

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 plagiarisme.

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 skripsi 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 penelitian 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 penelitian skripsi ini, atas perhatian dan masukannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Bandung, 10 Februari 2025

Penulis,



Muhammad Andre Fadillah



DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	X
DAFTAR TABEL	XII
ABSTRAK	XIII
ABSTRACT	XIV
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 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

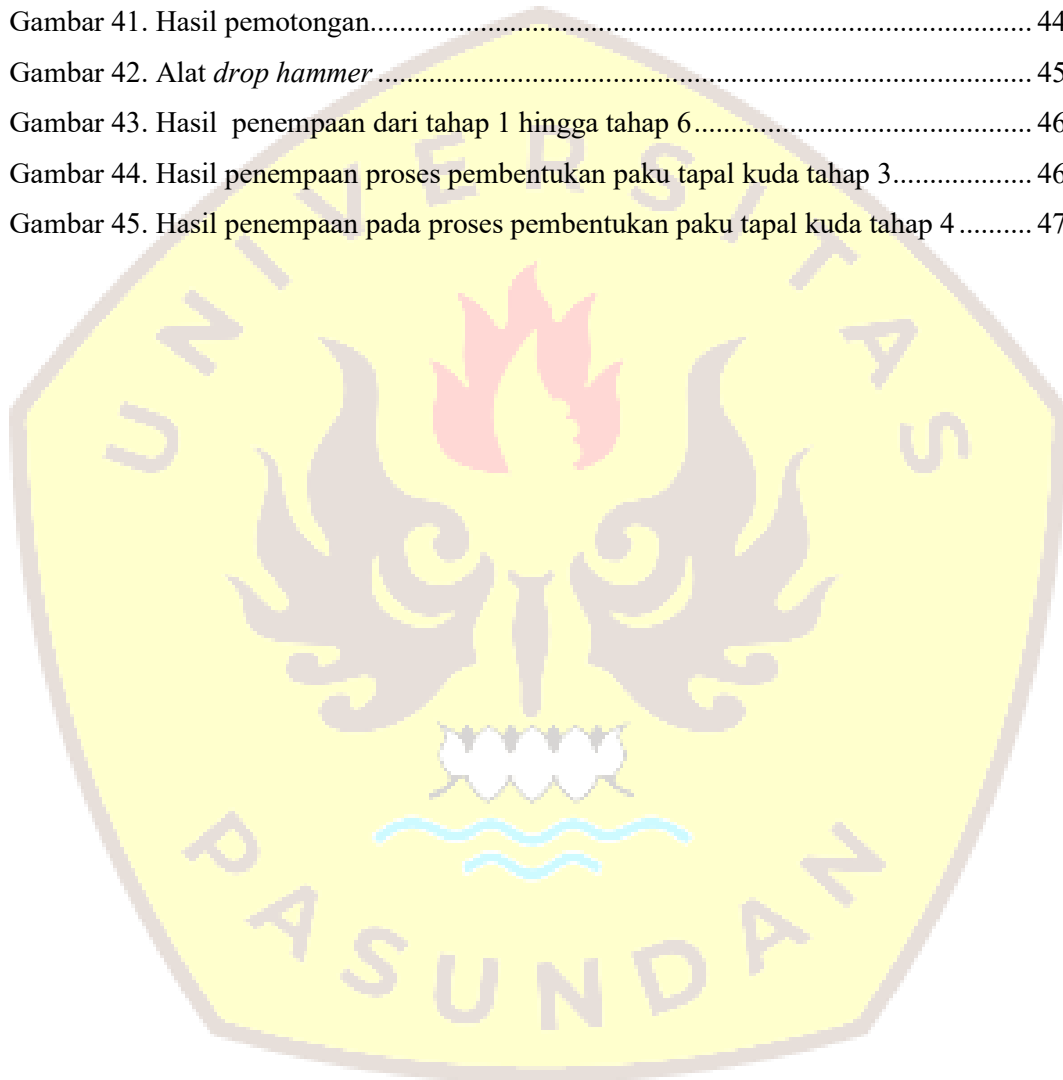
D.	Gaya <i>upsetting</i>	8
E.	Kerja <i>upsetting</i>	9
3.	<i>Metal forming</i>	10
A.	<i>Bulk deformation processes</i>	11
B.	<i>Sheet metal forming</i>	11
C.	Sifat material dalam proses <i>metal forming</i>	12
4.	<i>Cold forging</i>	13
5.	Pemilihan material proses	14
A.	Material <i>dies</i> paku tapal kuda.....	14
B.	Material paku tapal kuda	16
C.	Proses manufaktur pada pembuatan <i>dies</i> paku tapal kuda	16
BAB III METODOLOGI		18
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
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN		26
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
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		38
1.	Kesimpulan	38
2.	Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA		39
LAMPIRAN.....		40
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

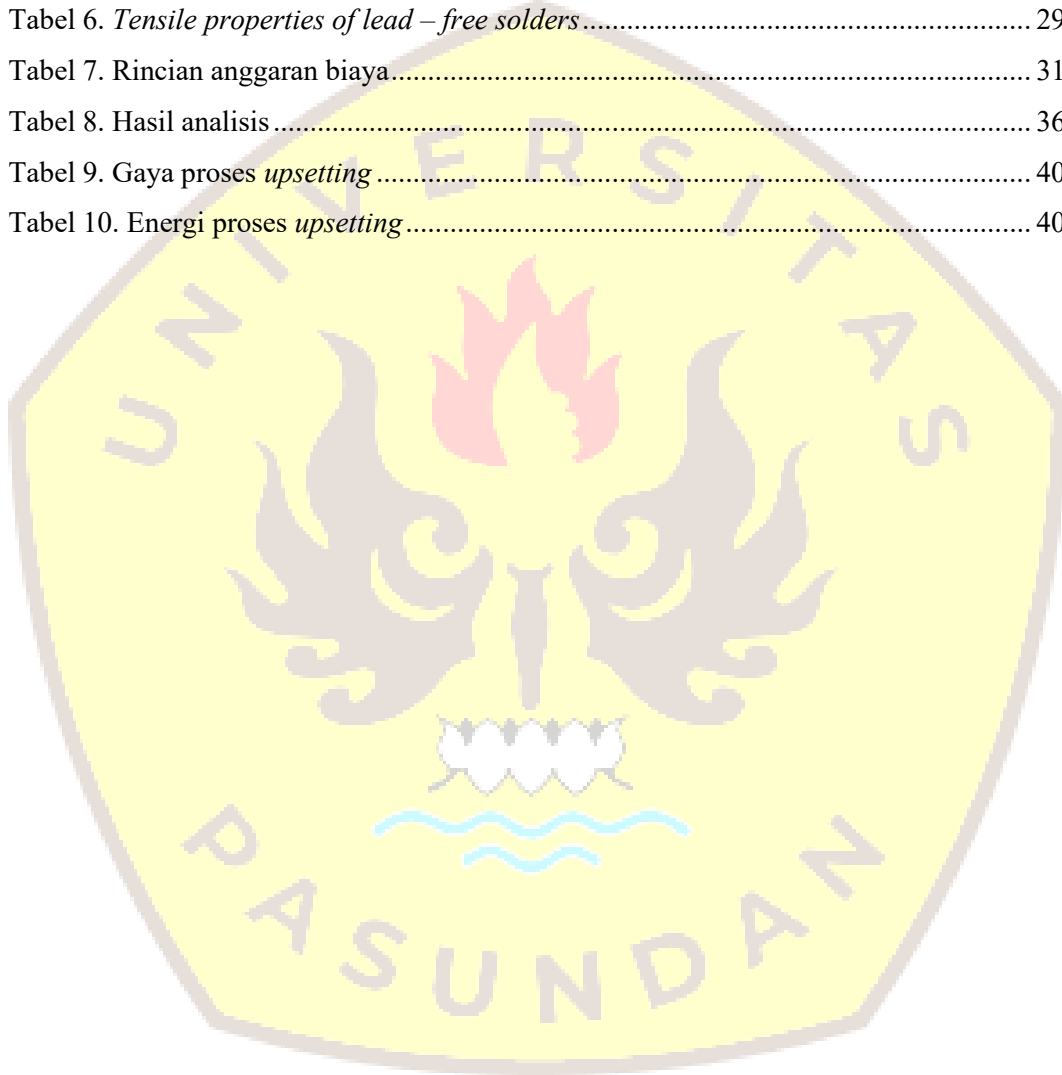
Gambar 1. Paku tapal kuda	4
Gambar 2. Standar ukuran paku tapal kuda	5
Gambar 3. Sketsa proses <i>upsetting</i>	6
Gambar 4. Terdapat perbedaan teknik <i>upsetting</i>	6
Gambar 5. Benda kerja <i>upsetting</i>	9
Gambar 6. Klasifikasi proses pembentukan.....	10
Gambar 7. <i>Bulk deformation processes</i>	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>	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</i> 1045 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 <i>ru</i> proses <i>cold upset forging</i>	7
Tabel 2. Nilai koefisien kekuatan material	13
Tabel 3. Jenis baja perkakas untuk <i>dies</i>	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 penampangnya. 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, paku tapal kuda, *upsetting*

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 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.
- [9] Serope. Kalpakjian and S. R. . Schmid, *Manufacturing engineering and technology*. Pearson, 2020.
- [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] M. Saripuddin, *Mengenal Logam Sebagai Bahan Teknik*. Deepublish, 2021.
- [12] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems, 5th Edition*. 2012.

- [13] R. J. Mohammed, "Manufacturing Processes (ME337), Third year," Basrah, Iraq, 2019.
- [14] *Metal forming handbook*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2023. doi: 10.1007/978-3-642-58857-0.
- [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] 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).
- [17] J. Steven, "Logam," 2022. <https://trentonforging.com/what-are-the-different-metal-forging-methods/> (accessed Jul. 25, 2024).
- [18] J. R. Johnson, "Engineering and Technology," vol. 7, no. 5–6. 1987. doi: 10.1177/0270467687007005-605.
- [19] R. Levy, "Memahami Proses, Metode dan aplikasi Penempaan Logam," vol. 1, p. 1, 2023, [Online]. Available: <https://www.tfgusa.com/metal-forging-processes-methods/>
- [20] A. C. Sentosa, "Teknik Forging Dalam Industri: Metode, Proses dan Pengaplikasiannya," 2024. <https://www.alvindocs.com/blog/forging> (accessed Jul. 25, 2024).
- [21] P. Y. M. W. Ndaruhadi, "Perbandingan Perubahan Sifat Mekanik Aluminium Pada Proses Tempa Dingin," *Media Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 23–29, 2010.
- [22] A. Husain, "Penempaan," vol. 1, p. 4, 2021, [Online]. Available: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/metal-forging/>
- [23] 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.
- [24] W. Goris, "Proses Manufaktur Metal Forming," *Mechaworld Dunia Tek. Mesin*, vol. 1, 2017.

- [25] 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.
- [26] A. Syarief, "Analisa Kekerasan Pisau Potong (Parang) Pada Proses Penempaan (Forging)," *Info- Teknik*, vol. 9, no. 2, pp. 117–124, 2008.
- [27] A. Herdiana, "Pengertian Metal Forming," vol. 1, p. 12, 2024, [Online]. Available: <https://www.coursehero.com/file/71640963/Pengertian-Metal-Formingpdf/>
- [28] 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).
- [29] 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.
- [30] 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