

Analisis Pengaruh Variasi *Holding Time* dan Temperatur *Tempering* Terhadap Kekerasan Baja AISI 4340 untuk Komponen Poros Pompa Sentrifugal *Multistage* Horizontal dengan Metode Kang dan Lee *Equation*

Ghazi Labib Naufal Insan, Rochman Rochiem, dan Alvian Toto Wibisono
Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: Rochman@mat-eng.its.ac.id.

Abstrak—Pompa merupakan salah satu jenis mesin konversi energi yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Pada pompa *multistage* , terdapat poros yang dipasang impeler dimana umur pakai poros pompa setrifugal *multistage* horizontal di PG. Gending seharusnya adalah 4 tahun, tetapi ditemui kegagalan pada poros pompa buatan lokal ketika baru beroperasi selama 4 bulan. Material poros pompa *multistage* yang gagal tersebut tidak memenuhi standar yang ditentukan yaitu ASSAB 705. Maka optimalisasi sifat mekanik material tersebut perlu dilakukan yaitu menggunakan perlakuan panas pada material yang memiliki komposisi setara dengan ASSAB 705 yaitu baja AISI 4340. Proses perlakuan panas yang dilakukan meliputi proses *hardening* dengan temperatur 830°C dan *holding time* 30 menit. Setelah melakukan proses *hardening* , spesimen diberi perlakuan panas *tempering* dengan variabel *holding time* dan temperatur *tempering* berdasarkan perhitungan Kang dan Lee *equation* , yaitu 60 menit dan 120 menit dengan masing-masing terdapat tiga variabel temperatur, yaitu 535°C, 575°C dan 615°C. Pengujian kekerasan dan keausan dilakukan dan didapatkan hasil spesimen dengan kekerasan dan ketahanan aus tertinggi adalah yang diberikan *tempering* dengan temperatur 535°C dengan *holding time* 60 menit. Sedangkan yang paling rendah adalah yang diberikan *tempering* dengan temperatur 615°C dengan *holding time* 120 menit. Dimana semakin lama waktu tahan dan semakin tinggi temperatur, nilai kekerasan dan nilai tahan aus material semakin menurun.

Kata Kunci—Poros Pompa Sentrifugal *Multistage* Horizontal, Baja AISI 4340, Perlakuan Panas, Kekerasan, Keausan.

I. PENDAHULUAN

PABRIK Gula (PG) Gending adalah salah satu pabrik gula yang berada di Desa Sebaung, Gending, Kabupten Probolinggo, Jawa Timur yang sejak tahun 1975 dinaungi oleh PT Perkebunan Nusantara XI. Pabrik ini memproduksi gula, yaitu kristal sakarosa yang diekstrak dari nira tebu. Untuk memperoleh nira tersebut, tebu harus digiling. Nira yang telah terperah tersebut kemudian dimurnikan dan dimasak untuk mengurangi kandungan air dalam nira sebelum menjalani proses kristalisasi. Proses pemurnian dan pemasakan tersebut dilakukan dengan memanfaatkan uap panas sisa penggerak turbin. Uap sisa pemanasan nira yang telah terkondensasi disalurkan ke *boiler* untuk dipanaskan kembali. Penyaluran tersebut menggunakan pompa listrik sentrifugal *multistage* horizontal. Pada poros sentrifugal

multistage horizontal terdapat masalah pada poros pompa tersebut, dimana pada poros utama yang terpasang beberapa *impeller* yang berfungsi untuk memompa air secara bertahap tersebut mengalami patah dan aus pada ulirnya. Poros pompa tersebut merupakan buatan pabrik lokal dan mengalami kegagalan saat poros berumur 4 bulan. Berbeda dengan saat poros pasok sebagai komponen orisinil yang mengalami kegagalan saat poros berumur 4 tahun. Material untuk komponen poros pompa *multistage* yang gagal tersebut adalah ASSAB 705. Nilai kekerasan material ini tidak memenuhi standar untuk aplikasi poros, yaitu 167 – 176 HV sedangkan menurut standar ASSAB seharusnya sebesar 309 – 372 HV (293 – 352 HB) [1]. Maka dari permasalahan tersebut, optimalisasi sifat mekanik material dari poros yang gagal tersebut perlu dilakukan, yaitu menggunakan perlakuan panas. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan Junda [2], dimana pada penelitian yang dilakukan Junda [2] didapatkan beberapa kekurangan antara lain metode perhitungan Hollomon-Jaffe yang digunakan untuk menghitung temperatur *tempering* dengan kekerasan yang diinginkan memiliki tingkat keakuratan yang rendah pada baja paduan.

Penelitian dilakukan terhadap material yang komposisinya sesuai standar yaitu AISI 4340 [3] (setara ASSAB 705) untuk diberi perlakuan panas dengan beberapa variabel dan kemudian diamati responnya dari segi struktur mikro dan sifat mekanik. Perlakuan panas yang diterapkan adalah *hardening* . Namun karena hasil dari proses *hardening* tersebut terlalu keras dan getas, maka dilakukan proses *tempering* untuk menurunkan kekerasannya menjadi sesuai dengan standar sekaligus meningkatkan ketangguhannya dengan menggunakan metode perhitungan *tempering* Kang dan Lee [4], dimana memiliki tingkat keakuratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan metode perhitungan Hollomon-Jaffe yang tidak memperhitungkan komposisi dari setiap kadar karbon dan paduannya. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari poros pompa *multistage* horizontal sehingga kegagalan dapat diminimalisir serta meminimalisir terjadinya *error* pada proses perlakuan panas khususnya *tempering* dengan metode perhitungan Kang dan Lee [4].

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan

1) Poros Pompa yang Mengalami Failure

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

2) Baja AISI 4340

Setara dengan ASSAB 705 [1], sebagai spesimen substitusi untuk perlakuan panas hardening dan tempering dengan komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 1. Baja ini dibeli dari PT. Bhinneka Bajas Surabaya.

Tabel 1.
Komposisi Kimia Baja AISI 4340

Unsur	Kadar (%)
C	0,377
Mn	0,568
Si	0,253
Cr	1,49
Ni	1,5
Mo	1,64
Fe	Bal.

3) Media Pendingin Oli SAE 10W-40

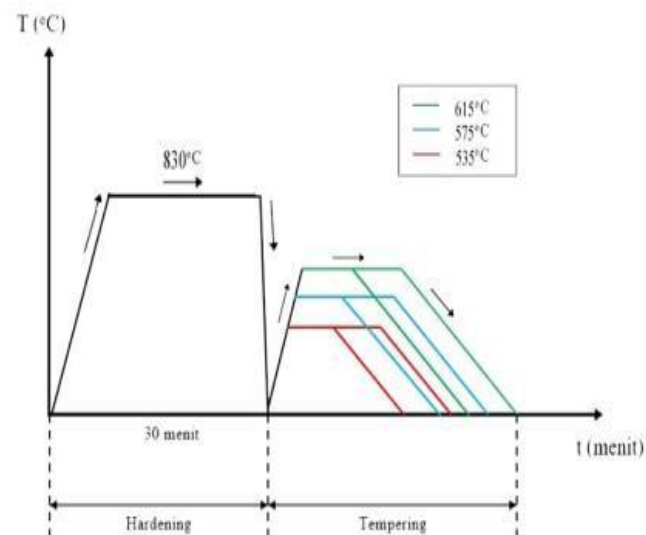
Digunakan untuk mendinginkan material pada saat proses *quenching*.

4) Autosol

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

5) HNO₃ dan Alkohol

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



Gambar 1. Kurva Perlakuan Panas

B. Preparasi Spesimen dan Perlakuan Panas

Preparasi dilakukan dengan melakukan pemotongan terhadap baja AISI 4340 *cylindrical rod* dengan diameter 25 mm yang dipotong dengan ketebalan 17 mm sebanyak 8 buah. Kemudian 7 diantaranya diberi perlakuan *hardening* dengan pemanasan pada temperatur 830°C selama 30 menit, lalu *quenching* dengan oli. Kemudian 6 diantara spesimen tersebut diberi perlakuan *tempering* dengan waktu tahan (*holding time*) *tempering* yang diterapkan adalah 60 menit dan 120 menit dengan variasi temperatur untuk setiap

waktu tahan yaitu sebesar 535°C, 575°C dan 615°C. lalu didinginkan dengan udara yang dapat dilihat pada Gambar 1.

C. Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Identifikasi komposisi kimia material menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium PT. LOGAMINDO SARIMULIA Sidoarjo untuk mengetahui komposisi yang ada pada pompa sentrifugal *multistage* horizontal

D. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material sebelum dan setelah diberi perlakuan panas. Pengujian diawali dengan preparasi permukaan spesimen yang mengacu pada ASTM E3-11 [5], lalu dilakukan pengetsaan yang mengacu pada ASTM E407 [6] dan observasi struktur mikro menggunakan mikroskop optik Olympus BX51 di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS.

E. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di tiga titik pada sampel material setelah dipreparasi maupun setelah diberi perlakuan panas untuk mengetahui tingkat kekerasan di permukaan material tersebut, lalu dipotong sebesar dua milimeter pada material tersebut untuk melakukan indentasi lagi di lima titik untuk mengetahui tingkat hardenabiliti. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter pyramid intan, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS. Pengujian ini mengacu pada ASTM E92 [7].

F. Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan mesin *pin on disc* di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS dengan memberikan beban tertentu pada spesimen. Sebelum diuji, spesimen diukur massanya. Setelah itu dilakukan uji pengausan pada *wear track disc* dengan menetapkan rpm yang dibutuhkan. Pengujian ini mengacu pada ASTM G99-03 [8].

G. Pengujian X-ray Diffraction (XRD)

Pengujian ini dilakukan dengan difraksi Sinar-X (XRD) menggunakan alat *Pan Analytical XRD* di Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material ITS. Tujuan dilakukannya pengujian adalah mengetahui struktur kristal dari unsur penyusun untuk mengetahui fasa yang terbentuk, baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

Pengujian komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia pada poros pompa yang mengalami kegagalan. Komparasi hasil

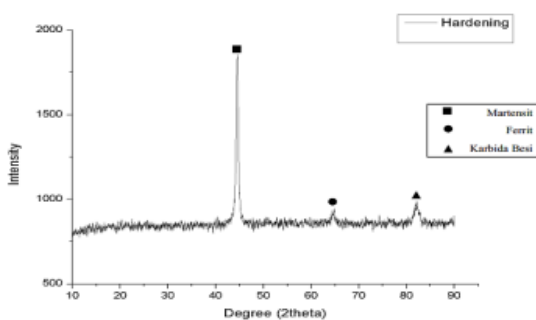
pengujian komposisi kimia terhadap standar komposisi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Komposisi

Unsur	Kadar (%)		
	Material Gagal	Standart ASSAB 705	Material Substitusi 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

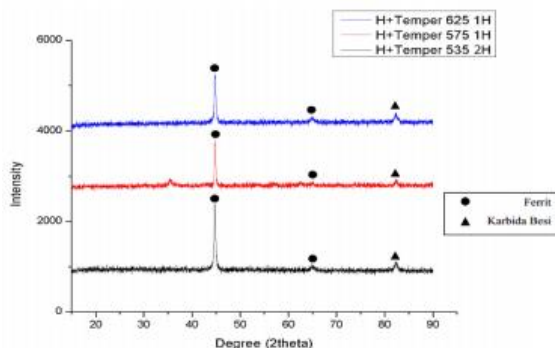
B. Hasil Pengujian X-ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terdapat dalam material setelah melalui proses perlakuan panas (analisa kualitatif) dan mengetahui regangan-tegangan sisa pada setiap material (analisa kuantitatif). Material hasil perlakuan panas yang diuji XRD adalah material *hardening*, material *tempering* ht60t535 (memiliki kekerasan tertinggi), ht60t575, dan ht120t615 (memiliki kekerasan terendah).



Gambar 2. Grafik XRD Material Poros Pompa Setelah diberi Perlakuan Panas *Hardening*

Gambar 2 menampilkan hasil analisa kualitatif XRD baja AISI 4340 yang telah diberi perlakuan panas *hardening* dimana setiap *peak* mewakili senyawa yang terkandung, antara lain merupakan senyawa martensit, ferrit, dan besi karbida.



Gambar 3. Grafik XRD Material Poros Pompa Setelah diberi Perlakuan Panas *Tempering*

Gambar 3 menampilkan hasil analisa kualitatif XRD baja AISI 4340 yang telah diberi perlakuan panas *tempering* dimana setiap *peak* mewakili senyawa yang terkandung, antara lain merupakan senyawa ferrit dan besi karbida.

Tabel 3.

Perhitungan Nilai Regangan dan Tegangan Sisa				
Spesimen	Pos. [20]	FWHM	Regangan	Tegangan
H	44,5569	0,2676	0,0028	569,7800
Ht60t535	44,6887	0,1836	0,0019	389,6000
Ht60t575	44,7476	0,1171	0,0012	248,1300
Ht120t615	44,8121	0,1004	0,0011	212,4000

Tabel 3 menampilkan hasil analisa kuantitatif XRD baja 4340 yaitu regangan dan tegangan sisa hasil perlakuan panas dimana menunjukkan bahwa urutan regangan dan tegangan sisa dari yang tertinggi adalah H, Ht60t535, Ht60t575, dan yang terakhir Ht120t615. Pada proses pendinginan cepat, permukaan akan mengalami pendinginan yang lebih cepat daripada didalam sehingga terdapat perbedaan temperatur didalam dan diluar yang besar, hal ini mengakibatkan distribusi regangan-tegangan menjadi tidak sama karena bagian luar akan mengalami penyusutan lebih banyak daripada bagian dalam. Bagian dalam akan mengalami tegangan tarik sedangkan bagian dalam akan mengalami tegangan tekan (karena penyusutan yang terjadi di permukaan ditahan oleh bagian dalam).

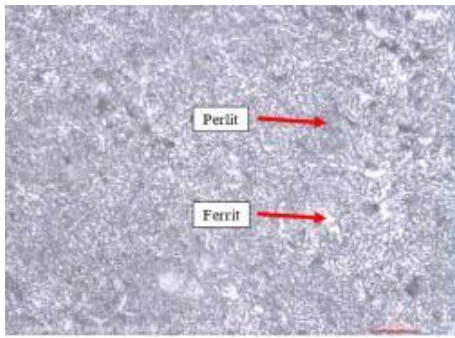
C. Hasil Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi telah dilakukan dengan preparasi permukaan spesimen (*grinding* dan *polishing*) yang sesuai dengan standar ASTM E3-11 [5] lalu pengetsaan (*etching*) dengan pencelupan pada larutan etsa Nital 4% selama 10 detik yang sesuai dengan standar ASTM E407 [6]. Spesimen kemudian diobservasi menggunakan mikroskop optik.



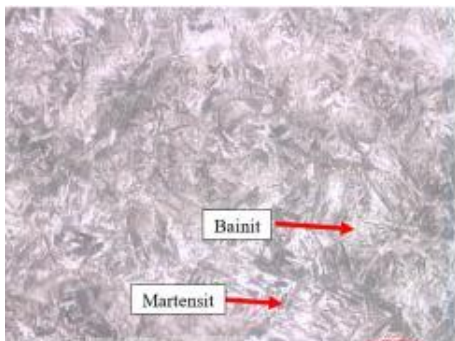
Gambar 4. Struktur Mikro Material Gagal

Gambar 4 merupakan hasil metalografi material yang mengalami kegagalan dimana memiliki struktur mikro ferrit (bewarna terang) dan perlit (bewarna gelap lamellar). Spesimen dari material poros pompa tergolong jenis baja *hypoeutectoid* dengan kadar karbon sebesar 0,4%. Ferrit dan perlit terbentuk akibat pendinginan lambat dimana austenit bertransformasi secara *equilibrium*. Pembekuan dimulai pada garis A₃ dimana mulai terjadi transformasi *allotropi* dari austenit menjadi ferrit. Transformasi dimulai dengan terbentuknya inti-inti ferrit pada batas butir austenit. Karena austenit mengandung 0.4%C sedangkan ferrit tidak mampu melarutkan karbon sebanyak itu, maka austenit yang akan berubah menjadi ferrit harus mengeluarkan karbonnya. Makin rendah temperatur, makin banyak ferrit. Pada saat mencapai garis A₁, transformasi menjadi ferrit telah selesai. Selanjutnya sisa austenit yang belum bertransformasi akan mengalami reaksi eutektoid menjadi perlit. Pada temperatur di bawah A₁, paduan akan terdiri dari ferrit dan perlit [9].



Gambar 5. Struktur Mikro Spesimen Tanpa Perlakuan

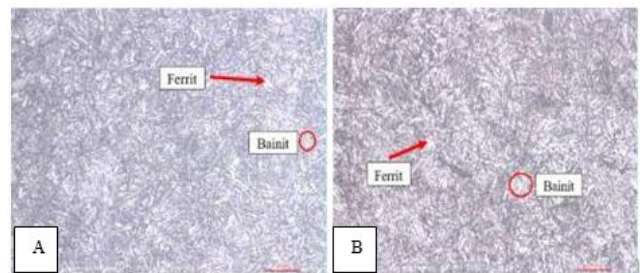
Gambar 5 merupakan hasil metalografi material tanpa perlakuan (TP) dimana memiliki struktur mikro ferrit (bewarna terang) dan perlit (bewarna gelap lamellar). Spesimen dari material poros pompa tergolong jenis baja *hypoeutectoid*. Ferrit dan perlit terbentuk akibat pendinginan lambat dimana austenit bertransformasi secara *equilibrium*. Pada mikrostruktur material tanpa perlakuan ini memiliki butir – butir yang halus dimana diterjadi akibat proses pengerjaan panas (*Hot Working*). Pengerjaan panas merupakan proses deformasi pada logam yang dilakukan pada temperatur rekristalisasi (500°C -700°C) dan laju regangan tertentu untuk mendapatkan bentuk deformasi dan *recovery* secara bersamaan. Proses deformasi membentuk struktur yang memanjang dan kasar, karena adanya temperatur tinggi, rekristalisasi terjadi dan butir halus terbentuk.



Gambar 6. Hasil Perlakuan Panas *Hardening* pada Perbesaran 500x

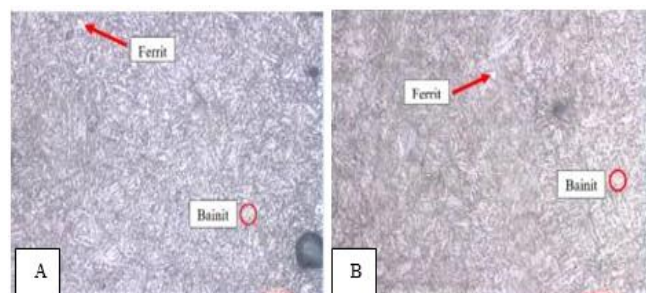
Gambar 6 merupakan hasil metalografi material *hardening* (*as-quench*) pada temperatur 830°C dengan *holding time* 30 menit, dimana memiliki struktur mikro martensit (berbentuk seperti jarum – jarum bewarna hitam) dan bainit (bewarna terang dengan platelet sementit). Jenis martensit terbagi menjadi dua yaitu *lath* martensit dan *plate* martensit. *Plate* martensit mengandung lebih banyak karbon dalam strukturnya sehingga bersifat lebih keras dan getas daripada *lath* martensit [10]. Struktur martensit mulai terbentuk saat austenit didinginkan cepat dan mencapai temperatur *Ms*. Karena pendinginan cepat, karbon bebas yang terlarut di dalam austenit tidak memiliki cukup waktu untuk berdifusi keluar dari kisi kristal austenit sehingga tidak terjadi transformasi *Face Centered Cubic* (FCC) menjadi *Body Centered Cubic* (BCC), melainkan terjadi transformasi geser pada kisi kristal menjadi bentuk struktur *Body Centered Tetragonal* (BCT). Kekerasan martensit juga bergantung pada kadar karbon yang terkandung pada material. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka semakin tinggi pula kekerasan martensitnya. Banyaknya austenit yang bertransformasi menjadi martensit tidak tergantung pada waktu, tetapi pada

temperatur dimana semakin rendah temperaturnya makin banyak martensit yang terbentuk pada *Mf* [10]. Pada material poros pompa terdapat unsur paduan pembentuk karbida dimana mengakibatkan menggeser kurva transformasi perlit ke kanan atas dan berpisah dengan kurva transformasi bainit sehingga diagram transformasi akan mempunyai dua waktu minimum, yaitu kurva transformasi perlit (hidung) dan kurva transformasi bainit (lutut). Dalam hal ini, laju pendinginan kritis akan mudah untuk menyentuh kurva transformasi bainit, sehingga mudah terbentuk struktur mikro bainit. Media pendingin oli juga memudahkan untuk membentuk struktur bainit dikarenakan mengakibatkan memiliki laju pendinginan yang lebih lambat daripada air sesuai dengan diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT). Struktur bainit terbentuk pada saat austenit pada temperatur dibawah temperatur stabilnya mengalami *driving force* (gaya dorong) yang sangat besar mengakibatkan transformasi struktur kristal austenit yaitu *Face Centered Cubic* (FCC) menjadi menjadi ferrit yaitu *Body Centered Cubic* (BCC), karena ferrit memiliki kemampuan untuk melarutkan karbon yang terbatas sedangkan masih banyak karbon, akhirnya karbon berdifusi keluar sehingga membentuk struktur mikro ferrit yang didalamnya terdapat platelet karbida.



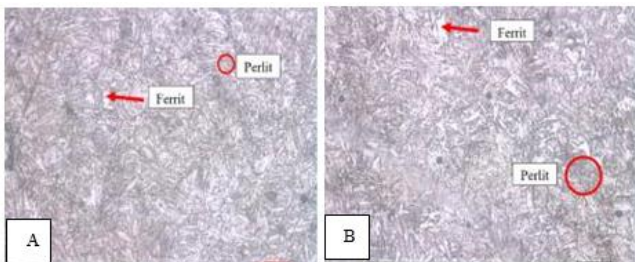
Gambar 7. Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas *Tempering*: Ht60t535 (A) dan Ht120t535 (B)

Gambar 7 A dan B menampilkan struktur mikro hasil perlakuan panas *tempering* pada temperatur 535°C dengan *holding time* 60 menit Gambar 7(A) dan 120 menit Gambar 7(B). Struktur mikro yang dihasilkan adalah ferrit dan bainit. Struktur ini terbentuk hasil dari dekomposisi martensit akibat pemanasan kembali dimana atom karbon struktur mikro martensit yaitu *Body Centered Tetragonal* (BCT) mulai berdifusi keluar membentuk karbida epsilon pada temperatur rendah dan seiring bertambahnya temperatur maka semakin banyaknya karbon yang berdifusi sehingga mengakibatkan karbida epsilon mulai berubah dan tumbuh menjadi sementit dan akhirnya membentuk struktur mikro bainit. Semakin lama *holding time* mengakibatkan struktur mikro ferrit dan bainit semakin banyak terbentuk karena memberikan banyak waktu untuk atom karbon berdifusi keluar [10].



Gambar 8. Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas *Tempering*: Ht60t575 (A) dan Ht120t575 (B)

Gambar 8 A dan B menampilkan struktur mikro hasil perlakuan panas *tempering* pada temperatur 575°C dengan *holding time* 60 menit Gambar 8(A) dan 120 menit Gambar 8(B). Struktur mikro yang dihasilkan adalah ferrit dan bainit. Pada temperatur diatas ±550°C (temperatur hidung kurva transformasi bainit) menurut kurva *Isothermal Transformation* (ITT) seharusnya struktur perlit terbentuk, tetapi karena pada material poros pompa tersebut mengandung unsur paduan pembentuk karbida yang mengakibatkan kurva transformasi perlit bergeser ke kanan atas dan berpisah dengan kurva transformasi bainit, maka pada temperatur tersebut belum terjadi pembentukan stuktur mikro perlit.



Gambar 9. Struktur Mikro Perbesaran 500x Spesimen Hasil Perlakuan Panas *Tempering*: Ht60t615 (A) dan Ht120t615 (B)

Gambar 9 A dan B menampilkan struktur mikro hasil perlakuan panas *tempering* pada temperatur 615°C dengan *holding time* 60 menit Gambar 9(A) dan 120 menit Gambar 9(B). Struktur mikro yang dihasilkan adalah ferrit dan perlit. Pada temperatur *tempering* tersebut struktur bainit sudah tidak terbentuk berganti dengan struktur perlit. Struktur mikro ferrit semakin banyak terbentuk seiring bertambahnya temperatur. Jumlah ferrit yang semakin banyak berakibat menurunnya kekerasan [11]. Ukuran butir membesar dimana ukuran butir akan semakin membesar seiring bertambahnya temperatur [12]. dan fasa struktur mikro menjadi fasa ferrit dan perlit halus.

D. Hasil Pengujian Kekerasan

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan Tiap Spesimen

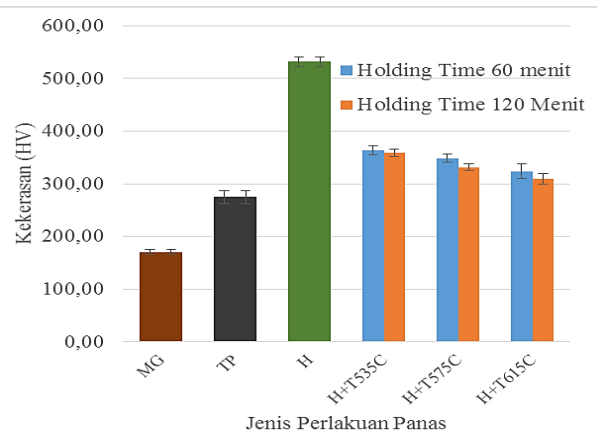
Spesimen	Nilai Kekerasan (HV)	
	Hasil Perhitungan Berdasarkan Kang dan Lee Equation	Hasil Eksperimen
Material Gagal (MG)	-	170,67 ± 5
TP	-	275,00 ± 12
H	-	532,00 ± 9
ht60t535	369,78	363,67 ± 9
ht120t535	358,89	358,67 ± 7
ht60t575	345,30	348,33 ± 8
ht120t575	334,63	331,67 ± 7
ht60t615	322,44	323,67 ± 14
ht120t615	312,00	309,00 ± 10

Tabel 3 menampilkan hasil pengujian kekerasan material poros pompa yaitu baja 4340. Pada material poros pompa yang mengalami kegagalan memiliki kekerasan yang tidak sesuai dengan standar ASSAB 705 [1] yaitu sebesar 170,67HV dimana menurut standar ASSAB 705 [1], material poros pompa harus memiliki kekerasan sebesar 309 – 372 HV (293 – 352 HB) [1]. Pada material poros pompa Tanpa Perlakuan memiliki kekerasan sebesar 275HV.

Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *hardening*, memiliki kekerasan sebesar 532HV. Pada

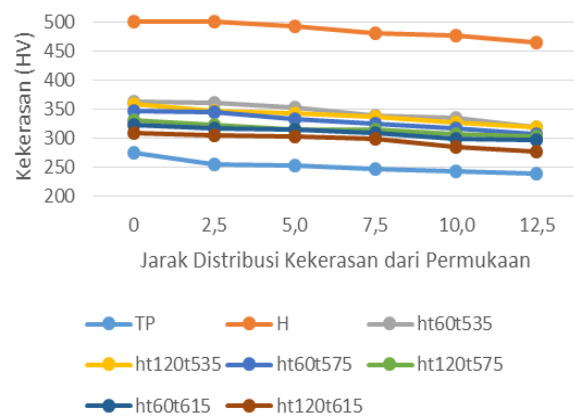
material poros pompa hasil perlakuan panas *tempering* dengan *holding time* 60 menit. Pada temperatur 535°C memiliki kekerasan sebesar 363,67HV. Pada temperatur 575°C, kekerasan menurun menjadi sebesar 348,33HV. Pada temperatur 615°C, kekerasan menurun menjadi sebesar 323,67HV. Semakin tinggi temperatur *tempering*, maka semakin rendah juga nilai kekerasan dari suatu material.

Pada material poros pompa hasil perlakuan panas *tempering* dengan *holding time* 120 menit. Pada temperatur 535°C memiliki kekerasan sebesar 358HV. Pada temperatur 575°C, kekerasan menurun menjadi sebesar 331,67HV. Pada temperatur 615°C, kekerasan menurun menjadi sebesar 309HV Nilai kekerasan pada *holding time* 120 menit lebih rendah daripada hasil perlakuan panas *tempering* *holding time* 60 menit pada temperatur yang sama sehingga semakin lama *holding time* *tempering*, maka semakin rendah juga nilai kekerasan dari suatu material.



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Gambar 10 menampilkan grafik hasil pengujian kekerasan berdasarkan hasil perlakuan panas pada poros pompa tersebut nilai kekerasan material poros pompa dari yang tertinggi adalah spesimen H, ht60t535, ht120t535, ht60t575, ht120t575, ht60t615, ht120t615, TP, dan yang terkecil adalah MG. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama *holding time* pada proses *tempering* mengakibatkan nilai kekerasan material semakin menurun karena semakin banyak ferrit yang terbentuk [12].



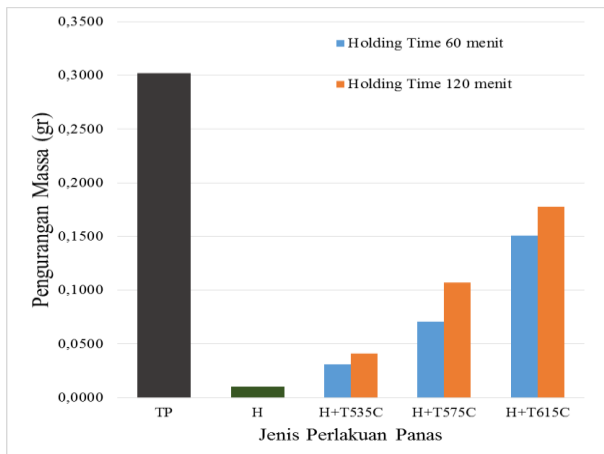
Gambar 11. Grafik Distribusi Kekerasan pada Tiap Spesimen

Gambar 11 menunjukan grafik distribusi kekerasan pada setiap spesimen dimana mengalami penurunan kekerasan yang tidak signifikan dari permukaan hingga ke inti pada setiap spesimen sehingga material poros pompa memiliki

sifat hardenabiliti yang baik. Sifat hardenabiliti material poros pompa dipengaruhi karena adanya unsur paduan yang terkandung pada material sehingga meningkatkan sifat hardenabilitinya.

E. Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan *pin on disc* dilakukan berdasarkan standar ASTM G99 [8] dengan spesimen sebagai pin, pembebanan 2 kg, 1000 putaran, jarak peletakan pin dari sumbu *disc* sebesar 3,5 cm dan tapak *disc* berupa kertas *abrasive* dengan grade 80.



Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Keausan

Gambar 12 menampilkan grafik hasil pengujian keausan dimana menunjukkan bahwa urutan spesimen dari yang paling tahan aus adalah H, ht60t535, ht120t535, ht60t575, ht120t575, ht60t615, ht120t615 dan yang terakhir adalah TP. Semakin tinggi temperatur dan semakin lama *holding time* pada proses *tempering* mengakibatkan sifat tahan aus material semakin menurun. Terdapat hubungan antara tingkat kekerasan dengan keausan, dimana kekerasan merupakan sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampuan material terhadap ketahanan aus dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media abrasif untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut (semakin tahan aus) [13].

IV. KESIMPULAN

Semakin lama *holding time tempering* yang diterapkan pada proses perlakuan panas *tempering*, baja ASSAB 705 mengalami penurunan kekerasan dan ketahanan aus. Secara berurutan, kekerasan dan ketahanan aus spesimen hasil *tempering* dari yang tertinggi adalah ht60t535, ht120t535, ht60t575, ht120t575, ht60t615 dan ht120t615.

Semakin tinggi temperatur *tempering* yang diterapkan pada proses perlakuan panas *tempering*, baja ASSAB 705 mengalami penurunan kekerasan dan ketahanan aus. Secara berurutan, kekerasan dan ketahanan aus spesimen hasil *tempering* dari yang tertinggi adalah ht60t535, ht120t535, ht60t575, ht120t575, ht60t615 dan ht120t615.

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] ASSAB, *ASSAB 705 Handbook*. Sweden: ASSAB UDDEHOLM, 2018.
- [2] M. J. Azizi, W. Jatimurti, and R. Rochiem, "Analisis pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan Tempering terhadap kekerasan baja ASSAB 705 yang di-hardening untuk aplikasi poros pompa multistage," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 1, pp. F1–F6, Jun. 2019.
- [3] ASTM International, *ASTM A29, Standard Specification for General Requirements for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought*. USA: USA: ASTM International, 2015.
- [4] S. Kang and S.-J. Lee, "Prediction of tempered martensite hardness incorporating the composition-dependent tempering parameter in low alloy steels," *Mater. Trans.*, vol. 55, no. 7, pp. 1069–1072, 2014.
- [5] ASTM International, *ASTM E3 - 11, Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. USA: ASTM International, 2017.
- [6] ASTM International, *ASTM E407, Standard Test Method for Microetching Metals and Alloys*. ASTM International, 2011.
- [7] ASTM International, *ASTM E92, Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Washington D.C.: ASTM International, 2004.
- [8] ASTM International, *ASTM G99 - 03, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*. USA: ASTM International, 2003.
- [9] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Material Science and Engineering an Introduction*, 8th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- [10] Karl-Erik Thelning, *Steel and Its Heat Treatment*, 2nd ed. London, United Kingdom: Butterworths, 1984.
- [11] M. Doloksaribu, S. B. Pratomo, R. Hanifi, and M. Y. M. Arifin, "Pengaruh temperatur dan waktu tahan proses perlakuan panas temper terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan rim roda kereta api prototipe hasil pengerasan induksi," *Met. Indones.*, vol. 40, no. 1, p. 33, 2018.
- [12] H. H. Huang, H. P. Chang, Y. T. Chien, M. C. Huang, and J. S. Wang, "Influence of annealing temperature on the grain growth of samarium-doped ceria," in *Journal of Crystal Growth*, 2006, vol. 287, no. 2, pp. 458–462.
- [13] S. Surahman, B. Harjanto, and S. Suharno, "Pengaruh Suhu Temper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketahanan Aus Baja Karbon Hq 709," *J. Ilm. Tek. Mesin UNS*, vol. 3, no. 1, 2014.