



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS KEGAGALAN *PUNCH TOOL* PADA PROSES  
REGRINDING MATERIAL HSS M4 PM**

**LAPORAN SKRIPSI**

Oleh:  
**Dinda Lutfiah**  
**NIM. 2402415019**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
JULI, 2025**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS KEGAGALAN *PUNCH TOOL* PADA PROSES  
REGRINDING MATERIAL HSS M4 PM**

**LAPORAN SKRIPSI**

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan  
Diploma III Program Studi Teknik Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin

Oleh :  
**Dinda Lutfiah**  
**NIM. 2402415019**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
JULI, 2025**



## HALAMAN PERSEMBAHAN



“Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk ayah ibu, bangsa dan almamater”

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## HALAMAN PERSETUJUAN

### LAPORAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

#### ANALISIS KEGAGALAN *PUNCH TOOL* PADA PROSES REGRINDING MATERIAL HSS M4 PM

Oleh:

Dinda Lutfiah

NIM. 2402415019

Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur

Laporan Tugas Akhir (Skripsi) telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr., Vika Rizkia, S.T., M.T.  
NIP. 198608302009122001

Pembimbing 2

Azam Milah Muhamad, M.T.  
NIP. 199608232024061001

Kepala Program Studi Sarjana Terapan  
Teknologi Rekayasa Manufaktur

Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T.  
NIP. 199403192022031006



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## HALAMAN PENGESAHAN

### LAPORAN SKRIPSI

#### ANALISIS KEGAGALAN *PUNCH TOOL* PADA PROSES REGRINDING MATERIAL HSS M4 PM

Oleh:

Dinda Lutfiah

NIM. 2402415019

Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur  
Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan  
Penguji pada tanggal 21 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk  
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan  
Teknologi Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin

#### DEWAN PENGUJI

| No | Nama                                                       | Posisi Penguji | Tanda Tangan | Tanggal   |
|----|------------------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------|
| 1  | Dr., Vika Rizkia, S.T., M.T.<br>NIP 198608302009122001     | Ketua          |              | 30/7-2025 |
| 2  | Dhiya Luqyana, S.Tr.T., M.T.<br>NIP 199809212024062001     | Anggota        |              | 30/7-2025 |
| 3  | Ifa Saidatuningtyas, S.Si., M.T.<br>NIP 198808272022032005 | Anggota        |              | 30/7-2025 |

Depok, 29 Juli 2025

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Ir. Muslimin, M.T. IWE  
NIP 197707142008121005





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinda Lutfiah

NIM : 2402415019

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 25 Juli 2025

Dinda Lutfiah

NIM. 2402415019

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## ANALISIS KEGAGALAN PUNCH TOOL PADA PROSES REGRINDING MATERIAL HSS M4 PM

Dinda Lutfiah<sup>1)</sup>, Vika Rizkia<sup>2)</sup>, Azzam Milah<sup>3)</sup>

1) Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,  
Kampus UI

Depok, 16424

2) PT. ABC, Jl. Muhamad Toha 21, Depok, 16424

Email: fauziyah@mhs.pnj.ac.id

### ABSTRAK

Kegagalan *punch tool* setelah proses regrinding menjadi permasalahan kritis dalam industri manufaktur, terutama pada material *High Speed Steel* (HSS) M4 berbasis *Powder Metallurgy* (PM) yang dikenal unggul dalam kekerasan dan ketahanan aus. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama kegagalan material pada *punch tool* HSS M4PM yang mengalami patah setelah proses grinding. Metode yang digunakan meliputi karakterisasi fraktografi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), analisis komposisi unsur dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), pengamatan mikrostruktur melalui metalografi, dan uji kekerasan Vickers. Hasil penelitian menunjukkan adanya retakan awal (*initial crack*), patah getas transgranular dan intergranular, serta degradasi lokal pada kekerasan material. Ditemukan pula kandungan karbon dan oksigen tinggi di area patahan, yang mengindikasikan pembentukan karbida berlebih dan oksidasi lokal. Distribusi karbida yang menumpuk di batas butir turut mempercepat terjadinya retak intergranular. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi sifat getas material, retakan awal, dan tegangan sisa dari proses regrinding menjadi faktor utama penyebab kegagalan.

Kata kunci: HSS M4PM, *punch tool*, regrinding, patah getas, SEM, EDS, metalografi





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## ANALISIS KEGAGALAN PUNCH TOOL PADA PROSES REGRINDING MATERIAL HSS M4 PM

Dinda Lutfiah<sup>1)</sup>, Vika Rizkia<sup>2)</sup>, Azzam Milah<sup>3)</sup>

1) Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI

Depok, 16424

2) PT. ABC, Jl. Muhamad Toha 21, Depok, 16424

Email: fauziyah@mhs.pnj.ac.id

### ABSTRACT

*The failure of punch tools after regrinding is a critical issue in the manufacturing industry, particularly for High-Speed Steel (HSS) M4 tools based on Powder Metallurgy (PM), which are known for their superior hardness and wear resistance. This study aims to identify the primary causes of material failure in HSS M4PM punch tools that fracture after grinding. The methods used include fractographic characterization using a Scanning Electron Microscope (SEM), elemental composition analysis with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), microstructure observation through metallography, and Vickers hardness testing. The results of the study show the presence of initial cracks, transgranular and intergranular brittle fractures, and local degradation of material hardness. High carbon and oxygen content was also found in the fracture area, indicating excessive carbide formation and local oxidation. The accumulation of carbides at grain boundaries further accelerated intergranular cracking. This study concluded that the combination of material brittleness, initial cracks, and residual stress from the regrinding process were the primary factors causing failure.*

*Keywords: HSS M4PM, punch tool, regrinding, brittle fracture, SEM, EDS, metallography*





## DAFTAR ISI

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| HALAMAN PERSEMBAHAN.....                                                 | i   |
| HALAMAN PERSETUJUAN .....                                                | ii  |
| HALAMAN PENGESAHAN .....                                                 | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....                                      | iv  |
| ABSTRAK.....                                                             | v   |
| ABSTRACT .....                                                           | vi  |
| DAFTAR ISI .....                                                         | vii |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                       | ix  |
| DAFTAR TABEL.....                                                        | x   |
| BAB I.....                                                               | 1   |
| PENDAHULUAN .....                                                        | 1   |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                 | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                                | 3   |
| 1.3 Pertanyaan Penelitian .....                                          | 3   |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                                               | 3   |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                                              | 4   |
| 1.6 Batasan Penelitian .....                                             | 4   |
| 1.7 Sistematika Penulisan .....                                          | 5   |
| BAB II .....                                                             | 6   |
| TINJAUAN PUSTAKA .....                                                   | 6   |
| 2.1 Landasan Teori.....                                                  | 6   |
| 2.1.1 <i>High Speed Steel (HSS) M4 PM</i> .....                          | 6   |
| 2.1.2 <i>Proses Regrinding dan Termal Damage</i> .....                   | 7   |
| 2.1.3 Mekanisme Fraktur pada Baja .....                                  | 8   |
| 2.1.4 Fraktografi dengan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> ..... | 9   |
| 2.1.5 Komposisi Kimia dan Pengaruhnya terhadap Fraktur .....             | 10  |
| 2.1.6 Cacat pada Struktur Mikro .....                                    | 11  |
| 2.1.7 Struktur Mikro dan Distribusi Karbida .....                        | 12  |

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.8 Kekerasan Material dan Pengaruhnya terhadap <i>Fracture</i> ..... | 13        |
| 2.2 Kajian Literatur .....                                              | 14        |
| <b>BAB III .....</b>                                                    | <b>17</b> |
| <b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                                      | <b>17</b> |
| 3.1 Jenis Penelitian .....                                              | 17        |
| 3.2 Objek Penelitian .....                                              | 17        |
| 3.3 Metode Pengambilan Sampel.....                                      | 18        |
| 3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian .....                              | 19        |
| 3.5 Metode Pengumpulan Data.....                                        | 19        |
| 3.6 Metode Analisis Data.....                                           | 25        |
| <b>BAB IV .....</b>                                                     | <b>27</b> |
| <b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>                            | <b>27</b> |
| 4.1 Hasil Penelitian. ....                                              | 27        |
| 4.1.1 Pengujian SEM.....                                                | 27        |
| 4.1.1.1 Pengujian EDS .....                                             | 29        |
| 4.1.1.2 <i>Hardness Test</i> .....                                      | 37        |
| 4.1.1.3 Metalografi.....                                                | 40        |
| <b>BAB V.....</b>                                                       | <b>41</b> |
| <b>KESIMPULAN .....</b>                                                 | <b>41</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                                                    | 41        |
| 5.2 Saran .....                                                         | 42        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                             | <b>43</b> |

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.1 Diagram batang keunggulan dari masing-masing jenis HSS .....                                                  | 1  |
| Gambar 2.1 A) Intergranular Fracture, B) Ductile Fracture, C) Transgranular Fracture .....                               | 9  |
| Gambar 2.2 Ilustrasi Uji Vickers dan Indentor Uji Vickers (sumber : [13]) .....                                          | 13 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....                                                                                 | 20 |
| Gambar 3.2 Pemotongan material untuk failure analysis A) Fracture surface atau dekat patahan, B) jauh dari patahan ..... | 21 |
| Gambar 3.3 Mesin ultrasonik pembersih material .....                                                                     | 22 |
| Gambar 3.4 Ilustrasi pemotongan material .....                                                                           | 23 |
| Gambar 3.5 Low speed diamond saw .....                                                                                   | 23 |
| Gambar 3.6 Mesin grinding dan polishing .....                                                                            | 24 |
| Gambar 3.7 Parameter pengujian HV .....                                                                                  | 24 |
| Gambar 3.8 A) titik pengujian area dekat dari patahan B) Titik Pengujian Jauh dari Patahan .....                         | 25 |
| Gambar 4.1 Permukaan patahan yang diobservasi a) awal patahan, b) akhir patahan .....                                    | 27 |
| Gambar 4.2 A) Topografi specimen pada area awal patahan, B) Topografi specimen pada area akhir patahan. ....             | 28 |
| Gambar 4.3 A) Fractografi pada area tengah patahan, B) perbesaran 5000 permukaan tengah. ....                            | 28 |
| Gambar 4.4 Area EDS fracture surface spectrum 1 .....                                                                    | 30 |
| Gambar 4.5 Area EDS permukaan jauh dari patahan .....                                                                    | 34 |
| Gambar 4.6 Hasil EDS permukaan jauh dari patahan .....                                                                   | 34 |
| Gambar 4.7 Perbandingan komposisi unsur HSS M4 PM .....                                                                  | 36 |
| Gambar 4.8 A) uji kekerasan pada area jauh dari patahan, B) uji kekerasan dekat dari patahan .....                       | 37 |
| Gambar 4.9 Perbandingan kekerasan area dekat patahan dan jauh dari patahan ..                                            | 39 |
| Gambar 4.10 Struktur mikro HSS M4 PM A) Jauh dari patahan, B) Dekat dari Patahan .....                                   | 40 |





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR TABEL**

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4.1 Komposisi unsur pada spectrum satu .....              | 30 |
| Tabel 4.2 Komposisi unsur spectrum 2 .....                      | 31 |
| Tabel 4.3 Komposisi unsur pada spectrum 3 .....                 | 32 |
| Tabel 4.4 Komposisi unsur pada spectrum 4 .....                 | 33 |
| Tabel 4.5 Komposisi element jauh dari patahan .....             | 35 |
| Tabel 4.6 Perbandingan hasil EDS .....                          | 35 |
| Tabel 4.7 Hasil uji kekerasan pada area jauh dari patahan ..... | 38 |
| Tabel 4.8 Hasil uji kekerasan pada area patahan .....           | 38 |

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

**Hak Cipta :**

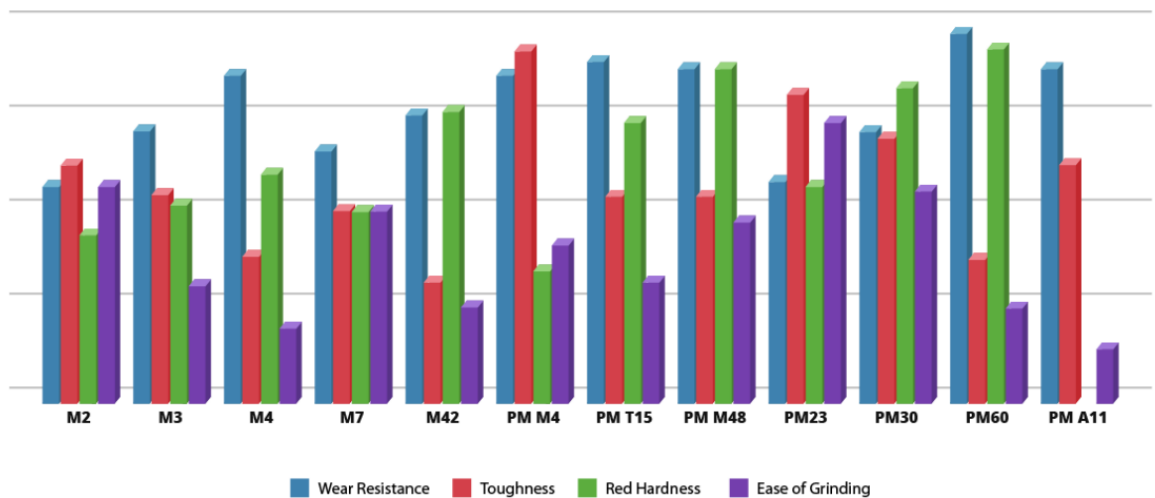
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Material logam memiliki peran vital dalam dunia industri, khususnya dalam bidang manufaktur presisi dan produksi alat potong. Salah satu jenis material yang banyak digunakan adalah *High-Speed Steel* (HSS), yang dikenal karena kekerasan, ketahanan aus, dan performa mekaniknya yang tinggi [1]. *High Speed Steel* memiliki berbagai jenis, baja M4 PM (*Powder Metallurgy*) atau metalurgi serbuk menjadi pilihan utama dalam pembuatan komponen seperti *punch tool* karena distribusi karbida yang lebih merata dan performa termomekanik yang unggul dibanding baja konvensional [2].

#### High Speed Steel Properties Comparison



Gambar 1.1 Diagram batang keunggulan dari masing-masing jenis HSS

Penelitian berjudul "*High-speed grinding: from mechanism to machine tool*" yang membahas M4 PM memiliki kekuatan dan ketahanan aus yang sangat baik [3], dalam praktiknya masih sering dijumpai kegagalan dini, terutama setelah *punch tool* mengalami proses *regrinding* atau pemotongan ulang pada permukaan kerja. Permasalahan ini menjadi sangat krusial mengingat aplikasi *punch tool*

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritis atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

umumnya berada dalam kondisi beban kerja tinggi dan lingkungan gesekan intensif [4], sehingga potensi kegagalan seperti retak atau patah dapat menyebabkan *downtime* produksi dan kerugian material yang signifikan[4].

Kegagalan material setelah proses *surface grinding* pada *punch tool* M4 PM dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain perubahan mikrostruktur akibat proses termomekanik, konsentrasi tegangan sisa, distribusi karbida yang tidak merata, hingga cacat internal pada struktur mikro. Penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh kadar vanadium dan proses *solution treatment* terhadap performa baja alat potong [1].

Penelitian lain telah membahas karakteristik mikrostruktur dan performa mekanik HSS, terutama dengan fokus pada proses manufaktur seperti *Selective Laser Melting* (SLM) dan *Electroslag Remelting* (ESR) [4]. Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa parameter pemrosesan memiliki pengaruh besar terhadap distribusi karbida dan ketahanan retak.

Namun, sebagian penelitian lain hanya berfokus pada material HSS dalam kondisi awal atau pasca perlakuan panas tanpa mempertimbangkan perubahan karakteristik material setelah mengalami proses peremajaan (*regrinding*). Padahal, dalam praktik industri, *regrinding* sering dilakukan untuk memperpanjang umur pakai alat potong [5]. Proses ini, meskipun umum dilakukan, dapat menyebabkan tegangan sisa, perubahan mikrostruktur, bahkan retakan mikro yang menjadi titik awal kegagalan.

Beberapa studi memang menyinggung masalah keausan dan umur alat, tetapi jarang yang secara spesifik mengkaji kegagalan *punch tool* pasca *regrinding*, khususnya pada material M4 PM yang bersifat keras namun juga rapuh jika terjadi konsentrasi tegangan lokal. Belum banyak pula yang menggabungkan metode analisis mikrostruktur, fraktografi, dan komposisi kimia untuk menelusuri penyebab kegagalan secara komprehensif.

Penelitian ini diarahkan untuk melakukan analisis kegagalan secara menyeluruh terhadap *punch tool* berbahan M4 PM yang mengalami patah setelah proses *regrinding*. Pendekatan yang dilakukan mencakup karakterisasi mikrostruktur untuk melihat distribusi fasa dan karbida, uji kekerasan untuk





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mengevaluasi perubahan sifat mekanik, serta analisis fraktografi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) guna memahami mekanisme dan jenis patahan yang terjadi [6].

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam tentang penyebab utama kegagalan material M4 PM setelah proses *regrinding* serta menjadi dasar dalam pengambilan keputusan teknis untuk mencegah terjadinya kegagalan serupa di masa mendatang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Kegagalan dini pada *punch tool* berbahan HSS M4 PM yang mengalami proses *regrinding* berulang merupakan permasalahan signifikan dalam dunia industri manufaktur presisi. Meskipun material HSS M4 PM dikenal memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi, kejadian patah secara tiba-tiba tanpa tanda deformasi plastis mengindikasikan adanya potensi degradasi mikrostruktur atau cacat internal yang belum terdeteksi secara visual.

Masalah ini menjadi penting untuk diteliti karena keberhasilan *regrinding* sangat mempengaruhi umur pakai alat dan keselamatan proses produksi. Selain itu, pemahaman terhadap mekanisme patah dan sifat material pasca *regrinding* secara mikrostruktur dan kimiawi masih belum banyak dibahas dalam konteks material HSS berbasis metalurgi serbuk. Oleh karena itu, diperlukan analisis menyeluruh terhadap faktor-faktor penyebab patahan menggunakan pendekatan metalografi, fraktografi, uji kekerasan, serta analisis komposisi kimia.

## 1.3 Pertanyaan Penelitian

1. Apa karakteristik mikrostruktur dan komposisi kimia pada area patahan *punch tool* HSS M4 PM setelah mengalami proses *regrinding*?
2. Bagaimana bentuk morfologi patahan dan tingkat kekerasan material yang menunjukkan mekanisme kegagalan pada *punch tool* tersebut?

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai penyebab kegagalan *punch tool* berbahan HSS M4 PM yang mengalami proses *regrinding* yaitu:



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Mengetahui karakteristik struktur mikro dan komposisi kimia pada area patahan *punch tool* HSS M4 PM setelah mengalami proses *regrinding*.
2. Menganalisis morfologi patahan dan nilai kekerasan material dalam mengidentifikasi mekanisme kegagalan *punch tool* tersebut.

### 1.5 Manfaat Penelitian

#### 1. Manfaat Teoritis

Manfaat Penelitian ini dapat memperkaya wawasan dalam bidang ilmu material, khususnya terkait pengaruh proses *regrinding* terhadap perubahan mikrostruktur, komposisi kimia, kekerasan, dan mekanisme patah pada material *High Speed Steel (HSS)* berbasis *Powder Metallurgy*. Temuan dalam penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam studi tentang fraktur getas dan kegagalan akibat tegangan sisa serta proses termomekanik lokal.

#### 2. Manfaat Praktis

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pengendalian proses *regrinding* agar tidak menimbulkan degradasi mikrostruktur atau cacat kritis pada alat potong industri. Penelitian ini juga dapat membantu teknisi atau operator dalam menerapkan prosedur inspeksi dan perawatan yang lebih tepat, serta meningkatkan umur pakai *punch tool* berbahan HSS M4 PM pada lingkungan kerja nyata.

### 1.6 Batasan Penelitian

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada satu jenis material, yaitu *punch tool* berbahan *High Speed Steel (HSS)* M4 PM (*Powder Metallurgy*) yang mengalami proses *regrinding* sebelum mengalami kegagalan.
2. Analisis difokuskan pada area patahan dan area yang jauh dari patahan, tanpa membandingkan dengan material baru atau yang belum digunakan.
3. Metode karakterisasi yang digunakan meliputi
  - Fraktografi menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.
  - Analisis komposisi kimia menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*.
  - Pengamatan struktur mikro melalui metalografi optik.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers hardness test*.

4. Penelitian ini tidak menganalisis secara rinci parameter proses *regrinding*, seperti kedalaman pemakanan (*depth of cut*), kecepatan pemotongan (*wheel speed*), kecepatan pemakanan (*feed rate*), jenis batu gerinda, maupun sistem pendinginan yang digunakan. Namun, hasil analisis kegagalan pada *punch tool* diasumsikan sebagai akibat dari kombinasi efek-efek tersebut berdasarkan hasil karakterisasi mikrostruktur dan fraktografi.
5. Interpretasi kegagalan didasarkan pada hasil uji dan literatur ilmiah yang relevan, tanpa uji tambahan seperti XRD, TEM, atau uji tarik.

### 1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan analisis ini adalah sebagai berikut:

#### 1. BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan skripsi.

#### 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka membahas tinjauan literatur yang relevan dengan penelitian skripsi ini, yang diperoleh dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, standar, serta referensi lainnya yang mendukung hasil penelitian.

#### 3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian, diagram alir proses penelitian, variabel yang diteliti, serta tahapan pelaksanaan penelitian

#### 4. BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menguraikan hasil yang telah diperoleh serta analisis terhadap data yang telah diolah. Temuan dalam penelitian ini memberikan wawasan mengenai pengembangan sistem yang lebih efektif dan efisien.

#### 5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi rangkuman dari hasil penelitian yang telah diperoleh serta rekomendasi yang dapat diterapkan oleh peneliti di masa mendatang.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis eksperimental melalui uji fraktografi (SEM), analisis komposisi kimia (EDS), metalografi, serta uji kekerasan Vickers terhadap material punch tool berbahan HSS M4 PM yang mengalami kegagalan setelah proses regrinding, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Faktor utama penyebab patahnya material HSS M4 PM selama proses *surface grinding* ada beberapa faktor salah satunya karna tingginya unsur C yang disebabkan oleh proses grinding yang menghasilkan suhu sangat tinggi (misalnya karena tekanan tinggi atau kecepatan besar tanpa pendinginan efektif), maka fluida pendingin berbasis minyak (*coolant*) dapat terurai (*thermal decomposition*) dan menyebabkan karburisasi permukaan lokal. Ini bisa menyebabkan kandungan karbon naik pada permukaan logam. Kandungan karbon yang tinggi membuat material menjadi keras namun lebih rapuh. HSS M4PM juga memiliki sifat getas akibat struktur martensit keras serta pembentukan karbida berlebih. Karakteristik patahan didominasi oleh *transgranular cleavage fracture* dan hanya sedikit ditemukan dimpel, yang menunjukkan kemampuan deformasi plastis yang rendah. Kandungan karbon dan oksigen yang tinggi pada area patahan (hingga 32% C dan 18% O) mendukung indikasi terjadinya kontaminasi permukaan serta kecenderungan terbentuknya karbida keras yang mengurangi ketangguhan material.
2. Kegagalan material bukan disebabkan oleh cacat bawaan material, melainkan lebih dominan dipicu oleh faktor proses, yaitu efek termal dan mekanik dari proses regrinding yang tidak terkendali. Hal ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan komposisi kimia, degradasi kekerasan lokal, dan morfologi patahan transgranular-intergranular yang khas pada material yang sudah mengalami perubahan akibat perlakuan berulang.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## 5.2 Saran

Berdasarkan temuan dalam penelitian ini, terdapat beberapa langkah praktis yang disarankan untuk mencegah terjadinya kegagalan serupa pada punch tool berbahan HSS M4 PM:

1. Industri perlu mewaspadai kemungkinan efek termal dari proses regrinding, karena hasil penelitian menunjukkan indikasi peningkatan unsur karbon dan oksigen lokal pada area patah. Oleh karena itu, pemilihan metode regrinding dan pengendalian proses secara umum sebaiknya diperhatikan, meskipun parameter spesifik tidak dikaji secara langsung dalam penelitian ini.
2. Pemeriksaan kondisi alat potong sebelum dan sesudah regrinding disarankan dilakukan menggunakan metode non-destruktif seperti dye penetrant test (DPT) atau magnetic particle inspection (MPI), untuk memastikan tidak ada retakan mikro yang berpotensi berkembang menjadi kegagalan.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji lebih lanjut pengaruh parameter regrinding seperti tekanan, kecepatan, dan suhu terhadap sifat mikrostruktur dan mekanik material HSS M4 PM secara lebih terkontrol.





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Y. Liu, J. Li, W. Liang, J. Gao, Y. Qi, and C. Shang, "Precipitation behaviors of carbides in high speed steel during esr and heat treatment," *Metals (Basel)*, vol. 11, no. 11, Nov. 2021, doi: 10.3390/met11111781.
- [2] Y. Cao, Z. Zhao, X. Wan, G. Li, Z. Jiang, and Y. Dong, "Carbide Characteristics of High Vanadium High-speed Steel Manufactured by Electroslag Remelting," *ISIJ International*, vol. 62, no. 7, pp. 1430–1438, 2022, doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-490.
- [3] Y. L. Wang *et al.*, "High-speed grinding: from mechanism to machine tool," *Adv Manuf*, 2024, doi: 10.1007/s40436-024-00508-x.
- [4] W. Ji, C. Liu, S. Dai, and R. Deng, "Microstructure, Properties and Crack Suppression Mechanism of High-speed Steel Fabricated by Selective Laser Melting at Different Process Parameters," *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, vol. 36, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/s10033-023-00877-7.
- [5] Y. Torres, S. Rodríguez, A. Mateo, M. Anglada, and L. Llanes, "Fatigue behavior of powder metallurgy high-speed steels: Fatigue limit prediction using a crack growth threshold-based approach," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 387–389, no. 1-2 SPEC. ISS., pp. 501–504, Dec. 2004, doi: 10.1016/j.msea.2003.12.072.
- [6] X. L. Liu, Z. Lin, H. J. Zhao, and F. Sun, "Study on Microstructure, Mechanical Properties, Tribological Properties and Service Performance of CrAlN and CrAlBN Coatings Deposited on Powder Metallurgy High-Speed Steel (PM-HSS) and Shaper Cutter by Arc Ion Plating Technique," *Coatings*, vol. 14, no. 4, Apr. 2024, doi: 10.3390/coatings14040486.
- [7] Y. Gabsi, S. Zouari, M. Abdennadher, L. Dieng, and R. Elleuch, "Development and Characterization of Cladding AISI 304L Stainless Steel





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

on Aluminum,” *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 9, no. 2, p. 30, Jan. 2025, doi: 10.3390/jmmp9020030.

- [8] D. Scott and M. Q. Houghton, “Metallurgical Reasons for Grinding Cracks and Their Detection,” 2017. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/318467909>
- [9] A. Wildeis, H. J. Christ, and R. Brandt, “Influence of Residual Stresses on the Crack Initiation and Short Crack Propagation in a Martensitic Spring Steel,” *Metals (Basel)*, vol. 12, no. 7, Jul. 2022, doi: 10.3390/met12071085.
- [10] Ted L. Anderson, *Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, Fourth Edition*, 4th ed. Boca Raton: 2017, 2017.
- [11] E. Espinel-Blanco, N. Y. Perez-Rangel, and E. Florez-Solano, “Fracture failure analysis of metal materials by visual inspection and destructive testing,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Oct. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/2046/1/012060.
- [12] ASM Handbook Vol 12, *Fractography*, 1987th ed., vol. 12. 1987.
- [13] “Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials,” Jul. 01, 2023, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/E0092-23.
- [14] L. Jiang *et al.*, “Forming Control and Wear Behavior of M2 High-Speed Steel Produced by Direct Energy Deposition on Curved Surface,” *Materials*, vol. 17, no. 24, Dec. 2024, doi: 10.3390/ma17246119.
- [15] E. Rahimi, T. Nijdam, A. Jahagirdar, E. Broitman, and A. Mol, “Advanced Nodular Thin Dense Chromium Coating: Superior Corrosion Resistance,” *ACS Appl Mater Interfaces*, 2025, doi: 10.1021/acsami.4c19897.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [16] K. P. Pawar, "Parametric Optimization of Turning Process for Hard HSS M2 Material to Minimize Resultant Tool Vibration," Sep. 16, 2022. doi: 10.21203/rs.3.rs-2060249/v1.
- [17] F. Larini, R. Casati, S. Marola, and M. Vedani, "Microstructural Evolution of a High-Strength Zr-Ti-Modified 2139 Aluminum Alloy for Laser Powder Bed Fusion," *Metals (Basel)*, vol. 13, no. 5, May 2023, doi: 10.3390/met13050924.
- [18] S. Siwawut, P. Srikhumsuk, and S. Butdee, "Tool life and wear prediction of HSS and PVD material using ANFIS system," *Mater Today Proc*, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.09.172.
- [19] M. Ormanova, G. Kotlarski, D. Dechev, N. Ivanov, B. Stoyanov, and S. Valkov, "Duplex Surface Modification of M2 High-Speed Steel," *Coatings*, vol. 14, no. 7, Jul. 2024, doi: 10.3390/coatings14070798.
- [20] *Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017. doi: 10.1520/E0003-11R17.
- [21] *Practice for Microetching Metals and Alloys*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2023. doi: 10.1520/E0407-23.
- [22] M. Szkodo, K. Chodnicka-Wszelak, M. Deja, A. Stanislawska, and M. Bartmanski, "The influence of the depth of cut in single-pass grinding on the microstructure and properties of the C45 steel surface layer," *Materials*, vol. 13, no. 5, Mar. 2020, doi: 10.3390/ma13051040.