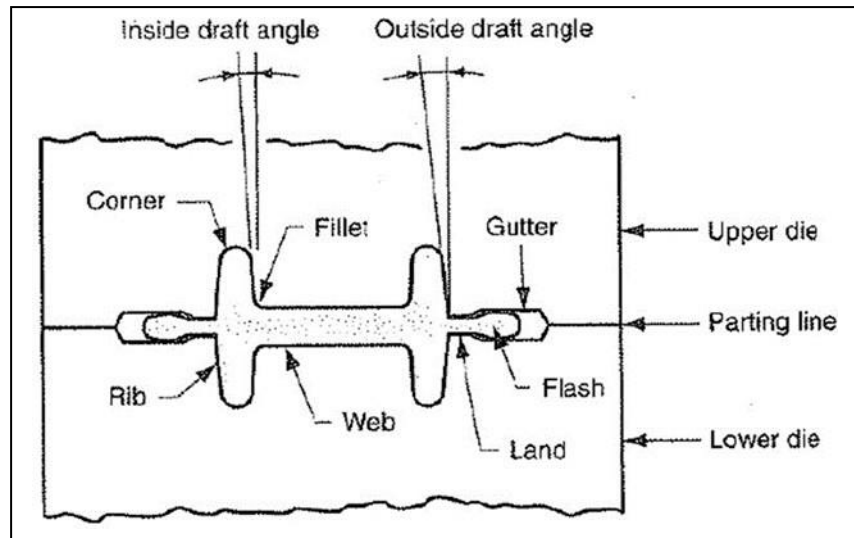
3. *Forging*

Penampaan (*forging*) merupakan teknik yang digunakan untuk membentuk logam melalui pembebanan tekanan guna merubah bentuk atau dimensi logam yang sedang diproses. Proses penampaan bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu melalui pengerjaan dingin atau pekerjaan panas.

Dalam proses *Forging*, material dideformasi dengan menekannya menggunakan dua cetakan. Kecepatan pembentukan bisa ditingkatkan melalui penerapan gaya tekan yang bertambah secara perlahan. Prinsip kerja dari proses tempa ialah memberikan gaya tekan pada materi benda kerja hingga membentuk produk sesuai keinginan [7].

4. Draft Angle

Draft angle merupakan sudut kemiringan pada *dies*. *Draft angle* perlu digunakan dalam membuat *dies* agar memudahkan benda kerja terlepas dari *dies* dengan mudah setelah benda kerja tersebut ditempa. Semakin besar sudut *draft*, semakin baik kemudahan pelepasan benda kerja. Sudut *draft* yang umum digunakan dalam industri manufaktur adalah 3, 5, 7, dan 10 derajat.



Gambar 8. *Draft Angle* [13].

5. Pemilihan Material dan Proses

Pemilihan material merupakan proses yang penting untuk mengevaluasi karakteristik dari material, seperti kekuatan dan biaya produksi untuk membuat *dies* paku tapal kuda tersebut. Tujuannya adalah untuk memilih material yang sesuai untuk proses perancangan *dies* paku tapal kuda, dengan mempertimbangkan kinerja dan kebutuhan desain *dies* tersebut [5]. Hal ini memungkinkan untuk menciptakan produk dengan kualitas terbaik dan biaya produksi yang efisien. Aspek- aspek yang harus diperhatikan dalam pemilihan material:

- Ketersediaan material di pasaran
- Harga material di pasaran
- Mengetahui sifat atau karakteristik material
- Mampu bentuk atau mampu proses dalam pembuatan

A. Material *Dies* Paku Tapal Kuda

- **Baja Perkakas**

Tool steel atau baja perkakas adalah jenis baja yang dirancang khusus untuk digunakan pada material *hand tool*, seperti *cutting*, *forming*, *shafing*, dan *blanking*. Baja perkakas memiliki karakteristik seperti kekerasan yang tinggi, ketahanan terhadap aus, kekuatan yang baik, dan kemampuan mempertahankan kekerasan pada temperature tinggi. Baja perkakas memiliki kadar karbon antara 0,3 dan 1,6 %, ditambah dengan Paduan-paduan lainnya diantaranya seperti silicon (Si), vanadium (V), mangan (Mn), tembaga (Cu), dan molybdenum (Mo) [8].

Komposisi kimia yang tepat dan perlakuan panas yang terkendali sangat penting dalam menghasilkan baja perkakas yang sesuai dengan kebutuhan aplikasinya. Baja perkakas umumnya digunakan dalam industri manufaktur, termasuk pembuatan perkakas mesin, cetakan, dan bagian-bagian yang memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap tekanan dan gesekan. Jenis baja perkakas yang digunakan untuk material *dies* dapat dilihat pada tabel 1.

Material yang dipilih untuk pembuatan *dies* paku tapal kuda yaitu baja perkakas atau *tool steel* AISI D2. Baja perkakas seri D merupakan kelas baja perkakas yang sering digunakan dalam pembuatan *dies* atau perkakas yang membutuhkan ketahanan yang tinggi terhadap aus, kekerasan yang tinggi, dan kestabilan dimensi yang baik pada temperature kerja yang tinggi [7]. *Tool steel* atau baja perkakas adalah jenis baja yang dirancang khusus untuk digunakan pada material *hand tool*, seperti *cutting*, *forming*, *shafing*, dan *blanking*. Baja perkakas memiliki karakteristik seperti kekerasan yang tinggi, ketahanan terhadap aus, kekuatan yang baik, dan kemampuan mempertahankan kekerasan pada temperature tinggi.

Material yang dipilih untuk pembuatan *dies* paku tapal kuda yaitu baja perkakas atau *tool steel* AISI D2. Baja perkakas seri D merupakan kelas baja perkakas yang sering digunakan dalam pembuatan *dies* atau perkakas yang membutuhkan ketahanan yang tinggi terhadap aus, kekerasan yang tinggi, dan kestabilan dimensi yang baik pada temperature kerja yang tinggi [7]. *Tool steel* atau baja perkakas adalah jenis baja yang dirancang khusus untuk digunakan pada material *hand tool*, seperti *cutting*, *forming*, *shafing*, dan *blanking*. Baja perkakas memiliki karakteristik seperti kekerasan yang tinggi, ketahanan terhadap aus, kekuatan yang baik, dan kemampuan mempertahankan kekerasan pada temperature tinggi.

Tabel 1. 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 Germany	ANSI USA	JIS Japan	Composition in %												
				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-S-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 Germany	ANSI USA	JIS Japan	Composition in %												
				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													

B. Material Paku Tapal Kuda

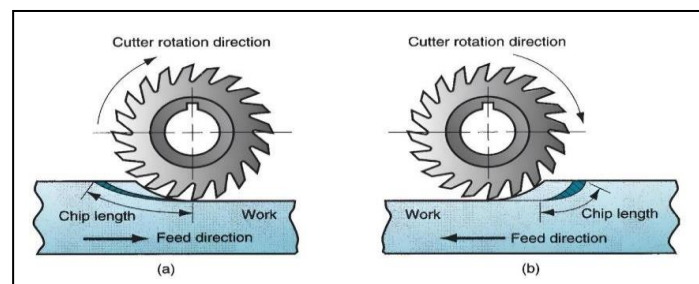
• Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah paduan baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3 % C [4]. 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. Hingga baja karbon rendah sering digunakan sebagai material paku tapal kuda *import* [9].

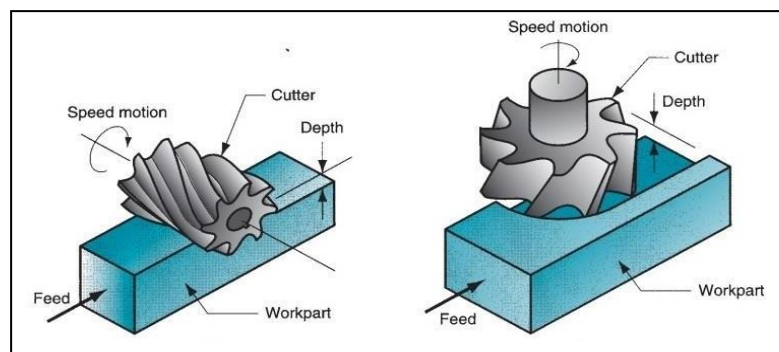
C. Proses Manufaktur Pada Proses Perancangan *Dies* Paku Tapal Kuda

- **Proses *Milling***

Proses *milling* adalah salah satu teknik manufaktur yang menggunakan pisau berputar untuk menghilangkan material dari sebuah objek kerja secara bertahap. Proses ini dilakukan dengan mesin yang memiliki pisau pemotong yang dipasangkan pada *spindle* atau poros mesin dan dapat berputar dengan kecepatan tinggi. Dalam proses pemesinan *milling* waktu yang dibutuhkan untuk membuat komponen harus seminimal mungkin agar tercapai kapasitas produksi yang tinggi. Parameter proses pemotongan yang maksimum menghasilkan laju pemakanan material yang tinggi namun juga mengakibatkan kekerasan permukaan yang tinggi [10].



Gambar 9. *Up Milling* dan *Down Milling* [14].

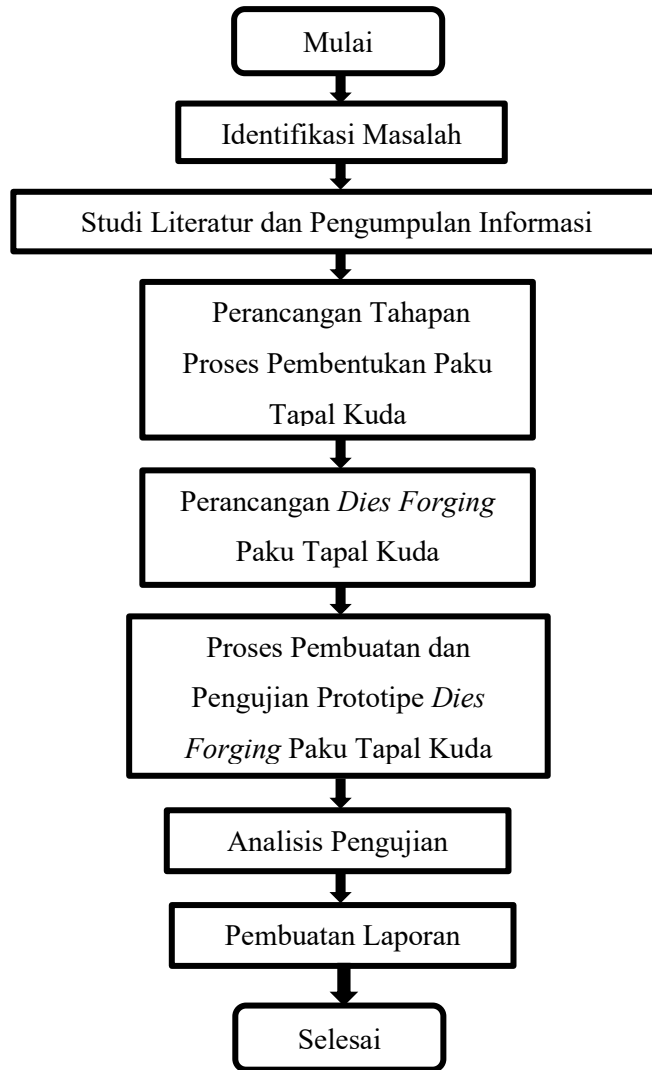


Gambar 10. *Slab Milling* dan *Face Milling* [14].

BAB III METODOLOGI

1. Tahapan penelitian

Berikut adalah uraian keterangan tahapan penelitian;



Gambar 11. Diagram alir tahapan penelitian

- **Identifikasi masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, identifikasi masalah dalam penelitian ini bagaimana rancangan desain *dies* paku tapal kuda, proses pembuatan paku tapal kuda, serta produk paku tapal kuda yang sesuai dengan standar kuda pacu.

- **Studi literatur dan pengumpulan informasi**

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

- **Perancangan tahapan proses pembentukan paku tapal kuda**

Tahapan ini merupakan tahapan penentuan dari tahapan pada proses pembuatan paku tapal kuda. Dalam pembuatan paku kuda terdapat beberapa tahapan proses mulai dari proses *upsetting* sampai *labelling* yang nantinya akan mempengaruhi hasil akhir dari produk paku tapal kuda.

- **Perancangan desain *dies* paku tapal kuda**

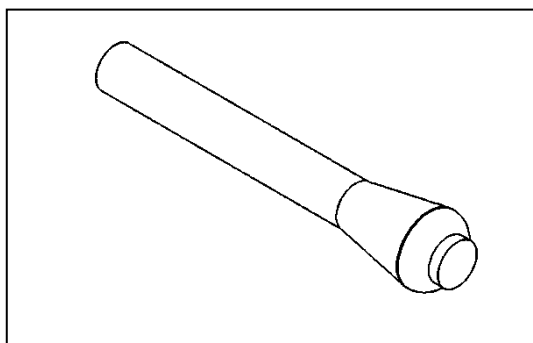
Perancangan desain *dies* paku tapal kuda dimaksudkan untuk membuat desain *dies* pada proses pembuatan paku kuda yang sesuai dengan tahapan proses pembentukan paku tapal kuda dari hasil studi literatur.

Dies merupakan sebuah alat yang digunakan dalam proses manufaktur atau industri untuk membentuk atau mencetak logam menjadi bentuk yang diinginkan. Pada perancangan ini desain *dies* terdiri dari dua bagian atas dan bagian bawah dies, yang saling berhubungan satu sama lain sehingga dapat menghasilkan produk yang diinginkan.

Berikut adalah konsep desain *dies* atau cetakan paku tapal kuda yang dibuat pada proses pembuatan paku kuda yang ada di universitas pasundan.

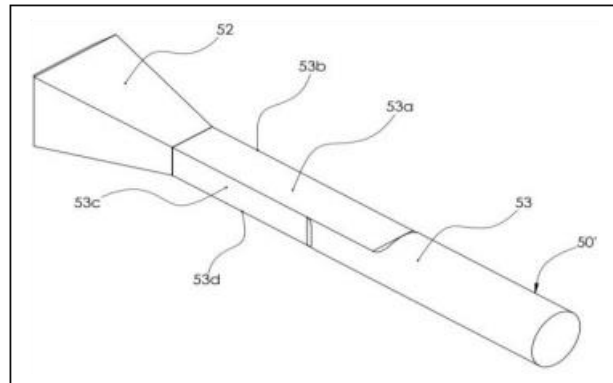
Penjelasan proses pembuatan paku tapal kuda

- **Tahap pertama upsetting**



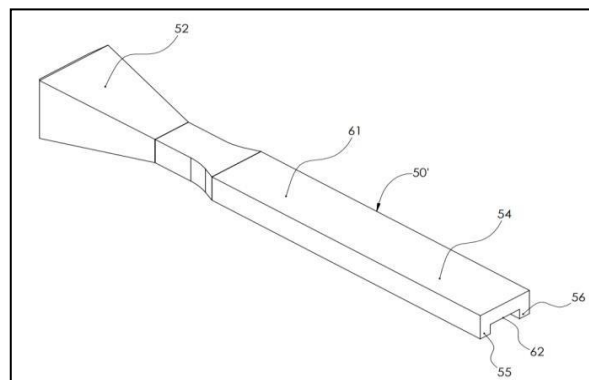
Gambar 12. Paku tahap pertama

- Tahap dua proses *forging, trimming*



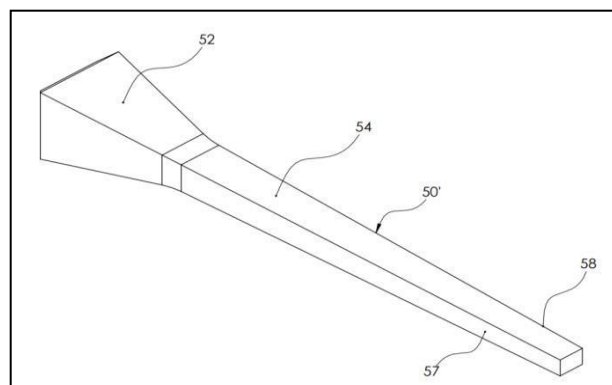
Gambar 13. Paku Tahap Dua

- Tahap tiga proses *forging forming*



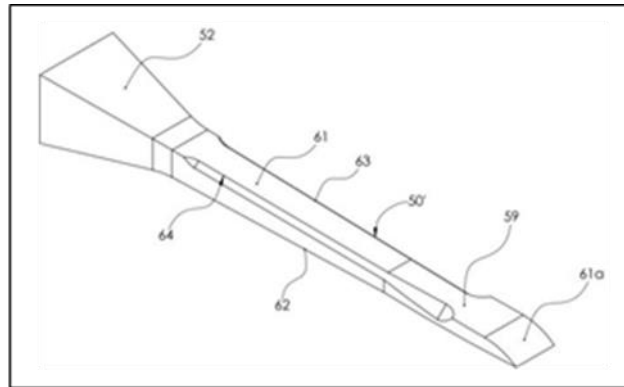
Gambar 14. Paku tahap tiga

- Tahap empat proses *trimming*



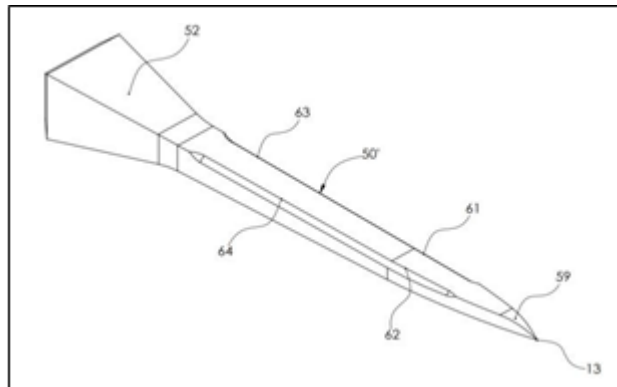
Gambar 15. Paku Tahap Empat

- Tahap lima proses *forging forming*



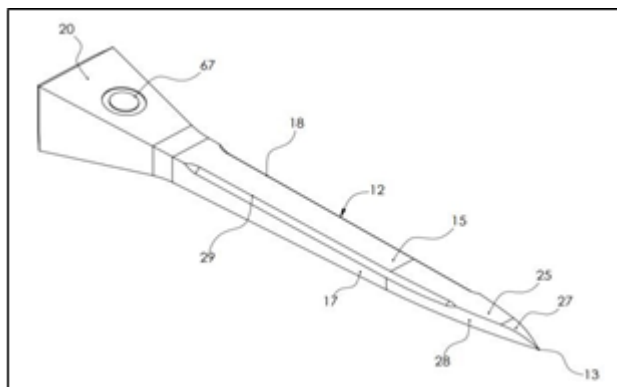
Gambar 16. Paku tahap lima

- Tahap enam proses *trimming*



Gambar 17. Paku tahap enam

- Tahap tujuh proses *forging forming*



Gambar 18. Paku tahap tujuh

- **Proses pembuatan dan pengujian prototipe *dies***

Proses pengujian *dies* dilakukan untuk mengecek hasil pembentukan paku kuda dari *dies* yang telah dibuat.

- **Pembuatan laporan**

Pada tahap ini dilakukannya penulisan laporan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan mengenai perancangan *dies* paku tapal kuda di Universitas Pasundan.

2. Jadwal kegiatan

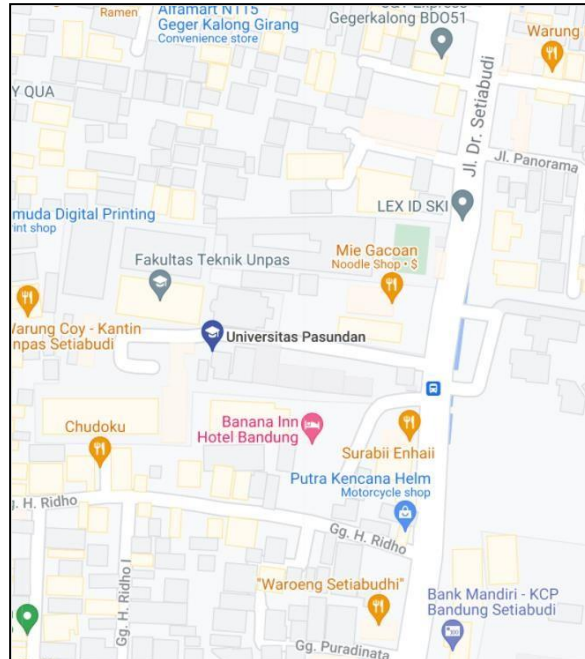
Rencana kegiatan dirancang sebagai acuan dalam penyelesaian penelitian, pengerjaannya dapat dilakukan secara akurat dan terukur sehingga tidak ada banyak waktu yang terbuang, dan agar diharapkan memiliki hasil yang sesuai dengan target yang diinginkan.

Tabel 2. Jadwal kegiatan

No	Kegiatan	Oktober				November				Desember				Januari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Lieteratur dan Pengumpulan informasi																
2	Penyusunan Proposal																
3	Perancangan Desain Dies																
4	Pemilihan Material Proses																
5	Seminar Usulan Penelitian																
6	Pembelian Alat dan Material																
7	Proses Pembuatan Prototipe Dies																
8	Pembuatan Laporan																
9	Seminar Skripsi																
10	Sidang Skripsi																

3. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin FT UNPAS Jl. Setiabudi No. 193, Gegerkalong, Kec Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40153.



Gambar 19. Tempat kegiatan

4. Peralatan dan material yang digunakan

Pada proses pembuatan *dies* paku tapal kuda terdapat peralatan dan material yang digunakan dapat dilihat pada table di bawah ini.

Tabel 3. Peralatan dan material yang digunakan.

No	Peralatan dan Material	Jumlah	Satuan
1	Mesin Milling CNC	1	Set
2	Mesin Drill	1	Set
3	Mistar	1	Pcs
4	Jangka Sorong	1	Pcs
5	Pemotong Kawat	1	Pcs
6	Baut M8	8	Pcs
7	Baja S45C	2,5	Kg
8	Kawat Timah (diameter 4,1 mm)	5	Kg

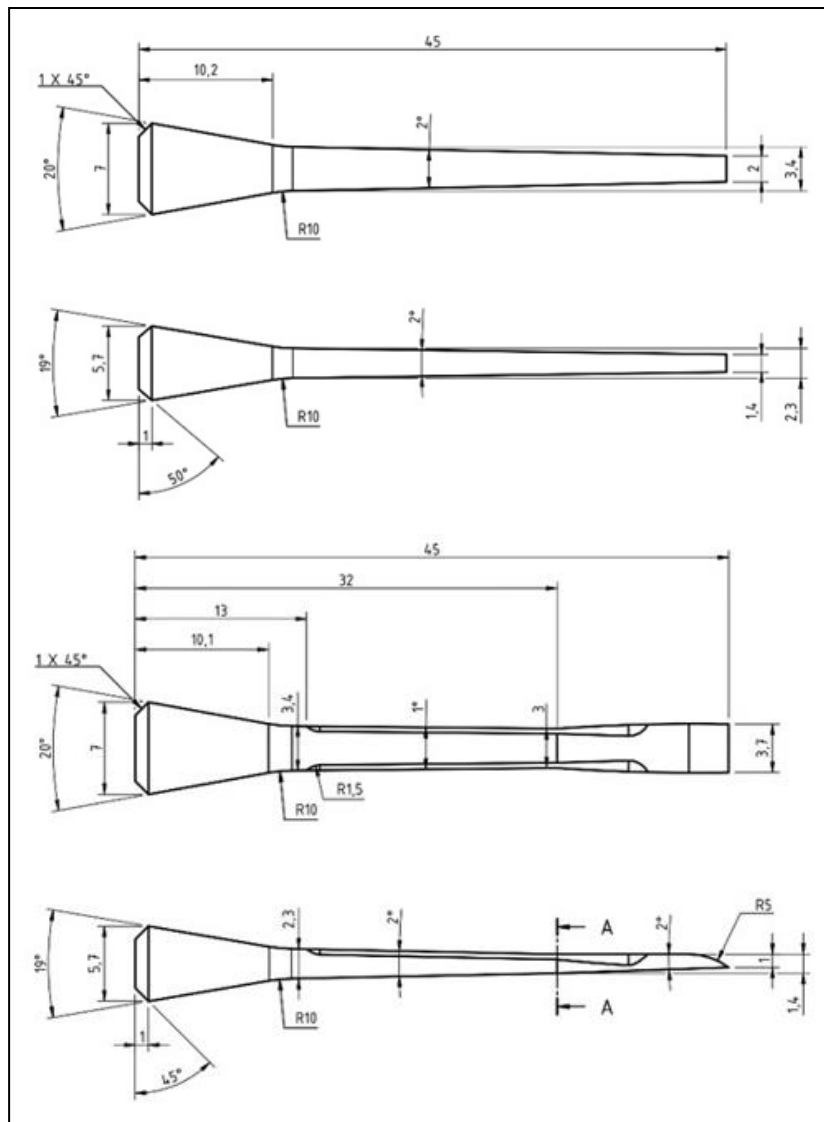
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penjelasan *dies forging* tahap lima

Pada pembentukan tahap lima, membutuhkan ruang kerja sebesar 40 x 52 x 130 mm, saat sebelum ditempa, dan saat ditempa ruang kerja menjadi 40 x 52 x 90 mm. maka langkah kerja yang dibutuhkan *dies* tahap lima untuk menempa yaitu sebesar 40 mm (0,4 mm untuk proses penempaan dan 39,6 mm untuk tahap pengambilan hasil penempaan). Berikut adalah perhitungan gaya forging:

2. Hasil perhitungan gaya tahap lima

- Regangan sebenarnya



Gambar 20. sketsa paku tahap 4 dan 5.

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

$$h = 1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \ln \left(\frac{h_o}{h} \right) = \ln \left(\frac{1,4}{1} \right) = 0,336$$

- Tegangan sebenarnya

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

$$n = 0,1$$

$$\sigma = k \varepsilon^n = 27,1 \times 0,336^{0,25}$$

$$= 20,63 \text{ MPa}$$

- Gaya *forging* tahap lima

$$F = k_f \sigma A = 1 \times 24,29 \times 28,27$$

$$= 701,25 \text{ N}$$

$$= 0,701 \text{ kN}$$

- Rasio pemampatan volume tahap lima

Volume rongga cetak *dies* atas

$$v \text{ rongga cetak } dies \text{ atas} = 105701,54 \text{ mm}^3 - 105443,42 \text{ mm}^3$$

$$v \text{ rongga cetak } dies \text{ atas} = 258,12 \text{ mm}^3$$

Volume rongga cetak *dies* bawah

$$v \text{ rongga cetak } dies \text{ bawah} = 105701,44 \text{ mm}^3 - 105540,17 \text{ mm}^3$$

$$v \text{ rongga cetak } dies \text{ bawah} = 161,27 \text{ mm}^3$$

Volume rongga cetak tahap lima

$$\begin{aligned} v \text{ rongga cetak } dies \text{ atas} + v \text{ rongga cetak } dies \text{ bawah} &= 258,12 \text{ mm}^3 + 161,27 \text{ mm}^3 \\ &= 419,39 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Rasio pemampatan volume tahap lima

$$\text{rasio pemampatan volume} = \left(\frac{v_{akhir}}{v_{awal}} \right) \times 100\% \quad (4.1)$$

$$\text{rasio pemampatan volume} = \left(\frac{419,39 \text{ mm}^3}{419,87 \text{ mm}^3} \right) \times 100\% = 99,88\%$$

3. Perhitungan gaya *forging* tahap lima

- Regangan sebenarnya

Diketahui:

$$h_0 = 1,4 \text{ mm}$$

$$h = 1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \ln \left(\frac{h_0}{h} \right) = \ln \frac{1,4}{1} = 0,336$$

- Tegangan sebenarnya

$$k = 27,1 \text{ MPa (Strength Coefficient material Pb)}$$

$$n = 0,1$$

$$\sigma = k \cdot \varepsilon^n = 27,1 \times 0,336^{0,1} = 24,29 \text{ MPa}$$

- Gaya forging

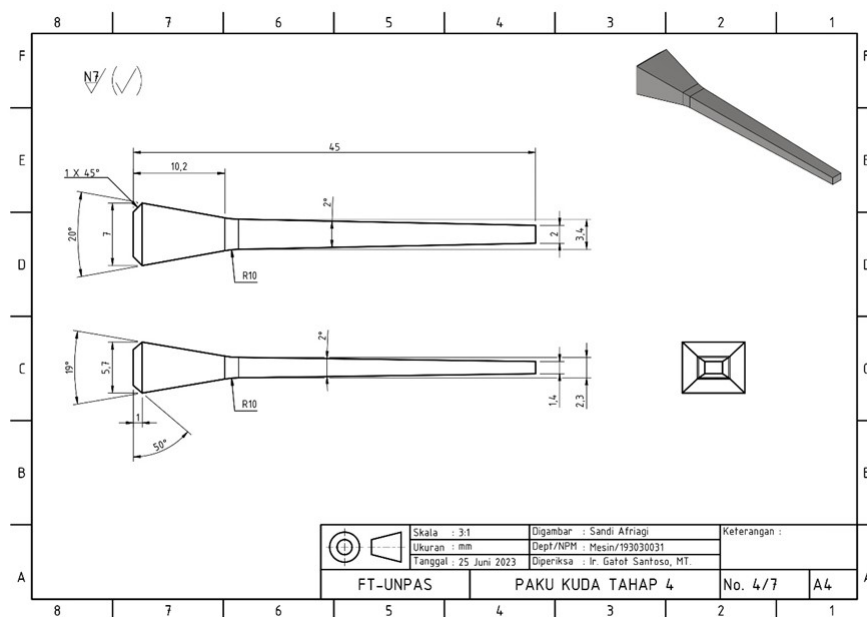
Diketahui:

$$A = 28,87 \text{ mm}^3 \text{ (diperoleh dari aplikasi SOLIDWORKS)}$$

$$F = K_f \cdot \sigma \cdot A = 1 \times 24,29 \times 28,87 = 701,25 \text{ N} = 0,701 \text{ kN}$$

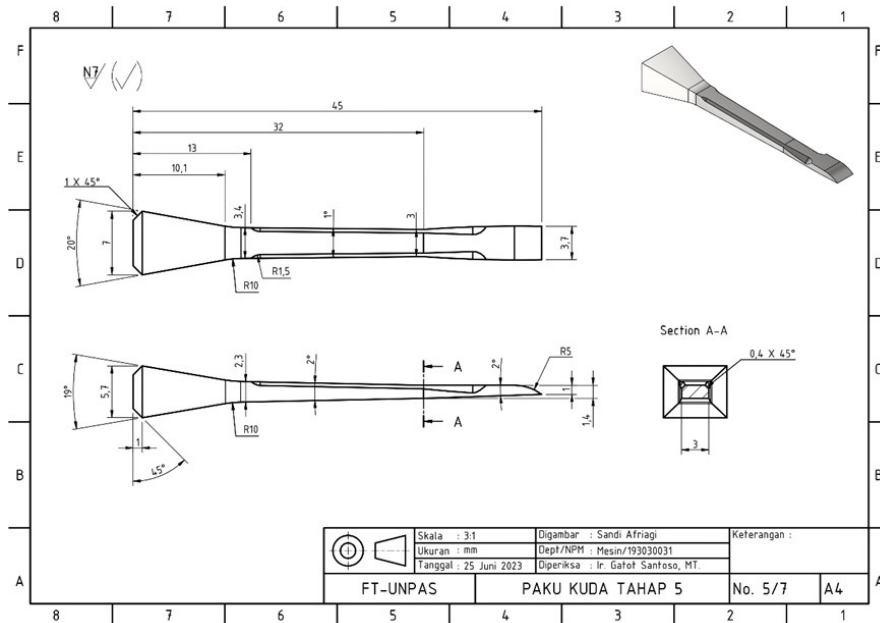
Pada gaya forging, konstanta K_f adalah 1 dikarenakan bentuk geometri rongga cetak dan material benda kerja bersifat lunak.

4. Gambar teknik paku yopal kuda tahap empat



Gambar 21. Paku Tahap Empat.

Pada tahap empat, memiliki bentuk ujung yang masih berbentuk lurus dan memiliki panjang 45 mm,

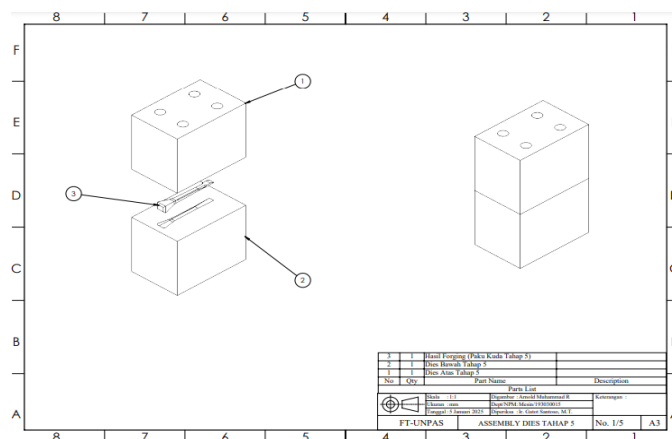


Gambar 22. Paku Kuda Tahap Lima

Dapat dilihat dari pembentukan tahap lima, paku memiliki perubahan bentuk bagian ujung paku menjadi pipih atau berubah bentuk dari tahap sebelumnya dengan panjang 45 mm, yaitu tahap empat.

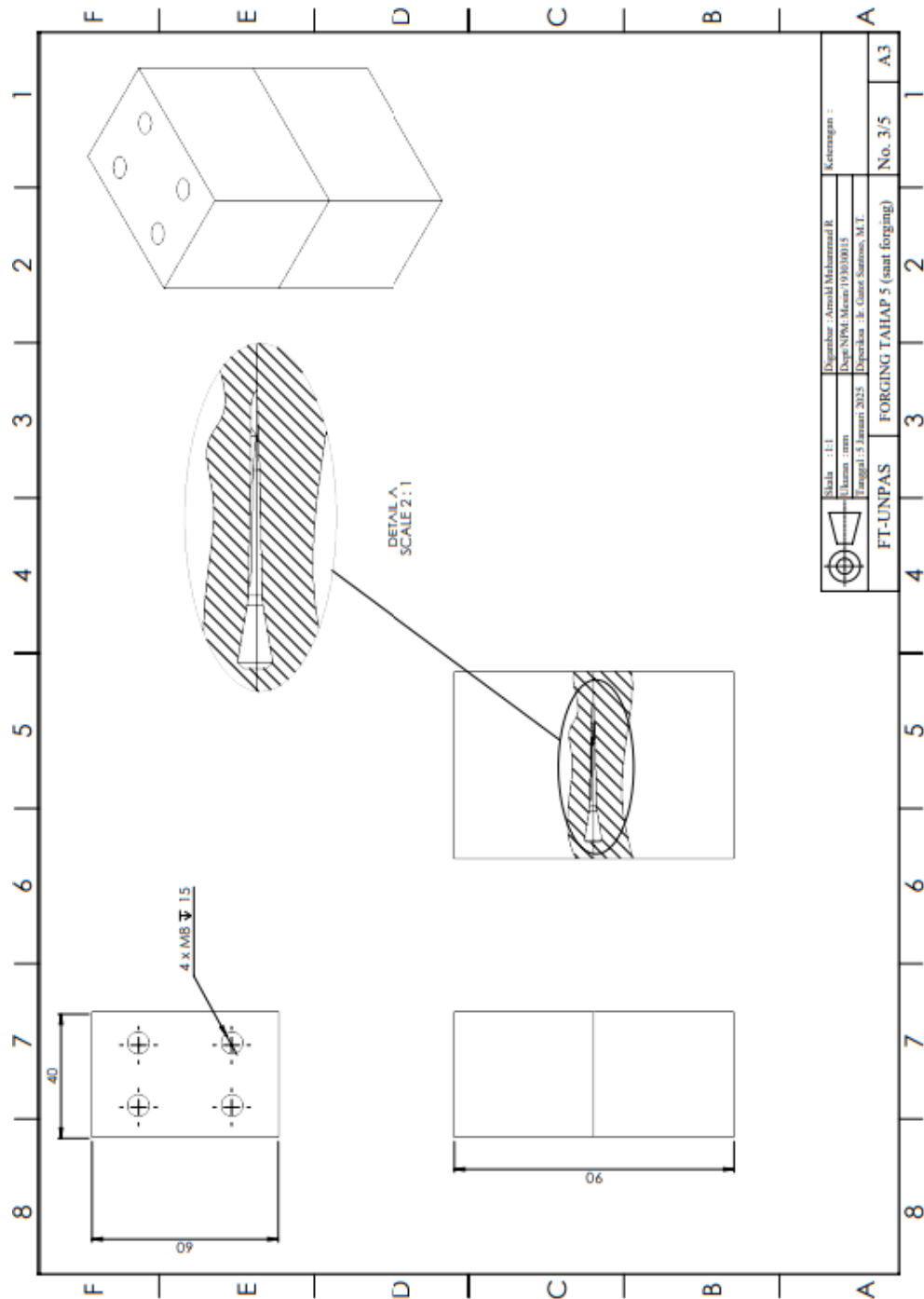
5. Gambar teknik *dies*

Gambar berikut ini menunjukkan *assembly* dari pengerjaan *forging* tahap lima. *Dies* atas ditunjukkan dengan nomor (1). *Dies* bawah ditunjukkan dengan nomor (2). Hasil produk atau hasil *Forging* ditunjukkan dengan nomor (3).



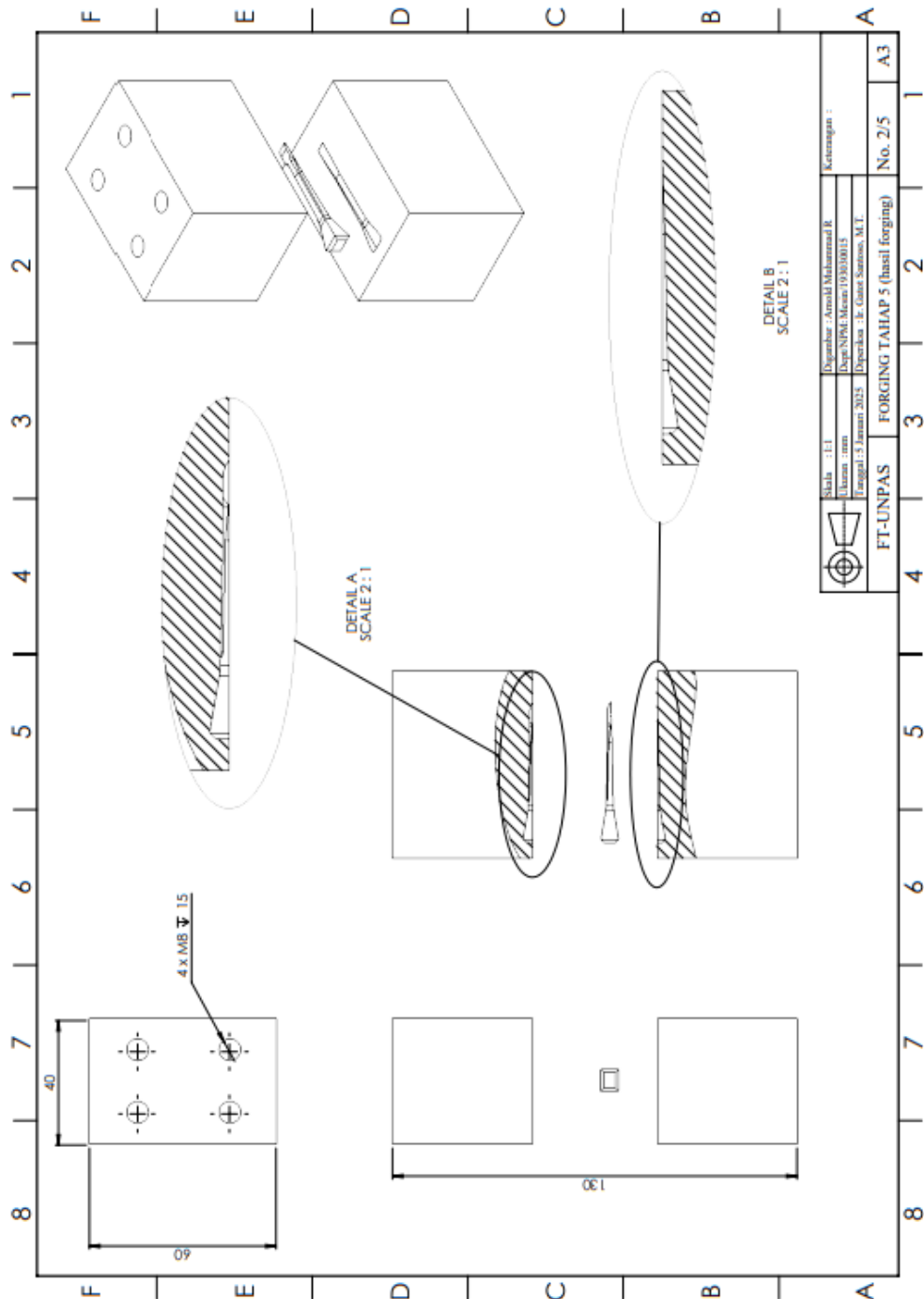
Gambar 23. Assembly Dies Tahap Lima

Gambar berikut ini merupakan gambar ketika kedua komponen dies melakukan penempaan. Dimana diperlihatkan kedua rongga cetak harus bertemu sejajar agar tidak menimbulkan kecacatan pada produk yang akan dibuat. Pada daerah ujung paku dilakukan pembebasan guna mengaturaliran material dan pengambilan hasil produk saat proses penempaan.



Gambar 24. *Assembly Forging* Tahap Lima (sesudah)

Gambar berikut ini merupakan gambar setelah *forging* dilakukan. Masing-masing komponen *dies* memiliki rongga cetak (*cavity*). Rongga cetak tersebut lebih memfokuskan proses pembentukan (*forming*) pada daerah kepala dan badan paku. Pada ujung paku tidak ada proses pembentukan. Ujung paku pada cetakan dibebaskan.

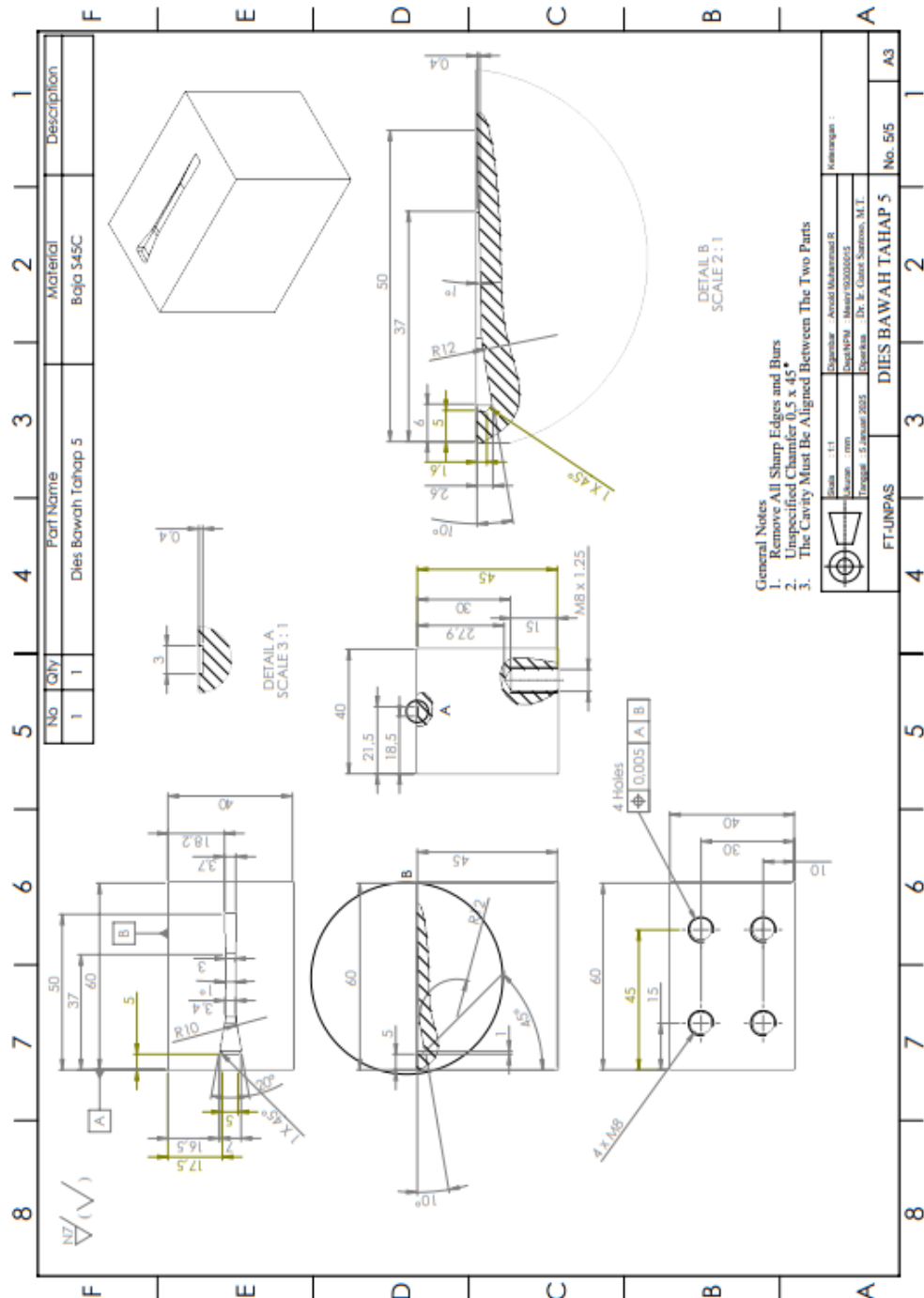


Gambar 25. Forging Tahap Lima (Hasil Forging)

[illegible]

26

Gambar berikut ini menunjukkan gambar teknik pada *dies* atas tahap lima . Daerah rongga cetak (*cavity*) ditentukan sesuai ukuran paku pada proses tahapan lima. Gambar memuat berbagai detail-detail dan ukuran yang dibutuhkan untuk pembuatan *dies*. Dijelaskan juga material yang digunakan yaitu baja S45C dan toleransi yang digunakan.



Gambar 27. Dies Bawah Tahap Lima

6. Rincian anggaran

Rincian anggaran biaya merupakan biaya yang harus dipersiapkan untuk proses pembuatan paku tapal kuda beserta *dies* paku tapal kuda. Anggaran adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Rincian Anggaran Biaya

No	Peralatan dan Material	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Jasa Proses <i>Machining</i>	1	Set	875.000	875.000
2	Baja S45C	2,5	kg	45.000	112.500
				Total (Rp)	987.500

7. Pembuatan prototipe *dies*

Pada tahap ini, penulis melakukan proses pembuatan prototipe *dies* paku tapal kuda berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan. Adapun proses pembuatan prototipe *dies* paku tapal kuda adalah sebagai berikut:

A. Pemotongan baja karbon menengah S45C

Pada tahap ini proses pemotongan material sesuai dengan dimensi yang telah dirancang. Gambar ini merupakan material mentah untuk proses machining *dies* paku tapal kuda tahap lima. Material yang digunakan yaitu baja karbon menengah S45C. Ukuran material mentah yang dibutuhkan harus dilebihkan 5-8 mm sesuai kebutuhan pada proses *CNC milling*.



Gambar 28. Material Mentah Baja S45C

Melembihkan 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. Gambar ini memperlihatkan proses pemotongan material mentah sesuai dimensi material awal yang dibutuhkan untuk proses *CNC milling*. Pemotongan menggunakan alat *bench saw machine*.

Gambar di bawah ini merupakan hasil pemotongan dari *bench saw machine*. Hasil pemotongan inilah yang menjadi material awal untuk proses pembuatan prototipe *dies* tahap 2 paku tapal kuda. Proses pemesinan yang digunakan yaitu *CNC Milling*.



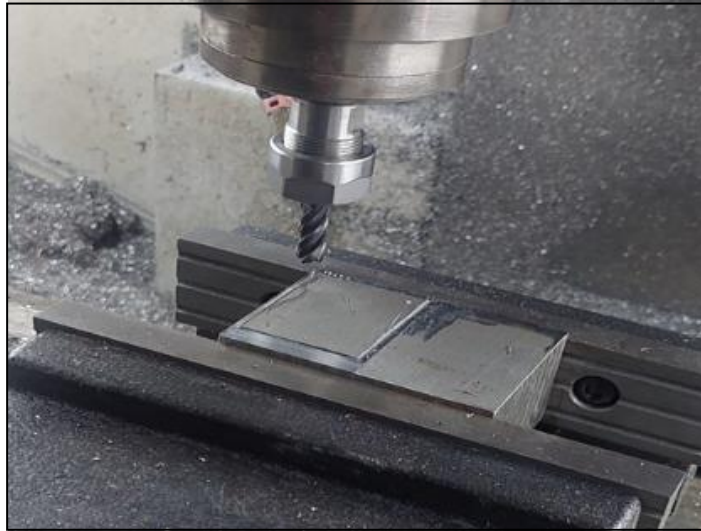
Gambar 30. Hasil pemotongan Material Awal Pemesinan



Gambar 29. Pemotongan Baja S45C.

B. Proses pembuatan *dies*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan dies forging tahap 2 menggunakan mesin milling CNC sesuai dengan bentuk dan ukuran yang telah dirancang. Dies bawah memiliki bentuk yang serupa dengan dies atas hanya saja cavity menyesuaikan bentuk paku tapal kuda yang sudah dirancang.



Gambar 31. Proses Manufaktur *Dies* Tahap Lima



Gambar 32. Hasil Proses Pemesinan *Dies* Tahap Lima

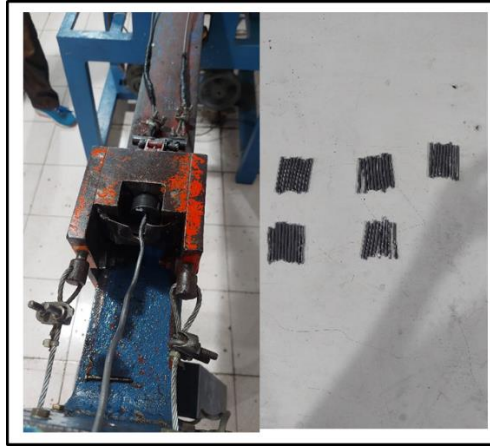
8. Pengujian *dies* paku tapal kuda

Pengujian paku tapal kuda dilakukan untuk mengetahui apakah dies tersebut berhasil membentuk kawat timah sesuai dengan bentuk tahapan proses hasil desain yang telah dibuat atau sebaliknya. Berikut ini tahapan pengujian dies proses forging dan forming pada proses pembuatan paku tapal kuda:

A. *Wire Drawing* dan pemotongan kawat timah

Pada tahap ini, kawat timah berdiameter 4,1 mm dipotong menggunakan pemotong kawat dengan panjang 45 mm. Wire drawing dilakukan untuk memenuhi diameter kawat timah

sebelum wire drawing yaitu 4,3 mm. Proses yang dilakukan pertama kali yaitu upsetting berfungsi pada pembentukan kepala pada tahapan proses penempaan paku tapal kuda.



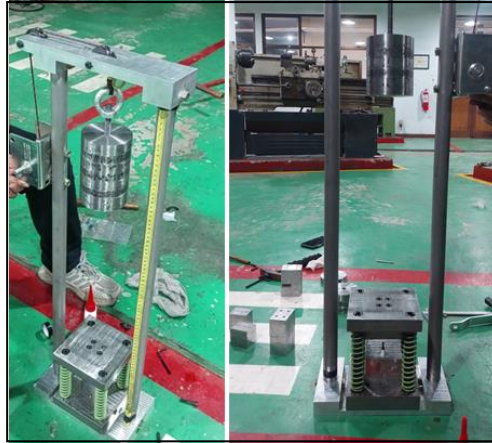
Gambar 33. Proses Wire Drawing dan pemotongan Kawat



Gambar 34. Benda kerja tahap lima pada proses pembentukan paku tapal kuda (*trimming*)

B. Pengujian Dies Forging

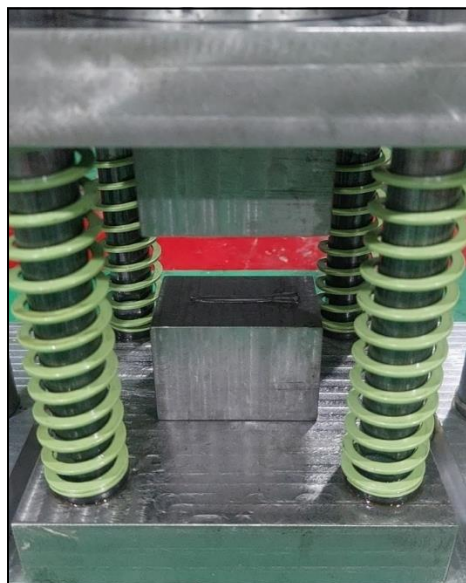
Pada tahap ini, setelah kawat dipotong, kawat ditempatkan pada rongga cetakan *dies forging* yang telah dirancang. Proses penempaan dilakukan menggunakan mesin *drop hammer* yang dirancang oleh Farid Budi Nurjafar. Setelah proses penempaan selesai, dilakukan analisis terhadap hasil penempaan. Pengujian dilakukan pada benda kerja berupa hasil tahapan *upsetting* tahap pertama, yang dirancang dalam skripsi Andre Fadillah, sebanyak 10 buah. Berikut ini adalah salah satu gambar dari proses tersebut:



Gambar 35. Penempaan menggunakan *Drop Hammer*



Gambar 36. Benda kerja sebelum penempaan



Gambar 37. Benda kerja sesudah penempaan

Pengujian yang dilakukan pada tahap lima proses pembuatan paku tapal kuda membutuhkan gaya sebesar 3533,9 N (perhitungan). Penampaan yang dilakukan dengan alat *drop hammer* menggunakan beban 9 kg pada ketinggian 45 cm sebanyak 1 kali penjatuhan beban (*hammer*). Berikut adalah hasil dari penampaan tahap lima pada pembentukan paku tapal kuda. Langkah kerja yang diperoleh di lapangan sebesar 47,67 mm. Berikut adalah perhitungan langkah kerja dan total gaya yang dibutuhkan saat pengujian dengan alat *drop hammer*.



Gambar 38. Hasil penempaan tahap lima pada proses pembentukan paku tapal kuda

C. Hasil analisis pada penempaan

Dari hasil penelitian, terdapat 4 kriteria nilai dari hasil proses penempaan (forging). Nilai tersebut dinilai dari kriteria desain dan geometri khususnya pada pembentukan kepala dan badan benda kerja di bawah ini menunjukkan tabel kriteria.

Tabel 5. Tabel kriteria nilai tahap lima

Nilai	Kriteria	Jumlah	Presentase
1	Hasil penempaan sesuai dengan desain <i>dies</i> yang diharapkan dan panjang benda kerja 42 mm.	93	92,08%
0,75	Panjang dari benda kerja mendekati 42 mm, terdapat ketidak sesuaian sekitar seperempat dari bentuk <i>dies</i> khususnya pada bagian kepala dan badan benda kerja.	8	7,92%
0,50	Panjang dari benda kerja mendekati 42 mm, terdapat ketidak sesuaian sekitar setengah dari bentuk <i>dies</i> khususnya pada bagian kepala dan ujung benda kerja.	0	0%
0,25	Hasil penempaan tidak sesuai dengan rongga <i>dies</i> .	0	0%

Kriteria tersebut, penempaan pada tahap lima tidak memiliki nilai 0,25, dikarenakan minimnya terjadi kegagalan pada saat penempaan. Tetapi, faktor-faktor kegagalan penempaan disebabkan oleh:

- Benda kerja awal yang tidak memenuhi desain dan geometri. Sehingga benda kerja tidak memenuhi rongga *dies*. Berikut adalah gambardari setiap kriteria nilai hasil penempaan:



Gambar 39. Hasil penempaan kriteria nilai 1



Gambar 40. Hasil penempaan kriteria nilai 0,75

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini. Pengujian *dies forging* dilakukan sebanyak 101 kali. Untuk membentuk spesimen dibutuhkan gaya sebesar 701,25 N. Penempaan dilakukan menggunakan alat drop hammer dengan memberikan beban hammer sebesar 9 kg dengan ketinggian 45 cm penjatuhan dilakukan sebanyak 1 kali penjatuhan beban. Pada pengujian tersebut, panjang akhir sebesar 45 mm. Dari 101 kali penempaan, sebanyak 93 benda kerja terbentuk dengan sempurna sesuai dengan bentuk dan geometri yang diharapkan. Dengan demikian presentase tingkat keberhasilan hasil *forging* pada proses pembentukan paku tapal kuda sebesar 92,8%.

2. Saran

Saran yang dibuat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Agar hasil rongga cetak pada *dies* lebih sempurna dibutuhkan proses pemesinan yang memiliki tingkat tinggi seperti EDM (*Electrical Discharge Machining*). Jika rongga cetak yang lebih teliti, dapat menghasilkan hasil penempaan yang lebih baik dan akurat.
- b. Desain dan pengujian memiliki hasil yang sesuai dengan keinginan, maka dapat dilakukan pengujian lanjutan dengan material *dies* menggunakan baja perkakas AISI D2 dan material benda kerja menggunakan baja karbon rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Permana, G. Santoso, B. Heru, and F. Ridwan, “Pengaruh Derajat Deformasi Terhadap Evolusi Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Ladam Dan Paku Kuda Akibat Proses Forging,” 2019.
- [2] M. G. Rathi and N. A. Jakhade, “An Overview of Forging Processes with Their Defects,” *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 4, no. 6, 2014, [Online]. Available: www.ijsrp.org
- [3] A. Antonnius, A. Afdal, M. Mukhnizar, R. Abu, and A. Azman, “Perencanaan Mesin Tempa Logam Dengan Sistem Forging Hammer,” *Jurnal Teknik, Komputer, Agroteknologi Dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 163–174, Nov. 2022, doi: 10.56248/marostek.v1i2.29.
- [4] M. Hawryluk, P. Kondracki, J. Krawczyk, M. Rychlik, and J. Ziemia, “Analysis Of The Impact Of Forging And Trimming Tools Wear On The Dimension-Shape Precision of Forgings Obtained In The Process Of Manufacturing Components For The Automotive Industry,” *Eksploatacja i Niezawodnosc*, vol. 21, no. 3, pp. 476–484, 2019, doi: 10.17531/ein.2019.3.14.
- [5] C. M. Allen Adjelian Allen Rubeli Ltd *et al.*, *ASM Handbook VOL 1, Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys*.
- [6] T. Jaya Suteja, S. Candra, and Y. Aquarista, “Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology.”
- [7] T. Siewert, S. Liu, D. R. Smith, M. Juan, and C. Madeni, “Database for Solder Properties with Emphasis on New Lead-free Solders,” 2002.
- [8] D. William and J. Callister, *Fundamentals of Materials Science and Engineering An Integrated Approach (5th- edition)*. 2015.
- [9] M. S. Permana, G. Santoso, and B. Heru, “Pengembangan Metode Proses Manufaktur dan Pemilihan Material Ladam & Paku Untuk Kuda Pacu dan Ketangkasan Berkuda.”
- [10] M. Chandrasekaran, “Forging of metals and alloys for biomedical applications,” in *Metals for Biomedical Devices*, Elsevier Ltd, 2010, pp. 235–250. doi: 10.1533/9781845699246.3.235.
- [11] Serope. Kalpakjian and S. R. . Schmid, *Manufacturing engineering and technology*. Pearson, 2020.
- [12] R. J. Mohammed, “Manufacturing Processes (ME337), Third year,” Basrah, Iraq, 2019.

- [13] M. Saripuddin, *Mengenal Logam Sebagai Bahan Teknik*. Deepublish, 2021.
- [14] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems, 5th Edition*. 2012.
- [15] T. Siewert, S. Liu, D. R. Smith, M. Juan, and C. Madeni, "Database for Solder Properties with Emphasis on New Lead-free Solders," 2002.
- [16] A. Septiawan, M. Mukhnizar, and Z. Zulkarnain, "Pembuatan Mesin Tempa Logam Dengan *System Forging Hammer*," *J. Tek. Komputer, Agroteknologi Dan Sains*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.56248/marostek.v2i1.41.
- [17] K. Sudarmono, "Penempaan," vol. 2, p. 6, 2020, [Online]. Available: [https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Penempaan//Proses ini dikenal dengan sebutan, digunakan memiliki kontur yang tipis](https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Penempaan//Proses%20ini%20dikenal%20dengan%20sebutan%20digunakan%20memiliki%20kontur%20yang%20tipis).
- [18] J. Steven, "Logam," 2022. <https://trentonforging.com/what-are-the-different-metal-forging-methods/> (accessed Jul. 25, 2024).
- [19] J. R. Johnson, "Engineering and Technology," vol. 7, no. 5–6. 1987. doi: 10.1177/0270467687007005-605.
- [20] R. Levy, "Memahami Proses, Metode dan aplikasi Penempaan Logam," vol. 1, p. 1, 2023, [Online]. Available: <https://www.tfgusa.com/metal-forging-processes-methods/>
- [21] A. C. Sentosa, "Teknik Forging Dalam Industri: Metode, Proses dan Pengaplikasiannya," 2024. <https://www.alvindocs.com/blog/forging> (accessed Jul. 25, 2024).
- [22] P. W. Ndaruhadi, "Perbandingan Perubahan Sifat Mekanik Aluminium Pada Proses Tempa Dingin," *Media Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 23–29, 2010.
- [23] A. Husain, "Penempaan," vol. 1, p. 4, 2021, [Online]. Available: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/metal-forging/>
- [24] D. Aji, D. I. Sumarno, and Triyono, "Analisis Akar Masalah Kegagalan Cacat Retak (Crack) Pada Proses Pembentukan Tempa Dingin (Cold Forming) Mur M14," *J. Rekayasa Teknol. Nusa Putra*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2019, doi: 10.52005/rekayasa.v6i1.77.
- [25] W. Goris, "Proses Manufaktur Metal Forming," *Mechaworld Dunia Tek. Mesin*, vol. 1, 2017.
- [26] A. S. Umartono, "Pengaruh Pengerjaan Dingin (*Cold Working*) Pada Baja Tahan Karat Jenis Austenitik (*Austenitic Stainless Steel*) Type 304," *J. Ilmuan dan Terap. Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 65–86, 2012.

- [27] A. Syarief, “Analisa Kekerasan Pisau Potong (Parang) Pada Proses Penempaan (Forging),” *Info Teknik*, vol. 9, no. 2, pp. 117–124, 2008.
- [28] A. Herdiana, “Pengertian Metal Forming,” vol. 1, p. 12, 2024, [Online]. Available: <https://www.coursehero.com/file/71640963/Pengertian-Metal-Formingpdf/>
- [29] I. Nugraha, “Proses Metal Forming Dalam Pengolahan Sheet Metal,” 2021. <https://kreasimudaindonesia.com/pahami-proses-metal-forming-dalam-pengolahan-sheet-metal/> (accessed Jul. 25, 2024).
- [30] D. Priadi, I. Setyadi, and E. S. Siradj, “Pengaruh Kecepatan Dan Temperatur Uji Tarik Terhadap Sifat Mekanik Baja S48C,” *MAKARA Technol. Ser.*, vol. 7, no. 1, pp. 21–26, 2010, doi: 10.7454/mst.v7i1.137.

LAMPIRAN

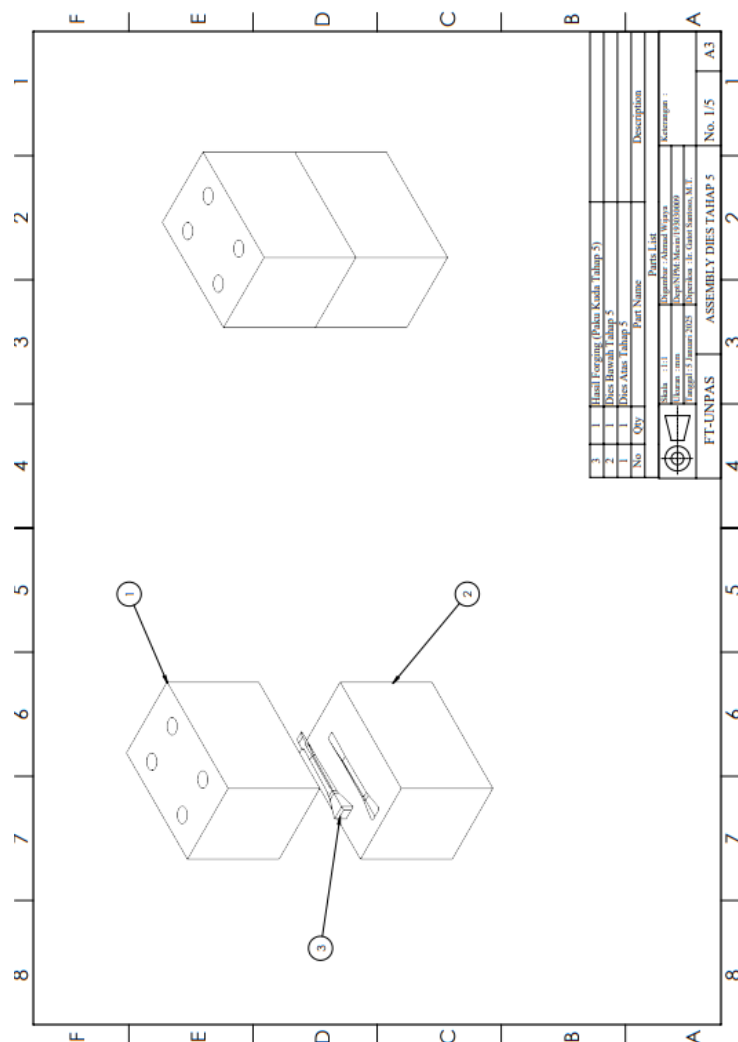
1. Tabel hasil perhitungan

Tabel 6. Hasil Perhitungan

No	Tahapan Proses	Gaya
1	Proses forging tahap lima	3533,9 N

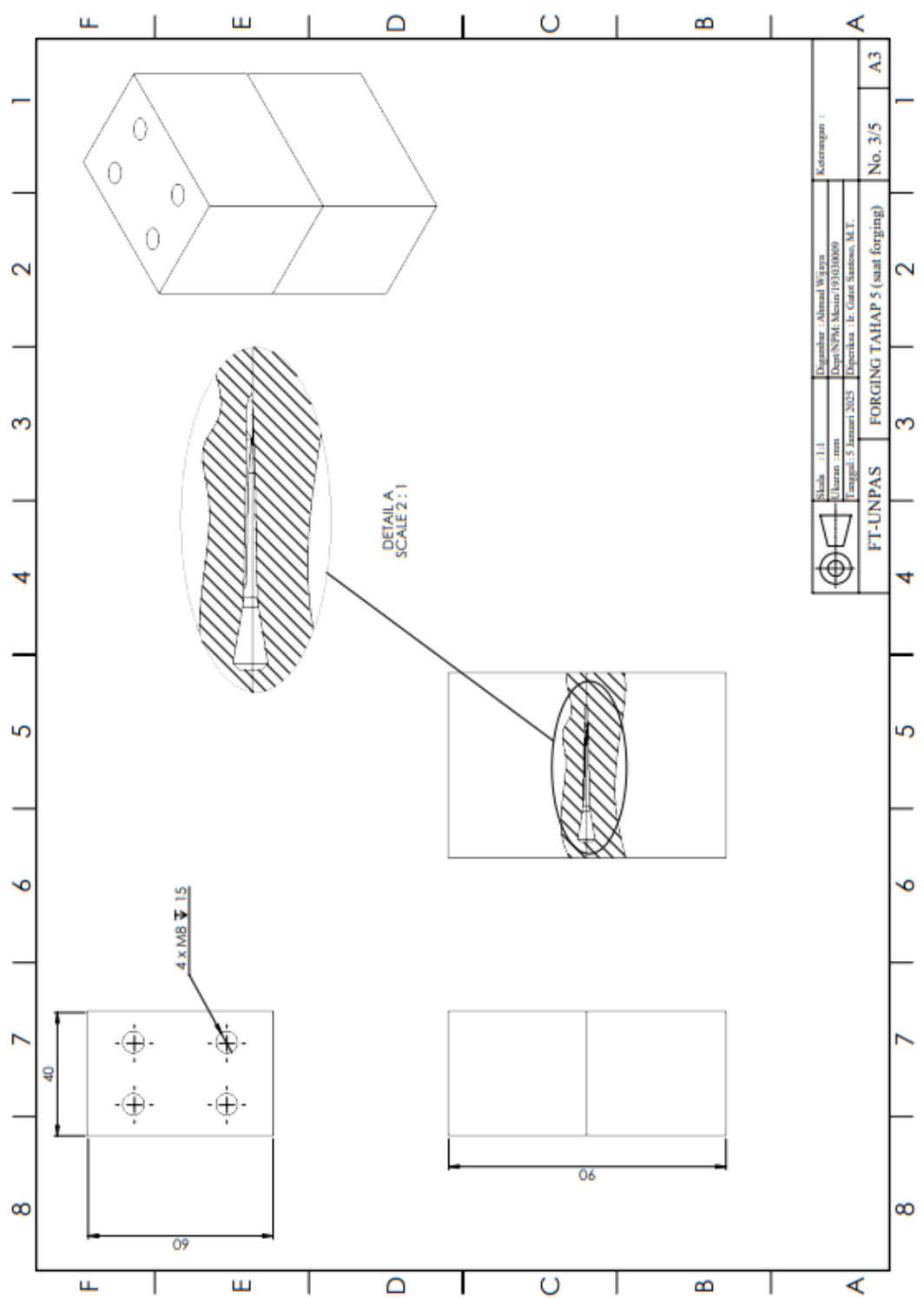
2. Gambar teknik

Gambar berikut ini menunjukkan *assembly* dari pengerjaan *forging* pada tahap lima komponen *dies* paku tapal kuda yaitu, *dies* atas dan *dies* bawah. Dimana masing-masing komponen memiliki rongga cetak masing-masing. Rongga cetak tersebut menentukan hasil dari proses *forging*. Pada proses ini, benda kerja menggunakan hasil dari proses tahapan empat yaitu *Trimming*.



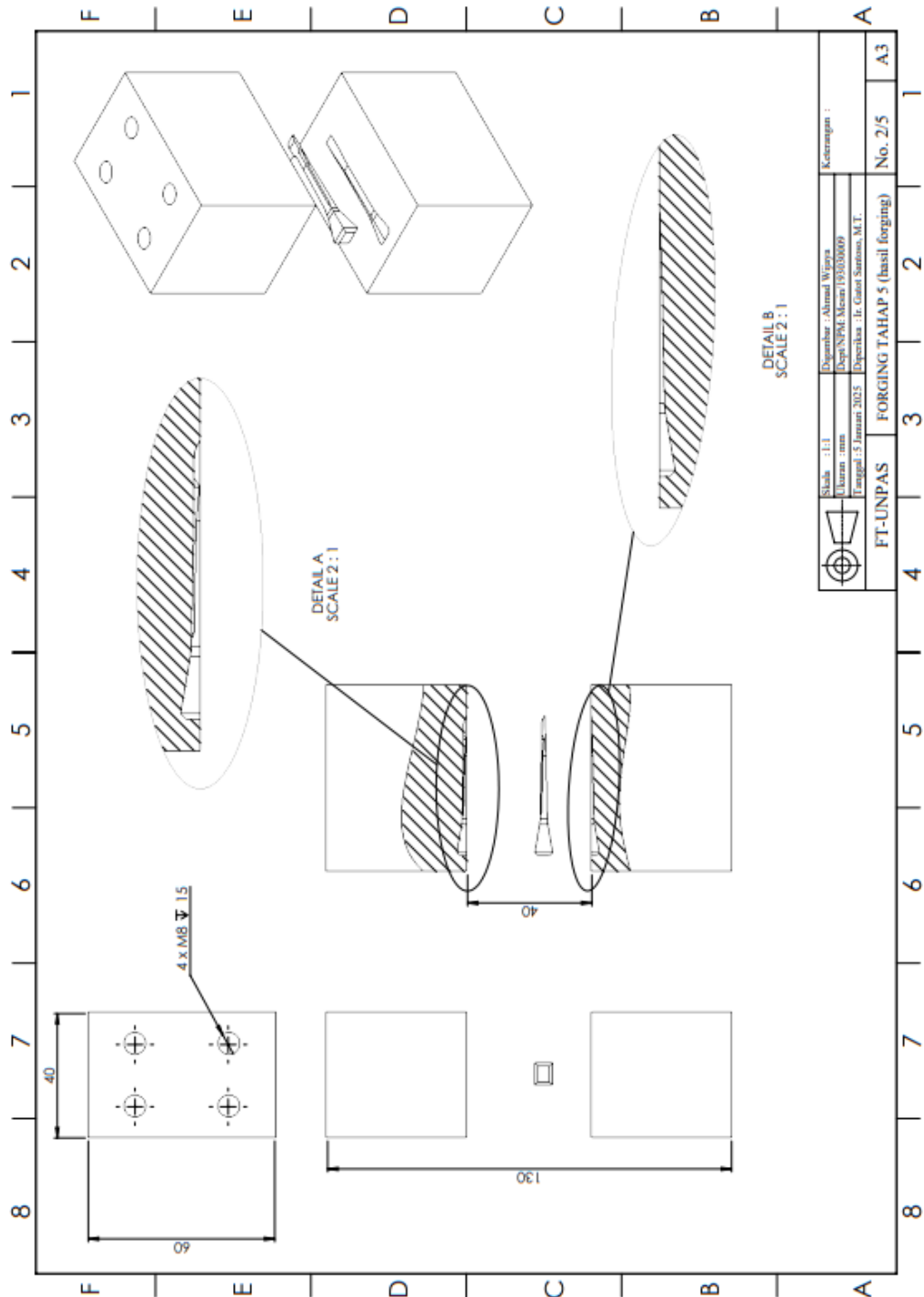
Gambar 41. *Assembly Dies* Tahap Lima

Gambar berikut ini merupakan gambar ketika kedua komponen *dies* melakukan penempaan. Dimana diperlihatkan kedua rongga cetak harus bertemu sejajar agar tidak menimbulkan kecacatan pada produk yang akan dibuat.



Gambar 42. Assembly Forging Tahap Lima (Sesudah)

Gambar berikut ini merupakan gambar setelah *forging* dilakukan. Dimana masing-masing komponen *dies* memiliki rongga cetak (*cavity*). Rongga cetak tersebut lebih memfokuskan proses pembentukan (*forming*) pada daerah kepala dan badan paku. Pada ujung paku tidak ada proses pembentukan. Maka dari itu, ujung paku pada cetakan dibebaskan.

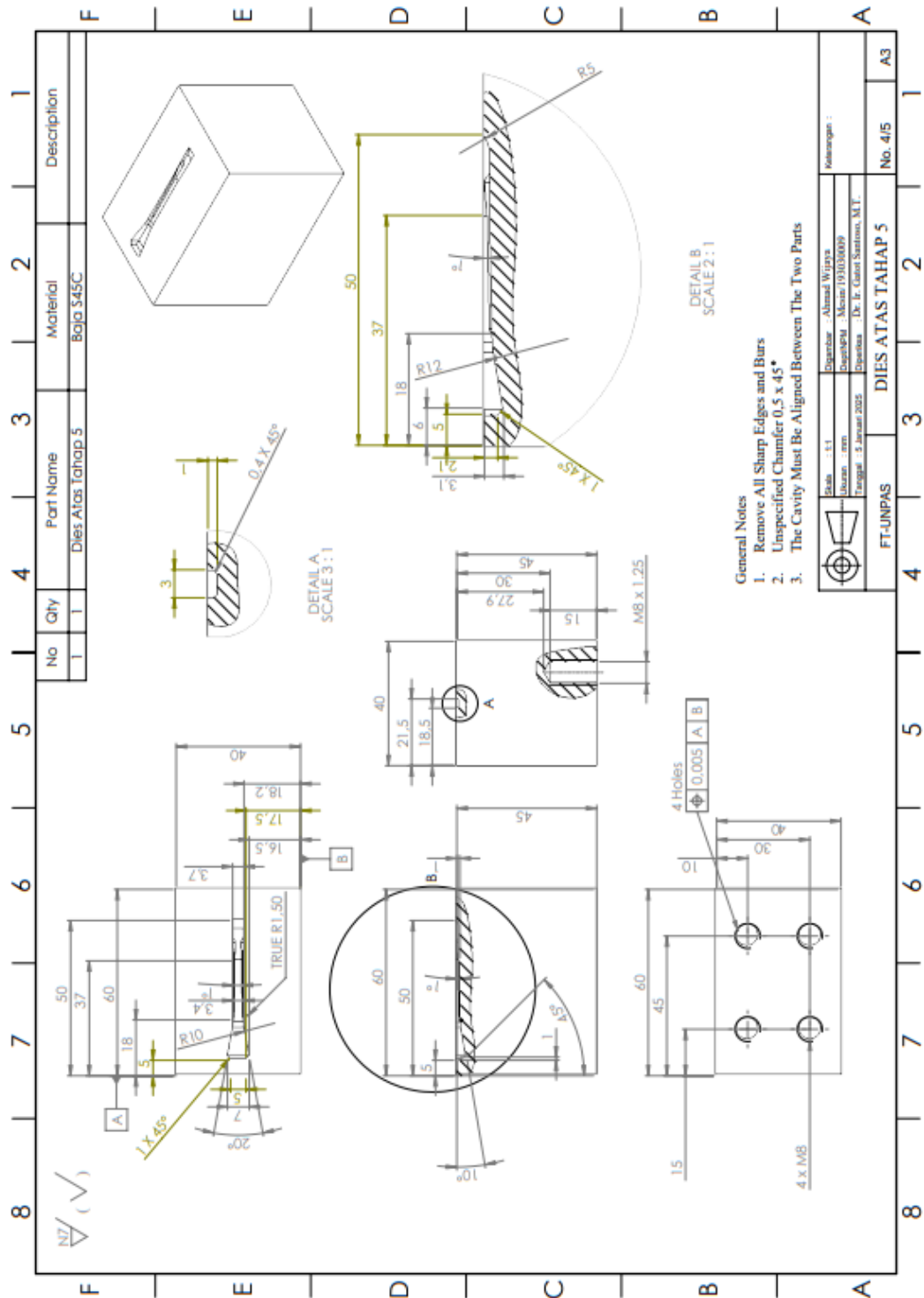


Gambar 43. *Forging* Tahap Lima (Hasil *Forging*)

[illegible]

42

Gambar berikut ini menunjukkan gambar teknik pada *dies* atas tahap 2 . Daerah rongga cetak (*cavity*) ditentukan sesuai ukuran paku pada proses tahapan ke-2. Gambar memuat berbagai detail-detail dan ukuran yang dibutuhkan untuk pembuatan *dies* dan material yang digunakan yaitu baja S45C dan toleransi yang digunakan.



Gambar 45. *Dies* Bawah Tahap Lima

3. Dokumentasi

Gambar tersebut merupakan material mentah untuk proses *machining dies* paku tapal kuda tahap lima. Material yang digunakan yaitu baja S45C. Ukuran material mentah yang dibutuhkan harus dilebihkan 5-8 mm sesuai kebutuhan pada proses CNC milling.



Gambar 46. Material Mentah Baja S45C

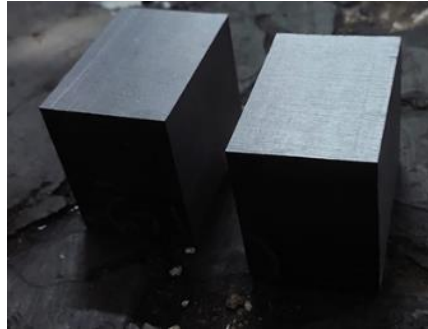
Melebihkan ukuran atau dimensi perlukan untuk mencapai dimensi akhir yang diinginkan dan juga memastikan hasil akhir yang presisi sesuai dengan spesifikasi desain. Jika material mentah memiliki dimensi yang terlalu pas dapat menyebabkan hasil pemesinan tidak presisi dan tidak sesuai spesifikasi desain.

Gambar berikut ini memperlihatkan proses pemotongan material mentah sesuai dimensi material awal yang dibutuhkan untuk proses *CNC milling*. Pemotongan menggunakan alat *bench saw machine*.



Gambar 47. Pemotongan Baja S45C

Gambar berikut ini merupakan hasil pemotongan dari *bench saw machine*. Hasil pemotongan menjadi material awal untuk proses pembuatan prototipe *dies* tahap 2 paku tapal kuda. Proses pemesinan yang digunakan yaitu *CNC Milling*.



Gambar 48. Hasil Pemotongan Material Awal Pemesinan

Alat yang digunakan untuk membuat paku tapal kuda yaitu dengan menggunakan alat *drop hammer*. Dimana hasil produk dari setiap prosesnya dihitung presentase keberhasilannya. Pada setiap kegagalannya dianalisis faktor apa saja yang menjadi penyebab hasil produk yang tidak sesuai. Alat *drop hammer* memiliki beban minimum 2 kg dan beban maksimum 10 kg. Ketinggian jatuh yang digunakan oleh alat ini 45 cm dan jarak kerja sebesar 47,9 mm. Ruang kerja pada rangka *dies* sebesar 80 x 80 x 138,7 mm.



Gambar 49. Alat *Drop Hammer*.