

ANALISIS FENOMENA PATAHAN *BRACKET* AKIBAT PEMBEBANAN SISTEM *ROTARY* MATERIAL SK-5

Yusup Firmansyah¹⁾, Edi Sutoyo²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Ibn Khaldun Bogor
e-mail: yusuffirmansyah41@gmail.com

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Ibn Khaldun Bogor
e-mail: edi.sutoyo@ft.uika-bogor.ac.id

ABSTRAK

Bracket merupakan komponen yang digunakan pada industri otomotif berfungsi sebagai sistem penggerak *rotary* pada mekanisme sistem *vibrator*. *Bracket* berfungsi juga *balancing force*, sehingga memerlukan ketahanan yang merata di seluruh permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk investigasi terhadap kegagalan fungsi *bracket* (patah) setelah mengalami pembebanan *rotary* pada komponen *assembly* unit, untuk mengetahui penyebab terjadinya patahan pada *bracket* diperlukan investigasi terhadap jenis patahan, aktual proses manufaktur *bracket*, uji komposisi kimia material SK-5, distribusi kekerasan *Bracket*, serta foto mikro. Hasil Pengujian dan Observasi : patahan termasuk jenis *brittle*, adanya *initial crack propagation* pada visual patahan, proses *austempering* adanya perbedaan jumlah *content mass* (kg) 12 – 46 kg, patahan memiliki fluktuasi kekerasan 48-55 HRC serta distribusi kekerasan tidak merata 550-760 HV kedalaman 0,5 mm, fotomikro menunjukkan adanya penyebaran *pearlit* pada fasa *bainit* pembesaran 100x dan 200x. Dari hasil pengujian dan observasi dapat disimpulkan bahwa fenomena patahan pada *bracket* terjadi karena adanya timbul *pearlit* pada fasa *bainit*. Hal ini menunjukkan adanya penyebaran suhu yang tidak merata saat pada proses *austempering* sehingga pada fasa transformasi tertentu suhu benda kerja di angka < 720°C sehingga menyebabkan distribusi kekerasan tidak merata pada seluruh permukaan *bracket* dan *beach mark* membentuk *crack propagation*.

Kata kunci : *Austempering, Bracket, Brittle, Crack Propagation, Patahan, Rotary.*

ABSTRACT

The bracket is a component that is used in the automotive industry as a rotary driving system on a vibrator system that is used to balance strength, so this component requires a balanced resistance throughout the surface. This study discusses the investigation of bracket failure (fracture) after repairing rotary loading on the assembly unit components, to determine the cause of damage to the bracket required investigation of the type of fracture, the actual manufacturing process of the bracket, the SK-5 spectrometer test material, the distribution of the bracket material, also photo micro. Test and Observation Results: the fracture is brittle type, there is initial crack propagation in visual fault, the austempering process there is a difference in the amount of mass content (kg) 12 - 46 kg, the fracture has fluctuations in the race 48-55 HRC and the distribution is not accounted for 550-760 HV depth 0.5 mm, showing the spread of pearlite in the 100x and 200x magnification bainite phase. From the results of examinations and observations, it can be concluded that the phenomenon of fracture in the bracket occurs because of the pearlite phase in bainite. This shows the effect of uneven temperature on the austempering process so that the phase transforms a part of the workpiece in the figure <720 ° C, causing an incorrect distribution of coordination on the entire surface of the bracket and shore mark which causes crack propagation.

Keywords : *Austempering, Bracket, Brittle, Crack Propagation, Fracture, Rotary.*

1. PENDAHULUAN

Patahan pada metal baja karbon tinggi contoh patahan *ductile, brittle, moderate ductile* diawali dengan adanya *stretch mark* atau *initial crack* pada produk (Broek, 1982; Knott, 1973). Hal ini disebabkan adanya proses yang tidak normal pada penggunaan disertai dengan beban berat yang melebihi kapasitas produk ataupun pada proses

manufaktur produk seperti kegagalan dalam proses perlakuan panas (Ashby dan Jones, 1980). Menurut (Cottrell, 1958), adapun jenis patahan dibedakan menjadi dua kriteria yakni patahan *ductile* dan patahan *brittle*, patahan *ductile* terjadi saat kondisi temperatur tinggi dimana adanya *microvoid coalescence* atau gabungan *microvoid* selama proses kegagalan *ductile* sedangkan patahan

brittle terjadi saat temperatur rendah dimana adanya simulasi *transgranular cleavage* atau pembelahan kristal intragranular selama patahan *brittle* jika terdapat *transgranular cleavage* adanya garis atau *initial crack* sepanjang *boundry* dengan perambatan *crack* membentuk *crack propagation* baru. *Crack propagation* menurut Gilbert et al. (1995) diawali dari *stretch mark/initial crack* pada material karena *fatigue stress* dan adanya dislokasi pada struktur material mendukung intragranular *crack* membentuk garis patahan.

Adanya *fatigue stress* dalam material berasal dari mekanisme di dalam proses *heat treatment* atau pemanasan logam sebelum dilakukan proses tempering dimana dalam proses ini awal mula terciptanya struktur logam baik struktur *body center cubic* atau *face center cubic* ataupun struktur lainnya, menurut Pramono (2011) perubahan karakter baja AISI 1045 Pada aplikasinya ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan (Avner, 1974) dalam proses *hardening* dengan variasi *quenching* agitasi dapat merubah nilai kekerasan 57,62, 58,37 dan 59,62 HRC. Untuk mendapatkan kekerasan dan ketahanan terhadap aus dari bahan tersebut dapat dilakukan melalui perlakuan panas dengan cara *hardening* yang dilanjutkan dengan proses *quenching*, tujuannya untuk mendapatkan struktur *martensit* yang keras dan memiliki ketahanan aus yang baik. Dari proses *quenching* tersebut spesimen sering sekali mengalami *cracking*, distorsi dan ketidakseragaman kekerasan yang diakibatkan oleh tidak seragamnya temperatur larutan pendingin. Pada proses *quenching* terjadi perpindahan panas dari spesimen baja kelarutan pendingin yang ditandai dengan terjadinya pembentukan gelembung- gelembung udara yang kemudian berlanjut dengan terbentuknya selubung udara pada permukaan spesimen tersebut. Adanya selubung udara ini dapat membuat laju pendinginan menjadi lebih kecil dari pada laju pendinginan kritis Turunnya laju pendinginan ini dapat menyebabkan tidak tercapainya pembentukan fasa *martensit*. Totten et al. (1993) menyatakan perubahan struktur mikro dari ST.70 sebelum diberikan perlakuan *heat treatment* terdiri dari 50 % *perlit* dan 50 % *ferrit*, sedangkan yang sudah diberikan perlakuan *heat treatment* didapat 100 % *martensit*. Jadi dengan pemanasan 800°C dan pendinginan yang cepat dengan media air selama 2

jam ternyata terjadi transformasi struktur dari *perlit* dan *ferrit* menjadi struktur *martensite* (Hidayat dan Herwandi, 2006). Rizal dan Sepfitrah (2014), adanya pengaruh waktu *dipping* saat proses *quenching* material AISI 1045 nilai karbon 0,43-0,48%. Jika proses pendinginan *quenching* dipercepat maka kemungkinan besar terjadi keretakan pada material baja karbon.

Berdasarkan sumber dan beberapa penelitian bahwasannya fenomena terjadinya perubahan pada proses *heat treatment* sehingga menyebabkan kegagalan berpotensi besar, beberapa potensi abnormal seperti variasi suhu part karena efek ketidakseimbangan proses *heat treatment*, variasi waktu pendinginan, variasi nilai karbon dan media *quenching* dapat merubah struktur kristal material dan menimbulkan *fatigue stress* dan berujung patahan. Tujuan penelitian ini adalah mengungkapkan studi kasus fenomena patahan pada komponen *bracket* dan mengetahui kegagalan fungsi setelah menerima beban *rotary*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Manufaktur, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibnu Khaldun Bogor dengan mengikuti diagram alir seperti pada gambar 1.

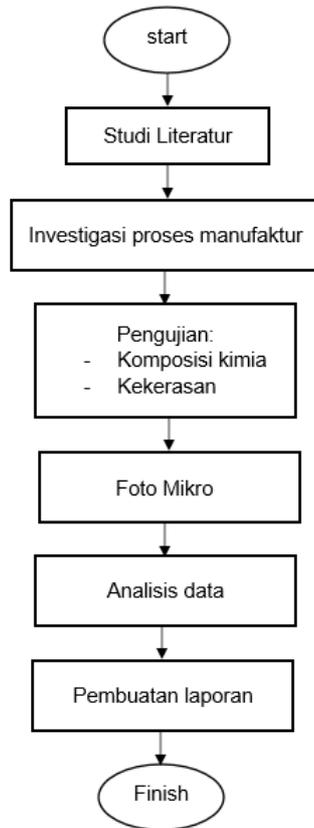
Langkah pertama dalam investigasi adalah observasi aktual proses manufaktur *bracket*. Selanjutnya dilakukan uji komposisi kimia material pada SK-5 sebagai material *bracket*. Menggunakan *spectrometer*. Untuk mengetahui distribusi kekerasan *Bracket* dilakukan uji kekerasan *Hardness Rockwell*, serta foto mikro

Spesifikasi pengujian dalam penelitian ini diantaranya:

- *Hardness Rockwell testing*
- *Hardness Vickers*
- *Spectrometer*
- Foto mikro: Olympus Metallurgical Microscopes (100x dan 200x)

Spesifikasi proses pada penelitian ini sebagai berikut:

- Lapisan *Electroplating Zinc*
- Proses Baking
- *Heat treatment austempering*



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

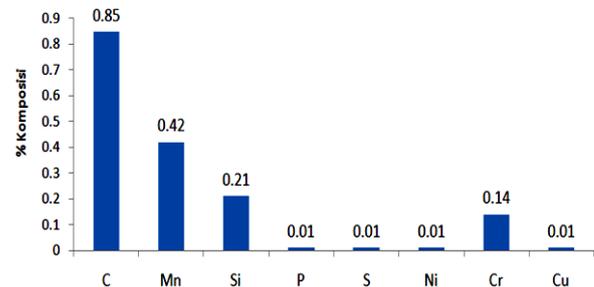
3.1 Pembahasan Hasil Pengujian komposisi kimia Baja Karbon SK-5

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk melihat kandungan komposisi kimia yang terdapat pada material SK-5. Komposisi tersebut akan berpengaruh terhadap kemampuan produk baik dari sisi fungsi maupun kemampuan mekanis. Hasil pengujian komposisi kimia *raw material SK-5* termasuk golongan baja karbon tinggi (<0,60% C) ditunjukkan pada Gambar 2 dengan penyusun utama besi (Fe) sebesar 98,0% berpengaruh pada kekuatan dan kekerasan. carbon (C) sebesar 0,85% meningkatkan sifat kekerasan, mangan (Mn) sebesar 0,42% untuk memperbaiki dan meningkatkan kekuatan, kekerasan dan keuletan. Silika (Si) sebesar 0,21% menambah kekuatan baja. Nikel (Ni) sebesar 0,01 % meningkatkan sifat keuletan dan tahan karat. Chrome (Cr) sebesar 0,14% meningkatkan sifat keuletan dan tahan karat, tembaga (Cu) sebesar 0,01% mempunyai sifat fisik daya penghantar listrik yang tinggi, daya hantar panas dan tahan karat. Sulfur (S) dan Pospor (P) 0,01% menambah ketahanan kerapuhan pada baja karbon

Dari hasil diatas ditunjukkan Gambar 3 membuktikan seluruh komposisi kimia baja karbon SK-5 yang terkandung didalam produk braket tidak adanya perubahan komposisi kimia pada material pada produk patahan.



Gambar 2. Uji komposisi kimia SK-5 dilakukan 3 titik inspeksi



Gambar 3. Komposisi kimia baja karbon SK-5

Pengaruh Pengujian Mikroskopis Terhadap Nilai Kekerasan Rockwell

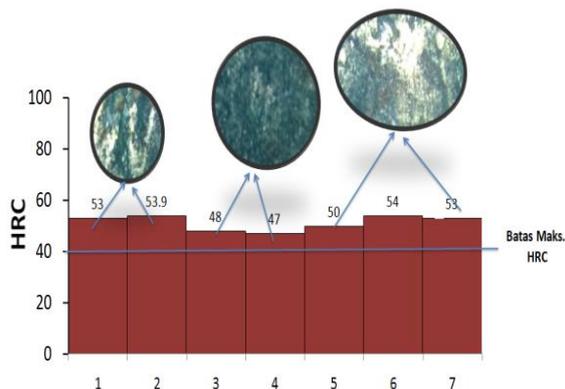
Hasil Pengujian Foto mikro struktur mikro dengan menggunakan *Olympus Metallurgical Microscopes* pembesaran 100x dan Pembesaran 200x adanya struktur *pearlit* pada struktur *bainite* pada produk patahan *bracket*, ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5 dimana struktur *pearlit* yang ada merupakan hasil dari adanya proses abnormal pada proses *austempering* dan dari data pengujian kekerasan menunjukkan data di atas standar 40 HRC dari sampel uji 7 produk menunjukan variable kekerasan dari 47 hingga 54 HRC (Gambar 6).



Gambar 4. Foto mikro perbesaran 100x



Gambar 5. Uji foto mikro perbesar 200x



Gambar 6. Grafik nilai kekerasan terhadap matrik struktur mikro

Variasi kekerasan terlihat ditunjukkan pada Gambar 7, struktur dan matrik yang terbentuk pada logam termasuk baja karbon jenis SK-5. Dari Hasil di atas terlihat adanya variasi struktur mikro dari kekerasan yang terbentuk dalam logam atau produk patahan bracket, saat kekerasan pada titik 53 HRC hingga 54 HRC struktur pearlit yang terbentuk tidak rata. Pada titik kekerasan 50 HRC hingga 54 HRC dengan interval 4 HRC memperlihatkan pembentukan struktur pearlit lebih tinggi ditambah adanya struktur ferrite dengan luasan yang lebih besar dari pearlit. Fasa ferrite dimana struktur ini

merupakan dampak adanya proses abnormal. Pada proses austempering dan kekerasan pada titik 47 HRC hingga 48 HRC dalam luasan struktur bainite masih adanya struktur pearlit. Hal ini disebabkan karena perubahan fasa yang terbentuk antara perbedaan waktu dengan temperatur tidak terlalu signifikan.

Pengaruh Suhu Produk Terhadap Nilai Kekerasan Rockwell

Hasil pengamatan proses *austempering* seperti yang ditunjukkan Gambar 6 adanya perbedaan suhu mesin dengan suhu *part* atau produk dimana hal ini terlihat pada pengujian foto mikro struktur mikro dengan menggunakan *olympus metallurgical microscopes*. Pembesaran 100x dan pembesaran 200x adanya struktur *pearlit* pada struktur *bainite* produk patahan *bracket*, diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 dimana struktur *pearlit* yang ada merupakan hasil dari adanya proses abnormal. Pada proses *austempering* dan dari data pengujian kekerasan menunjukkan data di atas standar 40 HRC, dari sampel uji 7 produk menunjukkan variabel kekerasan dari 47 hingga 54 HRC (Gambar 6).



Gambar 7. Grafik nilai kekerasan terhadap perbedaan suhu produk pada proses austempering

Variasi suhu produk Ditunjukkan Gambar 7 berdampak pada nilai kekerasan terlihat pada struktur dan matrik yang terbentuk pada logam termasuk baja karbon jenis SK-5, pada suhu part atau produk sebesar 821,2°C mempunyai nilai kekerasan sebesar 53 HRC, suhu part sebesar 821,4°C mempunyai nilai kekerasan sebesar 53,9 HRC, suhu part sebesar 820,8°C mempunyai nilai kekerasan sebesar 48 HRC, suhu part sebesar 820,6°C mempunyai nilai kekerasan sebesar 47 HRC, suhu part sebesar 820,2°C mempunyai nilai kekerasan sebesar 50 HRC, suhu part sebesar

821,6°C mempunyai nilai kekerasan sebesar 54 HRC, dan suhu part sebesar 821,2°C mempunyai nilai kekerasan sebesar 53 HRC.

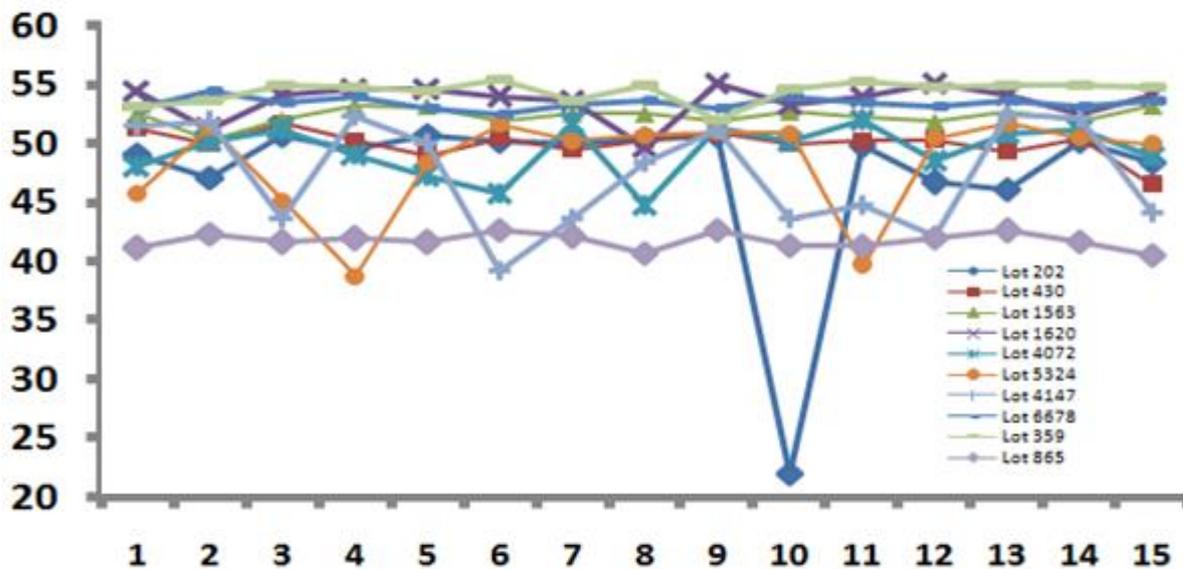
Gambar 8 menunjukkan adanya variasi nilai kekerasan pada produk patahan 25 hingga 55 HRC dimana pada lot no produksi 202 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai terendah 22 HRC hingga tertinggi 50,7 HRC selisih deviasi varian 28,7 HRC. Lot no produksi 430 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai terendah 46,5 HRC hingga tertinggi 51,7 HRC selisih deviasi varian 5,2 HRC. Lot no produksi 1563 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai terendah 50,2 HRC hingga tertinggi 53,2 HRC selisih deviasi varian 3,0 HRC. Lot no produksi 1620 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai terendah 49,7 HRC hingga tertinggi 54,5 HRC selisih deviasi varian 4,8 HRC Lot no produksi 4072 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai terendah 45,8 HRC hingga tertinggi 51,4 HRC selisih deviasi varian 5,6 HRC. Lot no produksi 5324 dengan uji *sampling quantity*

15 pcs variasi kekerasan pada nilai terendah 38,7 HRC hingga tertinggi 51,7 HRC selisih deviasi varian 13,0 HRC. Lot no produksi 4147 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai Terendah 39,2 HRC hingga tertinggi 52,5 HRC selisih deviasi varian 13,3 HRC. Lot no produksi 6678 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai Terendah 52,5 HRC hingga tertinggi 54,4 HRC selisih deviasi varian 1,9 HRC, lot no produksi 359 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai Terendah 52 HRC hingga tertinggi 55 HRC selisih deviasi varian 3,0 HRC. Lot no produksi 865 dengan uji *sampling quantity* 15 pcs variasi kekerasan pada nilai terendah 40,5 HRC hingga tertinggi 42,7 HRC selisih deviasi varian 2,2 HRC. Dari data tersebut menunjukkan tingkat variasi kemampuan proses *austempering* dimana proses tersebut menghasilkan tingkat kekerasan yang abnormal dan batas limit proses abnormal ditunjukkan pada lot number 202 yang mana nilai deviasi perubahan hingga 28,7 HRC.

Tabel 1. Variasi nilai kekerasan berdasarkan lot no produksi

No	Lot No Produksi									
	HRC 202	HRC 430	HRC 1573	HRC 1620	HRC 4072	HRC 5324	HRC 4147	HRC 6678	HRC 359	HRC 865
1	49.1	51.3	52.5	54.5	48.1	45.8	51.5	52.9	53.2	41.1
2	47.1	50	50.2	51.1	50.1	51.4	51.8	54.4	53.6	42.3
3	50.7	51.7	52	54.2	51.1	45.1	43.6	53.5	54.9	41.6
4	49.6	50.2	53.2	54.6	49.1	38.7	52.3	53.9	54.7	41.9
5	50.7	49	53.1	54.6	47.2	48.4	50	52.9	54.4	41.6
6	50.2	50.5	51.9	53.9	45.8	51.6	39.2	52.5	55.4	42.7
7	50	49.5	52.5	53.7	51.6	50.2	43.6	53.3	53.6	42.1
8	50.3	50.3	52.5	49.7	44.8	50.7	48.4	53.6	54.9	40.7
9	50.7	50.9	51.9	55.1	51.4	51	51.1	53	52	42.7
10	22	50	52.7	53.3	50.2	50.9	43.6	53.9	54.6	41.3
11	49.8	50.2	52.3	54	52	39.6	44.8	53.4	55.3	41.3
12	46.7	50.3	51.9	55.1	48.6	50.5	42.2	53.1	54.8	42
13	46.1	49.3	52.7	54.2	50.9	51.7	52.5	53.6	55	42.6
14	50.2	50.5	51.9	52.5	51.2	50.5	52.2	53.1	54.9	41.7
15	48.4	46.5	53.2	54.2	48.9	50	44.1	53.6	54.7	40.5

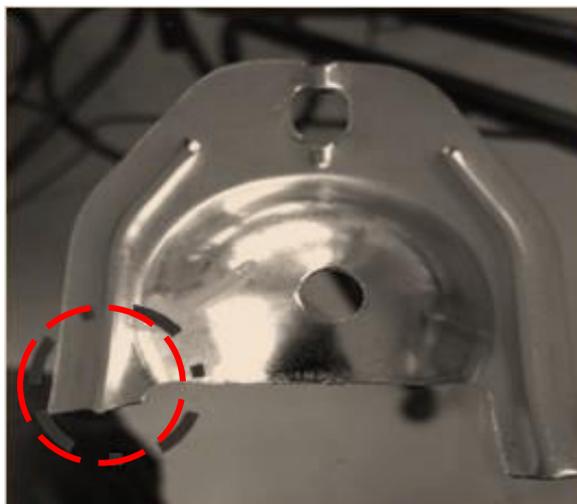
Grafik variasi nilai kekerasan berdasarkan no plot produksi



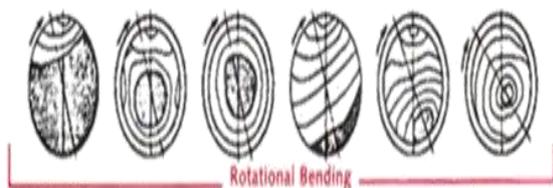
Gambar 1. Grafik variasi nilai kekerasan berdasarkan no plot produksi

Pengaruh Initial Crack Bracket pada Fenomena Patahan

Hasil pengamatan yang ditunjukkan pada Gambar 9 adanya *initial crack* pada produk sebelum terjadinya patah.



Gambar 2. *Initial crack* area takikan

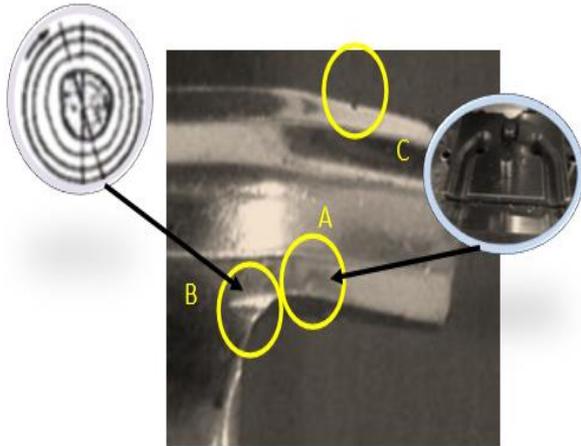


Gambar 3. Patahan jenis *rotary bending*

Patahan yang terbentuk merupakan patahan jenis patah *rotary bending* sebagaimana yang terlihat pada Gambar 10. Patahan tersebut mempunyai ciri khas adanya *initial crack* yang membentuk *beach mark* sebagai awal mula terjadinya patah, saat terjadi beban bending dan faktor pendukung lainnya yang membuat laju patahan semakin cepat diantaranya pada proses manufaktur produk. Cetakan yang membentuk pola profil terdapat cacat atau sisa tegangan pada proses bending profil, sehingga tidak bisa menahan beban bending dan menghasilkan sisa material akibat pengaruh proses stamping yang dihasilkan. Pengaruh kotoran dan *burry* sisa potongan material pada cetakan diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 4. Terdapat *burry* sisa potong material



Gambar 5. Titik simulasi patahan *bracket*

Pada Gambar 12 menunjukkan bahwa patahan beban *rotary bending* sebelum terjadi patahan dimulai adanya *initial crack* di titik B dan di titik A. *beach mark* mengindikasikan benturan halus hasil proses abnormal pada cetakan. *Beach mark* kemudian membentuk garis *streak mark* pada profil produk yang menghubungkan ke titik C yang disebut titik *notched* dimana titik tersebut merupakan batas akhir titik patah.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian dan analisis terhadap fenomena patahan pada *bracket* dapat disimpulkan: Hasil uji komposisi kimia, material SK-5 masih dalam kategori material standar. Hasil uji mikroskopis menunjukkan adanya struktur *pearlit* dan *ferrite* pada fasa *bainite*. Hasil uji kekerasan dengan Metode *Rockwell* adanya variasi tingkat kekerasan hingga 28,7 HRC. Hasil pengamatan visual patahan adanya *initial crack* dan *beach mark* yang terbentuk saat proses stamping

saran agar terjadinya patahan pada *bracket* bisa diantisipasi: Hindari adanya struktur *pearlit* dan *ferrite* dengan cara memaksimalkan jumlah muatan (kg) pada tungku *austempering*, hal ini guna meminimalisir adanya perbedaan suhu antara suhu mesin dengan suhu produk. Diperlukan adanya kontrol periodik terhadap cetakan stamping guna menghindari cacat pada produk. Kekerasan produk ideal di angka 40 HRC hingga 50 HRC. Perlu penambahan proses *tempering* setelah proses *austempering* untuk meminimalisir variasi kekerasan dengan selisih deviasi yang tinggi.

REFERENSI

- Ashby, M. F., Jones, D. R. H. (1980). *Engineering Materials: An Introduction to Their Properties and Applications*. New York: Pergamon Press
- Avner, S. H. (1974). *Introduction to physical metallurgy* (Vol. 2): McGraw-Hill New York.
- Broek, D. (1982). *Elementary engineering fracture mechanics*: Springer Science & Business Media.
- Cottrell, A. H. (1958). Theory of brittle fracture in steel and similar metals. *Trans. Met. Soc. AIME*, 212.
- Gilbert, C., Petrany, R., Ritchie, R., Dauskardt, R., Steinbrech, R. (1995). Cyclic fatigue in monolithic alumina: mechanisms for crack advance promoted by frictional wear of grain bridges. *Journal of Materials Science*, 30(3), 643-654. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00356324>
- Hidayat, A., Herwandi, H. (2006). Analisa Perubahan Struktur Akibat Heat Treatment pada Logam ST FC Dan Ni-Hard 4. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 57-62.
- Knott, J. F. (1973). *Fundamentals of fracture mechanics*: Gruppo Italiano Frattura.
- Pramono, A. (2011). Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprocket Rantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM Vol*, 5(1), 32-38.
- Rizal, Y., Sepfitrah. (2014). Analisa Kegagalan Fatik Pada Plunger Pompa Torak Reciprocating 5H3S. *Jurnal APTEK*, 6(1), 73-86.
- Totten, P. L., Lindsey, D. W., King, B. J. (1993). High temperature well cement compositions and methods: Google Patents.