

# Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan *Tempering* terhadap Kekerasan Baja ASSAB 705 yang di-*Hardening* untuk Aplikasi Poros Pompa *Multistage*

Muhamad Junda Azizi, Wikan Jatimurti, dan Rochman Rochiem  
Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: wikan@mat-eng.its.ac.id

**Abstrak**—Ditemukan kegagalan pada poros pompa *multistage* di Pabrik Gula Gending yang baru beroperasi beberapa bulan dari 4 tahun umur pakai yang direncanakan. Kegagalan pada poros tersebut adalah patah dan aus pada ulirnya. Menurut ASTM A291, material standar untuk poros tersebut adalah ASSAB 705. Namun pengujian komposisi dan kekerasan menunjukkan bahwa poros pompa yang patah tidak sesuai dengan standar ASSAB 705. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi parameter perlakuan panas *tempering* terhadap baja ASSAB 705 untuk aplikasi poros pompa. Perlakuan yang diberikan adalah *water quench hardening* dengan temperatur 815°C dan waktu tahan 30 menit. Kemudian dilakukan *tempering* dengan temperatur 300°C, 350°C dan 400°C dimana variasi waktu tahan tiap temperatur tersebut adalah 60 menit dan 120 menit. Uji metalografi menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur dan waktu tahan, martensit tampak semakin sedikit akibat terdekomposisi menjadi struktur ferrit dan bainit. Uji XRD memberikan hasil yang sejalan dengan fenomena tersebut, yaitu berkurangnya struktur BCT (martensit) seiring bertambahnya struktur BCC (bainit dan ferrit) pada temperatur dan waktu tahan yang makin tinggi. Hal ini tentu berdampak pada kekerasan dan ketahanan ausnya. Spesimen dengan kekerasan dan ketahanan aus tertinggi adalah yang diberikan *tempering* dengan temperatur 300°C dan waktu tahan 60 menit. Sedangkan yang memiliki kekerasan dan ketahanan aus paling rendah adalah yang diberikan *tempering* dengan temperatur 400°C dan waktu tahan 120 menit.

**Kata Kunci**—Poros pompa *multistage*, ASSAB 705, Perlakuan Panas, Kekerasan, Keausan.

## I. PENDAHULUAN

PABRIK Gula (PG) Gending adalah salah satu pabrik gula di Kabupaten Probolinggo. Proses produksi gula berlangsung selama musim tebu, atau disebut juga masa giling, yaitu 4-6 bulan. Selama masa giling, proses produksi gula di Pabrik Gula Gending Probolinggo berlangsung 24 jam nonstop. Salah satu alat yang digunakan untuk menunjang produksi adalah pompa *multistage*. Pompa *multistage* menggunakan beberapa *impeller* yang dipasang seri pada satu poros. Zat cair yang keluar dari *impeller* pertama dimasukkan ke *impeller* berikutnya dan seterusnya hingga *impeller* terakhir. Saat komponennya masih orisinil, dilaporkan bahwa poros pompa *multistage* tersebut harus diganti setelah empat tahun operasi.

Akan tetapi ditemui kegagalan pada poros pompa baru setelah beroperasi beberapa bulan dari empat tahun umur pakai yang direncanakan.

Menurut ASTM A291, material standar untuk poros adalah ASSAB 705. Material ini memiliki komposisi kimia yang setara dengan AISI 4340. Saat dilakukan pengujian, komposisi kimia poros yang patah tidak sesuai dengan standar ASSAB 705. Nilai kekerasan material ini juga tidak memenuhi standar untuk aplikasi poros, yaitu 176 HV. Sedangkan menurut ASTM A291, seharusnya berkisar 341 – 415 HV [1]. Dari permasalahan tersebut, optimalisasi sifat mekanik material perlu dilakukan. Salah satunya adalah dengan perlakuan panas. Perlakuan panas terhadap ASSAB 705 dilakukan dengan beberapa variabel dan kemudian diamati responnya dari segi struktur mikro dan sifat mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari poros pompa *multistage* sehingga memenuhi standar dan memiliki umur pakai sesuai dengan yang direncanakan. Material diberi perlakuan *hardening*. Karena hasil dari proses *hardening* tersebut terlalu keras dan getas, perlu dilakukan proses *tempering* untuk menurunkan kekerasannya dan meningkatkan ketangguhannya.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Bahan

#### 1) Poros pompa *multistage* yang mengalami failure

Sebagai spesimen yang diteliti penyebab keagalannya, diperoleh dari Pabrik Gula Gending Probolinggo.

#### 2) Baja ASSAB 705

Setara dengan AISI 4340 [2], sebagai spesimen untuk perlakuan panas *hardening* dan *tempering* dengan komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 1. Baja ini dibeli dari UD Sutindo Sejahtera Surabaya.

#### 3) Pasta Metal Polish

Pasta *Metal Polish* digunakan untuk melakukan proses preparasi *polishing* terhadap permukaan spesimen untuk persiapan pengujian. Pasta ini diproduksi oleh Dursol-Fabrik Germany.

#### 4) $HNO_3$ dan alkohol

Sebagai bahan utama etsa nital untuk melakukan proses *etching* pada pengujian metalografi. Bahan ini dibeli dari UD Sumber Ilmiah Persada Surabaya.

Tabel 1.

Komposisi kimia ASSAB 705	
Unsur	Kadar (%)
C	0,4
Mn	0,7
Cr	0,8
Mo	0,25
Ni	1,8
Si	0,2
S	0,004
P	0,035
Fe	Balance

### B. Preparasi dan Proses Perlakuan Panas

Preparasi dilakukan dengan melakukan pemotongan terhadap baja ASSAB 705 *cylindrical rod* dengan diameter 25,4 mm yang dipotong dengan ketebalan 25,4 mm sebanyak 8 buah. Kemudian 7 diantaranya diberi perlakuan *hardening* dengan pemanasan pada temperatur 815°C selama 30 menit, lalu *quenching* dengan air tanpa agitasi. Kemudian 6 diantara spesimen tersebut diberi perlakuan *tempering* dengan variasi temperatur 300°C, 350°C dan 400°C. Waktu tahan (*holding time*) *tempering* yang diterapkan untuk masing-masing temperatur tersebut adalah 60 menit dan 120 menit, lalu didinginkan dengan udara.

### C. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia poros pompa *multistage* yang mengalami kegagalan (*failure*). Pengujian ini menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectroscopy*). Poros pompa *multistage* dipotong dengan diameter 25,4 mm dan ketebalan 15 mm sebagai spesimen, lalu diuji di penampang potong spesimen tersebut.

### D. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro ASSAB 705. Pengujian diawali dengan preparasi permukaan berupa *grinding* dengan ampelas *grade* 80-2000, *polishing* dengan *metal polish*, dan *etching* dengan reagen etsa nital 4%. *Etching* dilakukan dengan pencelupan selama 15 detik lalu spesimen dicuci dengan air mengalir. Kemudian dilakukan observasi struktur mikro dengan mikroskop optik. Pengujian ini mengacu pada ASTM E407 [3].

### E. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik. Pengujian dilakukan di permukaan silinder dan 6 titik di penampang potong dengan jarak tiap titik sejauh 2 mm searah radius. Pengujian diawali dengan preparasi berupa *cutting* dengan ketebalan 17 mm dari ukuran awal saat spesimen diberi perlakuan panas, *grinding* dengan ampelas *grade* 80-2000, dan *polishing* dengan pasta *metal polish*. Pengujian ini menggunakan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indentor piramid intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan indentasi selama 10 detik, sebagaimana ASTM E92 [4]. Pengujian kekerasan menggunakan alat *Universal Hardness Tester* HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS.

### F. Pengujian Keausan

Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui ketahanan aus material. Pengujian ini dilakukan dengan mesin *pin on disc*. Dimensi spesimen uji keausan sama dengan spesimen uji kekerasan. Sebelum diuji, spesimen ditimbang. Setelah itu dilakukan pengausan pada *wear track disc* dengan pemberian beban 2 kg, 1000 putaran *disc* dan jarak peletakan pin dari sumbu *disc* sebesar 3,62 cm. Setelah proses pengausan berakhir, spesimen kembali ditimbang sehingga didapatkan selisih massa yang merepresentasikan laju keausan material. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM G99 [5].

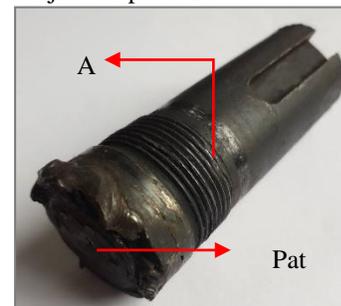
### G. Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dari spesimen untuk mengetahui fasa yang terbentuk. Spesimen dipotong dengan dimensi 1 cm x 1 cm x 0,4 cm. Kemudian dilakukan dengan *grinding* dengan ampelas *grade* 80-240. Pengujian ini dilakukan dengan Difraksi Sinar-X (XRD) menggunakan alat *Pan Analytical XRD* di Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material ITS.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### A. Analisis Kegagalan Poros Pompa Multistage

Saat onderdil pompa dipasang sebagai komponen orisinil, poros pompa *multistage* dilaporkan mengalami kerusakan setelah empat tahun operasi. Akan tetapi setelah poros tersebut dipasang oleh produsen lokal, umur pakainya turun secara signifikan. Umur pakainya hanya beberapa bulan saja dari empat tahun umur pakai yang direncanakan. Bentuk kegagalan poros baru tersebut adalah patah dan aus pada ulirnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Poros yang Patah dan Aus.

Pengujian komposisi menunjukkan bahwa komposisi kimia material poros tidak sesuai dengan standar ASSAB 705. Pengujian kekerasan terhadap poros yang gagal menunjukkan bahwa poros tersebut tidak memenuhi standar ASTM A291. Dari pengujian diketahui bahwa nilai kekerasan poros yang mengalami kegagalan adalah 176 HV, jauh di bawah standar poros (ASTM A291) yaitu berkisar 341–415 HV [1]. Ketidaksiharian inilah yang menjadi penyebab kegagalan poros pompa *multistage* tersebut.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan upaya untuk meningkatkan kekerasan material ASSAB 705 sehingga sesuai standar ASTM A291 dan dapat beroperasi dengan umur pakai yang direncanakan.

Perlakuan panas yang diberikan adalah *water quench hardening* dengan temperatur 815°C dan waktu tahan 30 menit. Kemudian dilakukan *tempering* dengan temperatur 300°C, 350°C dan 400°C dimana variasi waktu tahan (*holding time*) tiap temperatur tersebut adalah 60 menit dan 120 menit.

A. Hasil Uji Komposisi Kimia pada Poros yang Gagal

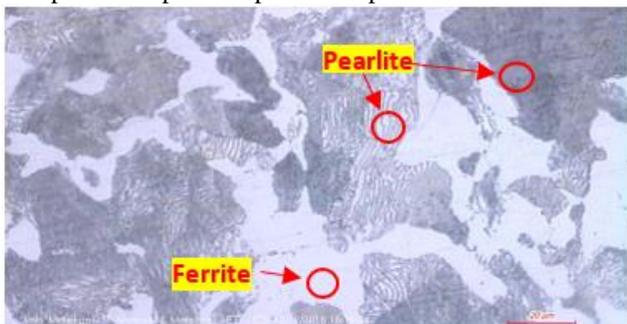
Pengujian komposisi kimia menggunakan alat OES (Optimical Emission Spectroscopy). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia pada poros pompa *multistage* yang mengalami kegagalan. Komparasi hasil pengujian komposisi kimia terhadap standar komposisi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2.  
Komparasi Hasil Uji Komposisi terhadap Standar

Unsur	Hasil Uji	Kadar (%)	
		ASSAB 705	AISI 4340
C	0.4	0.4	0.38-0.43
Mo	0.25	0.25	0.2-0.3
Cr	0.005	0.8	0.7-0.9
Ni	0.003	1.8	1.65-2.0
Mn	0.9	0.7	0.6-0.8
S	0.03	-	0.04 max
Si	0.002	-	0.15-0.35
P	0.03	-	0.035 max
Fe	Balance	Balance	Balance

B. Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada material, baik sebelum maupun setelah dilakukan perlakuan panas. Proses *etching* dilakukan dengan etsa nital 4%. Pengujian mengacu pada ASTM E407 [3]. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x. Struktur mikro ASSAB 705 sebelum diberi perlakuan panas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur mikro ASSAB 705 tanpa perlakuan (TP).

Gambar 2 menunjukkan struktur mikro dari material ASSAB 705 yang tidak diberikan perlakuan panas. Tampak bahwa baja yang tidak diberi perlakuan memiliki struktur *ferrite* (berwarna terang) dan *pearlite* (berwarna gelap dan lamellar). Ini menandakan bahwa baja tidak mengalami perlakuan panas dengan pendinginan non ekuilibrium. *Ferrite* dan *pearlite* ini terbentuk akibat pendinginan lambat yang menyebabkan *austenite* bertransformasi secara ekuilibrium. Baja ASSAB 705 tergolong baja *hypoeutectoid*. Berdasarkan diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C, pada baja *hypoeutectoid*, *austenite* terlebih dahulu bertransformasi membentuk *ferrite proeutectoid*. Kemudian saat melalui garis A<sub>1</sub>, *austenit* mengalami reaksi *eutectoid* membentuk lapisan *cementite* dan *ferrite* yang berselang-seling yang disebut sebagai *pearlite*. Sehingga pada temperatur kamar diperoleh struktur mikro berupa *ferrite* dan *pearlite*.

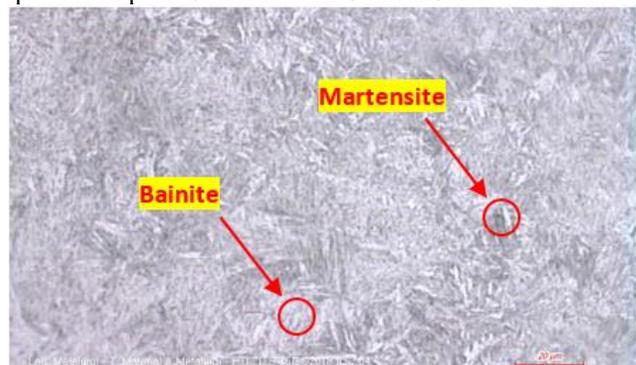
Struktur mikro ASSAB 705 setelah mengalami perlakuan *water quench hardening* dapat dilihat pada Gambar 3.



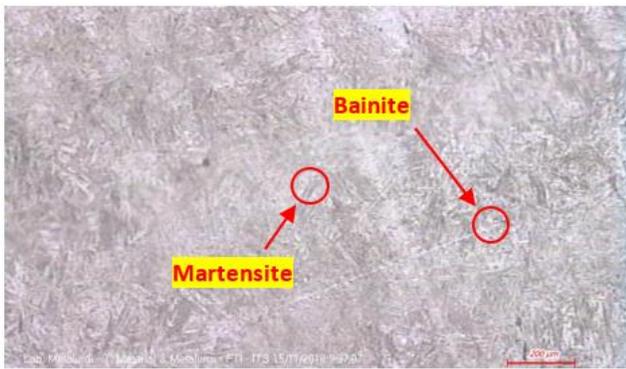
Gambar 3. Struktur mikro ASSAB 705 setelah *water quench hardening* (H).

Gambar 3 menunjukkan struktur mikro ASSAB 705 setelah *water quench hardening*. Struktur mikronya adalah martensit (jarum-jarum gelap) dan *austenite* sisa (bagian berwarna terang). Struktur martensit mulai terbentuk saat *austenite* didinginkan cepat dan mencapai temperatur M<sub>s</sub>. Karbon yang terlarut di dalam *austenite* tidak memiliki cukup waktu untuk berdifusi keluar dari kisi kristal austenit sehingga tidak terjadi transformasi FCC (*Face Centered Cubic*) menjadi BCC (*Body Centered Cubic*), melainkan terjadi transformasi geser (*shear*) pada kisi kristal menjadi struktur BCT (*Body Centered Tetragonal*). Banyaknya *austenite* yang bertransformasi menjadi *martensite* tidak tergantung pada waktu, tetapi pada temperatur dimana semakin rendah temperturnya makin banyak *martensite* yang terbentuk pada M<sub>f</sub>. Ketika proses pendinginan terganggu diantara temperatur M<sub>s</sub> dan M<sub>f</sub>, *austenite* sisa (*retained austenite*) dapat terbentuk karena transformasi belum selesai sepenuhnya [6]. Laju pembentukan *martensite* ini mula-mula lambat, lalu cepat dan menjadi sangat lambat lagi bila *austenite* hampir habis, sehingga ada *austenite* sisa yang tidak bertransformasi [7]. Baja ASSAB 705 merupakan baja paduan, dimana unsur paduan di dalamnya menurunkan temperatur M<sub>s</sub> dan M<sub>f</sub>. Ketika temperatur M<sub>f</sub> rendah maka memperbesar kemungkinan terbentuknya *austenite* sisa.

Spesimen diberi perlakuan *tempering* setelah *water quench hardening*. Struktur mikro spesimen yang di-*tempering* pada temperatur 300°C dengan waktu tahan 60 menit dan 120 menit, dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



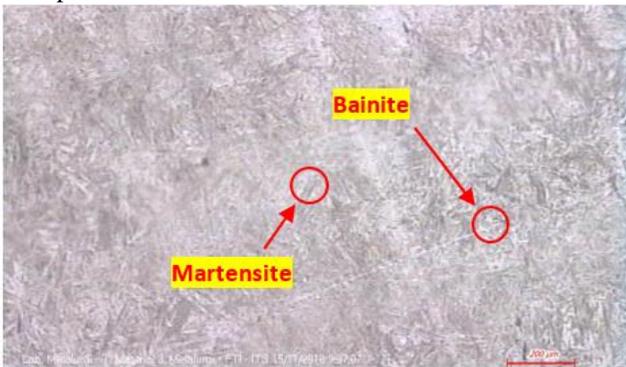
Gambar 4. Struktur mikro ASSAB 705 setelah *tempering* pada temperatur 300°C dengan waktu tahan 60 menit (ht60t300).



Gambar 5. Struktur mikro ASSAB 705 setelah *tempering* pada temperatur 300°C dengan waktu tahan 120 menit (ht120t300).

Pada temperatur 300°C, karbon yang terperangkap dalam BCT mulai keluar membentuk karbida *submicroscopic* [7]. Jarum-jarum martensit mengecil karena karbon di dalamnya berdifusi keluar. Pada temperatur ini *austenite* sisa mulai bertransformasi menjadi bainit, namun belum terlalu stabil [8]. Spesimen ht60t300 tampak memiliki struktur martensit yang berukuran lebih kecil daripada spesimen H. Struktur berbentuk jarum berukuran kecil tersebar pada struktur mikronya. Tampak pula bahwa daerah terang, yaitu *austenite* sisa, berkurang secara signifikan karena bertransformasi menjadi martensit dan bainit yang berukuran kecil. Spesimen ht120t300 memiliki struktur mikro dengan ukuran jarum-jarum martensit yang lebih kecil dan *austenite* sisa yang lebih sedikit. Ini karena waktu tahan yang digunakan pada spesimen ini lebih lama sehingga proses dekomposisi martensit dan transformasi *austenite* sisa memiliki cukup waktu untuk lebih signifikan.

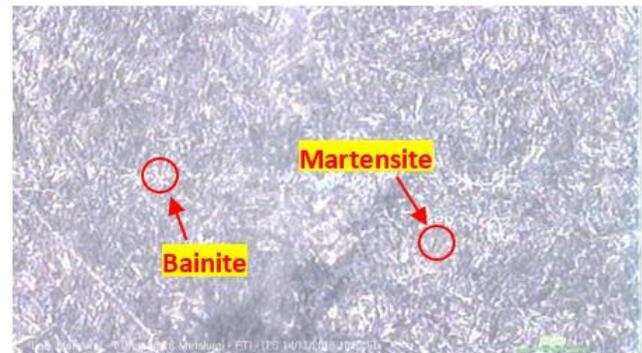
Struktur mikro spesimen yang di-*tempering* pada temperatur 350°C dengan waktu tahan 60 menit dan 120 menit, dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



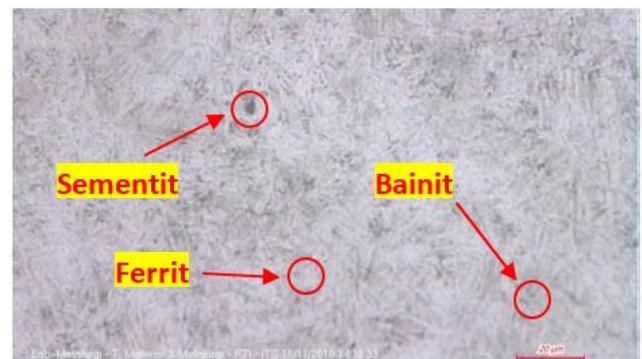
Gambar 6. Struktur mikro ASSAB 705 setelah *tempering* pada temperatur 350°C dengan waktu tahan 60 menit (ht60t350).

Ketika temperatur *tempering* yang diterapkan lebih tinggi, yaitu 350°C, hasil yang diperoleh pun berbeda karena proses pelunakan dapat mencapai tahap yang lebih lanjut. Martensit semakin mengecil dan bahkan tidak lagi tampak bentuk jarum-jarum martensit yang nyata. Lebih banyak struktur BCT (martensit) yang berubah menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu BCC (ferrit). Karbon yang berdifusi keluar dari martensit membentuk platelet-platelet sementit dalam matriks ferrit. Struktur ini disebut dengan bainit. Struktur jarum martensit sudah sangat kecil dan tidak lagi tampak signifikan. Platelet-platelet sementit yang terdispersi dalam bagian terang yaitu tampak lebih banyak. Artinya struktur bainit yang terbentuk lebih banyak.

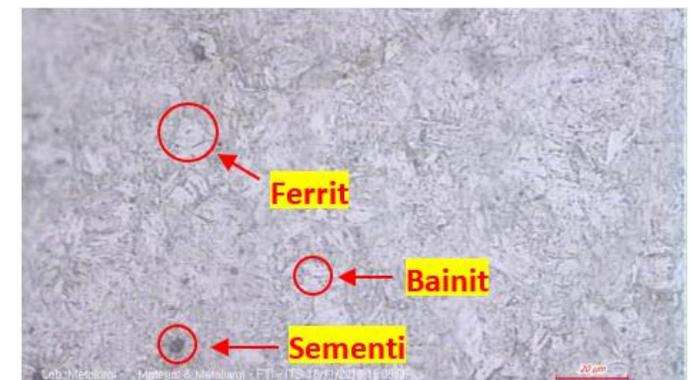
Perubahan yang terjadi pada struktur mikro baja menjadi lebih signifikan saat temperatur *tempering* yang diterapkan lebih tinggi. Struktur mikro spesimen yang di-*tempering* pada temperatur 400°C dengan waktu tahan 60 menit dan 120 menit, dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 7. Struktur mikro ASSAB 705 setelah *tempering* pada temperatur 350°C dengan waktu tahan 120 menit (ht120t350).



Gambar 8. Struktur mikro ASSAB 705 setelah *tempering* pada temperatur 400°C dengan waktu tahan 60 menit (ht60t400).



Gambar 9. Struktur mikro ASSAB 705 setelah *tempering* pada temperatur 400°C dengan waktu tahan 120 menit (ht120t400).

Pada temperatur 400°C, karbon berdifusi keluar dan membentuk sementit, berkumpul menjadi bulatan atau *spheroid* sementit sebagaimana pada Gambar 8. *Spheroid* ini muncul dan tumbuh di dalam matriks ferrit yang juga tumbuh membesar. Tidak lagi tampak jarum-jarum martensit. Struktur bainit masih tampak karena belum seluruh platelet sementit berkumpul menjadi *spheroid*, namun bainit sudah menjadi lebih halus. Pada Gambar 9, *spheroid* sementit yang terbentuk lebih banyak dan beberapa diantaranya sudah membesar. Ini karena waktu tahan yang lebih lama memberi cukup waktu bagi karbon untuk membentuk lebih banyak sementit dan tumbuh menjadi *spheroid* yang lebih besar. Perlakuan panas *tempering*

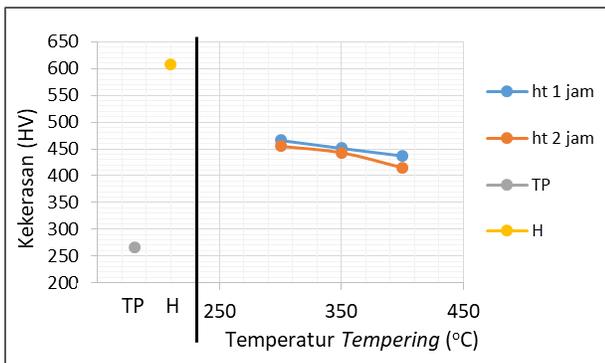
menyebabkan presipitasi sementit di antara ferrit. Semakin tinggi temperatur *tempering* maka semakin banyak presipitasi sementit [9].

C. Hasil Pengujian Kekerasan

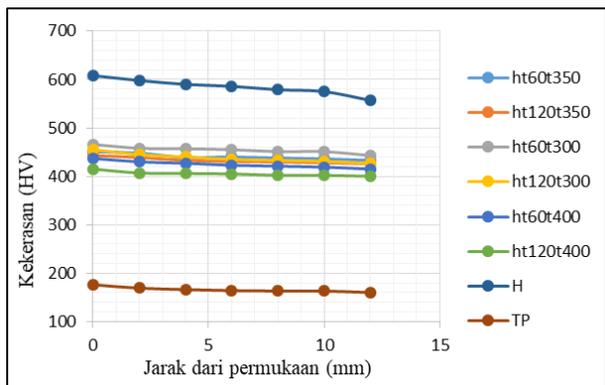
Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers, mengacu pada ASTM E92 [4]. Hasil uji kekerasan dapat dilihat pada Tabel 3, Gambar 10 dan Gambar 11.

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan

Spesimen	Permukaan	Nilai kekerasan (HV)					
		Jarak titik dari permukaan pada penampang melintang (mm)					
		2	4	6	8	10	12
TP	266	255	253	248	239	224	222
H	608	598	590	586	579	575	557
ht60t300	466	458	457	455	451	451	443
ht120t300	455	445	440	435	433	431	427
ht60t350	451	448	439	440	438	436	433
ht120t350	443	439	433	431	430	428	426
ht60t400	437	430	427	423	421	419	415
ht120t400	415	407	406	405	402	402	400



Gambar 10. Grafik hasil uji kekerasan permukaan.



Gambar 11. Grafik distribusi kekerasan.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan spesimen dari yang tertinggi adalah spesimen H, ht60t300, ht120t300, ht60t350, ht120t350, ht60t400, ht120t400 dan yang terkecil adalah TP. Spesimen H memiliki kekerasan tertinggi karena strukturnya yang didominasi martensit yang bersifat keras dan getas. Sedangkan spesimen yang di-*tempering* memiliki kekerasan yang semakin kecil seiring temperatur dan waktu tahan yang semakin besar. Hal ini karena semakin banyak martensit yang terdekomposisi menjadi struktur yang lebih stabil dan lunak pada penerapan temperatur dan waktu tahan *tempering* yang lebih tinggi. Spesimen TP memiliki kekerasan terendah karena memiliki banyak struktur

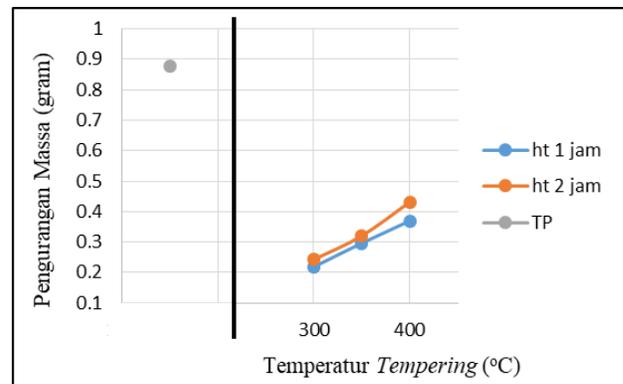
ferrit yang bersifat lunak. Tampak bahwa distribusi kekerasan pada potongan melintang tiap spesimen semakin mendekati inti atau sumbu adalah semakin mengecil dengan penurunan yang tidak signifikan. Ini karena baja ASSAB 705 memiliki *hardenability* yang bagus [2].

D. Hasil Pengujian Keausan

Pengujian ketahanan aus dilakukan untuk mengetahui ketahanan aus ASSAB 705 tanpa perlakuan dan setelah perlakuan panas. Pengujian keausan menggunakan metode *pin on disc*, mengacu pada ASTM G99 [5]. Data yang diperoleh dari pengujian keausan ini berupa selisih pengurangan massa spesimen. Data hasil pengujian ketahanan aus disajikan pada Tabel 4 dan grafik distribusi keausan ditunjukkan pada Gambar 12.

Tabel 4. Hasil pengujian keausan

Spesimen	Massa (gram)		Pengurangan massa (gram)
	Sebelum pengujian	Setelah pengujian	
TP	62.3165	61.4401	0.8764
ht60t300	71.2124	70.9938	0.2186
ht120t300	70.8012	70.5587	0.2425
ht60t350	67.8236	67.5271	0.2965
ht120t350	63.4098	63.0892	0.3206
ht60t400	70.9873	70.6177	0.3696
ht120t400	72.8576	72.4259	0.4317



Gambar 12. Grafik hasil pengujian keausan.

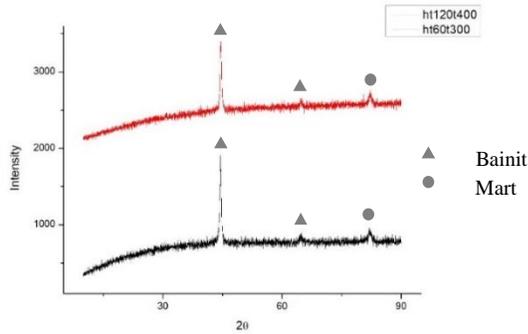
Tabel 4 menampilkan nilai pengurangan massa setelah diberikan perlakuan panas. Hasil uji keausan menunjukkan bahwa urutan spesimen dari yang paling tahan aus adalah ht60t300, ht120t300, ht60t350, ht120t350, ht60t400, ht120t400 dan TP.

Pada *abrasive wear*, kekerasan adalah sifat yang paling penting untuk meningkatkan ketahanan aus. Semakin keras material tersebut, maka semakin sulit media *abrasive* untuk melakukan penetrasi dan menggores material [10]. Spesimen yang paling tahan aus adalah ht60t300, dibuktikan dengan pengurangan massa yang paling kecil pada pengujian keausan.

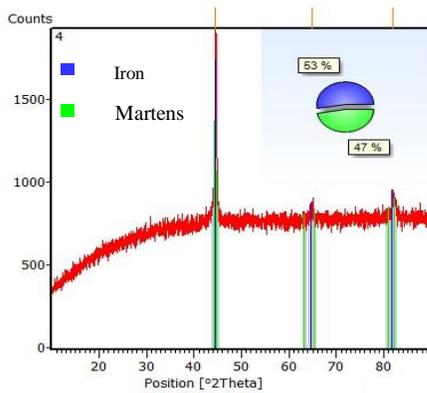
E. Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan dengan memancarkan sinar X ke spesimen. Sinar tersebut menumbuk atom-atom dalam struktur kristal tertentu. Sinar yang berpondar akibat menumbuk atom-atom dibaca oleh sensor untuk mengetahui struktur kristal. yang menyatakan fasa dari spesimen. Hasil pengujian diolah dengan perangkat lunak untuk mengetahui fasa yang terbentuk, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Hasil pengujian XRD pada spesimen hasil *tempering* yang memiliki kekerasan tertinggi

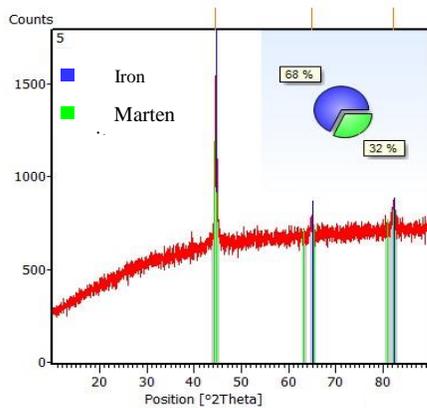
(ht60t300) dan kekerasan terendah (ht120t400) dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 13. Analisis kualitatif dari hasil uji XRD.



Gambar 14. Analisis kuantitatif fasa ASSAB 705 setelah tempering pada temperatur 300°C dengan waktu tahan 60 menit.



Gambar 15. Analisis kuantitatif fasa ASSAB 705 setelah tempering pada temperatur 400°C dengan waktu tahan 120 menit.

Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa struktur kristal yang terbentuk adalah BCT (menyatakan fasa martensit) dan BCC (menyatakan fasa ferrit atau besi- $\alpha$  dan bainit) dimana untuk temperatur yang lebih tinggi, persentase struktur BCT berkurang seiring struktur BCC yang bertambah. Inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan dan ketahanan aus pada penerapan temperatur dan waktu tahan *tempering* yang semakin tinggi.

### KESIMPULAN

1. Kegagalan pada poros pompa *multistage* disebabkan oleh komposisi dan sifat mekanik material yang tidak memenuhi standar poros (ASTM A291).
2. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu tahan *tempering* yang diterapkan, baja ASSAB 705 semakin lunak. Secara berurutan, kekerasan dan ketahanan aus material hasil *tempering* dari yang tertinggi adalah ht60t300, ht120t300, ht60t350, ht120t350, ht60t400 dan ht120t400.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pabrik Gula Gending Probolinggo yang telah memberikan dukungan dalam pengambilan data dan material sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM, *ASTM A291 standard specification for steel forgings, carbon and alloy, for pinions, gears and shafts for reduction gears*. USA: ASTM International, 2003.
- [2] ASSAB, *ASSAB 705*. Sweden: ASSAB UDDEHOLM, 2018.
- [3] ASTM, *ASTM E407 standard practice for microetching metals and alloys*. USA: ASTM International, 2011.
- [4] A. E92, *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Washington D.C.: ASTM Publishing, 2004.
- [5] ASTM, *ASTM G99 standard test method for wear testing with pin-on-disk apparatus*. USA: ASTM International, 2003.
- [6] M. D. Charre, *Microstructure of steels and cast irons*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.
- [7] T. Thelning, *Steel and its heat treatment*. Delhi: Replika Press, 2000.
- [8] G. A. Chadwick, *Metallography of phase transformation – fifth edition*. London: Butterworths, Heinemann, 1989.
- [9] M. Doloksaribu and Dkk., *Pengaruh temperatur dan waktu tahan proses perlakuan panas pemper terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan rim roda kereta api prototipe hasil pengerasan induksi*. Bandung: Metal Indonesia, 2018.
- [10] V. Ratia, "Behavior of martensitic wear resistant steels in abrasion and impact wear testing conditions," Tampere University of Technology, Tampere, 2015.