

ANALISA KARAKTERISTIK MATERIAL STEMPEL MESIN EKSTRUDER PADA PROSES EKSTRUSI COLLAPSIBLE TUBE

*Tubagus Elyan Rizki Syahputra¹, Susilo Adi Widyanto², Sulardjaka²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460069

*Email: rizkielyan@gmail.com

Abstrak

PT Extrupack merupakan perusahaan yang memproduksi *Collapsible Tube Aluminium* dan *Rigid Tube Aluminium*. Salah satu permasalahan pada lini produksi PT. Extrupack terjadi pada salah satu proses produksi yaitu proses ekstrusi. Dimana terjadi kegagalan berupa *tube* berlubang dan *tube* baret dengan *reject* tidak *tercounter*. Kegagalan tersebut berasal dari kecacatan yang ada pada stempel di mesin *extruder* pada proses ekstrusi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme kegagalan yang terjadi pada proses ekstrusi dengan menganalisa karakteristik material stempel melalui beberapa metode seperti pengamatan visual, pengujian komposisi kimia, pengujian makrografi, pengujian mikrografi, pengujian kekerasan dan pengujian kekasaran permukaan. Hasil pengukuran dimensi stempel menunjukkan terjadinya pengurangan diameter pada bagian atas stempel. Dari pengujian komposisi kimia spesimen tidak memenuhi standar komposisi kimia. Dari hasil pengujian metalografi menunjukkan material berfasa martensit. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan berada pada rentang 580 HV – 634 HV. Hasil pengujian kekasaran permukaan menunjukkan nilai Ra 0,386 μm terhadap. Berdasarkan hasil pengujian, kegagalan terjadi akibat keausan ditandai dengan adanya pengurangan diameter dan baret pada stempel. Keausan diakibatkan gesekan dan juga faktor lainnya seperti nilai kekerasan yang tidak mencapai standar dan nilai komposisi kimia yang tidak sesuai karakteristik material baja AISI D2

Kata Kunci: aluminium; baja aisi d2; deformasi; karakteristik material; keausan; stempel; *tube*

Abstract

PT Extrupack is a company that manufactures Aluminum Collapsible Tubes and Aluminum Rigid Tubes. One of the issues in the production line at PT. Extrupack occurs during the extrusion process, where failures in the form of holed tubes and scratched tubes result in uncounted rejects. These failures originate from defects in the stamp on the extruder machine during the extrusion process. The objective of this research is to understand the failure mechanism that occurs during the extrusion process by analyzing the characteristics of the stamp material through several methods, such as visual observation, chemical composition testing, macrographic testing, micrographic testing, hardness testing, and surface roughness testing. The measurement results of the stamp's dimensions indicate a reduction in diameter at the top of the stamp. The chemical composition testing shows that the specimen does not meet the standard chemical composition. The metallographic testing results indicate that the material is in the martensitic phase. The hardness testing results show a hardness value in the range of 580 HV to 634 HV. The surface roughness testing result shows an Ra value of 0.386 μm . Based on the test results, the failure occurs due to wear, characterized by the reduction in diameter and scratches on the stamp. Wear is caused by friction and other factors such as hardness values that do not meet the standard and a chemical composition that does not match the characteristics of AISI D2 steel material.

Keywords: aisi d2 steel; aluminum; deformation; material characteristics; stamp; tube; wear

1. Pendahuluan

Perkembangan zaman mengharuskan perusahaan untuk senantiasa memenuhi kebutuhan pelanggan dengan memberikan produk berkualitas tinggi. Oleh karena itu, perusahaan manufaktur melakukan pengendalian kualitas untuk mencapai nol kecacatan [1]. Pengendalian kualitas yang efektif dapat dilakukan dengan meminimalisir kerusakan mesin selama setiap tahap proses produksi, serta memastikan bahwa produk akhir memenuhi standar yang ditetapkan. PT Extrupack merupakan perusahaan yang memproduksi Collapsible Tube Aluminium dan Rigid Tube Aluminium dengan berbagai dimensi yang dihasilkan melalui 12 line produksi. Dalam upaya meningkatkan kualitas produk, perusahaan berupaya meminimalkan jumlah produk cacat yang dihasilkan selama proses produksi. Dengan demikian, PT Extrupack berharap dapat mengurangi kerugian dan memenuhi kepuasan pelanggan di pasar [2]. Berdasarkan pengambilan data yang dilakukan pada PT. Extrupack pada bulan Agustus 2022 hingga Oktober 2022, dari data historis produksi terdapat permasalahan-permasalahan yang ada pada lini produksi PT. Extrupack. Terjadi kecacatan pada salah satu proses produksi PT. Extrupack yaitu proses ekstrusi. Kecacatan tersebut berupa tube berlubang dan tube baret dengan reject tidak tercounter. Kecacatan tersebut berasal dari kecacatan yang ada pada punch stempel di mesin ekstruder pada proses ekstrusi. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut mengenai material *punch* stempel. Proses ekstrusi merupakan metode untuk menciptakan objek dengan profil penampang tetap [3]. Analisis *punch* head dapat dilakukan dengan menganalisa karakteristik material yang bertujuan untuk memahami sifat-sifat dan perilaku material dalam berbagai situasi dan kondisi. Melalui nilai karakteristik material, pengujian material memberikan definisi yang jelas tentang properti material. Pengujian material juga membantu perusahaan memperoleh pengetahuan yang berharga untuk pengembangan produk. Informasi yang didapatkan melalui analisa karakteristik material dapat digunakan untuk pertimbangan dalam pengembangan produk seperti pemilihan bahan yang tepat, pengembangan dan inovasi, prediksi kegagalan, optimisasi performa, dan kualitas control.

2. Dasar Teori dan Metode Penelitian

2.1 Proses Ekstrusi

Pada saat ini ekstrusi merupakan salah satu proses yang banyak digunakan dalam proses manufaktur. Dimana aplikasinya sangat luas seperti dijumpai pada aplikasi-aplikasi struktur, komponen-komponen mobil, sampai dengan proses pembentukan pada komponen-komponen yang sangat kecil. Ekstrusi adalah proses manufaktur dengan penekanan pada material sampai terjadi deformasi plastis sehingga terbentuk komponen sesuai dengan bentuk yang telah didesain [4]. Ekstrusi pada logam merupakan proses dimana suata balok logam direduksi penampangnya dengan cara menekan logam tersebut melalui lubang cetakan dengan tekanan yang tinggi (5). Jenis – jenis ekstrusi, yaitu ekstrusi langsung, ekstrusi tidak langsung, ekstrusi panas, ekstrusi dingin, *impact extrusion*, *hydrostatic extrusion*.

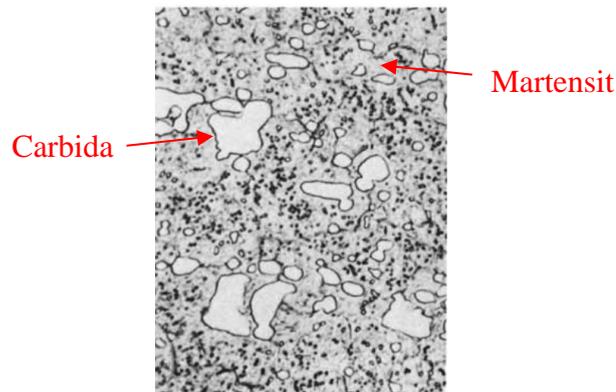
2.2 Baja AISI D2

Baja AISI D2 dan grup D lainnya adalah baja yang mengandung karbon tinggi dan kromium tinggi yang digunakan secara ekstensif dalam berbagai operasi pemesinan dan manufaktur. Baja AISI D2 memiliki kemampuan untuk mempertahankan sifat mekanik yang diinginkan secara utuh saat berhadapan pada suhu yang bermacam-macam. Karenanya D2 dan baja perkakas kelompok D lainnya secara kritis digunakan untuk menuntut operasi pembentukan dan manufaktur logam. Beberapa aplikasi industri tipikal dari baja D2 termasuk punch, piercing dan blanking die, alat pemintal, pisau geser, pemotong celah, serta berbagai alat kerja kayu. Baja AISI D2 banyak digunakan untuk membentuk *die* atau *cold stamping*, *chipper knife*, *shear blade*, *trimming cutter* *threading die*, *punch* dan *stamping tools* [6].

Tabel 1. Komposisi kimia baja AISI D2 (% berat) [7]

No.	Unsur	Komposisi (%)
1.	C	1,45 - 1,60
2.	Mn	0,15 - 0,45
3.	Si	0,20 - 0,60
4.	Cr	11,0 - 12,0
5.	V	0,8 - 1,10
6.	Mo	0,70 - 0,90
7.	P	0,030 Maks
8.	Cu	0,30 Maks
9.	S	0,030 Maks

Baja AISI D2 memiliki struktur mikrografi yang didalamnya terdapat karbida dan krom. Struktur mikrografi baja AISI D2 yang di-*austenitizing* pada suhu 1040°C (1900°F), *air quenched*, dan di-*temper* pada suhu 200°C (400°F) dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terlihat struktur karbida dan fasa martensit (putih).



Gambar 1. Struktur Mikrografi Baja AISI D2 [8]

2.3 Keausan

Dalam Sifat yang dimiliki oleh material terkadang membatasi kinerjanya. Namun demikian jarang sekali kinerja suatu material hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (*wear resistance*) merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan, kekuatan, dan lain – lain) [9]. Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang bergesekan dengan material lain. Keausan bukan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme beragam. Akibat negatif yang timbul adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dan mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Jenis – jenis keausan, yaitu keausan adesif, keausan abrasif, keausan korosif, keausan lelah.

2.4 Pengujian Spesimen

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat mekanis dari material yang mengalami kegagalan. Pengujian yang dilakukan seperti uji kekerasan dan uji tarik pada material. Dari kedua pengujian ini nantinya akan memberikan informasi terkait sifat dan kondisi operasional dari spesimen. Biasanya dalam mengetahui sifat mekanis material, terdapat beberapa percobaan yang dapat dilakukan, seperti uji kekerasan, uji tarik, dan uji impak.:

a. Pengujian Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari struktur mikro suatu logam dan karakteristiknya. Metalografi sangat penting untuk mengetahui ukuran butir, distribusi fasa, dan untuk mengetahui adanya inklusi (kotoran) dalam suatu logam. Hasil dari metalografi tersebut akan menjadi acuan untuk menentukan suatu material telah sesuai dengan spesifikasi yang diminta atau untuk mengetahui proses yang sudah dialami oleh material yang bersangkutan [10]. Klasifikasi dari metalografi ada dua, yaitu makrografi dan mikrografi.

b. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari suatu material. Kekerasan dari sebuah material bisa diartikan sebagai kemampuan bahan dalam menghambat laju deformasi plastis yang terjadi.

c. Pengujian Komposisi Kimia

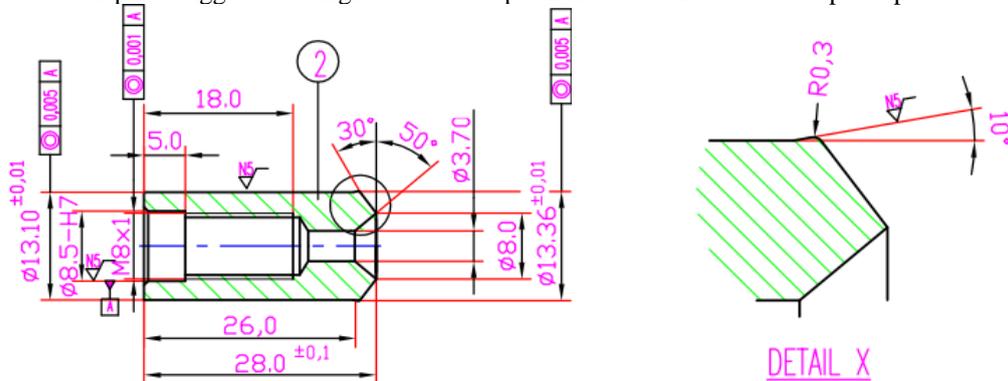
Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada material. Pengujian komposisi menggunakan spektrometer. Setiap unsur yang terkandung dalam suatu material akan memberikan pengaruh pada material tersebut, baik dari kekerasan (*hardness*), kekuatan (*strength*), keuletan (*ductility*), kelelahan (*fatigue*) maupun ketangguhan (*toughness*). Dengan mengetahui komposisi kimia dari suatu material maka dapat diketahui sifat atau karakteristik dari material tersebut.

d. Pengujian Kekasaran Permukaan

Kekasaran terdiri dari ketidakrataan tekstur permukaan benda, yang pada umumnya mencakup ketidakrataan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui parameter kekasaran yang akan digunakan, yaitu Ra (*Roughness Average*), Rz (*Roughness Depth*), Rq (*Root Mean Square Roughness*), dan Rp (*Maximum Peak Height*).

2.5 Spesifikasi Stempel

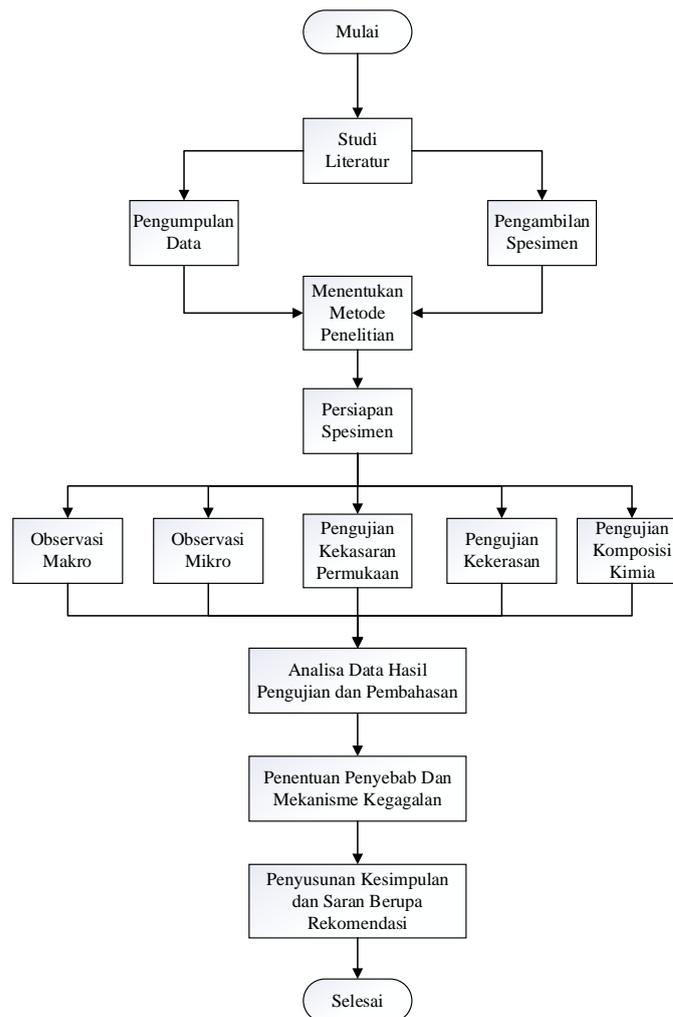
Untuk mengetahui kegagalan suatu komponen material diperlukan spesifikasi komponen acuan standar. Hal tersebut bertujuan agar bisa membandingkan komponen yang mengalami kegagalan sesuai dengan kondisi awal atau normal. Stempel menggunakan komponen KNL – 110. KNL-110 termasuk kedalam baja karbon tinggi dengan nilai kromium yang tinggi. KNL – 110 memiliki karakteristik yang sama dengan Baja AISI D2. Stempel yang digunakan memiliki masa lifetime sekitar ± 250.000 stroke. Stempel memiliki nilai kekerasan bernilai 60-63 HRC atau 697 HV – 772 HV. stempel menggunakan tingkat kekasaran permukaan N5. Dimensi Stempel dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Dimensi Stempel

2.6 Diagram Alir

Pada penelitian ini terdapat langkah-langkah penelitian mengacu pada diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram Alir

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengamatan Visual

Pada proses ekstrusi terdapat indikasi kecacatan berupa *tube* berlubang dan *tube* baret. Gambar 4 di bawah menunjukkan *aluminium tube* yang berlubang dan baret.



Gambar 4. *Tube* berlubang

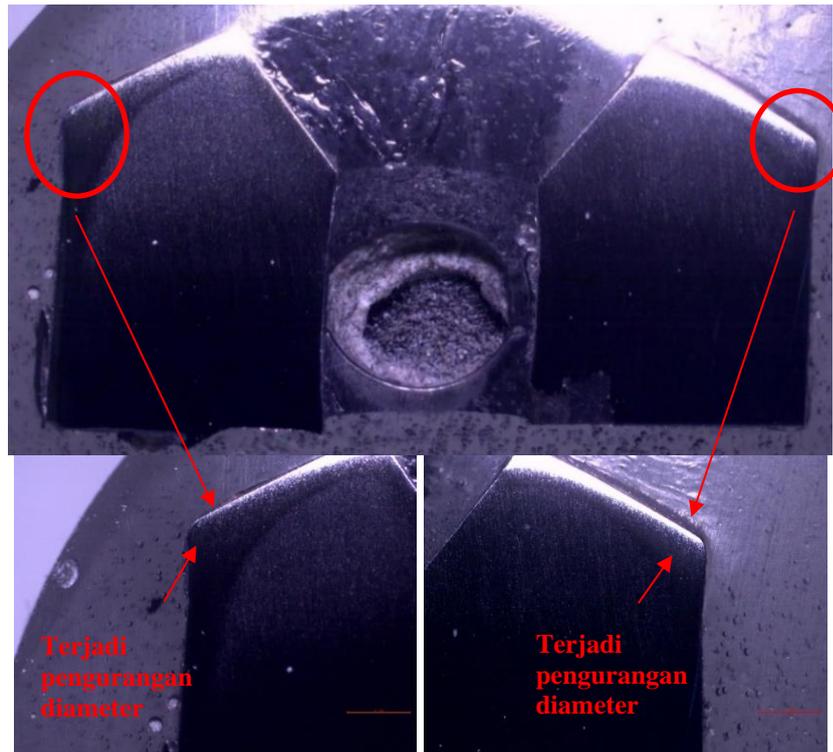
Fenomena *tube* berlubang dan baret berawal dari stempel yang sudah mulai mengalami keausan atau kerusakan. Kegagalan pada stempel terjadi pada siklus yang tidak menentu diakibatkan banyak faktor yang mempengaruhi baik dari stempel maupun dari mesin. Gambar 5 dibawah ini menunjukkan bahwa terjadinya tanda – tanda keausan pada stempel. Hal tersebut ditandai dengan adanya baret pada bagian stempel.



Gambar 5. Tanda-tanda keausan pada stempel

3.2 Hasil Pengujian Makrografi

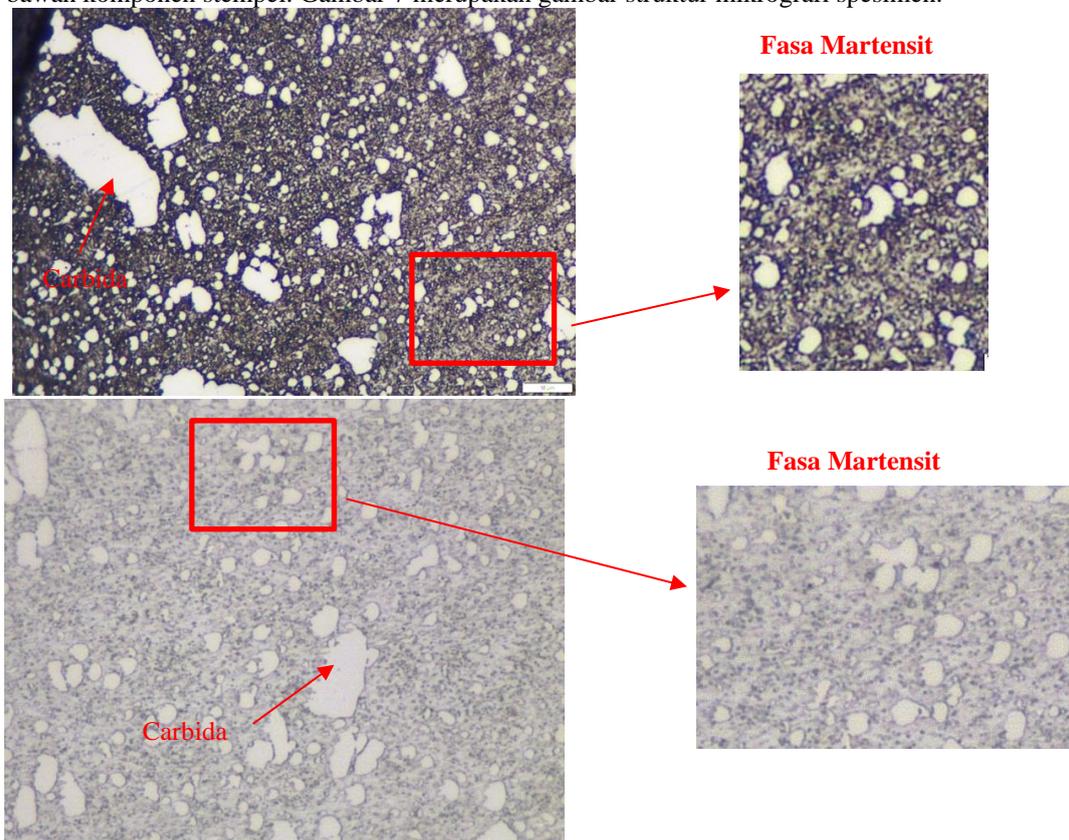
Pengujian makrografi dilakukan dengan memotong spesimen menjadi dua lalu dilakukan pengambilan gambar pada stempel. Sebelum pemotongan stempel menjadi dua, dilakukan pengukuran terhadap diameter atas pada bagian lengkungan dan diameter bawah stempel menggunakan mikrometer sekrup. Hasil pengukuran didapat pada bagian atas stempel sebesar 13,29 mm dan bagian bawah stempel 13,13 mm. Berdasarkan pengukuran diameter tersebut terjadi pengurangan diameter atas sebesar 0,07 mm dari kondisi awal 13,36 mm dan dimensi berlebih pada diameter bawah sebesar 0,03 mm dari kondisi awal 13,10 mm. Hasil makrografi pada spesimen 1 tidak menunjukkan indikasi kegagalan yang tidak normal atau anomali. Berdasar hasil pengujian makrografi tidak ada tanda-tanda terjadinya deformasi dan pemakanan spesimen yang mengakibatkan perubahan bentuk stempel akibat proses ekstrusi. Gambar 6 menunjukkan hasil pengambilan gambar pada spesimen 1 dengan perbesaran 6,7x dan 20x.



Gambar 6. Pengambilan gambar makrografi spesimen pada bagian ujung stempel dengan perbesaran 6,7x (atas), perbesaran 20x pada bagian kiri dan bagian kanan (bawah).

3.3 Hasil Pengujian Mikrografi

Pengujian mikrografi dilakukan untuk mengetahui fasa yang ada pada struktur mikrografi stempel mesin *extruder*. Pengujian mikrografi dilakukan pengamatan pada dua lokasi berbeda untuk dijadikan bahan perbandingan. Lokasi yang pertama di daerah lengkungan bagian atas stempel untuk mengetahui apakah terjadi fenomena disintegrasi dan bagian tengah bawah komponen stempel. Gambar 7 merupakan gambar struktur mikrografi spesimen.

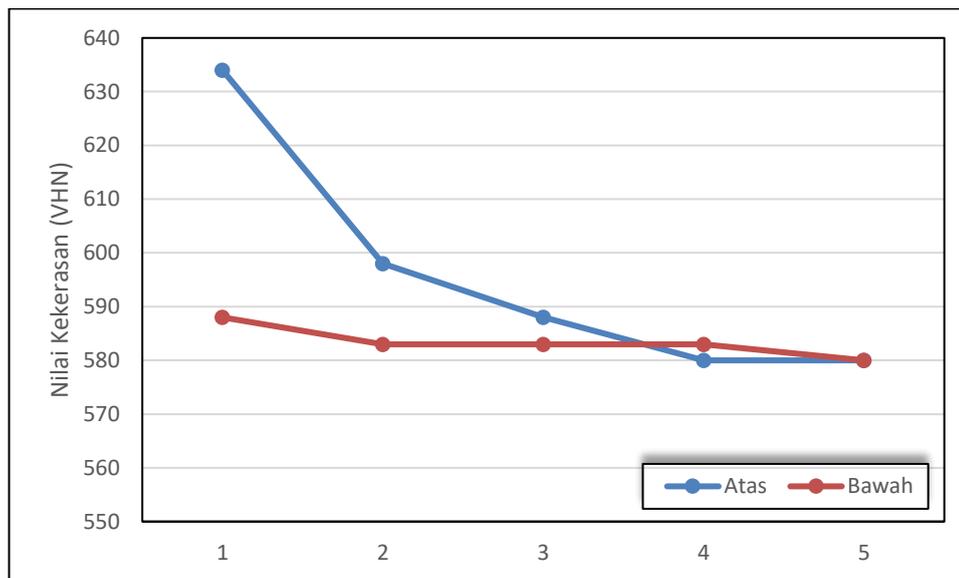
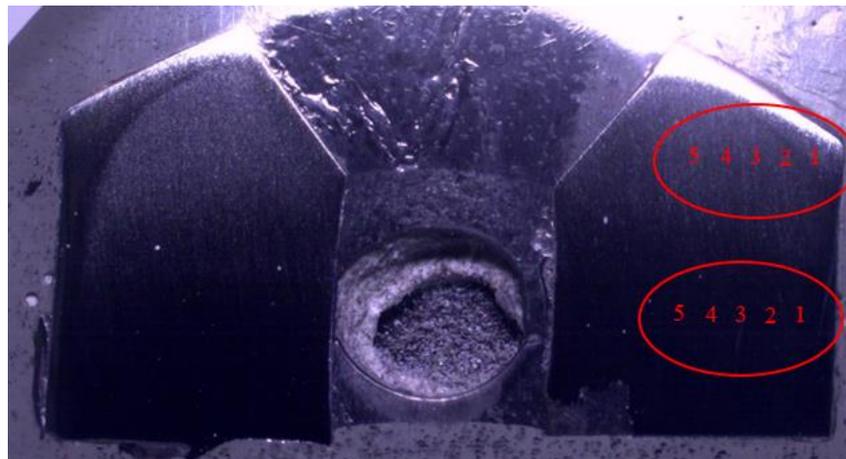


Gambar 7. Struktur mikrografi stempel bagian lengkungan atas (atas) dan bagian tengah bawah (bawah)

Berdasarkan hasil uji mikrografi terlihat fasa martensit. Fasa ini sesuai karena dalam proses pembuatan stempel terjadi proses hardening dan struktur mikrografi sesuai dengan acuan yang digunakan. Pada hasil uji mikrografi pada di daerah tengah stempel tidak terjadi disintegrasi fasa seperti pada Gambar 7. Fasa yang terlihat sama seperti daerah lengkungan atas stempel.

3.4 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers* yang dilakukan di dua lokasi berbeda untuk dijadikan bahan perbandingan yang pertama di daerah lengkungan atas untuk mengetahui apakah terjadi perubahan kekerasan dan bagian bawah tengah komponen stempel. Hasil pengujian kekerasan nantinya akan dibandingkan dengan nilai kekerasan standar yang digunakan pada perusahaan yaitu pada rentang kekerasan 60 HRC – 63 HRC atau sama dengan 697 HV – 772 HV.



Gambar 8. Grafik hasil pengujian kekerasan pada daerah lengkungan (atas) dan daerah bawah (atas) dan grafik hasil uji kekerasannya (bawah).

Gambar 8 di bawah ini menunjukkan nilai kekerasan pada spesimen 1. Dapat diamati nilai kekerasan bagian bawah berada di rentang 580 HV – 588 HV Sedangkan pada bagian atas spesimen 1 terjadi kenaikan nilai kekerasan pada bagian atas dengan rentang nilai 580 HV – 634 HV. Nilai kekerasan tertinggi berada pada nilai 634 HV. Nilai kekerasan tersebut masih jauh berdasarkan nilai kekerasan kondisi awal stempel yang berada pada rentang 697 HV – 772

3.5 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pada Tabel 2 berikut adalah hasil pengujian komposisi kimia stempel

Tabel 2. Hasil pengujian komposisi kimia spesimen

Unsur	Sampel Uji	
	Komposisi	Standar Deviasi
C	1,19	0,013
Mn	0,314	0,0076
Si	0,155	0,0038
Ni	0,12	0,0012
Cr	11,3	0,03
V	0,49	0,0056
Mo	0,703	0,0189
Fe	85,6	0,01
P	0,16	0,0052
Co	0,0174	0,00021
Cu	0,0501	0,0003
Nb	0,0086	0,00048
Ti	0,0037	0,00007
Zr	0,0079	0,00048
N	0,0522	0,00384
S	<0,0030	0
Al	<0,0020	0
W	<0,0100	0
Pb	<0,0030	0
B	<0,0010	0

Berdasarkan spesifikasi komposisi kimia material yang telah dibahas pada bab dasar teori diatas, hasil komparasi komposisi kimia yang dimiliki material baja AISI D2 dan spesimen uji dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan komposisi spesimen.

Unsur	Komposisi Baja AISI D2 (%)	Komposisi Spesimen (%)	Keterangan
C	1,45 - 1,60	1,19	Rendah
Mn	0,15 - 0,45	0,314	Memenuhi
Si	0,20 - 0,60	0,155	Memenuhi
Cr	11,0 - 12,0	11,3	Memenuhi
V	0,8 - 1,10	0,49	Rendah
Mo	0,70 - 0,90	0,703	Memenuhi

P	0,030 Max	0,16	Tinggi
Cu	0,30 Max	0,0501	Memenuhi
S	0,030 Max	<0,0030	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 3, komposisi karbon dan vanadium pada spesimen rendah. Penurunan nilai karbon berpengaruh pada kekuatan dan kekerasan material yang berakibat menurunnya nilai kekuatan dan kekerasan material. Penurunan nilai vanadium berakibat pada penurunan tingkat ketangguhan material. Sedangkan komposisi fosforus berdasarkan Tabel 3 mengalami peningkatan. Fosforus berpengaruh pada kekerasan material walaupun tidak terlalu signifikan.

3.6 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pada Tabel 4 berikut adalah hasil pengujian kekasaran permukaan yang dilakukan

Tabel 4. Nilai kekasaran permukaan spesimen.

Pengujian ke-	Measurement Condition	Ra (μm)		Rq (μm)		Rz (μm)	
		Pengukuran	Rata-rata	Pengukuran	Rata-rata	Pengukuran	Rata-rata
1	$\lambda_c = 0.25 \text{ mm}$	0,430		0,536		2,507	
2	$\lambda_s = 0.8 \mu\text{m}$	0,385	0,386	0,475	0,479	2,152	2,311
3	N = 8	0,344		0,426		2,273	

Berdasarkan hasil pengujian kekasaran permukaan, didapat nilai Ra 0,386 μm . Nilai kekasaran permukaan spesimen tidak melebihi batas kekasaran permukaan berdasarkan kondisi awal stempel dengan nilai kekasaran permukaan stempel N5 0,4 μm .

3.7 Pembahasan

Berdasarkan Pengujian yang sudah dilakukan pada spesimen didapatkan bahwa penyebab kegagalan spesimen tersebut adalah :

- Kegagalan yang terjadi pada spesimen berupa terjadinya fenomena keausan.
- Kekerasan material spesimen berada jauh dari kondisi standar.
- Nilai uji komposisi kimia pada spesimen tidak memenuhi standar spesifikasi komposisi kimia stempel.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan beberapa pengujian untuk menganalisis penyebab kegagalan spesimen, didapati bahwa penyebab kegagalan tersebut dapat disimpulkan bahwa:

- Terjadinya kegagalan pada stempel mesin ekstruder terjadi karena keausan pada material. Keausan terjadi karena adanya gesekan antara stempel dengan aluminium tube atau dieset. Keausan ditunjukkan dengan adanya pengurangan diameter pada bagian lengkungan atas stempel sebesar 0,07 mm dengan adanya kenaikan kekasaran permukaan pada spesimen yang masih dibawah standar yaitu dengan nilai Ra 0,386 μm . Terjadinya keausan pada stempel mengakibatkan output dari mesin ekstruder berupa aluminium tube menjadi berlubang atau baret.
- Berdasarkan uji mikrofografi, spesimen memiliki fasa yang sesuai yaitu fasa martensit dan tidak ada tanda terjadinya fenomena disintegrasi yang mengakibatkan perubahan sifat mekanis material. Dari hasil pengujian keempat spesimen yang telah diuji didapatkan bahwa nilai kekerasan material stempel masih jauh dibawah kondisi awal yaitu pada rentang 580 HV – 634 HV Dimana nilai kekerasan seharusnya berada pada rentang 697 HV – 772 HV. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan spesimen pada proses produksi awal yaitu pada proses hardening tidak mencapai nilai kekerasan yang diperlukan. Hal tersebut berdampak pada kinerja stempel yang dapat menyebabkan kegagalan. Pada pengujian komposisi kimia, tidak memenuhi standar spesifikasi komposisi kimia stempel. Dimana hal tersebut mempengaruhi tingkat kekerasan dan ketangguhan material yang berdampak pada kinerja stempel.

DAFTAR PUSTAKA

- Prayitno AE, Saputra Y. Perbaikan Kualitas Collapsible Tube Printing dengan Metode Failure Mode And Effetc Analysis. 2021.
- Bagio A, Latief M. Permukaan Pada Mesin Extruder Dan Mesin Oven Anneling Dalam Proses Produksi Produk Aluminium Collapsible Tube 13 , 5x70 / CE DI PT . EXTRUPACK. J Tek Ind. 2012.
- Hirianiah CSRA, Harishanad KS, Noronha NP. A review on hot extrusion of Metal Matrix Composites. 2012.
- Pranoto B. Analisa Numerik Die Ekstrusi Dingin Pada Pembentukan Benda Kerja Berbentuk Silinder. 2018.
- Faika SA. Konstruksi Dan Manufaktur Pembuatan Die Ekstrusi Dingin Pada Pembentukan Benda Kerja Berbentuk

- Silinder. Tugas Akhir. 2018;72(1):28.
- [6] Kumar S, Singh H, Kumar R, Singh Chohan J. Parametric optimization and wear analysis of AISI D2 steel components. *Mater Today Proc* [Internet]. 2023;
- [7] Terčelj M, Turk R, Kugler G, Peruš I. Neural network analysis of the influence of chemical composition on surface cracking during hot rolling of AISI D2 tool steel. *Comput Mater Sci*. 2008.
- [8] Voort GF. *Metallography and Microstructures of Stainless Steels and Maraging Steels*. Metallogr Microstruct. 2018.
- [9] Azhari SK. *Studi Ekperimen Dan Analisa Laju Keausan Pada Material Alternatif Dengan Pelumasan Pasta Pada Rotary Valve Mesin Pembuat Pasta*. Its. 2016.
- [10] Manurung VA, Wibowo YTJ, Baskoro SY. *Panduan metalografi*. 2020.