



Studi Kasus Produk *End Rear Suspension* (D56A) Menggunakan Metode *PICA* (5 why's) dan *FEA* Di PT. XYZ

Raihan Ulwan Afif¹, Budi Yuwono^{1*}, Sepriandi²

¹Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author E-mail address:¹⁾ budiypnj@yahoo.co.id ²⁾ sepriandi.parningotan@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Proses penempaan (*forging*) dalam industri manufaktur dilakukan dengan memanaskan logam pada suhu tertentu (1.200 °C) dan memberikan gaya tekan yang ekstrem sesuai kapasitas mesin secara berulang untuk mengubah bentuk serta meningkatkan kekuatan material. Salah satunya adalah produk *End Rear Suspension* (D56A) yang berfungsi sebagai komponen sistem suspensi belakang untuk meredam getaran saat berkendara. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab dominan terjadinya *reject* pada produk tersebut, merumuskan tindakan perbaikan melalui metode *PICA* (5 Why's), serta menentukan material cavity dies yang optimal berdasarkan hasil simulasi *Finite Element Analysis* (FEA). Sebagai solusi jangka panjang, dilakukan pembaruan desain dies dari bentuk bulat menjadi persegi yang dilengkapi L-clamp untuk meredam getaran, serta analisis *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* pada material cavity dies DIN 1.2343 dan DIN 1.2367 dengan pembebanan 1.000 N. Hasil simulasi FEA menunjukkan bahwa material DIN 1.2367 memiliki ketahanan deformasi yang lebih baik dengan nilai *displacement* maksimum yang lebih kecil dan *Safety Factor* sebesar 1,73 dibandingkan DIN 1.2343 sebesar 1,56, sehingga direkomendasikan untuk meningkatkan umur pakai dies serta menurunkan *reject underfill*.

Kata-kata kunci: *Forging*, *End Rear Suspension* (D56A), diagram Pareto, Fishbone diagram, *PICA* (5 why's), FEA (*Finite Element Analysis*).

Abstract

The forging process in the manufacturing industry involves heating metal to a specific temperature (1,200°C) and repeatedly applying extreme compressive force commensurate with machine capacity to alter the shape and enhance the material's strength. One such product is the *Rear Suspension End* (D56A), a component of the rear suspension system designed to dampen vibrations during vehicle operation. This study aims to identify the primary root cause of product rejections, formulate corrective actions using the *PICA* (5 Whys) method, and determine the optimal die cavity material based on *Finite Element Analysis* (FEA) simulation results. As a long-term solution, the die design was modified from a circular to a square shape—incorporating an L-clamp to dampen vibrations—and FEA was conducted using *SolidWorks* software on die cavity materials DIN 1.2343 and DIN 1.2367 under a 1,000 N load. The FEA simulation results indicate that the DIN 1.2367 material offers superior deformation resistance, exhibiting lower maximum displacement and a higher *Safety Factor* (1.73) compared to DIN 1.2343 (1.56); consequently, it is recommended to extend die service life and reduce underfill-related rejections.

Keywords: *Forging*, *End Rear Suspension* (D56A), Diagram Pareto, Fishbone Diagram, *PICA* (5 why's), FEA (*Finite Element Analysis*).

PENDAHULUAN

Industri manufaktur komponen otomotif berbasis logam mengalami peningkatan signifikan, khususnya pada kategori produk yang membutuhkan kekuatan material tinggi serta presisi geometris yang tinggi. Metode penempaan (*forging*) dianggap sebagai salah satu teknik yang paling menantang karena melibatkan penggunaan tekanan ekstrem pada suhu tertentu untuk menghasilkan logam dengan kepadatan dan ketahanan mekanis yang unggul. Namun, dalam praktiknya, proses ini rentan terhadap berbagai kecacatan seperti pengisian material yang tidak sempurna (*underfill*), kerusakan permukaan, hingga penyimpangan dimensi yang dipengaruhi oleh faktor suhu dan tekanan. Mengingat banyak kendala mutu yang baru terdeteksi pada tahap pemeriksaan akhir, pengawasan kualitas dalam proses *forging* menjadi elemen yang sangat penting [1].

PT. XYZ, sebagai salah satu produksi utama suku cadang kendaraan, memiliki produk strategis berupa *end rear suspension* (D56A). Komponen ini sangat penting untuk stabilitas kendaraan karena berfungsi meredam beban dan getaran selama penggunaan kendaraan [2]. Mengingat cara kerjanya yang menahan tekanan tinggi secara dinamis, standar kualitas material dan akurasi bentuk menjadi prioritas utama yang tidak bisa ditawar. Kerusakan sekecil apa pun pada sistem suspensi ini tidak hanya menghambat performa, tetapi juga membahayakan keselamatan penumpang, terutama saat berkendara dalam kondisi ekstrem. Oleh sebab itu, toleransi kualitas untuk komponen suspensi jauh lebih ketat dibandingkan dengan bagian otomotif lainnya yang tidak memikul beban dinamis secara berkelanjutan [3].

Tabel 1. Tabel produksi periode tahun 2025

Maret	Bulan	Jumlah produksi (pcs)	Jumlah reject (pcs)	Presentase (%)
1	Maret	29.274 pcs	236 pcs	0.81%
2	Februari	26.861 pcs	191 pcs	0.71%
3	Maret	21.526 pcs	309 pcs	1.44%
4	April	17.737 pcs	312 pcs	1.76%
5	Mei	26.279 pcs	164 pcs	0.62%
6	Juni	14.554 pcs	256 pcs	1.76%
7	Juli	27.509 pcs	255 pcs	0.93%
8	Agustus	21.083 pcs	215 pcs	1.02%
9	September	21.120 pcs	145 pcs	0.69%
10	Oktober	18.993 pcs	134 pcs	0.71%
11	November	18.130 pcs	235 pcs	1.30%
12	Desember	16.803 pcs	269 pcs	1.60%
	Total	259.869 pcs	2.723 pcs	1.05%

Berdasarkan Tabel 1 di atas data produksi di PT. XYZ jumlah produksi total pada periode Januari-Desember 2025 adalah 259.869 pcs. Ditemukan bahwa jumlah *reject* pada produk *End Rear Suspension (D56A)* yaitu 2.721 pcs, kemudian *persentase* pada bulan Maret yaitu (1,44%), April (1,76%), Juni (1,76%), November (1,3%), dan Desember (1,6%). Angka tersebut melebihi batas toleransi perusahaan yang ditetapkan, yaitu 1 s/d 1,10%, sehingga menunjukkan perlu adanya tindakan perbaikan untuk menurunkan *reject* yang di atas 1-1,10% menjadi di bawah 1%.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji permasalahan sejenis dengan pendekatan yang serupa. Setiawan dkk. serta Oktaviana dan Auliandri menerapkan Diagram *Pareto* dan *Fishbone* untuk mengidentifikasi cacat dominan pada komponen otomotif dan produk manufaktur lain, tetapi analisis hanya berhenti pada identifikasi penyebab tanpa dilanjutkan dengan simulasi kekuatan material menggunakan FEA [4], [5]. Sementara itu, Bagja dan Soeparjo serta Edgar dkk. telah menggunakan analisis *Von Mises*, *displacement*, dan *safety factor* berbasis FEA, namun diterapkan pada objek yang berbeda (rangka auto transfer tipe *lifter* dan rangka *hoist crane double grider* 2 Ton) dan tidak dikaitkan dengan pemilihan material *dies* pada proses *forging* [6], [7]. Berdasarkan uraian tersebut, terdapat celah penelitian (*research gap*) berupa belum adanya penelitian yang mengintegrasikan identifikasi akar penyebab *reject* menggunakan Diagram *Pareto*, *Fishbone*, dan *PICA (5 Whys)* dengan analisis pemilihan material *cavity dies* melalui FEA secara menyeluruh pada studi kasus produk *End Rear Suspension (D56A)*. Penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan keempat pendekatan tersebut secara berurutan, mulai dari identifikasi masalah, analisis akar penyebab, hingga penentuan solusi teknis berupa pembaruan desain dan material *dies*.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan *diagram pareto* dan *diagram fishbone* untuk mengetahui temuan dan jenis *reject* nya, kemudian menggunakan metode *PICA (5 why's)* untuk memberikan tindakan perbaikan, kemudian menganalisis area cavity dies dengan metode FEA (Finite Element Analysis).

Diagram pareto

Konsep Diagram *Pareto* berakar pada prinsip *Pareto*, yang awalnya diartikulasikan oleh *Vilfredo Pareto* dan kemudian disempurnakan oleh *Joseph Juran* sebagai instrumen untuk kontrol kualitas untuk membedakan masalah-masalah utama. Metodologi ini berfungsi sebagai strategi untuk mengelola kesalahan, masalah, atau cacat, sehingga memfasilitasi penyelesaian masalah dan mengarahkan fokus ke perbaikan mereka. Diagram ini didasarkan pada prinsip 80/20, yang menyatakan bahwa sekitar 80% masalah biasanya muncul dari 20% penyebab utama [8].

Diagram Fishbone

Diagram tulang ikan mewakili ilustrasi visual yang menjelaskan hubungan sebab-akibat yang terkait dengan peristiwa tertentu. Diagram ini dirancang untuk memfasilitasi tim atau individu dalam mengidentifikasi secara sistematis semua penyebab masalah yang mungkin terjadi. Prinsip dasar yang mendasari diagram tulang ikan adalah memposisikan masalah utama di bagian diagram yang sesuai, atau di puncak struktur tulang ikan [9].

PICA (5 WHY'S)

Dalam penelitian ini, pendekatan *PICA* digunakan bersamaan dengan metode Analisis 5 *why's* untuk menganalisis masalah kualitas yang terjadi dalam proses produksi. Dengan mengintegrasikan kedua pendekatan ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan analisis yang lebih valid tentang penyebab masalah kualitas dalam proses produksi dan menghasilkan rekomendasi untuk perbaikan yang dapat dilaksanakan untuk meningkatkan kualitas produk secara berkelanjutan.

FEA (Finite Element Analysis)

Finite Element Analysis (FEA) ialah teknik yang dilakukan dengan cara membagi bagian-bagian yang akan dianalisa menjadi bagian yang lebih kecil yang selanjutnya akan dianalisa dan hasilnya akan digabungkan kembali untuk memperoleh hasil secara keseluruhan elemen. Elemen yang digabungkan dengan elemen lain melalui node, sementara proses pembagian yang menjadi beberapa bagian disebut dengan *meshing* [10].

Von Mises

Von Mises Stress adalah tegangan yang digunakan untuk memprediksi apakah suatu material akan mengalami luluh (*yield*) atau tidak ketika menerima pembebanan. Tegangan ini merupakan gabungan dari seluruh komponen tegangan yang bekerja pada suatu titik sehingga menghasilkan satu nilai tegangan yang dapat dibandingkan dengan kekuatan luluh material.

Pada simulasi FEA, distribusi tegangan *Von Mises* biasanya ditampilkan dalam bentuk kontur warna, di mana:

- Warna biru menunjukkan tegangan rendah.
- Warna merah menunjukkan tegangan tertinggi.

Secara matematis, Von Mises Stress dirumuskan sebagai:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

dengan:

- σ_1 = tegangan utama pertama,
- σ_2 = tegangan utama kedua,
- σ_3 = tegangan utama ketiga.

Displacement

Displacement adalah besarnya perpindahan suatu titik pada komponen dari posisi awalnya akibat menerima gaya atau beban tertentu. Dalam *FEA*, *displacement* menunjukkan seberapa besar suatu komponen mengalami perubahan bentuk atau deformasi.

Rumus perhitungan *displacement* :

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2)$$

dengan:

- P = gaya yang bekerja (N),
- L = panjang benda (mm),
- A = luas penampang (mm²),
- E = modulus elastisitas (MPa).

Safety Factor

Safety Factor (FOS) atau faktor keamanan adalah perbandingan antara kekuatan material dengan tegangan kerja yang diterima oleh material tersebut. Faktor keamanan digunakan untuk menentukan apakah suatu desain masih aman digunakan atau berpotensi mengalami kegagalan.

Rumus yang umum digunakan dalam *FEA* adalah:

$$FOS = \frac{\sigma_y}{\sigma_v} \quad (3)$$

dengan:

- σ_y = Yield Strength material (MPa),
- σ_v = Tegangan Von Mises (MPa).

PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 1 pada produksi diatas ada beberapa jumlah *reject* dan jenis nya yaitu pada tabel berikut:

Tabel 2 Jenis *reject* periode tahun 2025

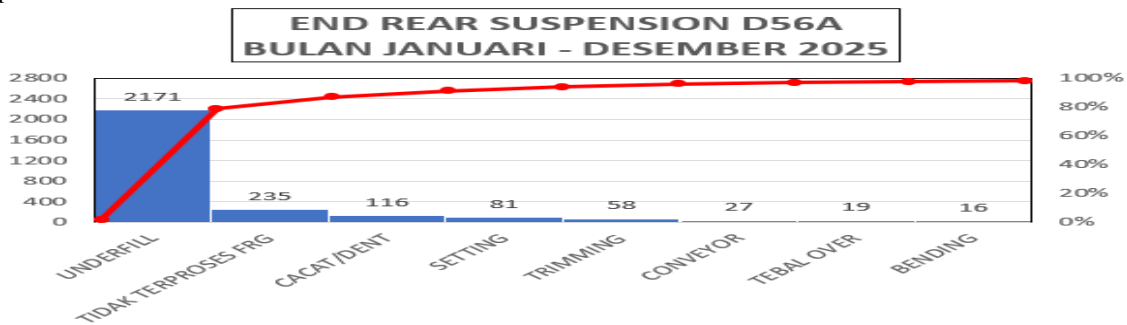
Bulan	Jenis <i>reject</i>								Total
	<i>underfill</i>	tidak terproses <i>frg</i>	cacat/dent	<i>conveyor</i>	<i>bending</i>	tebal over	<i>trimming</i>	<i>setting</i>	
Januari	140	27	40	18	-	-	-	11	236
Februari	121	34	21	-	10	-	-	5	191
Maret	215	36	27	-	-	19	-	12	309
April	261	31	-	-	-	-	12	8	312
Mei	149	10	-	-	-	-	-	5	164
Juni	233	12	8	-	-	-	-	5	258
Juli	206	19	10	-	-	-	13	7	255
Agustus	193	13	-	-	-	-	6	3	215
September	109	15	10	-	6	-	-	5	145
Oktober	102	11	-	9	-	-	8	4	134
November	208	15	-	-	-	-	-	12	235
Desember	234	12	-	-	-	-	19	4	269
Total	2171	235	116	27	16	19	58	81	2723



Berdasarkan tabel 2 diatas, terdapat *reject* yang dominan pada periode 2025 adalah *reject underfill* dengan total 2171 pcs, maka penulis melakukan perbaikan pada temuan cacat tersebut.

Diagram Pareto

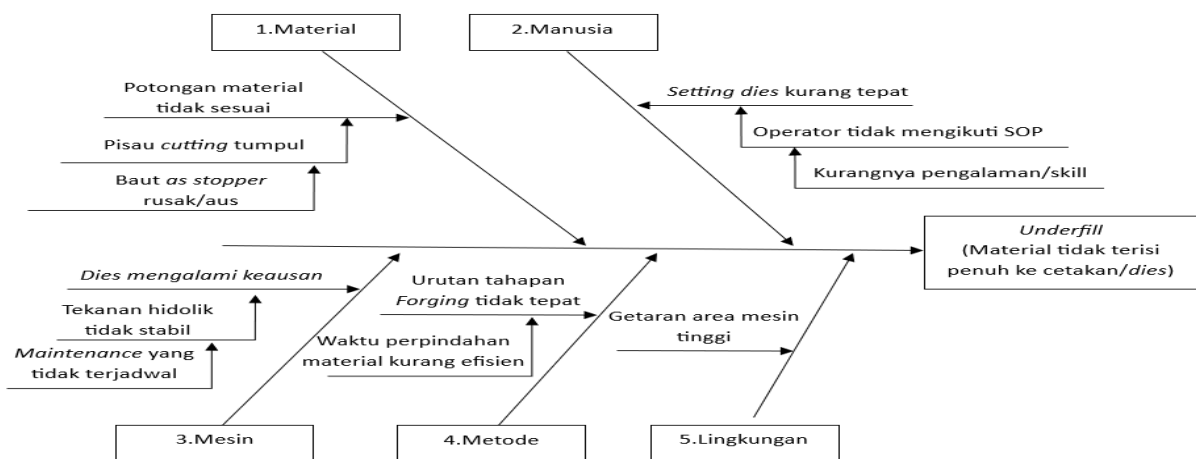
Pada Gambar 1. di bawah, terlihat pada periode tahun 2025 bahwa *reject* yang dominan adalah *reject underfill* (material tidak terisi penuh ke cetakan), maka penulis akan melakukan analisis akar penyebab dan tindakan perbaikan.



Gambar 1. Diagram Pareto

Diagram Fishbone

Pada gambar 2. Di bawah, penulis dapat memaparkan faktor apa saja yang mempengaruhi *reject underfill* diatas melalui diagram *Fishbone* :



Gambar 2. Diagram Fishbone

- 1. Material**
Pada material, yaitu potongan material yang tidak sesuai dengan standar material, yaitu S35C, dengan diameter 50 mm dan panjang 78 mm, faktor dari potongan material yang tidak sesuai standar adalah dari pisau *cutting* yang tumpul dan juga dari baut untuk *stopper*-nya rusak/aus.
- 2. Manusia (operator)**
Pada manusia, *setting dies* kurang tepat dikarenakan operator yang tidak mengikuti SOP dan kurangnya pengalaman/skill dari operator.
- 3. Mesin**
Pada mesin, *dies* mengalami keausan, yang disebabkan oleh tekanan hidrolik yang tidak stabil dan juga pada *maintenance* yang tidak terjadwal.
- 4. Metode**
Pada metode, urutan tahapan pada proses *forging* tepat, yang disebabkan karena waktu perpindahan material setelah proses *heating* ke *dies* terlalu lama yang menyebabkan temperatur material turun sebelum dilakukan proses *forging*/tempa.

5. Lingkungan

Pada lingkungan, getaran yang berlebih menyebabkan posisi material ke *dies* bergeser sebelum di tempa yang mengakibatkan produk mengalami *underfill* akibat getaran.

PICA (5 WHY'S)

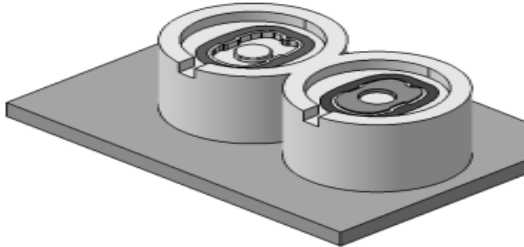
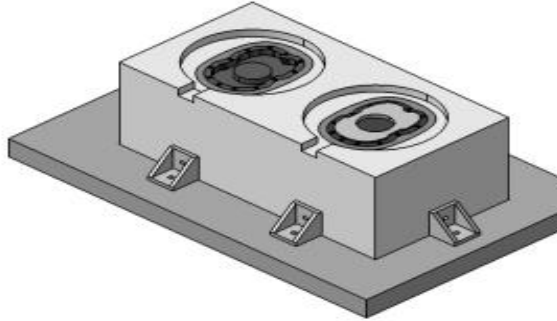
Tabel 2 Tabel PICA (Problem, Identification, and Corrective Action) (5 whys)

PICA (5 whys)	Hasil Analisis												
Problem	Terjadi cacat <i>underfill</i> (material tidak mengisi area <i>cavity dies</i> secara sempurna) pada produk <i>End Rear Suspension</i> (D56A), yang menyebabkan dimensi pada produk tidak sesuai dengan spesifikasi.												
Identification	Hasil diagram <i>pareto</i> menunjukkan bahwa <i>underfill</i> merupakan jenis <i>reject</i> dominan. Analisis diagram <i>fishbone</i> mengidentifikasi penyebab yang berasal dari 5 aspek, yaitu material, mesin, metode, manusia, dan lingkungan. Analisis lanjutan menunjukkan bahwa penyebab utama berkaitan dengan ketidakstabilan posisi <i>cavity dies</i> saat proses <i>forging</i> , sehingga aliran material tidak mengisi rongga <i>dies</i> secara optimal.												
5 whys	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pertanyaan (why)</th><th>Solusi</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mengapa produk <i>End Rear Suspension</i> (D56A) mengalami <i>underfill</i>?</td><td>Karena material tidak mengisi seluruh area rongga (<i>cavity</i>) <i>dies</i>.</td></tr> <tr> <td>Mengapa material tidak mengisi seluruh area rongga (<i>cavity</i>) <i>dies</i>?</td><td>Karena pada area <i>cavity dies</i> telah mengalami keausan akibat menerima tekanan dan temperatur yang tinggi secara berulang pada proses <i>forging</i>.</td></tr> <tr> <td>Mengapa area <i>cavity dies</i> mengalami keausan?</td><td>Karena pada area <i>cavity dies</i> masih menyatu dengan <i>die holder</i>, sehingga proses <i>repair</i> atau perbaikan memerlukan waktu.</td></tr> <tr> <td>Mengapa proses <i>repair</i> atau perbaikan memerlukan waktu?</td><td>Karena desain <i>dies</i> belum dibuat terpisah yang memisahkan <i>cavity</i> dengan <i>die holder</i>, sehingga seluruh <i>dies</i> harus dilepas atau diperbaiki ketika terjadi keausan pada area <i>cavity</i>.</td></tr> <tr> <td>Mengapa desain <i>dies</i> belum dibuat terpisah antara <i>cavity</i> dan <i>dies holder</i> nya?</td><td>Karena desain <i>dies</i> belum dikembangkan menjadi desain terpisah antara <i>cavity</i> dan <i>die holder</i>, sehingga memudahkan penggantian <i>dies</i> serta menghemat waktu.</td></tr> </tbody> </table>	Pertanyaan (why)	Solusi	Mengapa produk <i>End Rear Suspension</i> (D56A) mengalami <i>underfill</i> ?	Karena material tidak mengisi seluruh area rongga (<i>cavity</i>) <i>dies</i> .	Mengapa material tidak mengisi seluruh area rongga (<i>cavity</i>) <i>dies</i> ?	Karena pada area <i>cavity dies</i> telah mengalami keausan akibat menerima tekanan dan temperatur yang tinggi secara berulang pada proses <i>forging</i> .	Mengapa area <i>cavity dies</i> mengalami keausan?	Karena pada area <i>cavity dies</i> masih menyatu dengan <i>die holder</i> , sehingga proses <i>repair</i> atau perbaikan memerlukan waktu.	Mengapa proses <i>repair</i> atau perbaikan memerlukan waktu?	Karena desain <i>dies</i> belum dibuat terpisah yang memisahkan <i>cavity</i> dengan <i>die holder</i> , sehingga seluruh <i>dies</i> harus dilepas atau diperbaiki ketika terjadi keausan pada area <i>cavity</i> .	Mengapa desain <i>dies</i> belum dibuat terpisah antara <i>cavity</i> dan <i>dies holder</i> nya?	Karena desain <i>dies</i> belum dikembangkan menjadi desain terpisah antara <i>cavity</i> dan <i>die holder</i> , sehingga memudahkan penggantian <i>dies</i> serta menghemat waktu.
Pertanyaan (why)	Solusi												
Mengapa produk <i>End Rear Suspension</i> (D56A) mengalami <i>underfill</i> ?	Karena material tidak mengisi seluruh area rongga (<i>cavity</i>) <i>dies</i> .												
Mengapa material tidak mengisi seluruh area rongga (<i>cavity</i>) <i>dies</i> ?	Karena pada area <i>cavity dies</i> telah mengalami keausan akibat menerima tekanan dan temperatur yang tinggi secara berulang pada proses <i>forging</i> .												
Mengapa area <i>cavity dies</i> mengalami keausan?	Karena pada area <i>cavity dies</i> masih menyatu dengan <i>die holder</i> , sehingga proses <i>repair</i> atau perbaikan memerlukan waktu.												
Mengapa proses <i>repair</i> atau perbaikan memerlukan waktu?	Karena desain <i>dies</i> belum dibuat terpisah yang memisahkan <i>cavity</i> dengan <i>die holder</i> , sehingga seluruh <i>dies</i> harus dilepas atau diperbaiki ketika terjadi keausan pada area <i>cavity</i> .												
Mengapa desain <i>dies</i> belum dibuat terpisah antara <i>cavity</i> dan <i>dies holder</i> nya?	Karena desain <i>dies</i> belum dikembangkan menjadi desain terpisah antara <i>cavity</i> dan <i>die holder</i> , sehingga memudahkan penggantian <i>dies</i> serta menghemat waktu.												
Root Cause	Material <i>dies</i> yang masih menyatu antara <i>dies holder</i> dan <i>cavity dies</i> , serta desain <i>dies</i> belum dikembangkan, sehingga komponen <i>cavity</i> yang mengalami keausan tidak dapat diganti secara terpisah. Kondisi ini menyebabkan proses perbaikan memerlukan waktu yang lama dan berpotensi meningkatkan terjadinya cacat <i>underfill</i> .												
Corrective Action	Mendesain ulang <i>dies</i> dengan memisahkan <i>cavity</i> dan <i>dies holder</i> , mengubah bentuk <i>dies</i> dari <i>round</i> menjadi <i>square</i> , serta menambahkan <i>L-clamp</i> untuk meredam getaran selama proses <i>forging</i> . Perbaikan divalidasi melalui simulasi <i>FEA</i> dan direkomendasikan menggunakan material DIN 1.2367 karena memiliki ketahanan deformasi dan <i>Safety Factor</i> yang lebih baik dibandingkan dengan DIN 1.2343.												



Usulan perbaikan

Tabel 3 Usulan Perbaikan

Sebelum (Existing)	Sesudah (Usulan)
	
➤ Bentuk dies round/bulat, belum ada L-clamp peredam getaran. ➤ Cetakan pada area <i>cavity</i> masih menyatu — repair memakan waktu lama. ➤ Belum ada draft angle 3°–7° pada lubang & dinding vertikal. ➤ Material DIN 1.2343 — kurang tahan suhu tinggi.	➤ Bentuk square/persegi dengan L-clamp untuk meredam getaran mesin. ➤ Cetakan pada area <i>cavity</i> dibuat terpisah — penggantian dinding dan alas pada area <i>cavity</i> lebih cepat. ➤ Draft angle 3°–7° diterapkan untuk memudahkan pengeluaran produk. ➤ Material DIN 1.2367 — tahan suhu tinggi.

Pengujian

Table properties

Tabel 4. Tabel properties pada material DIN-1.2343 dan DIN1.2367

DIN-1.2343 (a)		DIN-1.2367 (b)	
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
<i>Density</i>	7.80 (g/cm ³)	<i>Density</i>	7.83 (g/cm ³)
<i>Modulus of Elasticity</i>	210-216 GPa	<i>Modulus of Elasticity</i>	218 GPa
<i>Rasio position</i>	0.30 NA	<i>Rasio position</i>	0.30 NA
<i>Yield Strength</i>	1.550 N/mm ² (MPa)	<i>Yield Strength</i>	1.750 N/mm ² (MPa)
<i>Tensile Strength</i>	2.000 N/mm ² (MPa)	<i>Tensile Strength</i>	1.950 N/mm ² (MPa)

Berdasarkan tabel 3. di atas, kedua material tersebut memiliki karakteristik yang serupa, dan perbedaan dapat dilihat pada tabel di atas.

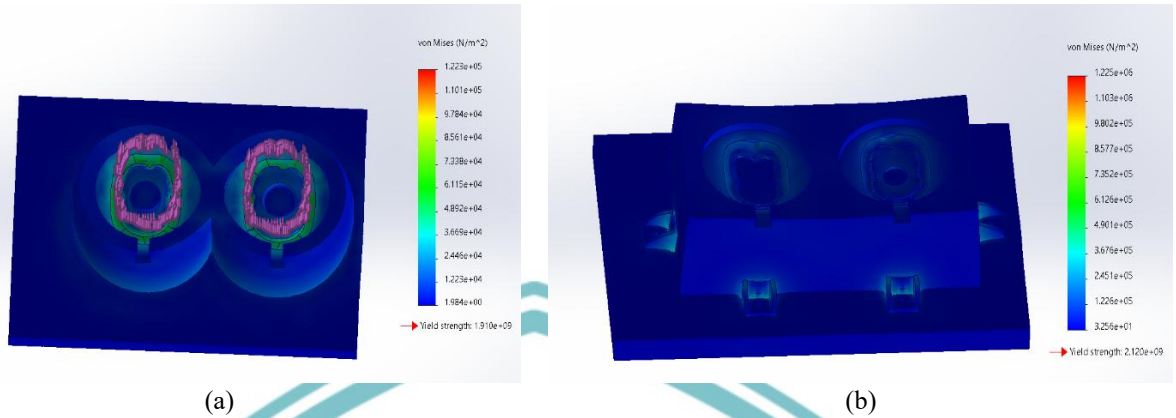
Von mises analysis

Pengujian *Von Mises* pada kedua material, yaitu DIN-1.2343 dan DIN-1.2367, di area *cavity dies*.

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 meruakan kepentingan vana waiar Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. perbandingan *Von Mises* dengan gambar a material DIN-1.2343 gambar b material DIN-1.2367

Pada gambar 4. diatas, penulis melakukan perhitungan manual sebagai berikut :

Rumus pada *Von mises analysis* adalah:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Perhitungan manual pada material DIN-1.2343 *Von mises analysis* :

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(1,910 - 1,223)^2 + (1,223 - 1,984)^2 + (1,984 - 1,910)^2}{2}} \quad (2)$$

Hasil $\sigma_v = 0,726 \text{ N/mm}^2$

Keterangan : jadi hasil perhitungan manual pada *Von Mises* adalah $0,726 \text{ N/mm}^2$ lebih kecil dari *yield strength* nya yaitu $1,910 \text{ N/mm}^2$

Jadi, material masih berada di batas aman dan belum mengalami kegagalan.

Kemudian, perhitungan manual pada material DIN-1,2367 *Von Mises* :

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(2,120 - 1,225)^2 + (1,225 - 3,256)^2 + (3,256 - 2,120)^2}{2}} \quad (3)$$

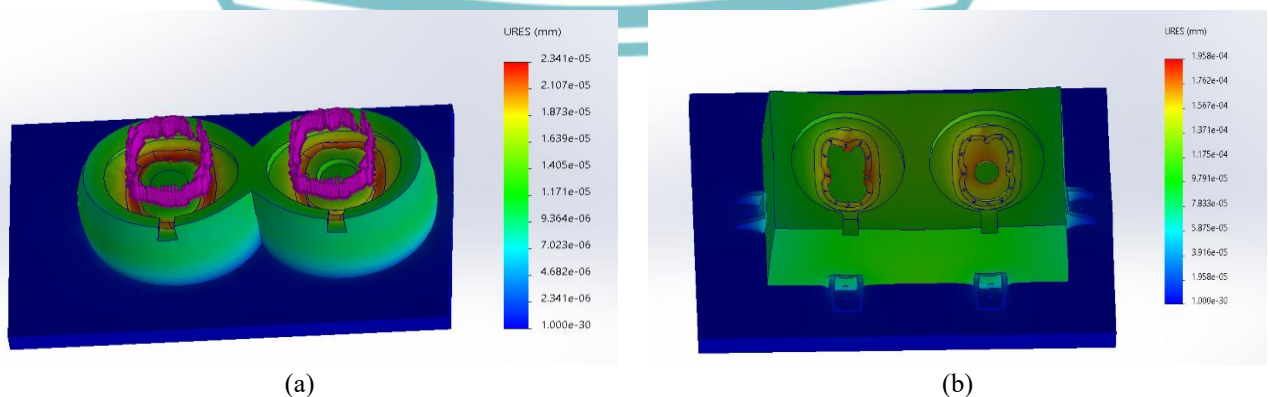
Hasil $\sigma_v = 1,763 \text{ N/mm}^2$

Keterangan : jadi hasil perhitungan manual pada *Von Mises* adalah $1,763 \text{ N/mm}^2$ lebih kecil dari *yield strength* nya yaitu $2,120 \text{ N/mm}^2$

Jadi, material masih berada di batas aman dan belum mengalami kegagalan.

Displacement

Pengujian *Displacement* pada kedua material, yaitu DIN-1.2343 dan DIN-1.2367, di area *cavity dies*.



Gambar 4. perbandingan *Displacement* dengan gambar a material DIN-1.2343 gambar b material DIN-1.2367

Dilihat pada gambar 5. di atas, penulis melakukan perhitungan manual untuk mengetahui *Displacement* (perubahan bentuk) dari kedua material tersebut :

Rumus perhitungan *displacement* :

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (4)$$

Dengan keterangan dibawah :

- P = gaya yang bekerja (N),
- L = tinggi *dies* (mm),
- A = luas penampang *cavity dies* (mm²),
- E = modulus elastisitas (MPa).

Perhitungan manual pada material DIN-1.2343 *displacement* :

- $P = 1.000 \text{ N}$,
- $L = 167 \text{ mm}$,
- $A = (167 \text{ mm} \times 129 \text{ mm}) = 21.543 \text{ mm}^2$,
- $E = 216 \text{ GPa} \Rightarrow 216.000 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$.

Jadi, Total perhitungan nya adalah :

$$\delta = \frac{1.000 \text{ N} \times 167 \text{ mm}}{21.543 \text{ mm}^2 \times 216.000 \text{ N/mm}^2} = \delta = 3,589 \times 10^{-5} \text{ mm} \quad (5)$$

Kemudian, perhitungan manual pada material DIN-1.2367 *displacement* :

- $P = 1.000 \text{ N}$,
- $L = 177 \text{ mm}$,
- $A = (169 \text{ mm} \times 129 \text{ mm}) = 21.801 \text{ mm}^2$,
- $E = 218 \text{ GPa} \Rightarrow 218.000 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$.

Jadi, Total perhitungan nya adalah :

$$\delta = \frac{1.000 \text{ N} \times 177 \text{ mm}}{21.801 \text{ mm}^2 \times 218.000 \text{ N/mm}^2} = \delta = 3,724 \times 10^{-5} \text{ mm} \quad (6)$$

Maka perhitungan pada *displacement* diatas adalah material DIN-1.2367 sedikit lebih unggul daripada material DIN-1.2343 dalam menahan deformasi dibandingkan dengan material DIN 1.2343 pada kondisi pembebanan yang sama, yaitu 1000 N.

Safety factor

Rumus safety faktor yang umum digunakan dalam FEA adalah:

$$FOS = \frac{\sigma_y}{\sigma_v} \quad (7)$$

dengan:

- σ_y = Yield Strength material (MPa),
- σ_v = Tegangan Von Mises (MPa).

Safety faktor
DIN-1.2343

$$FOS = \frac{1.910}{1.223} = 1,56$$

(a)

Safety faktor
DIN-1.2367

$$FOS = \frac{2.120}{1.225} = 1,73$$

(b)

Pada nilai safety faktor di atas, angka tersebut masih di batas aman, yaitu pada material DIN-1.2343 adalah 1,56 dan pada material DIN-1.2367 adalah 1,73. Nilai *Safety Factor* umumnya berada di kisaran angka 1.3 hingga 3.0 tergantung pada material dan risiko kerusakannya.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis Diagram *Pareto* dan *Fishbone*, *underfill* terbukti menjadi jenis *reject* dominan pada periode 2025 dengan total 2.171 pcs dari 2.723 pcs cacat, yang akar penyebab utamanya berasal dari ketidaksesuaian ukuran potongan material, penurunan suhu material akibat kondisi lingkungan kerja, ketidaktepatan *setting* profil *dies*, serta kurangnya kepatuhan operator terhadap SOP. Analisis lanjutan menggunakan metode *PICA* (*5 Why's*) mengidentifikasi bahwa *root cause* dari permasalahan tersebut adalah minimnya pengalaman operator dan lemahnya pengawasan dari kepala bagian. Pada aspek kekuatan material, hasil simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) pada area *cavity dies* dengan pembebanan 1.000 N menunjukkan bahwa material DIN-1.2367 memiliki nilai *displacement* maksimum yang lebih kecil serta *safety factor* sebesar 1,73, lebih unggul dibandingkan dengan material DIN-1.2343 yang memiliki *safety factor* sebesar 1,56. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kombinasi Diagram *Pareto*, *Fishbone*, dan *PICA* (*5 Why's*) efektif digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab *reject underfill*, sementara material DIN-1.2367 terbukti lebih tahan terhadap deformasi dibandingkan DIN-1.2343, sehingga direkomendasikan sebagai material *cavity dies* bersamaan dengan pembaruan desain *dies* dari bentuk *round* menjadi *square* yang dilengkapi *L-clamp*, untuk menurunkan angka *reject underfill* serta meningkatkan umur pakai *dies*.

REFERENSI

- [1] Ibnu Rosyid Ridwana, Fakhurriza, Boy Arya Sadewa, Ratna Aulia Puspita Sari, Zalfa Arridwan, and Sri Hastuti, "Tinjauan Literatur: Penyempurnaan Proses Penempaan Logam Dengan Analisis Tegangan Dan Temperatur," *Jurnal Ilmiah Nusantara*, vol. 3, no. 1, pp. 344–354, 2025, doi: 10.61722/jinu.v3i1.7591.
- [2] S. S. Khode, "A Review on Independent Suspension System of Light Commercial Vehicle," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 17, no. 10, pp. 14–19, 2017, doi: 10.9790/1684-17010061419.
- [3] R. Shah, N. S. Venkatesh, P. A. Balaji, and V. Sugumaran, "Weightless Neural Network-Based Fault Diagnosis in Suspension System," *FME Transactions*, vol. 52, no. 1, pp. 115–127, 2024, doi: 10.5937/fme24011155.
- [4] A. Setiawan, A. Deswita, Shofiyaturrahmah, F. B. Firmansyah, and Y. Prastyo, "Studi Kasus Analisis Defect Pada Komponen Otomotif Disertai Pemecahan Masalah Menggunakan Diagram Pareto Dan Fishbone," *Jurnal Ilmiah Research Student*, vol. 2, no. 2, pp. 53–63, 2025, [Online]. Available: <https://doi.org/10.61722/jirs.v2i2.4748>
- [5] A. C. Oktaviana and T. A. Auliandri, "Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Meja Dan Kursi Menggunakan Diagram Pareto Dan Fishbone Pada PK. SKM JATI," *INOBI: Jurnal Inovasi Bisnis dan Manajemen Indonesia*, vol. 6, no. 4, pp. 559–572, 2023, doi: 10.31842/jurnalinoibis.v6i4.310.
- [6] M. V. No, "Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi Analisa Tegangan Von Mises Stress , Deformation , Dan Safety Factor," vol. 6, no. 1, pp. 292–297, 2026.
- [7] A. S. Nadliroh, Kuni & Fauzi, "Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 9, no. 2, pp. 124–133, 2021.
- [8] A. H. K. Nadhira, T. Oktiarso, and T. D. Harsoyo, "MANAJEMEN RISIKO RANTAI PASOK PRODUK SAYURAN MENGGUNAKAN METODE SUPPLY CHAIN OPERATION REFERENCE DAN MODEL HOUSE OF RISK," *Kurawal - Jurnal Teknologi Informasi dan Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 101–117, 2019, doi: 10.33479/kurawal.2019.2.2.101-117.
- [9] H. Asmoko, "Problem Illustration Techniques-Fishbone Diagram," pp. 1–8, 2022.
- [10] G. A. Saputra, "Perancangan Desain 3D dan Analisis Struktur Meja Industri Menggunakan Metode Finite Element Analysis," *Go-Integratif : Jurnal Teknik Sistem dan Industri*, vol. 5, no. 02, pp. 94–108, 2024, doi: 10.35261/gijtsi.v5i02.12202.