

ANALISIS AKAR MASALAH KEGAGALAN CACAT RETAK (*CRACK*) PADA PROSES PEMBENTUKAN TEMPA DINGIN (*COLD FORMING*) MUR M14

Dodi Iwan Sumarno¹, Triyono², Daisman PB Aji³

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti

Jl. Kyai Tapa No.1, Grogol, Tomang, Grogol petamburan, Jakarta Barat. 11440

E-mail : dodiiwans@gmail.com¹, triyono@trisakti.ac.id², daisman.aji@trisakti.ac.id³

Abstrak

Komponen mur dan baut (*fastener*) dapat diproduksi melalui berbagai teknik, diantaranya melalui proses tempa (*forging*). Namun dalam suatu proses tempa dingin (*cold forming*) produksi mur tak lepas dari adanya kegagalan, berupa cacat retak pada permukaan. Kegagalan ini berdampak terhadap produktifitas, selain itu dapat menghambat proses yang lainnya. Pada penelitian ini cacat retak mur M14 baja karbon SWCH45K dapat diketahui secara visual pada saat inspeksi. Guna mengetahui penyebab kegagalan dilakukan analisis, dengan metode *Fault Tree Analysis (FTA)*. Untuk itu dilakukan pengumpulan data: sampel awal material, sampel produk mur M14, serta variabel proses tempa dingin. Kemudian dilakukan uji karakteristik material awal untuk mengetahui sifat mekaniknya (*mechanical properties*) dan pengujian metalografi untuk mengetahui kualitas material awal. Selanjutnya dihitung gaya, tegangan, regangan. Hasil dari perhitungan gaya menunjukkan bahwa cacat retak disebabkan konsentrasi tegangan/*stress* yang tinggi pada proses pembentukan *station 3* dikarenakan pojok *punch* tidak memiliki radius (*rounding*). Kesimpulan dari analisis akar masalah cacat retak pada proses pembentukan tempa dingin (*cold forming*) mur M14 disebabkan *design tools punch* tidak memiliki profil radius.

Kata kunci: Mur, tempa dingin (*cold forming*), cacat retak, *Fault Tree Analysis*, baja karbon.

1. PENDAHULUAN

Komponen mur dan baut (*fastener*) dapat diproduksi melalui berbagai teknik, salah satu diantaranya adalah dengan proses tempa dingin. Metode ini berkembang di industri karena memiliki keunggulan secara ekonomis. Proses tempa (*forming*) merupakan proses pembentukan yang banyak digunakan oleh industri manufaktur. Perubahan bentuk benda kerja dilakukan dengan cara memberikan gaya dari luar (*external force*) melalui satu atau beberapa cetakan (*dies/tools*) sampai terjadi deformasi plastis. Namun dalam suatu proses tempa dingin produksi mur tak lepas dari adanya kegagalan, berupa cacat retak pada permukaan. Hal ini berdampak terhadap produktifitas, selain itu dapat menghambat proses yang lainnya.

Mur dibuat dari baja berupa *wire rod* dengan ukuran yang telah ditentukan. Pembuatan mur melalui beberapa tahap, salah satu tahapannya yaitu proses tempa dingin (*cold forming*). Pada *Stasion 3* terjadi cacat retak oleh karena itu dalam penelitian ini perumusan masalah adalah mencari penyebab munculnya cacat retak pada proses tempa dingin (*cold forming*).

2. LANDASAN TEORI

Forming adalah bagian dari sebuah proses *metal forming*/pembentukan logam yang memiliki banyak keuntungan seperti meningkatkan

kekuatan material, struktur lebih menyatu dan seragam, mengurangi proses pemesinan lanjut, dan akan menghemat material karena mengurangi material sisa. Hal ini tentu saja menjadikan *forming*

meskipun teknologi yang sudah ada sejak lama, berpotensi menjadi alternatif proses pembentukan yang mengarah ke konsep teknologi ramah lingkungan, [1]. Keberhasilan penempaan tergantung dari sifat mampu tempa (*formability*) yang dihadapkan pada ketergantungannya pada tipe paduan, *dies*, *punch*, temperatur tempa, temperatur cetakan serta kecepatan penekanan, bentuk dan dimensi awal bahan baku /material, [1]. Kesulitan penempaan yang dihadapi berkaitan erat dengan pola aliran butir (*grain-flow patterns*) yang tidak sesuai, cetakan yang tidak terisi sepenuhnya (*lack of die fill*) dan kualitas produk (sifat mekanik yang tidak sesuai dengan standar), [1].

Proses pembentukan (*forming*) adalah proses pembentukan material dalam keadaan padat (secara deformasi plastis). Secara detail proses *forming* adalah suatu proses pembentukan logam dengan mempergunakan gaya tekan dari *punch* untuk mengubah bentuk dan atau ukuran dari logam yang dikerjakan. Produk pembentukan benda tersebut mengikuti geometri *dies* yang digunakan. Istilah *metal forming/forming* adalah merujuk kepada sekelompok metode manufaktur yang diberlakukan pada suatu material-biasanya material tak berbentuk / berbentuk sederhana-yang akan diubah menjadi sebuah produk yang bermanfaat tanpa adanya perubahan massa atau komposisi material. Produk yang baru terbentuk ini biasanya memiliki geometri yang lebih kompleks yang didefinisikan dalam hal: bentuknya, ukurannya, akurasi, toleransinya, penampilannya dan sifat-sifatnya, [4].

Forming sebagai salah satu bagian dari proses *metal forming* dibagi dalam tiga kategori berdasarkan temperatur pengerjaannya yaitu proses *cold*, *warm* dan *hot forming*.

Klasifikasi Proses Tempa Logam

Tempa konvensional adalah pekerjaan penempaan dengan menggunakan alat-alat konvensional. Alat-alat yang digunakan berupa palu, landasan, dapur tempa, dan alat-alat lainnya yang menggunakan tenaga manusia. Benda kerja dipukul dan diolah dengan alat-alat tersebut hingga didapatkan suatu bentuk yang diinginkan. Proses dan alat-alat yang digunakan telah dibahas pada bagian atas.

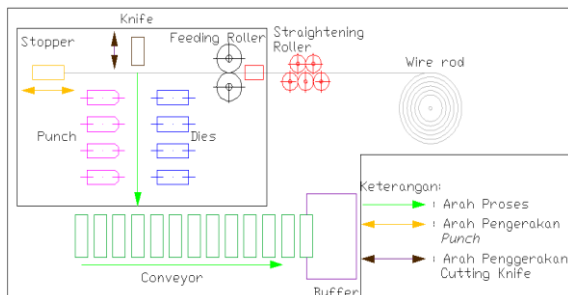
Open Die Forming jenis penempaan (*forming*) yang paling sederhana. Proses penempaan jenis ini dioperasikan dengan menekan benda kerja menggunakan dua buah *die* (cetakan) berbentuk rata. Secara umum, *open-die forming* mampu mengerjakan benda-benda mulai dari yang kecil hingga yang besar. Operasi penempaan ini dikenal sebagai *upset forming* yaitu mengurangi tinggi benda kerja dan menambah diameternya.

Close die forming adalah dengan menekan benda kerja sehingga diperoleh bentuk yang diinginkan. Logam diletakkan dalam cetakan, kemudian ditekan dengan cetakan atas dan bawah. Saat terjadi tekanan ini benda kerja akan mengisi cetakan. *Close die forming* dapat membuat benda dengan bagian-bagian yang sangat detail. Ini adalah metode terbaik karena mampu mencapai toleransi yang sempit dan mampu membentuk bagian yang detail.

Proses Tempa (*Forming*) Mur

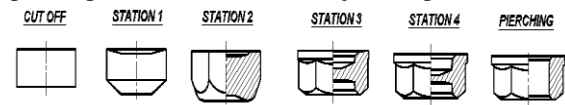
Dalam teknologi pembuatan *fasteners* modern mayoritas mur dan baut dibuat dengan proses *cold forming*. Didalam proses pembentukan, biasanya menggunakan *multistage* proses, dengan *upset*, ekstrusi dingin dan pengurangan, atau kombinasi dari proses tersebut. Proses ini biasanya digunakan untuk produksi jumlah besar. Pilihan mesin tergantung pada ukuran dan pada tingkat pembentukan, semakin besar rasio pembentukan, semakin banyak tahap pembentukan diperlukan.

Mur biasanya diproduksi dengan proses tempa dingin atau panas. Pilihan proses pembentukan tergantung pada ukuran dan pada jumlah (*quantity*) yang dibutuhkan. Proses dasar tempa dingin/*cold forming* bisa terdiri dari *straightening*, *feeding*, *cutting*, *dies* dan *punch*, *Conveyor*. Salah satunya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema proses tempa dingin/*cold forming* mur dan baut.

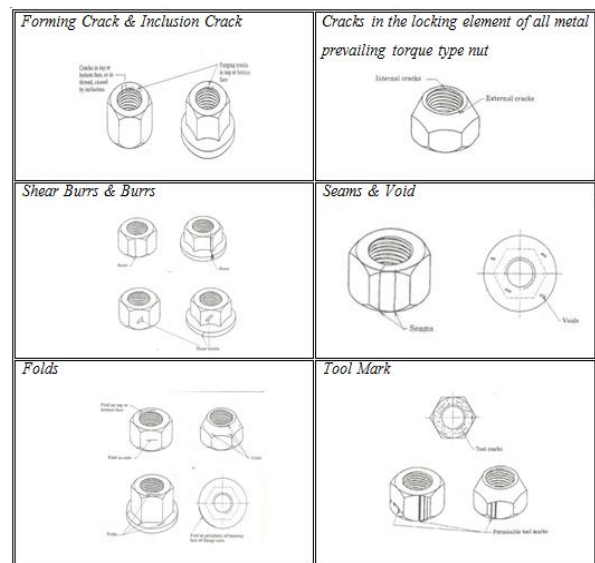
Gambaran umum pada proses pembentukan dengan stasion bertingkat (*multi stage station*) pada proses pembentukan mur ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Pembentukan mur pada mesin tempa dingin dengan urutan dari kanan ke kiri.

Cacat Pada Proses Tempa (*Forming*)

Cacat (*defect*) merupakan kerusakan atau ketidaksempurnaan yang terjadi pada suatu produk. Cacat produk diklasifikasikan menjadi 2 yaitu pertama kemungkinan-kemungkinan cacat yang digolongkan menjadi 6 group, [7]. yaitu: cacat lipatan (*folds*), cacat geser (*shear defects*), Retak (*cracks*), cacat permukaan (*surface defects*), cacat bentuk (*form defects*), cacat struktur (*structural defects*). Klasifikasi kedua adalah kemungkinan-kemungkinan penyebab dari cacat tersebut. Khusus tentang cetakan (*die/tool*) cacat pada produk dapat disebabkan karena geometri, kondisi, permukaan dan materialnya, [7]. Jenis – jenis cacat pada proses tempa khusus mur berdasarkan JIS 1042 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Jenis-jenis cacat pada mur[5].

Perhitungan Kurva Alir .

Definisi deformasi yaitu perubahan dimensi didasarkan pada nilai saat ini (awal). Dengan menggunakan contoh sebuah silinder yang ditekan, perubahan ketinggian berdasarkan pada tinggi sampel awal dan akhir.

Tegangan Alir material (K_f) adalah tegangan yang dibutuhkan untuk memulai dan mempertahankan perubahan bentuk plastik melintasi rentang material yang mengalir. Secara umum, dapat ditentukan dalam uji tekan pada silinder. Tegangan alir juga dapat ditunjukkan pada kurva regangan tegangan dari uji tarik.

Tegangan Alir atau tegangan sebenarnya :

$$K_f = \frac{F}{A} \quad (1), [9].$$

Dimana:

$$F = \text{Gaya}$$

$$A = \text{Luas penampang}$$

Berbeda dengan ini, tegangan nominal :

$$\sigma_0 = \frac{F}{A_0} \quad (2), [9].$$

Dimana:

$$F = \text{Gaya}$$

$$A_0 = \text{Luas penampang awal}$$

Tidak berhubungan dengan kondisi saat ini, tapi untuk bagian awal (A_0) dari sampel. Untuk menghitung tegangan aliran dari tegangan nominal, regangan:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (3), [9].$$

Dimana:

$$l = \text{Panjang setelah perubahan}$$

$$l_0 = \text{Panjang awal}$$

$$\varepsilon = \text{Regangan}$$

Dapat digunakan:

$$K_f = \sigma_0 (\varepsilon + 1) \quad (4), [9].$$

Dimana:

$$\varepsilon = \text{Regangan}$$

$$\sigma_0 = \text{Tegangan nominal}$$

Tegangan Alir (K_f) biasanya ditunjukkan dalam kaitannya dengan deformasi (φ). Kurva ini dikenal sebagai kurva alir.

Kurva alir dalam kasus umum adalah representasi tegangan alir yang bergantung pada [9]:

1. Deformasi
2. Suhu
3. Kecepatan Deformasi

Hubungan antara tegangan aliran (K_f) adalah:

$$K_f = C \cdot \varphi^n \quad (5), [9].$$

Dimana:

$$K_f = \text{Tegangan alir}$$

$$C = \text{Koefisien kekuatan}$$

$$n = \text{Koefisien pengerasan regangan}$$

Menentukan kurva alir, penentuan konstanta C dan n dalam pengujian dasar seperti uji tarik sudah cukup. Eksponen n (eksponen pengerasan regangan) menunjukkan kenaikan kurva tegangan aliran dan menunjukkan seberapa kuat suatu bahan bekerja keras dengan deformasi yang meningkat. n adalah nilai deformasi dengan perpanjangan seragam dalam uji *tensile strength*. Hal berikut berlaku untuk bahan yang terkait konstan Menurut *Nedshroef Academy Metal Forming Technology* [9] koefisien C adalah:

$$C = Rm \cdot \left(\frac{e^n}{n}\right) \quad (6), [9].$$

Dimana:

$$Rm = \text{kekuatan tarik material}$$

$$C = \text{Koefisien kekuatan}$$

$$n = \text{Koefisien pengerasan regangan}$$

$$e = \text{Natural Logaritma}$$

Tabel 1. Typical C -, n and K_{f0} values for annealed impact extrusion materials, [9].

Material	C [N/mm ²]	n	k_{f0} [N/mm ²]	Validity Range φ
C10	800	0.24		
Ck10	730	0.22	260	
Ck15, Cq15	760	0.17	280	
Ck22, Cq22	760	0.16	320	
Ck35	960	0.17	340	
Ck45, Cq45	1000	0.17	390	
Cf53	1140	0.17	430	
15Cr3	850	0.09	420	0.1 - 0.7
16MnCr5	810	0.09	380	0.1 - 0.7
20MnCr5	950	0.15		
34Cr4	970	0.12	410	
42CrMo4	1100	0.15	420	
100Cr6	1160	0.18		
Al99.8	150	0.22	60	
Al99.5	110 [4], 150 [3]	0.24 [4], 0.22 [3]	60	
AlMgSi1	260	0.2	130	
AlMg3	390	0.19		0.2 - 1.0
CuZn10 (Ms90)	600	0.33	250	
CuZn30 (Ms70)	880	0.43 (0.49)	250	
CuZn37 (Ms63)	880	0.43	280	
CuZn40 (Ms60)	800	0.33		0.2 - 1.0

Gaya yang diperlukan dirumuskan:

$$F = K_{f1} x \frac{d_1^2 x \pi}{4} \left[1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \frac{d_1}{h_1} \right] \quad (7), [9].$$

Dimana:

$$K_{f1} = \text{Flow stress}$$

$$d_1 = \text{Diamater akhir benda kerja}$$

$$\mu = \text{Koefisien gesek}$$

$$e = 2.718281828$$

$$d_1 = \text{Diamater akhir benda kerja}$$

$$h_1 = \text{Diamater akhir benda kerja}$$

Tegangan alir :

$$K_{f1} = K_f x \varphi^n \quad (8), [9].$$

Dimana:

$$K_{f1} = \text{Flow stress pada principle strain } 0$$

$$K_f = \text{Flow stress pada principle strain maksimum}$$

$$\varphi^n = \text{Deformasi total}$$

Specific deformation power:

$$a = K_f x \frac{\varphi^{n+1} - \varphi_0^{n+1}}{n+1} \quad (9), [9].$$

Dimana:

$$K_f = \text{Flow stress pada principle strain maksimum}$$

$$\varphi_t = \text{Deformasi total}$$

$$n = \text{Koefisien pengerasan regangan}$$

$$\varphi_0 = 0,05$$

Effective Specific deformation power:

$$aw = a x \left[1 + \frac{\mu}{6} \left(\frac{d_0}{h_0} + \frac{d_1}{h_1} \right) \right] \quad (10), [9].$$

Dimana:

$$a = \text{Specific deformation power}$$

$$\mu = \text{Koefisien gesek}$$

$$d_0 = \text{diamater awal benda kerja}$$

$$d_1 = \text{diamater akhir benda kerja}$$

$$h_0 = \text{tinggi awal benda kerja}$$

$$h_1 = \text{tinggi awal benda kerja}$$

Energy :

$$W = V x aw x 10^{-6} \quad (11), [9].$$

Dimana:




$$aw = \text{Effective Specific deformation power}$$

$$V = \text{Volume}$$

Metode Analisis Kegagalan

Untuk menganalisis akar masalah terjadinya retak pada permukaan mur dipilih metode *Fault Tree Analysis*. *Fault Tree Analysis* adalah diagram sebab dan akibat yang menggunakan *standard* simbol tertentu, contoh simbol bisa dilihat pada Tabel 2. dan pendekatan terstruktur untuk menganalisis akar masalah dari kegagalan yang terjadi.

Tabel 2. Simbol *Fault Tree Analysis*.

Nama Simbol	Simbol	Fungsi Simbol
Square		Menjelaskan top dan lower failures
Or Gate		Kegagalan terjadi jika dipengaruhi salah satu atau lebih potensi penyebab yang ada
And Gate		Kegagalan terjadi jika dipengaruhi oleh semua potensi penyebab yang ada
Circle		Potensi akar kegagalan yang tidak dapat dipecahkan lagi menjadi kegagalan yang lebih rendah
Diamond		Potensi kegagalan yang tidak bisa dianalisa karena berbagai alasan

3. METODOLOGI PENELITIAN

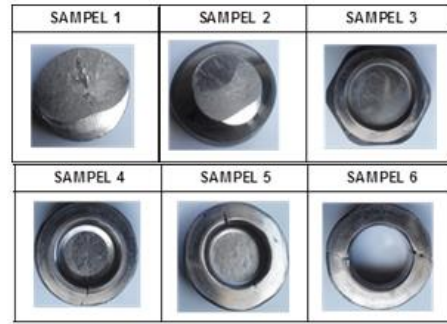
Pada tahap ini akan dilakukan pengumpulan sampel material dan mur, pengumpulan data variabel proses, karakterisasi material, perhitungan gaya, tegangan dan regangan.

Inspeksi Visual Identifikasi Cacat

Melakukan proses *quality control* untuk pengecekan kualitas mur M14 dan mengamati proses tempa dingin, dari mulai pengecekan bahan baku sampai proses pembentukan. Disamping itu dilakukan pengamatan secara visual terhadap dimensi dan posisi retakan pada permukaan, sehingga di harapkan dapat di ketahui penyebab terjadinya retak.

Pengumpulan Sampel Material Awal Dan Sampel Mur

Material yang digunakan pada mur ini adalah *wire rod* baja karbon SWCH45K sesuai persyaratan pelanggan untuk memenuhi *Strength Class 8.8*, pengambilan sampel material awal, Gambar 5, dengan memotong material sepanjang kebutuhan pengujian. Selanjutnya pengambilan sampel mur yang terdapat cacat retak, sampel yang diambil terdiri dari beberapa tahap pembentukan, lihat Gambar 4, sampai akhir dari proses tempa. Pengambilan sampel mur pembentukan diambil langsung pada *tools* mesin *forming* dengan kondisi mesin *forming* mati.



Gambar 4. Pengumpulan sampel hasil pembentukan.



Gambar 5. Pengumpulan sampel material awal.

Pengujian Karakteristik Material Awal Dan Sampel Mur

Pengujian karakteristik material awal dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik (*mechanical properties*) dan komposisi kimia, untuk mengetahui kualitasnya. Pengujian struktur mikro dilakukan pada mur yang mengalami cacat retak untuk mengetahui struktur mikro sehingga diharapkan mengetahui apa yang menyebabkan terjadinya retak pada permukaan. Lingkup pengujian meliputi: uji kekuatan tarik (*tensile strength*), uji Kekerasan Mikro *Hardness Vickers*, uji Metalografi, uji Komposisi Kimia *Optical Emission Spectroscopy (OES)*, pengukuran Sampel Mur Hasil Pembentukan.

Pengukuran di khusukan pada dimensi tinggi, diameter dan berat sampel mur hasil setiap pembentukan, dimaksudkan untuk menghitung tegangan alir dan regangan, gaya dan energi yang terjadi pada proses pembentukan. Pengukuran tinggi dan diameter ini menggunakan micrometer, digimatic caliper dan timbangan massa yang terkalibrasi.

4. PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi yang telah dilakukan meliputi uji tarik, uji keras, struktur mikro dan komposisi kimia. Berikut ini data hasil pengujian karakterisasi material SWCH45K.

Data hasil uji tarik material SWCH45K:

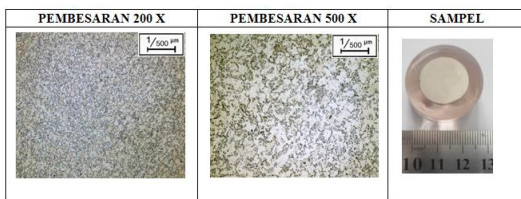
Gambar 6. memperlihatkan sampel hasil uji tarik material SWCH45K dengan potongan *cup* dan *cone*. Material SWCH45K yang digunakan pada proses tempa dingin untuk memproduksi mur mempunyai nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 48 Kg/mm² [470MPa], batas luluh sebesar 23 Kg/mm² dan mempunyai regangan 41.72%. Dengan demikian material ini memenuhi kriteria kekuatan tarik *standard JIS G3507* yaitu maksimal 710 MPa.



Gambar 6. Sampel Hasil Uji Tarik.

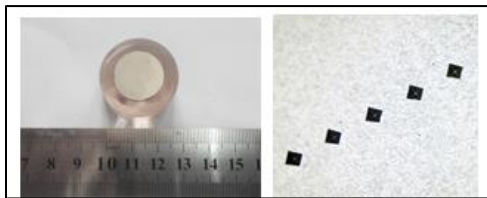
Uji Metalografi

Data hasil uji metalografi material SWCH45K untuk mengetahui struktur mikro dari sampel material, dapat dilihat pada Gambar 7. Dari hasil uji metalografi, struktur mikro material SWCH45K terdapat struktur mikro *pearlite*, *ferrite* dan tidak terdapat unsur pengotor pada material.



Gambar 7. Struktur Mikro Material SWCH45K

Gambar 8. memperlihatkan sampel untuk uji kekerasan dan jejak uji kekerasan. Pengujian dilakukan dengan beban 300 gr, dengan replikasi diambil 5 titik. Data hasil uji kekerasan SWCH45K ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 8. Sampel Uji dan Jejak Uji Kekerasan.

Hasil uji kekerasan material SWCH45K rata-rata dengan nilai 113 HV atau sama dengan 62.67 HRB masih masuk kedalam standard JIS G3507 dengan nilai standar maksimal 97 HRB.

Uji Komposisi Kimia

Data hasil uji komposisi kimia material SWCH45K yang mengalami cacat retak pada proses tempa dingin pada Tabel 3.

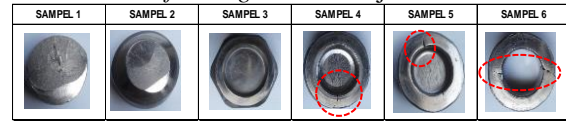
Tabel 3. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Material SWCH45K

SAMPSEL	KOMPOSISI KIMIA				
	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
SWCH45K	0.404	0.187	0.633	0.016	0.026

Dari hasil uji komposisi kimia, menunjukkan untuk unsur Si, Mn, P dan S masuk kedalam standard JIS G3507, namun untuk unsur karbon (C) dengan nilai kandungan unsur karbon 0.404% tidak memenuhi standar dikarenakan lebih kecil 0.02% C (karbon), namun masih masuk kedalam material medium karbon.

Pengumpulan Sampel Produk Cacat

Cacat retak mur mulai terlihat pada tahap ke tiga yang selanjutnya cacat retak lebih jelas pada tahap proses berikutnya, lihat Gambar 9. Pengambilan sampel mur diambil langsung pada tools mesin *cold forming* dengan kondisi mesin *forming* tidak bekerja.



Gambar 9. Pengumpulan sampel hasil pembentukan dari tahap *cut off* sampai *station 5* nampak cacat retak secara bertahap membesar mulai tahap *station 3*.

Gaya Pembentukan Atau Tegangan Yang Terjadi

Perubahan dimensi sampel di setiap *station* diukur untuk memudahkan perhitungan tegangan dan regangan aktual yang terjadi pada sampel. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengukuran sampel pembentukan tempa dingin.

SAMPSEL	ILUTRASI	POINT	ALAT UKUR	DIMENSI (mm) ATAU BERAT (gr)
1 (CUT-OFF)		1	Micrometer	18.17
		2	Digimatic Caliper	8.45
		Berat	Timbangan	15.00
2 (STATION 1)		3	Micrometer	18.45
		4	Digimatic Caliper	8.68
		5	Digimatic Caliper	10.54
		Berat	Timbangan	15.10
3 (STATION 2)		6	Micrometer	18.53
		7	Digimatic Caliper	7.51
		8	Digimatic Caliper	10.92
		Berat	Timbangan	15.00
4 (STATION 3)		9	Micrometer	22.00
		10	Digimatic Caliper	1.57
		11	Digimatic Caliper	8.16
		12	Digimatic Caliper	18.69
		13	Digimatic Caliper	16.49
		Berat	Timbangan	15.10
5 (STATION 4)		14	Micrometer	22.86
		15	Digimatic Caliper	1.61
		16	Digimatic Caliper	8.46
		17	Digimatic Caliper	18.75
		Berat	Timbangan	14.80
6 (STATION 5)		18	Micrometer	22.88
		19	Digimatic Caliper	8.47
		20	Digimatic Caliper	13.09
		Berat	Timbangan	12.30

Perhitungan gaya pembentukan pada proses *Cut-off*

Diketahui diameter material SWCH45K untuk proses $\varnothing 18.20$ mm. Maka Gaya pada proses *Cut-off* yaitu:

$$F_s = K_s \times A_s \quad (14), [9].$$

Arti simbol:

A_f = Luas permukaan potong (*Cutting Area*)

K_s = Koefisien tegangan

$K_s = 0.7 \sim 0.8 \times R_m$

R_m = Kekuatan tarik material

Maka:

$$A_f = \frac{D^2 \times \pi}{4} = \frac{18.20^2 \times \pi}{4} = 260.0234 \text{ mm}^2$$

$$K_s = 0.8 \times 48 \text{ kg/mm}^2 = 38.4 \text{ kg/mm}^2$$

$$F_s = 38.4 \text{ kg/mm}^2 \times 260.0234 \text{ mm}^2$$

$$= 9984.898 \text{ kg} = 97852.005 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil pengukuran sampel pembentukan pada Tabel 4 dan standar koefisien kekuatan untuk material SWCH45K setaraf (*equivalent*) dengan material CK45 atau CQ45. Oleh karena itu diketahui:

$$K_{f100} = 1000 \text{ N/mm}^2, \mu = 0.15, n = 0.17.$$

Hasil perhitungan pada setiap *station* dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Proses Tempa Dingin Pada Setiap *Station*.

STATION	DEFORMATION GRADE (ϕ)	FLOW STRESS (K_f) N/mm ²	FORGING LOAD (F) kN
1	0.027	646.7	191.174
2	0.145	757.366	229.376
3	0.171	773.653	499.888
4	0.038	661.549	292.822
5	0.001	602.957	281.247

Tabel 6. Hasil Perhitungan Proses Tempa Dingin Pada Setiap *Station*.

STATION	SPECIFIC DEFORMATION POWER (a) N.mm/mm ³	EFF. SPECIFIC DEFORMATION POWER (aw) N.mm/mm ³	ENERGY (W) JOULE
1	16.879	18.683	35.938
2	100.546	112.091	214.186
3	120.453	170.08	327.16
4	24.076	34.245	64.563
5	0.6019	0.6832	1.069

Uji Kekerasan dan Struktur Mikro Sampel Mur

Dari hasil jejak yang diperoleh maka dapat diketahui nilai kekerasan rata-rata pada setiap sampel mur M14. Pada Tabel 7. memperlihatkan nilai kekerasan rata – rata yang diperoleh.

Tabel 7. Data Hasil Uji Kekerasan Sampel Mur M14.

NO.	SAMPSEL	HARDNESS (HV)			HARDNES (HV) RATA - RATA
		TITIK 1	TITIK 2	TITIK 3	
1	CUT OFF	165	155	155	158
2	STATION 1	232	222	214	223
3	STATION 2	241	232	232	235
4	STATION 3	241	232	241	238
5	STATION 4	241	241	241	241
6	STATION 5	232	241	252	242

Nilai kekerasan yang diperoleh dapat dikonversikan kedalam kekuatan tarik dengan standar ASTM A370 atau standar lain. Berdasarkan kekerasan yang telah didapatkan maka bisa memperkirakan tegangan yang terjadi untuk analisis pada setiap pembentukan.

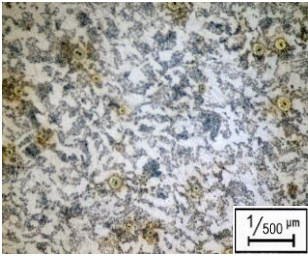
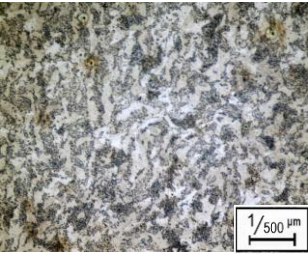
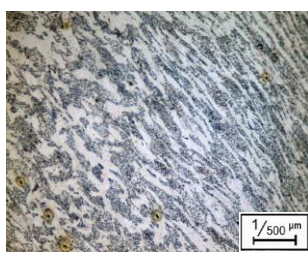
Tabel 8. Konversi tegangan yang terjadi berdasarkan nilai kekerasan.

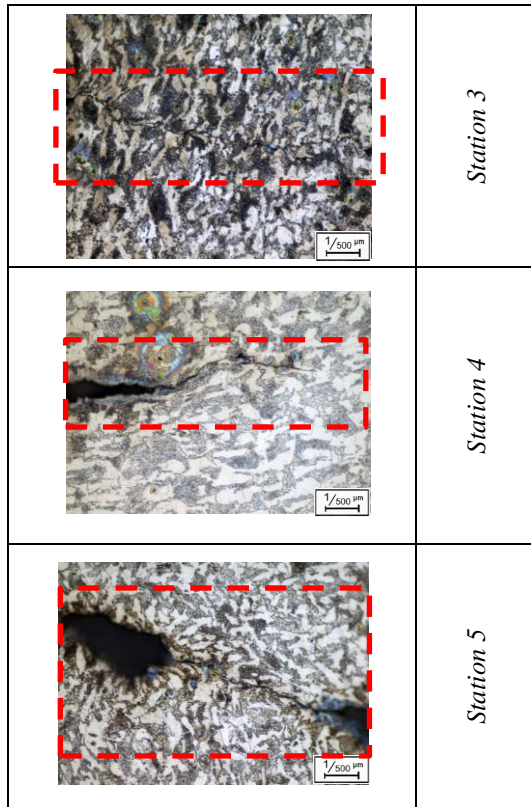
NO.	SAMPSEL	HARDNES (HV) RATA - RATA	TEGANGAN (MPa)
1	CUT OFF	158	543.33
2	STATION 1	223	720.83
3	STATION 2	235	787.50
4	STATION 3	238	795.0
5	STATION 4	241	766.0
6	STATION 5	242	768.0

Uji Metalografi

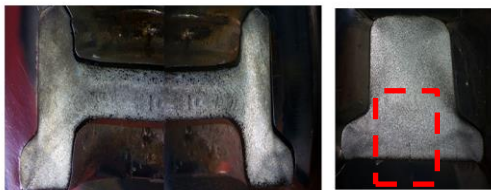
Uji metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari sampel hasil proses pembentukan yang terjadi pada setiap *stationnya*. Berikut ini hasil uji metalografi pada Tabel 9. pada setiap sampel pembentukan tempa dingin mur M14.

Tabel 9. Gambar Mikrostruktur Sampel Mur M14.

Pembesaran 500x	Sampel
	Cut Off
	Station 1
	Station 2



Struktur mikro pada proses *cut off* menunjukkan struktur mikro masih normal, struktur mikro pada *station 1* memperlihatkan adanya sedikit perbedaan dengan kondisi normal, struktur mikro mulai sedikit berubah menjadi pipih, karena mengalami deformasi sehingga sifat mekanisnya akan berubah juga, struktur mikro pada *station 2* menunjukkan perubahan struktur mikro menjadi pipih dan memanjang sangat jelas, hal ini disebabkan adanya pengaruh deformasi yang meningkat dan berakibat meningkatnya sifat mekanis. Struktur mikro pada *station 3* sampai 5 menunjukkan adanya perubahan struktur mikro menjadi besar dan pipih dengan munculnya cacat retak yang berawal dari *area bearing surface* sisi dalam lubang menuju ke keluar. Terlihat retak yang terjadi menunjukkan melewati batas butir. Struktur mikro pada *station 4* dan 5 memperlihatkan cacat retak yang terjadi semakin besar, dengan struktur mikro yang pipih dan memanjang. Retakan yang terjadi berawal dari aliran defomasi/material yang sangat kuat sehingga menimbulkan cacat retak pada *area bearing surface* sisi dalam lubang menuju ke keluar dan dari sisi bawah ke atas dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Struktur makro pembesaran 16.

Geometri Produk / Tools

Desain produk pada setiap *station* yang dibentuk dan *tools* dalam proses pembentukan yaitu:

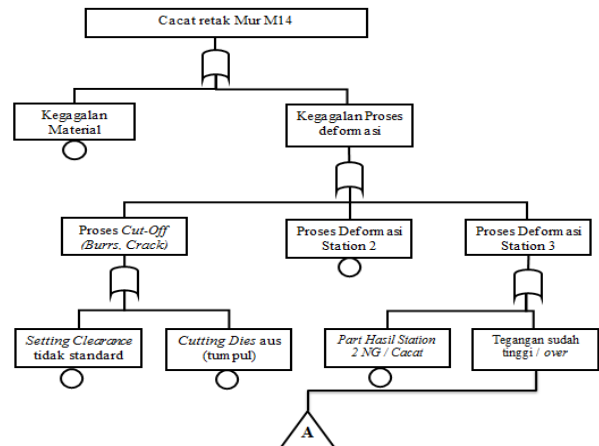
Bottom Dies	Produk	Punch	
			Station 5
			Station 4
			Station 3
			Station 2
			Station 1
			Cut-Off

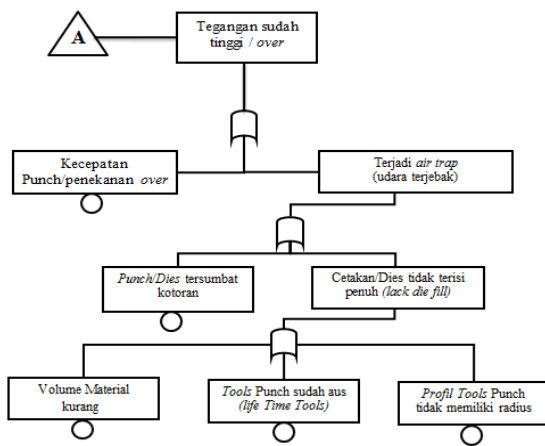
Gambar 11. Geometri Produk dan *Tools* pada setiap *Station*.

Geometri pada setiap *station* pembentukan pada gambar 11. memperlihatkan kondisi geometri pada punch, produk dan *bottom dies*. *Punch* merupakan *tools* yang bergerak menekan material pada setiap pembentukan, sehingga aliran material berhubungan dengan punch yang menekan sehingga material mengisi dies. Geometri pada punch *station 3* dan 4 tidak terdapat radius pada bagian pembentukan area bearing *surface/flange* produk mur, sehingga dapat berpotensi menyebabkan konsentrasi tegangan pada area tersebut dan proses aliran material yang tidak *smooth*.

Analisis Akar Masalah *Fault Tree Analysis (FTA)*

Analisis akar masalah kegagalan cacat retak yang didapat adalah diagram FTA, diperlihatkan pada Gambar 12.



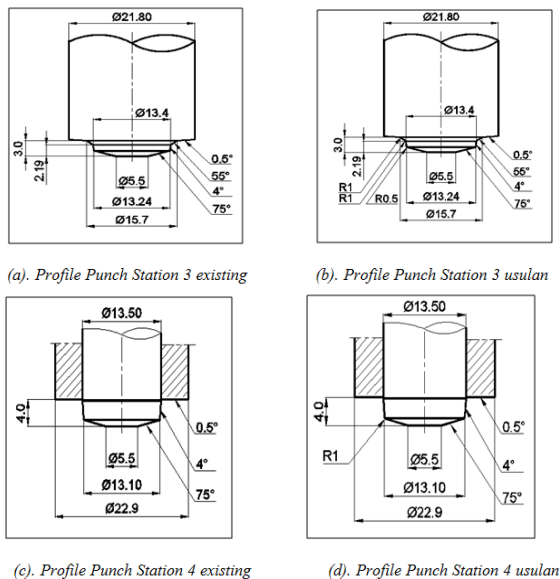


Gambar 12. Fault Tree Analysis Cacat Retak Mur M14.

Dari diagram FTA tersebut, dapat disimpulkan bahwa kegagalannya berasal dari profil punch station 3.

Usulan Pencegahan

Berdasarkan hasil analisis kegagalan munculnya cacat retak pada mur M14, disebabkan adanya kegagalan selama proses pembentukan di station 3 berasal dari profil punch station 3. Oleh karena itu, maka profil punch station 3 dan 4 perlu desain ulang sebagaimana usulan berikut ini, Gambar 13:



Gambar 13. Profile Punch Station 3 dan 4 eksisting & Profile Punch Station 3 dan 4 usulan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian material SWCH45K untuk hasil uji tarik, kekerasan, masih masuk kedalam standard JIS G3507.

2. Dari hasil pengujian material SWCH45K komposisi kimia hasil uji sebesar 0.404% sehingga tidak masuk standar karena kurang 0.02%, namun hal ini bukan faktor dominan terjadinya kegagalan cacat retak, karena kadar karbon yang minus tidak menyebabkan material getas.
3. Dari hasil uji metalografi tidak terlihat adanya unsur pengotor pada material.
4. Dari hasil perhitungan pembentukan pada setiap station, station 3 memiliki nilai Flow Stress paling tinggi.
5. Hasil FTA menunjukkan bahwa cacat retak pada permukaan bearing surface disebabkan konsentrasi tegangan yang tinggi.

SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian untuk bisa menurunkan stress yang terjadi ketika proses deformasi dengan regangan besar seperti perubahan bentuk silinder atau hexagonal ke bentuk flange dari segi tahapan design, tools, material dan parameter proses.
2. Design profil punch atau dies untuk proses pembentukan diperlukan profil radius agar tidak terjadi konsentrasi tegangan yang tinggi pada suatu titik/sisi tertentu dan pola aliran pembentukan material yang smooth.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ardian, Aan. Teori Pembentukan Bahan. Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
2. ASM Handbook. 1986. Failure Analysis and Prevention. Ninth edition. ASM international, USA: Metals Park, Ohio.
3. G. Y. Tzou, T. M. and Wu, M. Z. Yeh. Effect of Various Shearing Conditions on the Rod Shearing Quality for Large Nuts. Department of Mechanical & Automation Engineering, Kao-Yuan University. Taiwan.
4. Iskandar, Norman. 2012. Analisis cacat dimensi pada miniature produk hasil proses cold upset forging. Masters thesis, Program Pascasarjana Undip.
5. JIS B 1042. 1998. Fasteners Surface discontinuities. Part 2: Nuts. Japan : Tokyo.
6. Kılıçaslan, Cenk and İnce, Umut. 2016. Failure analysis of cold forged $^{37}\text{Cr}_4$ alloy M10x28 bolts. Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., A.O.S. Turkey : İzmir.
7. Murjito, ST., MT. 2006. Analisis perancangan cetakan untuk mencegah kegagalan pada proses tempa (Forging). Universitas Muhammadiyah Malang.
8. Wulandari, Trisya. 2011. Analisis kegagalan system dengan Fault Tree Analysis. Program studi sarjana matematika. Universitas Indonesia. Depok.
9. Nedschroef Academy. 2013. Metal Forming Technology. Nedschroef Machinery. Nedschroef Herentals N.V.
10. ASTM A370. Standard test method and definitions for mechanical testing of steel product.