



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 184834

ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN HOLDING TIME TEMPERING TERHADAP KEKERASAN BAJA AISI 1045 YANG DI- HARDENING UNTUK APLIKASI POROS MESIN UAP

NABIL MUSYAFFA'
02511540000108

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, ST.MT

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL 184834

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN
HOLDING TIME TEMPERING TERHADAP KEKERASAN
BAJA AISI 1045 YANG DI-HARDENING UNTUK
APLIKASI POROS MESIN UAP**

NABIL MUSYAFFA'
02511540000108

Dosen Pembimbing
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono ST.MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERING
TEMPERATURE AND HOLDING TIME TO HARDENED
1045 STEELHARDNESS FOR THE STEAM ENGINE
SHAFT COMPONENTS**

NABIL MUSYAFFA'
0251154000045

Advisor
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

(This page is intentionally left blank)

**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR
DAN *HOLDING TIME TEMPERING* TERHADAP
KEKERASAN BAJA AISI 1045 YANG DI-
HARDENING UNTUK APLIKASI POROS MESIN
UAP**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NABIL MUSYAFFA
NRP 02511540000108

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Ir. Rochman Rochiem., M.Sc (Pembimbing I)
2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T (Pembimbing II)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
LABORATORIUM TEKNIK STRUKTUR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN
HOLDING TIME TEMPERING TERHADAP
KEKERASAN BAJA AISI 1045 YANG DI-HARDENING
UNTUK APLIKASI POROS MESIN UAP**

Nama : Nabil Musyaffa'
NRP : 02511540000108
Jurusan : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono ST.MT

Abstrak

Poros atau Shaft adalah salah satu bagian terpenting pada instalasi gilingan II Pabrik Gula Gending, dimana shaft berfungsi sebagai penyalur gaya mesin uap dengan mesin penggilingan bertahap tersebut. Normalnya, rata-rata umur pakai poros mesin uap adalah lima tahun. Akan tetapi ditemui kegagalan pada poros mesin ketika baru beroperasi 1 tahun . Kegagalan pada poros tersebut adalah berupa patah disebabkan karena adanya beban yang berulang berupa rotating bending . Material standar Poros Mesin Uap yang gagal tersebut adalah ASSAB 705. Namun, hasil dari pengujian komposisi kimia didapatkan material berupa AISI 1045. Nilai kekerasan material ini tidak memenuhi standar untuk aplikasi poros mesin uap, yaitu 202 VHN (terlalu rendah untuk dikonversi ke satuan HRC) sedangkan menurut standar ASSAB seharusnya sebesar 310 – 372 VHN (31 – 38 HRC). Maka optimalisasi sifat mekanik material tersebut perlu dilakukan, yaitu menggunakan perlakuan panas. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari baja AISI 1045 sebagai aplikasi poros mesin uap sehingga kegagalan dapat diminimalisir. Proses perlakuan panas yang

dilakukan adalah proses hardening dengan temperatur 845°C dan holding time 30 menit. Setelah melakukan proses hardening, spesimen diberi perlakuan tempering dengan tiga variabel holding time, yaitu 60, 120 dan 240 menit dengan masing-masing terdapat dua variabel temperatur, yaitu 427°C dan 482°C. Untuk membandingkan hasilnya dilakukan pengujian metalografi guna mengetahui struktur mikro yang terbentuk, pengujian kekerasan untuk mengetahui sifat mekanik kekerasan dan pengujian keausan untuk mengetahui ketahanan ausnya. Semakin tinggi temperatur tempering, maka semakin rendah sifat kekerasan. Temperatur tempering yang paling optimal terdapat pada temperature 427°C dengan nilai kekerasan dan masing-masing pada waktu tahan 1 jam ,2 jam dan 4 jam. Struktur mikro yang dihasilkan adalah berupa lower bainite , austenit, dan juga martensit. Pada temperatur 482°C terbentuk struktur spheroid dengan bainit yang terbentuk berupa upper bainite. Semakin lama waktu tahan pada proses tempering, maka semakin rendah kekerasanyang didapatkan.. Waktu tahan tempering yang paling optimal adalah selama 1 jam dengan nilai 369 HV dan 324 HV masing-masing pada temperatur 427°C dan 482°C.

Kata Kunci: AISI 1045, Perlakuan Panas, Kekerasan, Keausan

ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERING TEMPERATURE AND HOLDING TIME TO HARDENED AISI 1045 STEEL HARDNESS FOR THE STEAM ENGINE SHAFT COMPONENTS

Name : Nabil Musyaffa'
SRN : 025 1 15 40000 108
Major : Materials Engineering
Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.
Alvian Toto Wibisono ST.MT

Abstract

Shaft is one of the most important parts of the Gending Sugar Mill II installation plant, where the shaft functions as a distributor of steam engine power to gradual milling machines. Usually, the average life span of a steam engine shaft is five years. However, failure was found on the engine shaft when it only operated for 1 year. Failure in the shaft is in the form of fracture due to repeated loads in the form of rotating bending. The material of this shaft should be ASSAB 705. But, spectroscopy test shows that this shaft chemical composition is more suitable with AISI 1045 rather with the ASSAB 705 standard. This experiment is about heat treating AISI 1045 steel to make it suitable as steam engine shaft requirement standard. The heat treatment is water-quench hardening with temperature 845°C in 30 minutes. Then the steel tempered with temperature 427°C and 482°C in 60 minutes, 120 minutes and 240 minutes for each temperature. Metallography test shows that higher the tempering temperature and holding time, the martensite look fewer because it decomposed to be ferrite and bainite with some appearance of spheroid structure. . The higher tempering temperature, the lower the hardness property. The most optimum tempering temperature

is at a temperature of 427°C with a value of hardness and each at 1 hour, 2 hours and 4 hours. The microstructure produced is in the form of lower bainite, austenite, and also martensite. At a temperature of 482°C a spheroid structure with bainite is formed which forms in the form of upper bainite. The longer the hold time in the tempering process, the lower the hardness obtained .. The most optimal tempering holding time is for 1 hour with values of 369 HV and 324 HV at temperatures of 427°C and 482°C, respectively.

Keywords: Shaft, AISI 1045, heat treatment, hardness, wear resistant

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN HOLDING TIME TEMPERING TERHADAP KEKERASAN BAJA AISI 1045 YANG DI-HARDENING UNTUK APLIKASI POROS MESIN UAP”**., Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT berkat lindungan dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Alvian Toto Wibisono S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.

Dalam laporan ini, masih terdapat banyak kekurangan yang tidak penulis sadari. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar karya berikutnya bisa lebih baik. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 20 Juni 2019
Penulis,

Nabil Musyaffa'

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Poros atau <i>Shaft</i>	4
2.2 Baja ASSAB 705	5
2.3 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C	5
2.4 Pengujian Komposisi	8
2.5 Perlakuan Panas	8
2.6 Pengujian Kekerasan	13
2.7 Pengamatan Struktur Mikro	16
2.8 Pengertian Keausan	16
2.9 Penelitian Sebelumnya	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	21
3.2 Material yang Digunakan	22
3.3 Peralatan	23
3.4 Tahapan Penelitian	22
3.5 Rancangan Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Uji Komposisi	29

4.2 Hasil Uji Metalografi.....	30
4.3 Hasil Uji Kekerasan.....	36
4.4 Hasil Uji Keausan.....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	49
UCAPAN TERIMA KASIH	57
BIODATA PENULIS	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fasa Fe Fe ₃ C.....	4
Gambar 2.2	Temperatur austenisasi.....	6
Gambar 2.3	Tiga tahapan pada quenching.....	12
Gambar 2.4	Perlakuan panas <i>hardening-tempering</i> pada baja.....	12
Gambar 2.5	Struktur Mikro Bainit.....	17
Gambar 2.6	Struktur Mikro Martensit.....	18
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2	Poros mesin uap yang patah.....	21
Gambar 3.3	Kurva perlakuan panas.....	23
Gambar 3.4	Mesin Uji OES (<i>Optical Emission Spectrography</i>)	23
Gambar 3.5	Mikroskop Optik	24
Gambar 3.6	Alat Uji kekerasan <i>Universal Hardness Tester</i> HBRV 187.5A.....	25
Gambar 4.1	Hasil uji metalografi spesimen dengan perbesaran 500x dalam kondisi (1) Tanpa Perlakuan(2) Hardening.....	31
Gambar 4.2	Hasil uji metalografi spesimen tempering dengan Temperatur 427 ⁰ C perbesaran 500x menggunakan waktu tahan: (1) 1 jam, (2) 2 jam, (3) 4 jam	32
Gambar 4.3	Hasil uji metalografi spesimen tempering dengan Temperatur 482 ⁰ C perbesaran 500x menggunakan waktu tahan: (1) 1 jam, (2) 2 jam, (3) 4 jam	33
Gambar 4.4	Titik uji kekerasan spesimen jarak tiap titik pada penampang = 2.5 mm	37
Gambar 4.5	Grafik kekerasan pada tiap specimen.....	37
Gambar 4.6	Grafik hasil uji keausan.....	40

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Komposisi Kimia AISI 4340	7
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	37
Tabel 4.1 Hasil uji komposisi	29
Tabel 4.2 Hasil uji kekerasan tiap specimen	36
Tabel 4.3 Hasil uji keausan	39

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses produksi gula di Pabrik Gula Gending Probolinggo berlangsung 24 jam nonstop dan harus menggiling sekitar 60 ton tebu tiap jam untuk mendapatkan Nira sebagai bahan mentah gula kristal. Nira yang telah terperah tersebut kemudian dimurnikan dan dimasak sebelum menjalani proses kristalisasi. Proses penggilingan tersebut dilakukan dengan menggunakan mesin penggiling dengan konfigurasi *four mill system* yang digerakkan oleh mesin uap dari uap sisa penggerak turbin untuk memanaskan nira dengan tujuan menekan kandungan air dalam nira. Penyaluran tersebut menggunakan poros yang terhubung dengan sistem transmisi yang menurunkan kecepatan rotasi dari 52 rpm menjadi 2.5 rpm pada bagian penggiling untuk meningkatkan torsi.. Pada penelitian ini, terdapat masalah pada poros tersebut. Pada kondisi normal, poros mesin uap dapat digunakan hingga lima tahun operasi. Akan tetapi umur pakainya kurang dari satu tahun . Kegagalan pada poros baru tersebut adalah berupa patah disebabkan karena adanya beban yang berulang berupa *rotating bending* (Ihsan,2018)

Material standar untuk komponen poros mesin uap yang gagal tersebut adalah ASSAB 705. Nilai kekerasan material ini tidak memenuhi standar untuk aplikasi poros, yaitu 185-221 VHN (terlalu rendah untuk dikonversi ke satuan HRC) sedangkan menurut standar ASSAB seharusnya sebesar 310 – 372 VHN (31 – 38 HRC).Maka dari permasalahan tersebut, perlu dilakukan optimalisasi sifat mekanik material dari poros yang gagal tersebut perlu dilakukan, yaitu menggunakan perlakuan panas. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari poros mesin uap sehingga kegagalan dapat diminimalisir. Dimana perlakuan yang

diterapkan adalah *hardening*. Namun hasil dari proses *hardening* tersebut terlalu keras dan getas, sehingga dilakukan proses *tempering* untuk menurunkan kekerasannya menjadi sesuai dengan standar sekaligus meningkatkan ketangguhannya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh temperatur tempering pada proses pengerasan baja AISI 1045 terhadap kekerasan dan struktur mikro?
2. Bagaimana pengaruh waktu tahan tempering pada proses pengerasan baja AISI 1045 terhadap kekerasan dan struktur mikro?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Desain poros memenuhi standar
2. Material dianggap homogen
3. Pengaruh lingkungan diabaikan
4. Lama waktu pemindahan spesimen uji dari dapur ke media pendingin diasumsikan konstan pada semua spesimen uji.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh temperatur tempering pada proses pengerasan baja AISI 1045 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen poros mesin uap
2. Menganalisa pengaruh waktu tahan tempering pada proses pengerasan baja AISI 1045 terhadap sifat mekanik dan struktur mikro, sebagai solusi kegagalan yang terjadi pada komponen poros mesin uap

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi database bagi perusahaan.Pabrik Gula Gending sebagai pihak utama yang menyokong penelitian dapat menerapkan hasil penelitian untuk:

1. Rekomendasi untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada poros mesin uap dapat ditanggulangi
2. Referensi pemilihan bahan dan perlakuan panas pada poros mesin uap

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Poros atau *Shaft*

Poros adalah salah satu Elemen Mesin yang berbentuk silindris memanjang dengan penampang yang biasanya berbentuk lingkaran yang memiliki fungsi sebagai penyalur daya atau tenaga melalui putaran ,Poros merupakan transmisi atau penghubung dari sebuah elemen mesin yang bergerak ke sebuah elemen mesin yang akan digerakan.(Deutschman, 1975).

Secara garis besar, menurut fungsinya poros dapat dibedakan menjadi:

1. Poros Transmisi
Poros ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, sabuk dan rantai.
2. Spindel
Spindel adalah poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana beban utamanya berupa puntiran. Syarat yang harus dipenuhi oleh poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.
3. Gandar
Gandar adalah poros yang dipasang diantara roda-roda kereta barang dimana tidak mendapat beban puntir. Gandar hanya mendapat beban lentur, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir juga. (Basselo, 2014).

2.2 Baja ASSAB 705

Baja ASSAB 705 merupakan baja karbon sedang di gunakan dalam dunia industri yang mengandung karbon sebesar 0,38-0,43%C, dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan dengan pengerjaan perlakuan panas (*heat*

treatment) yang sesuai seperti hardening. Selain itu baja ASSAB 705 juga sangat cocok diberikan perlakuan panas hardening bila dibandingkan dengan baja lainnya seperti baja karbon rendah maupun baja karbon tinggi. (Budi Syahri, 2017)

Baja ASSAB 705 didasarkan pada standar yang setara dengan baja AISI 4340. Baja ini memiliki *hardenability* yang bagus sehingga cocok digunakan untuk aplikasi benda kerja dengan penampang yang besar. (www.ASSAB.com)

Baja AISI 4340 adalah baja paduan yang memiliki temperatur austenisasi 815-845°C dengan standar komposisi seperti pada Tabel 2.1

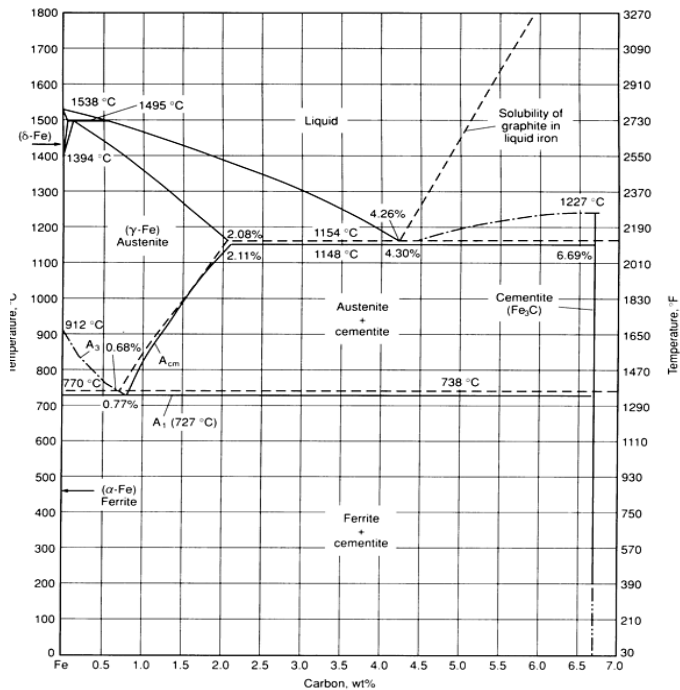
Tabel 2.1 Standar Komposisi Kimia AISI 4340(ASM Handbook, 1991).

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
(%)	0.38-0.43	0.6-0.8	0.2-0.35	0.7-0.9	1.65-2.0	0.2-0.3

2.3 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit. Diagram fase besi – karbon hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstitial-nya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67%C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe₃C. Pada keadaan yang benar-benar ekuilibrium, karbon akan berupa grafit, sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi-grafit. Namun perubahan-perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung sangat lambat.

Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Sehingga karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil .



Gambar 2.1 Diagram ekuilibrium Fe-C hingga 6,67% berat C. Garis solid menunjukkan diagram Fe-Fe₃C; garis putus-putus menunjukkan diagram besi-grafit(American Society for Metals, 1973).

Diagram fase pada Gambar 2.1 ini memiliki tiga garis mendarat menandakan reaksi yang berlangsung secara isothermal, yaitu:

- Pada 727°C, kadar karbon 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi eutectoid. $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$
- Pada 1148°C, kadar karbon 2.0 – 6.67 %, berlangsung reaksi eutektik. $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$
- Pada 1495°C, kadar karbon 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \rightarrow \gamma$.

(Callister,2014)

2.4 Pengujian Komposisi

Spectrometer adalah alat yang mampu menganalisa unsur-unsur logam induk dan campurannya. Prinsip dasar dari alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atomnya menjadi tidak stabil sehingga elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi.

Ketika energi yang dikenakan dihilangkan maka electron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu yang menunjukkan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar menunjukkan kadar konsentrasi unsur. Dengan cara ini maka jenis dan kadar suatu unsur dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. (Yogantoro, 2010).

2.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dapat didefinisikan sebagai operasi atau kombinasi operasi yang melibatkan pemanasan dan pendinginan logam untuk tujuan memperoleh kondisi atau sifat yang diinginkan.

Secara umum proses perlakuan panas terdiri dari menjadi tiga bagian yaitu pemanasan, menahan pada suhu (perendaman), dan pendinginan dengan media tertentu. Ketiga langkah ini dapat berbeda tergantung tujuan dan logamnya namun berdasarkan dari prinsip yang samayaitu adalah untuk mengubah struktur mikro dari suatu logam, sehingga berdampak pada sifat-sifat mekanik nya. (Digges,1960).

2.5.1 Pengerasan (*Hardening*)

Proses ini dilakukan untuk meningkatkan kekerasan dari baja tanpa dengan mengubah komposisi kimia dengan proses pemanasan sampai pada austenisasi diikuti pendinginan dengan kecepatan tertentu untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Temperatur yang dipilih tergantung pada jenis baja yang diproses

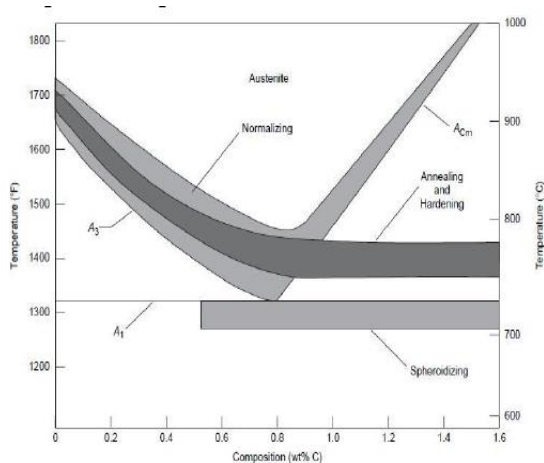
Pemanasan 50-100°C di atas garis A_3 untuk baja *hypoeutectoid*. Sedangkan media dan metode pendinginannya tergantung pada kecepatan pendinginan. Untuk pendinginan yang cepat akan didapatkan sifat logam yang keras dan getas sedangkan untuk pendinginan yang lambat akan didapatkan sifat yang lebih lunak dan ulet. (Suherman, 1999)

2.5.2 Austenizing

Pada proses austenisasi, baja dipanaskan sampai daerah *austenite* (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat *austenite*. Peningkatan kadar karbon, temperatur berkurang sepanjang garis A_3 sampai mencapai minimum pada A_1 , komposisi austenite (0,8%), dan lalu meningkat sepanjang garis A_{cm} .

Tahap pertama pada pembentukan austenite adalah pengintian dan pertumbuhan austenite dari perlit ($ferit+Fe_3C$). Pembentukan austenite dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Namun di sisi lain, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir. Temperatur yang diperlukan untuk mencapai 100% austenite pada baja hipoeutektoid cukup tinggi, meskipun begitu austenite untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. (Campbell,

2008). Temperatur ini ditunjukkan oleh kurva pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Temperatur Austenisasi

2.5.3 Quenching

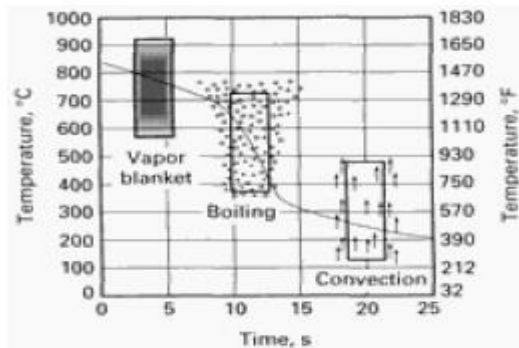
Proses quenching adalah proses perpindahan panas dengan laju yang sangat cepat. Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan sehingga mengalami perubahan dari austenite menjadi *bainite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pengerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di-quench hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Media pendingin *quenching* dapat berupa: air, air garam, oli, *air-polymer*, dan beberapa kasus digunakan inert gas. Gambar 2.3

memperlihatkan laju pendinginan panas dari logam sebagai fungsi dari temperatur permukaan logam. Awal pencelupan logam akan diselimuti oleh selubung uap, yang akan pecah saat logam mendingin.

Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, dan logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini. Stabilitas dan lamanya proses pendinginan tahap A sangat dipengaruhi oleh agitasi, umumnya waktu pendinginan tahap ini berkurang dengan peningkatan agitasi. Tahap B dari kurva pendinginan dinamakan tahap didih nukleat .pada tahap ini terjadi perpindahan panas yang cepat karena logam langsung bersentuhan dengan air.

Pada tahap ini, logam masih sangat panas dan air akan mendidih dengan hebatnya. Kecepatan pembentukan uap air menunjukkan sangat tingginya laju perpindahan panas. Selanjutnya perpindahan panas pada pendinginan tahap ini dapat ditingkatkan dengan peningkatan agitasi. Pada tahap C, merupakan tahap pendinginan konveksi dan konduksi, dimana temperatur permukaan logam telah turun hingga dibawah titik didih air. Tahap ini hanya mengalami perpindahan panas melalui konveksi dan konduksi. Perpindahan panas konveksi terdiri dari konveksi alamiah dan konveksi paksa.

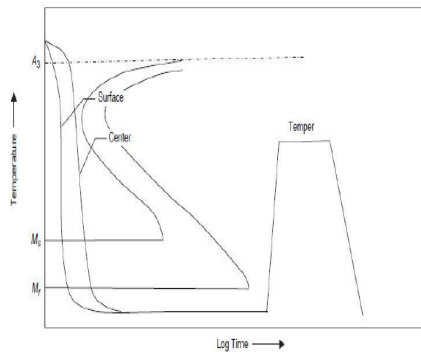
Konveksi paksa yang terjadi karena gaya luar seperti agitasi secara umum perpindahan panasnya lebih cepat dari pada konveksi alamiah, laju pendinginan meningkat dengan peningkatan agitasi. Ketiga tahap tersebut digambarkan dengan kurva pendinginan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Tiga tahapan pada quenching (Thelning, 1984).

2.5.4 Tempering

Tempering adalah suatu proses di mana baja yang sebelumnya dikeraskan atau dinormalisasi biasanya dipanaskan hingga suhu di bawah suhu kritis yang lebih rendah dan didinginkan pada tingkat yang sesuai, terutama untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan, tetapi juga untuk meningkatkan ukuran butir matriks. Baja mengalami Tempering dengan pemanasan ulang setelah pengerasan untuk memperoleh nilai spesifik dari sifat mekanik dan juga untuk menghilangkan tekanan pendinginan dan untuk memastikan stabilitas dimensi. Tempering biasanya mengikuti pendinginan dari atas suhu kritis atas; Namun, temper juga biasa digunakan untuk meredakan tegangan dan mengurangi kekerasan yang dikembangkan selama pengelasan dan untuk menghilangkan tekanan yang disebabkan oleh *forming* dan *machining* (ASM Handbook, 1991). Kurva perlakuan panas ini ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Perlakuan panas *hardening-tempering* pada baja (Campbell, 2008)

2.6 Pengujian Kekerasan

Kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik. Pada pengujian kekerasan terdapat tiga jenis ukuran kekerasan., yaitu:

- Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
- Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)
- Kekerasan pantulan (*rebound*)

Pengujian yang sering dilakukan pada logam adalah pengujian kekerasan indentasi. Pada jenis pengujian ini kekerasan suatu material diukur terhadap tahanan plastis dari permukaan suatu material komponen konstruksi mesin dengan spesimen standar terhadap indenter tertentu. Salah satu jenis uji kekerasan indentasi adalah metode Vickers. Uji kekerasan Vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Indenter *diamond* ditekan pada permukaan material sehingga dapat dilihat jejak berupa belah ketupat pada permukaan material. Nilai kekerasan *Vickers* dapat diperoleh dari rumus pada Persamaan 2.1:

$$HV = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.854P}{d^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

P = beban (kg)

d = rata-rata panjang diagonal (mm)

$\Theta = 136^\circ$

(Dieter, 1987)

2.7 Pengamatan Struktur Mikro

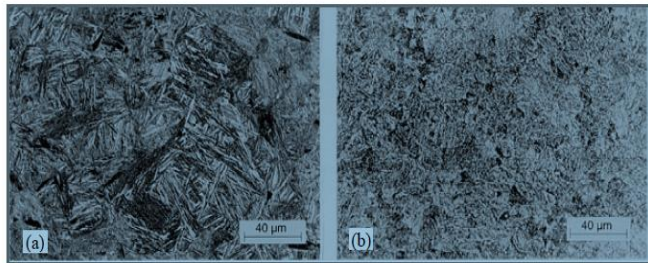
Metalografi mempelajari karakteristik struktur dari metal atau paduan. Penentuan ukuran butir, bentuk, dan distribusi dari berbagai macam struktur mikro dan inklusi tersebut memberikan dampak yang besar pada karakteristik mekanis dari material tersebut sangat memungkinkan. .

Dalam melakukan studi Metalografi, terlebih dahulu dilakukan preparasi spesimen. Preparasi material untuk studi dilakukan agar permukaan menjadi lebih jernih tanpa ada goresan yang mengganggu observasi struktur mikro nantinya. Setelah preparasi, selanjutnya dilakukan pengetsaan sesuai dengan larutan standar. Selanjutnya, material akan diobservasi struktur mikronya dengan mikroskop dan dianalisis. (Vander Voort, 1984).

2.7.1 Struktur mikro hasil transformasi

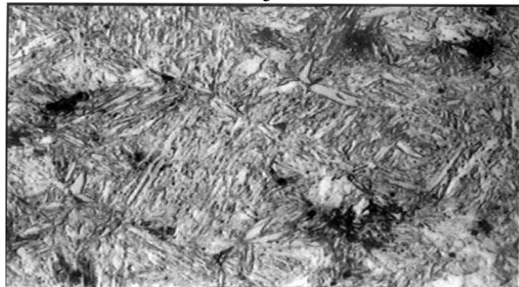
1. Bainit

Bainit merupakan struktur berupa bilah-bilah ferit yang didalamnya terdapat platelet sementit. Jika arah platelet hampir sejajar dengan sumbu pertumbuhannya, dinamakan bainit atas (upper bainite) atau feathery bainite. Bila transformasi terjadi pada temperatur yang lebih rendah lagi maka bilah-bilah ferit makin halus, berbentuk jarum-jarum (acicular), dan platelet sementit arahnya tidak lagi sejajar dengan sumbu tetapi membentuk sudut 55° (Bhadesia, 1998). Bentuk struktur mikro bainit atas dan bainit bawah ditunjukkan oleh Gambar 2.5



Gambar 2.5 Struktur mikro bainit atas dan bainit bawah
2.Martensit

Martensit berasal dari austenit, dengan struktur kristal FCC, yang dengan pendinginan cepat berubah menjadi BCT yang semestinya menjadi BCC, dengan atom karbon yang terperangkap di salah satu rusuknya. Adanya karbon yang terperangkap ini menyebabkan struktur menjadi tegang, sehingga menjadi lebih keras. Bentuk dari struktur ini ditunjukkan oleh Gambar 2.6



Gambar 2.6 Struktur Mikro Martensit

2.8 Pengertian Keausan

Keausan umumnya didefinisikan dengan kehilangan material secara progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara suatu permukaan tersebut dengan permukaan lainnya.

Nilai keausan suatu material dipengaruhi oleh variabel lainnya sehingga dapat dirumuskan pada Persamaan 2.2:

$$Q = \frac{KWL}{H} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana Q adalah Volume material yang dilepaskan, L adalah jarak pengausan, W adalah gaya normal, H kekerasan permukaan yang mengalami pengausan dan K adalah koefisien keausan (Archard,1953).

2.9 Penelitian Sebelumnya

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas proses perlakuan panas pada material yang digunakan pada komponen mekanik. Penelitian yang dilakukan oleh Rinelda Nena Sagita (2016) membahas perlakuan panas disertai *tempering* dan *hardening*.. Proses perlakuan panas yang dilakukan adalah *hardening* pada temperatur 925°C dengan waktu tahan 3 jam, kemudian di *tempering* pada temperatur 600°C dengan variasi. Hasil pengujian metalografi pada *tempering* menghasilkan struktur mikro asikular ferrit, dan hasil sifat mekanik paling optimal didapat dari proses *hardening-tempering* pada lama waktu tahan 3 jam, menghasilkan nilai kekuatan tarik 870 MPa, kekuatan luluh 782 MPa, elongasi 14%, reduksi area 38%, kekerasan 264 BHN, kekuatan impak sebesar 35 Joule pada temperatur -40°C dan nilai *fatigue life* 5100 *cycle*. Nilai yang dihasilkan seluruhnya memenuhi standar AAR, kecuali nilai elongasi yang hampir memenuhi standar AAR.

Pada penelitian lain yang dilakukan Budi Syahri (2017) dilakukan proses pengerasan baja ASSAB 705 yang didinginkan dengan media pendingin yang berbeda yaitu oli, air dan larutan garam. Hasil pengujian meningkat sekitar 20,30%. kekerasan menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan kekerasan pada spesimen yang di quenching dengan oli sebesar 15,62% sedangkan pada spesimen yang di quenching dengan ar

meningkat sebesar 17,28% dan pada spesimen yang di quenching dengan larutan garam Media pendingin yang memberikan dampak paling signifikan adalah larutan garam, yang nilai BHN analisa mencapai 597,13 dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan yang memiliki kekerasan 327,21 dengan BHN analisa 341,21.

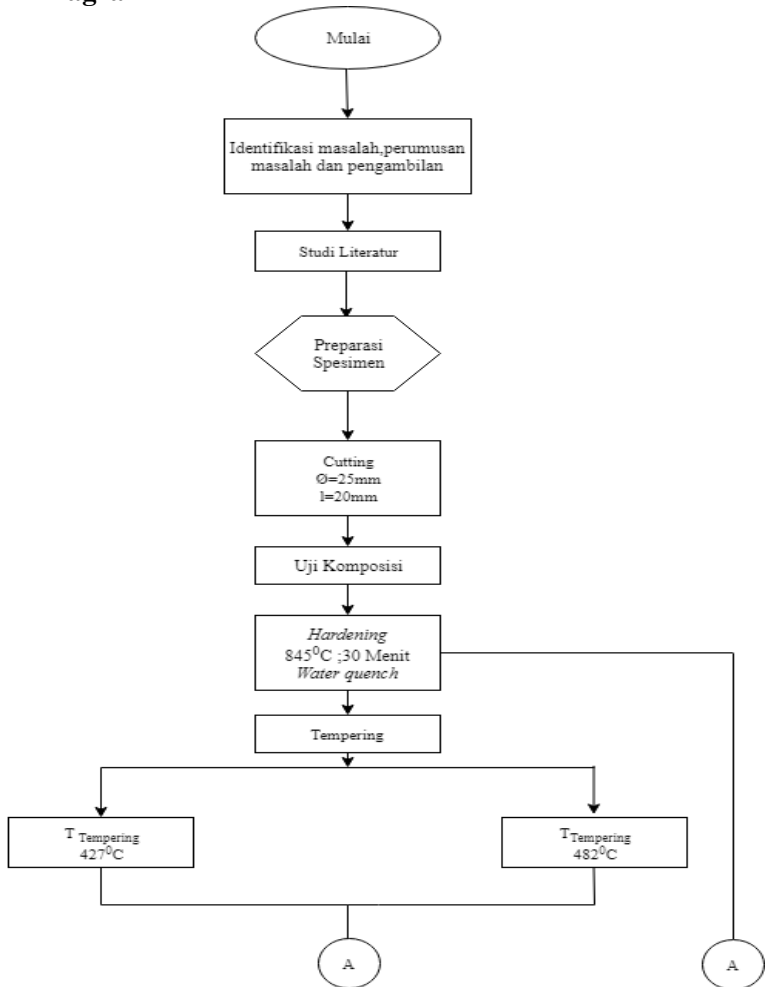
Sementara itu terdapat pula penelitian dengan melakukan upaya peningkatan kualitas *axle shaft* dengan cara *hardening*. *Hardening* dilakukan pada temperatur 850°C, 875°C, dan 900°C dengan variasi waktu tahan selama 60 dan 90 menit dan media pendingin berupa air dan *brine solution*. Setelah diberikan perlakuan, dilakukan beberapa pengujian seperti uji kekerasan, uji metalografi, dan uji keausan. Didapatkan hasil nilai kekerasan tertinggi terdapat pada material yang dipanaskan pada temperatur 850°C dengan waktu tahan 1,5 jam yang kemudian didinginkan dengan *brine solution* sebesar 735 HV. Sedangkan untuk hasil uji keausan terdapat pada material yang dipanaskan sampai temperature 900°C dengan waktu tahan 1,5 jam yang kemudian didinginkan dengan *brine solution* sebesar 0,085 gr. Didapatkan juga hasil struktur mikro berupa *lath martensite* dan austenit sisa pada semua spesimen (Amalia, 2018).

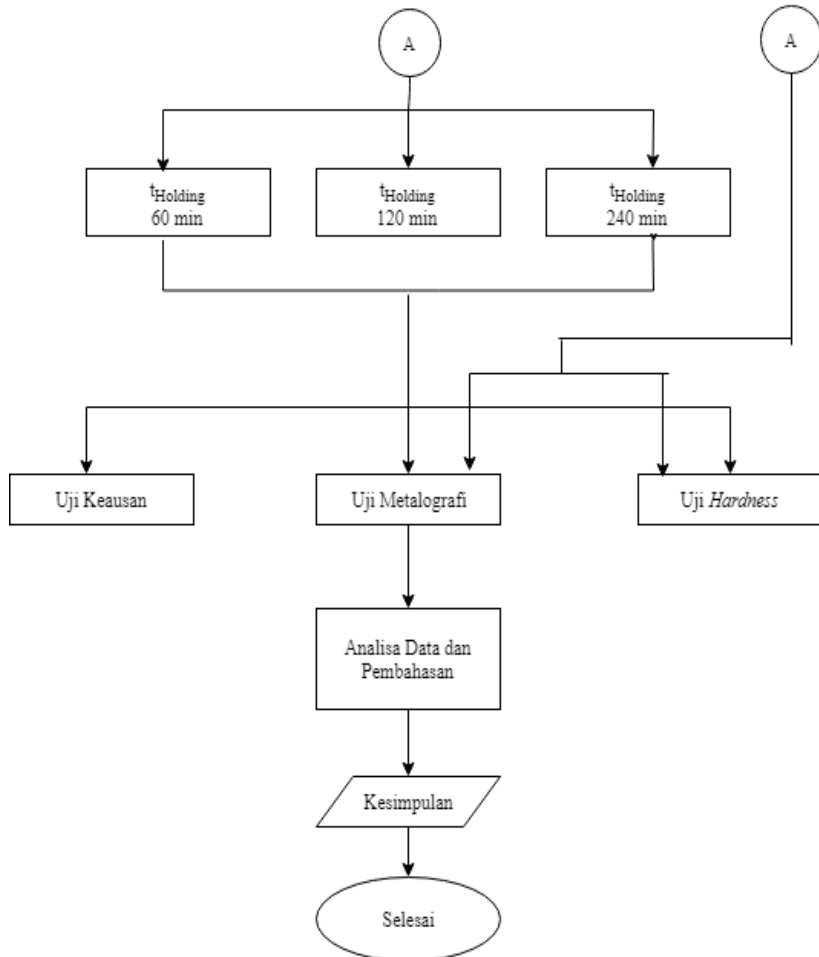
Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Ihsan (2018) dilakukan untuk menganalisis faktor penyebab dan mekanisme kegagalan yang terjadi pada *shaft*. Beberapa pengujian dilakukan untuk mendukung analisis ini. Pengujian *metallography* menunjukkan pada daerah dekat patahan memiliki nilai *grain size* yang lebih tinggi dibanding daerah jauh dari patahan. Pengujian SEM dilakukan pada permukaan patahan dan hasil dari SEM menunjukkan adanya retakan dan garis striasi halus akibat adanya pembebanan berulang. Uji kekerasan dilakukan pada 3 daerah yaitu daerah *initial crack*, *propagation* dan *final crack*. Uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan yang dekat patahan lebih besar daripada daerah jauh patahan. Hasil XRD menunjukkan nilai regangan kristal pada daerah patahan lebih besar daripada

daerah jauh patahan. Setelah dilakukannya pengujian-pengujian tersebut didapatkan faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *shaft* pada mesin uap II, yaitu kesalahan pemilihan material yang tidak sesuai standar, sehingga sifat mekanik yang ada dibawah standar. Mekanisme kegagalan komponen *shaft* pada mesin uap II diawali adanya *initial crack* pada *keyway* karena adanya pemusatan tegangan pada daerah tersebut dan kemudian retakan merambat pada permukaan sebelum terjadi *final crack* dikarenakan *shaft* tidak mampu menahan tegangan yang terjadi, sehingga menyebabkan *fatigue failure*.

BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

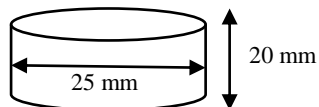
3.2 Material yang Digunakan

Pada bulan Agustus 2018 terjadi kegagalan pada poros Mesin Uap II dimana jenis kegagalan adalah patah lelah (*fatigue*). Bagian dari poros yang patah ditunjukkan oleh Gambar 3.2



Gambar 3.2 Poros mesin uap yang patah

Spesimen poros yang patah tersebut akan dipotong dengan dimensi dan bentuk sesuai pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Bentuk dan dimensi spesimen yang diberi perlakuan panas

3.3 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Mesin Pemotong
2. Mesin Grinding
3. Mesin Polish
4. Kertas Amplas
5. Pasta Alumina

6. Beaker Glass
7. Tabung Erlenmeyer
8. Pipet
9. OES (*Optical Emission Spectroscopy*)
10. Mesin Uji Kekerasan
11. Electric Furnace
12. Larutan Etsa
13. Mikroskop Optik
14. Mesin Uji keausan

3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data data perusahaan yang berkaitan dengan poros mesin uap sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Desain poros mesin uap
2. Data riwayat penggunaan
3. Spesifikasi material

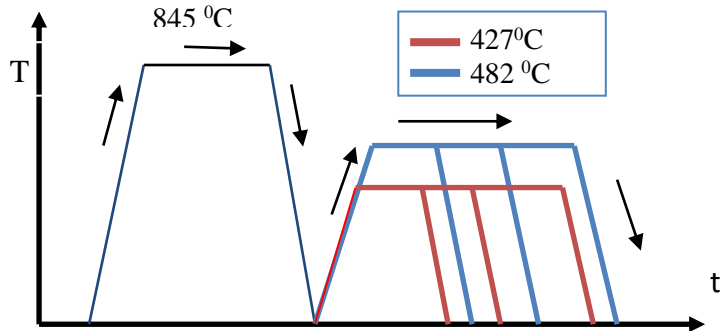
3.4.2 Preparasi Spesimen

Persiapan ini berupa proses *cutting* poros yang mengalami kegagalan menjadi berbentuk spesimen perlakuan dengan diameter 20 mm dan panjang 25 mm sebanyak 8 buah

3.4.3 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang dilakukan pada tahap pertama adalah proses *hardening* dengan temperatur pemanasan 845°C dengan *holding time* 30 menit dan dilakukan pendinginan dengan media air. Setelah mengalami proses *hardening*, spesimen diberi perlakuan tahap 2 yaitu berupa *tempering* dengan tiga variabel *holding time*, yaitu 60 ,120 dan 240 menit. Pada masing-

masing variabel *holding time* tersebut diterapkan dua variabel temperature *tempering*, yaitu 427 dan 482°C. Kurva perlakuan panas yang diterapkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Kurva perlakuan panas

3.4.4 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia material yang diberi perlakuan panas . Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectroscopy*) yang terdapat di PT Logamindo Sarimulya Sidoarjo untuk mengetahui komposisi dari material poros mesin uap yang diteliti. Mesin Uji OES ditunjukkan oleh Gambar 3.4



Gambar 3.4 Mesin Uji OES (*Optical Emission Spectrography*)

3.4.5 Uji Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada material sebelum dan setelah diberi perlakuan panas. Pengujian diawali dengan preparasi permukaan specimen yang diawali dengan proses grinding dengan kertas amplas dengan grade 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000 lalu dilakukan polishing dengan menggunakan pasta alumina yang dioleskan pada piringan yang berputar. lalu dilakukan pengetsaan dengan menggunakan 1-5 ml *nitric acid* (HNO_3) dan 100 mL ethanol 95% dan kemudian dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM E3 *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens* untuk preparasi dan ASTM E407 *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys* untuk pengetsaan



Gambar 3.5 Mikroskop Optik

3.4.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter pyramid intan, pembebanan sebesar 30 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 di Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material ITS dengan mengacu pada ASTM E92.



Gambar 3.6 Alat Uji kekerasan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* (Teknik Material,2018)

3.4.7 Uji Keausan

Uji keausan dilakukan dengan menggunakan mesin *pin on disc* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.7 dengan memberikan beban tertentu pada spesimen. Sebelum diuji, spesimen diukur ketebalan dan massanya. Setelah itu dilakukan uji pengausan pada *wear track* dengan 1000 putaran. Setelah proses berakhir, dilakukan pengukuran massa dan tebal akhir sehingga didapatkan selisih massa dan ketebalan dari spesimen yang telah diuji keausannya. Standar pengujian ini mengacu pada ASTM G99 *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*.



Gambar 3.7 Alat Uji keausan

3.5 Rancangan Penelitian

Rincian rancangan perlakuan yang diterapkan pada beberapa spesimen penelitian ini terdapat pada Tabel 3.3

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Spesimen	T (°C)	Holding Time (mnt)	Pengujian			
			OES	MO	HV	Keausan
TP	-	-	√	√	√	-
H	845	30	-	√	√	-
Ht60t427	427	60	-	√	√	√
Ht120t427	427	120	-	√	√	√
Ht240t427	427	240	-	√	√	√
Ht120t482	482	60	-	√	√	√
Ht120t482	482	120	-	√	√	√
Ht240t482	482	240	-	√	√	√

-
- Keterangan :
- TP = Tanpa perlakuan
 - H = *Hardening*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Komposisi

Hasil uji komposisi menggunakan mesin OES (*Optical Emmision Spectrography*) pada poros mesin uap yang mengalami kegagalan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil uji komposisi

Unsur	Kadar (%)
	Hasil Uji OES
C	0.45
Mo	<0.004
Cr	0.089
Ni	0.041
Mn	0.7
S	0.011
Si	0.156
P	0.017
Fe	Balance

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa komposisi material yang diberi perlakuan panas lebih mendekati pada standar AISI 1045.

Baja karbon AISI 1045 adalah jenis baja yang tergolong dalam baja paduan karbon menengah yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti poros, gear, dan bagian komponen mesin lainnya. Hal ini karena baja menengah memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, relatif ulet (*ductile*) dan tangguh (Davis, 1982).

Pada temperatur kamar AISI 1045 berdasarkan diagram fasa Fe-Fe₃C memiliki struktur mikro berupa ferrit dan pearlite. Ferrit dan pearlite ini terbentuk akibat pendinginan ekuilibrium

yang menyebabkan austenite bertransformasi. Baja AISI 1045 tergolong sebagai baja *hypoeutectoid*. Berdasarkan diagram fasa Fe-Fe₃C, pada baja *hypoeutectoid*, austenit terlebih dahulu bertransformasi membentuk ferrit proeutektoid. kemudian saat melalui garis A₁, austenit mengalami reaksi eutektoid membentuk lapisan sementit dan ferrit yang berbentuk lamellar atau disebut pearlite. Sehingga pada temperatur kamar akan dihasilkan Struktur mikro berupa ferrit dan pearlit (Suherman, 2003). Dengan menggunakan lever rule, maka diketahui bahwa persentase fasa yang terbentuk adalah 44.18% ferrit dan 55.82% pearlite.

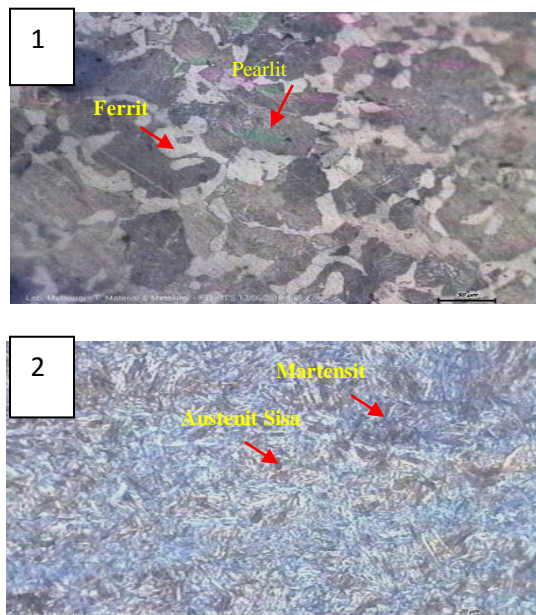
Grange dan Hriball (1977) memperkirakan kekerasan suatu material dengan komposisi kimia tertentu yang mengalami proses tempering dengan waktu tahan 1 jam dengan temperatur yang berbeda. Dari perumusan tersebut, menurut komposisinya Baja AISI 1045 yang diberi perlakuan panas memiliki kekerasan sebesar 371 HV dengan temperatur 427^oC dan 333 HV pada temperatur 482^oC.

Baja AISI 1045 tergolong *low alloy steel* karena memiliki konsentrasi unsur paduan yang rendah. Rendahnya unsur paduan menyebabkan rendahnya *hardenability* dari material tersebut. *Hardenability* yang rendah akan menurunkan *depth of hardening* material tersebut. Unsur paduan dengan konsentrasi yang lebih rendah akan menyebabkan *hardenability* dari material tersebut juga lebih rendah. Unsur paduan dalam baja juga memiliki sifat menghambat dekomposisi martensit sehingga kurangnya paduan akan mengurangi efek penurunan kekerasan akibat tempering (Suherman,2003).

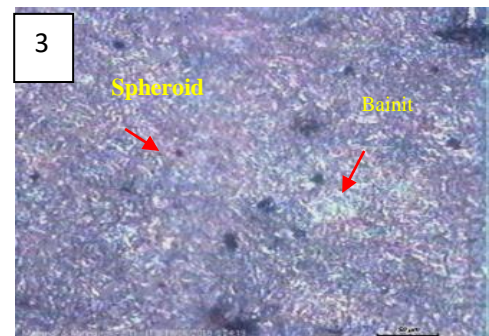
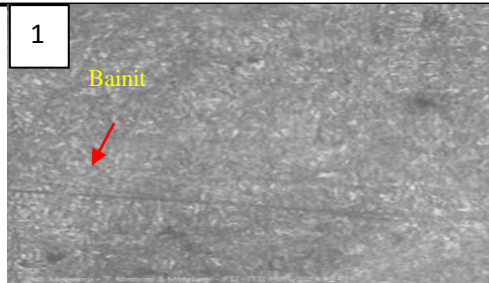
Pada baja yang mengalami *tempering*, akan terjadi efek *secondary hardness*. *Secondary hardness* akan meningkatkan kekerasan material setelah mengalami proses *tempering*, sehingga rendahnya unsur paduan akan mengurangi efek tersebut. *Secondary hardness* terjadi karena presipitasi karbida dari unsur-unsur paduan pembentuk karbida (Grange,1977).

4.2 Pengujian Metalografi

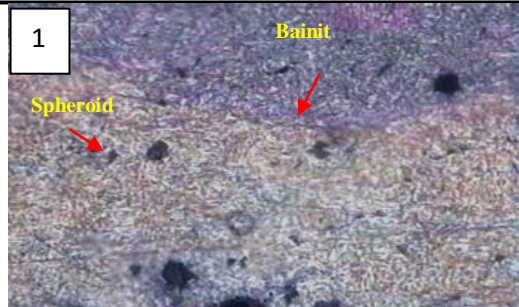
Uji metalografi telah dilakukan dengan preparasi spesimen berupa *grinding* dan *polishing* yang dilanjutkan penetsaan (*etching*) dengan pencelupan pada larutan etsa Nital 4% selama 15 detik. Kemudian dilakukan observasi menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian metalografi dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil uji metalografi spesimen dengan perbesaran 500x dalam kondisi (1)Tanpa Perlakuan (2)*Hardening*



Gambar 4.2 Hasil uji metalografi spesimen tempering dengan Temperatur 427°C perbesaran 500x menggunakan waktu tahan: (1)1 jam, (2)2 jam, (3)4 jam



Gambar 4.3 Hasil uji metalografi spesimen tempering dengan Temperatur 482⁰ C perbesaran 500x menggunakan waktu tahan: (1)1 jam, (2)2 jam, (3)4 jam

Gambar 4.1 nomor 1 menunjukkan bahwa spesimen TP memiliki struktur ferrite (berwarna terang) dan pearlite (berwarna

gelap dan bergaris-garis). Hal ini sesuai dengan diagram fasa Fe-Fe₃C bahwa baja dengan kadar karbon 0.45 %C pada temperatur kamar diperoleh struktur mikro berupa ferrit dan pearlit

Gambar 4.1 nomor 2 menunjukkan bahwa pada kondisi *as-quenched*, struktur mikro yang terbentuk berupa martensit (berbentuk jarum) dan *retained austenite* (berwarna terang). Jenis martensit yang terbentuk adalah *lath martensite* (jarum-jarum gelap berukuran kecil). *Lath martensite* terbentuk pada baja dengan kadar karbon di bawah 0,6%. Sedangkan kadar karbon baja ini adalah 0,45%.

Struktur martensit terjadi karena fasa austenit yang didinginkan cepat. Karena pendinginan cepat, karbon yang terlarut di dalam austenit tidak memiliki cukup energi untuk berdifusi keluar dari kisi kristal austenit sehingga tidak terjadi transformasi dari struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) menjadi BCC (*Body Centered Cubic*) seperti pada pendinginan yang ekuilibrium, melainkan terjadi transformasi menjadi bentuk struktur BCT (*Body Centered Tetragonal*), yang memiliki tegangan kristal sehingga menimbulkan sifat mekanik yang keras dan getas.

Retained austenite terjadi karena pendinginan austenit yang terganggu pada temperatur di atas M_s atau di bawahnya, dan kemudian baja dibiarkan dingin hingga temperatur kamar. Gangguan dalam pendinginan ini seringkali menstabilkan austenit, yang menyebabkan pembentukan martensit dimulai pada temperatur yang lebih rendah, sehingga menghasilkan kadar austenit yang lebih tinggi pada temperatur kamar. Efek stabilisasi austenit terjadi karena pemecahan inti martensit yang terbentuk selama proses pendinginan dari temperatur austenisasi menuju temperatur pembentukan martensit (Thelning, 2000).

Terdapat enam spesimen yang diberi perlakuan *tempering*, Tampak terjadi perubahan pada struktur mikro masing-masing. Dapat dilihat bahwa spesimen hasil tempering

memiliki ukuran jarum-jarum martensit yang lebih kecil karena kehilangan banyak karbon. Terjadi pula transformasi dari austenit sisa menjadi bainit. Karbon yang berdifusi keluar dari martensit membentuk platelet-platelet sementit dalam matriks ferrit. Struktur mikro bainit tampak lebih gelap daripada martensit karena bainit memiliki lebih banyak substruktur (Bhadesia, 1998). Bainit yang terbentuk adalah *lower bainite* mengingat temperatur yang digunakan adalah pada kisaran pembentukan *lower bainite*. Sedangkan pada temperatur 482°C jenis bainit yang terbentuk adalah *upper bainite*. *Upper bainite* terbentuk pada temperatur mulai dari 525 hingga 475°C sedangkan *lower bainite* terbentuk dalam struktur mikro yang terbentuk di temperatur antara 425 dan 355°C. Transisi dari *upper bainite* ke *lower bainite* terjadi pada temperatur sekitar 450°C. (Caballero, 2004).

Pada spesimen yang diberi perlakuan *tempering* dengan temperatur yang lebih tinggi platelet-platelet sementit pada bainit memiliki bentuk berupa spheroid. Hal ini terjadi karena karbon yang berdifusi keluar dan membentuk sementit pada struktur bainit berkumpul membentuk bulatan atau *spheroid* halus sementit. *Spheroid* ini muncul dan tersebar di dalam matriks ferrit. Struktur ini dapat terbentuk pada *tempering* dengan temperatur 399-649°C (Suherman, 2003). Pada gambar 4.3 nomor 3 tampak bahwa *spheroid* sementit yang terbentuk lebih banyak dan beberapa diantaranya sudah tampak membesar bila dibanding gambar 4.3 nomor 1 dan gambar 4.3 nomor 2. Waktu tahan yang lebih lama memberikan kesempatan bagi karbon untuk berpresipitasi keluar sehingga menyebabkan *spheroid* sementit yang lebih banyak dan lebih besar.

Secara garis besar, perbedaan perlakuan panas yang diberikan pada material menimbulkan struktur mikro yang berbeda pula. Hasil perlakuan *hardening* akan menimbulkan fasa martensit dan *retained austenite*. Sedangkan hasil perlakuan

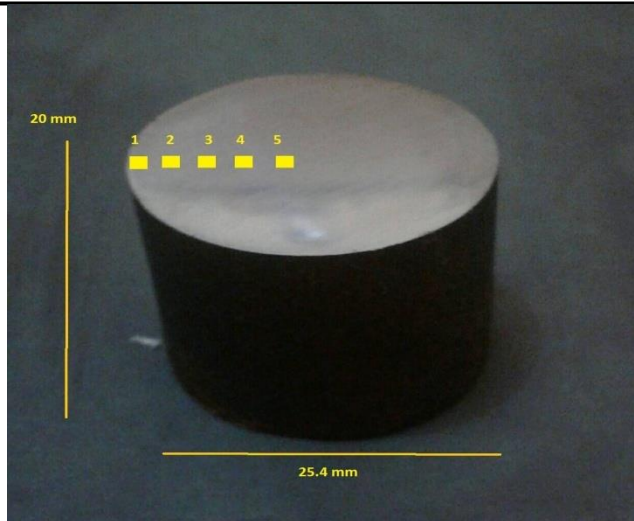
tempering akan menghasilkan *tempered martensite* berupa struktur bainit dengan sementit yang berbentuk *spheroid* pada temperatur 482°C.

4.3 Pengujian Kekerasan

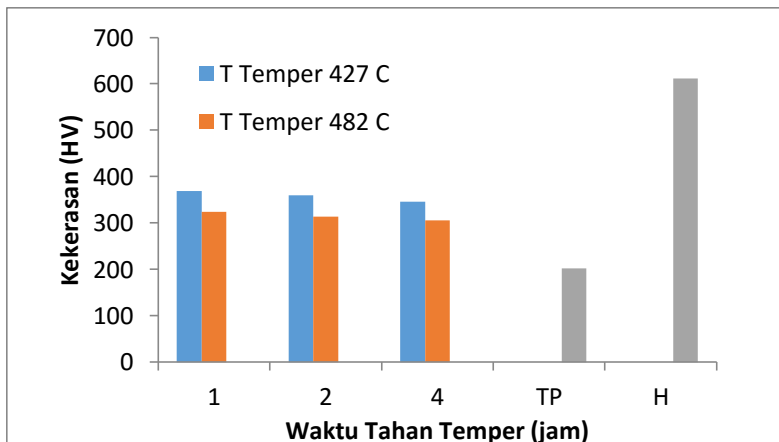
Uji kekerasan menggunakan metode Vickers dengan pembebanan sebesar 30 kgf dan durasi indentasi 10 detik pada tiap spesimen. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil uji kekerasan tiap spesimen

Spesimen	Nilai kekerasan (HV)						
	Titik uji di permukaan						
	1	2	3	4	5	6	Rata-rata
TP	204	195	201	195	208	207	202
H	631	624	610	596	585	577	611
ht60T427	380	378	375	362	351	343	369
ht60T482	331	337	330	321	310	302	324
ht120T427	371	369	364	355	346	336	360
ht120T482	319	314	318	314	306	297	313
ht240T427	358	343	339	340	338	332	346
ht240T482	311	308	307	305	298	291	305



Gambar 4.4 Titik Uji Kekerasan Spesimen
Jarak Tiap Titik Pada Penampang= 2.5 Mm



Gambar 4.5 Grafik Kekerasan pada Tiap Spesimen

Dari hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan spesimen dari yang tertinggi hingga yang terkecil adalah berturut-turut spesimen H, ht60T427, ht120T427, ht240T427, ht60T482, ht120T482, ht240T482 dan yang terkecil adalah TP. Kekerasan pada potongan melintang tiap spesimen semakin mendekati inti adalah semakin mengecil.

Kekerasan dipengaruhi oleh struktur mikro yang dimiliki oleh material. Pada spesimen TP, kekerasan yang didapatkan adalah sebesar 202 HV. Struktur mikro yang terbentuk adalah ferrit dan pearlite

Pada spesimen *as-quenched*(H) struktur mikro yang terbentuk berupa martensit dan *retained austenite*. Struktur martensit memiliki bentuk struktur BCT (*Body Centered Tetragonal*). yang memiliki tegangan pada kisi kristalnya yang menjadikan sifat mekaniknya keras dan getas. Adanya *retained austenite* yang bersifat lunak menyebabkan pengurangan kekerasan yang diperoleh. Struktur mikro yang didominasi martensit ini berakibat pada kekerasan spesimen H yang tinggi, yaitu sebesar 611 HV.

Pada spesimen yang mengalami *tempering*, tampak bahwa spesimen dengan tempering pada 427⁰C memiliki kekerasan yang lebih baik bila dibandingkan dengan spesimen yang mengalami perlakuan tempering pada 482⁰C. Pada spesimen dengan temperatur tempering 427⁰C, didapatkan rata-rata kekerasan 369,360 dan 346 HV untuk waktu tahan 1 jam, 2 jam dan 4 jam. sedangkan untuk temperatur tempering 427⁰C didapatkan masing-masing untuk waktu tahan 1 jam, 2 jam dan 4 jam 324,315 dan 305 HV. Kekerasan yang lebih rendah dimiliki oleh spesimen dengan temperatur tempering 482⁰C. Hal ini dikarenakan jenis bainit yang terbentuk adalah jenis lower bainite. *Lower bainite* memiliki kekerasan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan *upper bainite* (Caballero.2004). Selain itu juga sementit yang terbentuk pada matriks ferrit cenderung berbentuk *spheroid*.

. Kekerasan pada potongan melintang tiap spesimen pada titik pengujian yang berbeda juga menunjukkan perbedaan dengan kekerasan yang semakin mengecil ketika semakin mendekati inti. Hal ini terjadi karena kedalaman proses pengerasan yang berbeda (Liscic,2011) sehingga menyebabkan tingkat terbentuknya martensit yang berbeda yang mengakibatkan kekerasan menjadi lebih rendah.

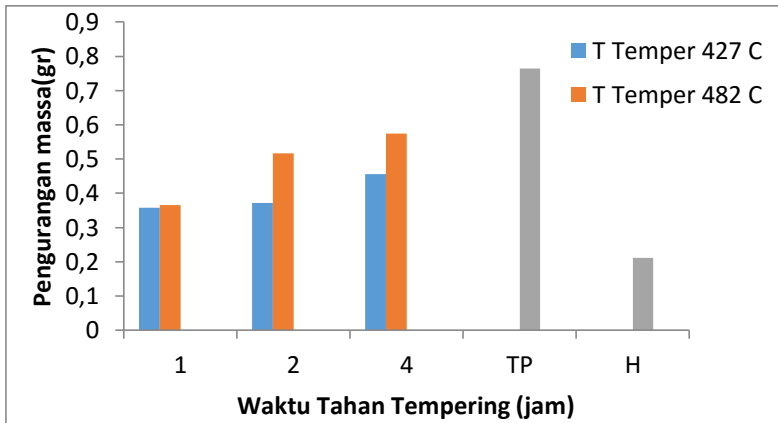
Secara umum, spesimen hasil tempering memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen hasil proses *Hardening*. Penambahan temperatur tempering menghasilkan penurunan yang lebih signifikan bila dibanding dengan penambahan waktu tahan tempering.

4.4 Pengujian Keausan

Pengujian keausan *pin on disc* dilakukan dengan pembebanan yang diberikan adalah 2 kg, jumlah putaran sebanyak 1000 putaran, jarak peletakan pin dari sumbu disc sebesar 4 cm dan tapak disc digunakan kertas *abrasive* dengan *grade* 80. Hasil uji keausan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil uji keausan

Spesimen	Massa (gram)		Pengurangan massa (gram)
	Sebelum uji	Setelah uji	
TP	74,090	73,326	0,764
Hardening	65,710	65,479	0,211
ht60T427	69,117	68,759	0,358
ht120T427	70,230	69,865	0,365
ht240T427	75,656	75,285	0,371
ht60T482	70,240	69,794	0,456
ht120T482	63,598	63,082	0,516
ht240T482	69,720	69,145	0,575



Gambar 4.6 Grafik hasil uji keausan

Hasil uji menunjukkan bahwa urutan spesimen dari yang paling tahan aus adalah ht60t427, ht120t427, ht240t427, ht60t482, ht120t482, ht240t482 dan TP.

Pada spesimen dengan temperatur tempering 427°C, didapatkan masing-masing 0,358 gr ,0,365 gr dan 0,371 gr untuk waktu tahan 1 jam, 2 jam dan 4 jam. Sedangkan untuk temperatur tempering 427°C didapatkan masing-masing untuk waktu tahan 1 jam, 2 jam dan 4 jam adalah 0,456 gr 0,516gr dan 0,575 gr Dari hasil pengujian keausan, hasil pengujian yang didapatkan menunjukkan bahwa spesimen dengan temperatur tempering 427°C menunjukkan ketahanan aus yang lebih baik bila dibandingkan dengan spesimen dengan temperatur tempering 482°C. Penambahan waktu tahan pada proses tempering juga menurunkan ketahanan aus material. Dapat dilihat bahwa perbedaan temperatur tempering menghasilkan perbedaan ketahanan aus yang lebih signifikan bila dibanding dengan perbedaan waktu tahan tempering

Dari hasil pengujian yang didapatkan menunjukkan kesesuaian antara kekerasan dengan ketahanan aus yang dimiliki material. Menurut Archard (1953) Volume material yang dilepaskan berbanding lurus dengan jarak pengausan, gaya normal dan koefisien keausan K dan berbanding terbalik dengan kekerasan permukaan yang mengalami pengausan.

Pada spesimen dengan temperatur tempering 482°C memiliki ketahanan aus yang lebih rendah bila dibandingkan dengan temperatur tempering 427°C. Hal ini disebabkan kehadiran struktur berupa sementit beerbentuk *spheroid* yang terdapat pada struktur bainit. *Spheroid* sementit ini memiliki koefisien keausan K yang besar bila dibandingkan dengan struktur martensit atau bainit, setara dengan struktur pearlite yang lebih lunak (Bhattacharya,1979).

Ketahanan aus yang lebih baik dapat meningkatkan kemampuan material dalam menahan beban terutama dalam hal *contact stress* (Deutschmann,1975) sehingga meningkatkan umur pakai dari material tersebut. Hal ini menjadikan material

substitusi menjadi lebih sesuai untuk digunakan sebagai material poros mesin uap mengingat material poros mesin uap yang disubstitusi memiliki umur pakai yang lebih pendek dari seharusnya.

.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Semakin tinggi temperatur *tempering*, maka semakin rendah sifat kekerasan. Temperatur *tempering* yang paling optimal terdapat pada temperature 427°C dengan nilai kekerasan dan masing-masing pada waktu tahan 1 jam ,2 jam dan 4 jam. Struktur mikro yang dihasilkan adalah berupa *lower bainite* , austenit, dan juga martensit. Pada temperatur 482°C terbentuk struktur *spheroid* dengan bainit yang terbentuk berupa *upper bainite*
2. Semakin lama waktu tahan pada proses *tempering*, maka semakin rendah kekerasanyang didapatkan.. Waktu tahan *tempering* yang paling optimal adalah selama 1 jam dengan nilai 369 HV dan 324 HV masing-masing pada temperatur 427°C dan 482°C.

5.2 Saran

1. Pada saat melakukan pembelian komponen poros mesin uap,sebaiknya disertai dengan sertifikat komposisi kimia dan sifat mekanik yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
2. Sebaiknya dilakukan *Non Destructive Test* secara berkala
3. Proses perlakuan panas sebaiknya menggunakan *furnace* dengan akurasi temperatur yang baik
4. Untuk proses perlakuan panas *tempering* sebaiknya menggunakan temperatur 427 dan 482 °C dengan waktu tahan selama 1 jam dan 2 jam

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 1991. **ASM Handbook Volume 4 Heat treatment**. USA: ASM International.
- _____, 2007. **ASTM E3 : Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens**. USA:ASTM International
- _____,2003. **ASTM E92 : Standard Test Method for Vickers Hardness for Metallic Material**. USA:ASTM International
- _____,2003.**ASTM E407 : Standard Practice for Microetching Metals and Alloys** .USA:ASTM International
- _____,2003. **ASTM G99 : Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus**. USA:ASTM International
- Amalia, Annisa Nur. 2017. **Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Hardening Dengan Variasi Temperatur Pemanasan, Waktu Tahan, Dan Media Pendingin Pada Peningkatan Kekerasan Baja AISI 1045b Pada Komponen Axle Shaft**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Archard, J.F. .1953. **Contact and Rubbing of Flat Surfaces**. Journal of Applied Physics
- Avner, Sidney H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy**. Singapore: McGraw-Hill Book Co,Inc
- Basselo, Daswin dkk. 2014. **Optimasi Diameter Poros Terhadap Variasi Diameter Sproket pada Roda Belakang Sepeda Motor**. Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi
- Bhadeshia. H.K.1990.**Bainite in Steel** . Metallurgical transactions A 21
- Bhattacharyya .S 1979 **Wear and Friction in Steel,Aluminum, and Magnesium Alloys Part I: Pearlitic and Spheroidized Steels**.Chicago: IIT Research Institute

-
- Campbell, F.C. 2008. **Elements of Metallurgy and Engineering**. New York: ASM International.
- Davis, H, E., 1982, **The Testing of Engineering Materials**, Mc Graw Hill. Inc., Auckland
- Deutschman, Aaron D. 1975, **Machine Design: Theory and Practice**. New York: Macmillan Publishing Co, Inc.
- Dieter, George E. 1987. **Metalurgi Mekanik**. Jakarta: Erlangga.
- Digges, Thomas G. Samuel J. Rosberg. 1960. **Heat Treatment and Properties of Iron and Steel**. USA : National Bureau of Standards
- Grange,R.A ,Hribal,C,E .1977. **Hardness of Tempered Martensite in Carbon and Low-Alloy Steels**. Metallurgical Transactions A
- Ihsan, Adi Noval. 2018. **Analisis Kegagalan Pada Shaft Mesin Uap II Di Pabrik Gula Gending**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Thelning, K.E . 1975.**Steel and Its Heat Treatment**, Butterworths: London,
- Sagita, Rinelda Nena. 2017. **Analisa Pengaruh Lama Waktu Tahan Tempering terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Couper Baja AAR-M201 Grade E .** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suherman, Wahid. 1998. **Perlakuan Panas**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Syahri, Budi. 2017. **Analisis Kekerasan Baja ASSAB 705 yang Diberi Perlakuan Panas Hardening dan Media Pendingin**. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Totten, GE, Bates, CE, Clinton. 1993.**Handbook of Quenchant and Quenching Technology**. USA: ASM International.
- Yogantoro, Anom. 2010. **Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, dan High**
-

Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan (Toughness). Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

www.ASSAB.com, diakses pada 20 Januari 2019 pukul 07.40
WIB

:

LAMPIRAN

1. Standard ASSAB

GENERAL

ASSAB 705 is machinery steel with unique machinability. ASSAB 705 is supplied as quenched and tempered that enhances hardness and toughness distribution.

Typical analysis %	C	Mn	Cr	Ni	Mo
Reference standard	0.40	0.70	0.80	1.80	0.25
Delivery condition	Quenched and tempered to 293-352HB				

APPLICATIONS

ASSAB 705 is an alloyed machinery steel with good hardenability also in large cross sections. It combines high strength with best toughness.

ASSAB 705 is intended for use in the as-delivered condition, requiring no further heat treatment. However, it can be oil, water or polymer hardened to higher hardness and higher mechanical properties if required. ASSAB 705 is suitable for induction hardening and can also be nitrided or nitrofiled to a surface hardness of 600-650 Vickers.

ASSAB 705 is not suitable for welding but can be repair welded when certain precautions are taken.

Typical applications include high strength machine parts, spindles, high strength bolts and studs, gears, axle shaft, crankshafts, connecting rods, arbors etc.

PROPERTIES

MECHANICAL DATA

QUENCHED AND TEMPERED

Mechanical Properties	Typical values under supplied condition
Yield strength, Rp 0.2, N/mm ²	≥ 850
Tensile strength, N/mm ²	≥ 980
Elongation, A, %	≥ 14
Reduction of area, Z, %	≥ 45
Impact strength (Charpy-V at ~23°C), J/cm ²	≥ 55



Components (main shafts) for palm oil extract



Car components

HEAT TREATMENT

Heat treatment for pre-hardened condition:

Hardened at 880-935°C

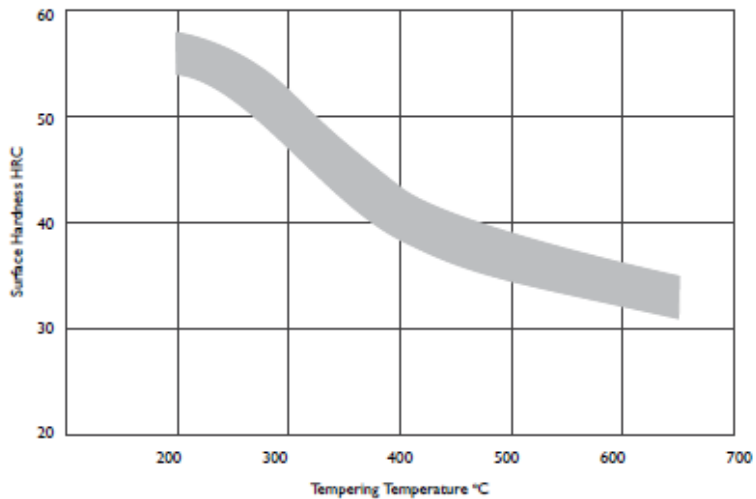
Tempered at 600-670°C

Quench media 100% water

ASSAB 705 can be re-hardened by oil, polymer or water to higher hardness. The following tempering diagram is achieved by induction heating followed by water quenching process.

Tempering diagram

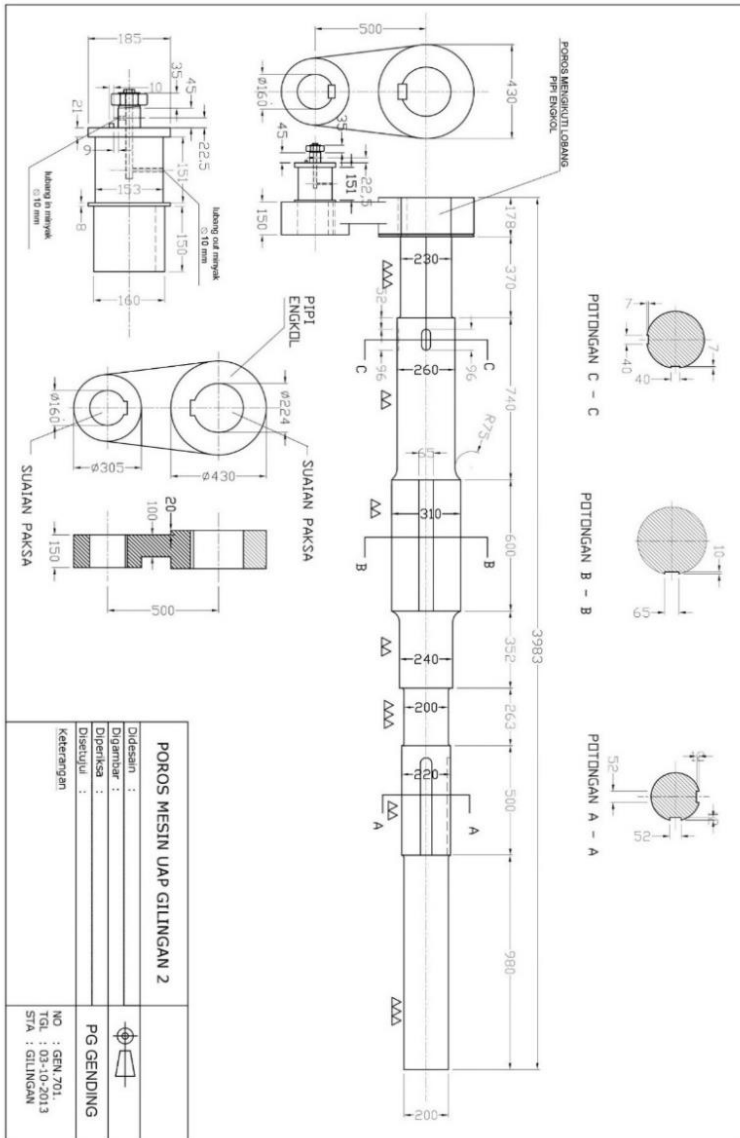
Quenching in water after induction heating at 880°C



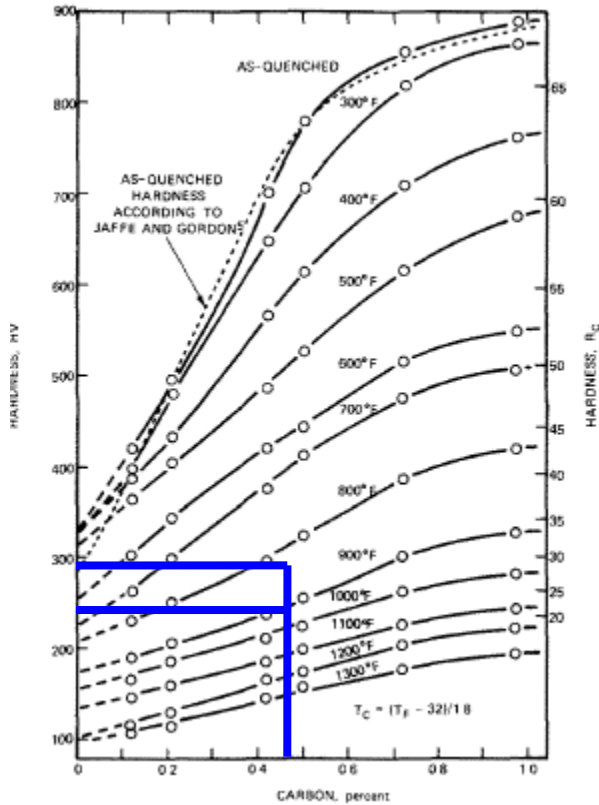
2..Foto posisi shaft



3. Gambar Teknik Shaft



4. Perhitungan hardness after temper



HV_C 427 C=290

HV_C 482 C=240

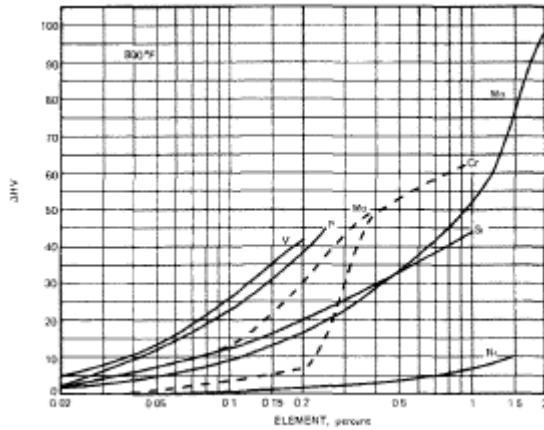


Fig. 12—Effect of elements on the hardness of martensite tempered at 800°F (427°C) for 1 h.

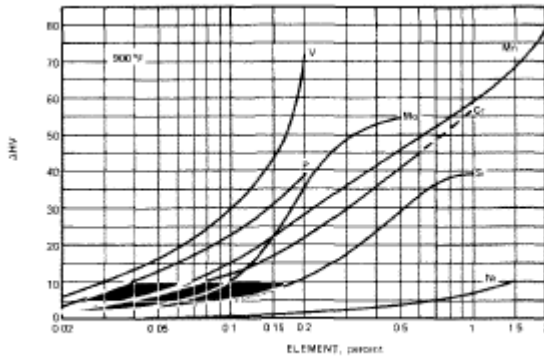


Fig. 13—Effect of elements on the hardness of martensite tempered at 900°F (482°C) for 1 h.

VHN T 427

Mn =33

Si =25

Cr =25

$$\text{VHN T 427} = 290 + 33 + 23 + 25 = 371 \text{ HV}$$

VHN T 482

Mn =50

Si =15

Cr =28

VHN T 482 = 290+50+15+28=333 HV

5.Perhitungan level rule ferrit perlit

$$\alpha = \frac{0,8 - 0,45}{0,8 - 0,008} \times 100\% = 41,18\%$$

$$perlit = \frac{0,45 - 0,008}{0,8 - 0,008} \times 100\% = 59,82\%$$

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT berkat lindungan dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Rasulullah Muhammad SAW berkat ajaran yang membawa umat manusia keluar dari zaman jahiliyah.
3. Kedua orang tua dan adik penulis yang mendukung secara moril, materil, dan doa demi keselamatan dan kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Bapak Ir. Rochman Rochiem M.Sc selaku dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
6. Bapak Alvian Toto Wibisono S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah membimbing, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
7. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI ITS.
8. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang melancarkan Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
10. Bapak Agus Setya Wahyudi, Bapak Ngadiono dan Mas Yugo, selaku pembimbing di Pabrik Gula Gending yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

11. Seluruh mahasiswa Teknik Material dan keluarga MT17 yang telah menemani dan memberikan banyak pengalaman berharga selama perkuliahan.
12. Seluruh pihak yang belum bias dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Nabil Musyaffa' dengan nama panggilan Nabil. Lahir di Gresik pada tanggal 27 September 1996 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis adalah TK Dharma Wanita, MI Futuhatul Ulum, SMP Negeri 1 Gresik, SMA Negeri 1 Gresik dan sedang menempuh pendidikan S-1 di Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama berkuliah di Institut Teknologi Sepuluh

Nopember Surabaya, penulis telah mengikuti berbagai kegiatan rohani, seminar, pelatihan dan organisasi. Penulis pernah mengikuti Latihan Kepemimpinan dan Manajerial Mahasiswa Pra Tingkat Dasar, Penulis pernah menjabat sebagai Staff Ahli Departemen Riset dan Teknologi HMMT ITS.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PTPN XI Pabrik Gula Gending di Divisi Penggilingan pada Juni – Juli 2018. Selama kerja praktek, penulis mendalami topik terkait “Analisis Kegagalan Pinion Z 15 Gilingan pada Mesin Uap I di Pabrik Gula Gending Probolinggo”.

Tugas akhir penulis adalah dalam bidang Metalurgi Manufaktur dengan judul “Analisis Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan *Tempering* pada Baja AISI 1045 yang Di-*Hardening* untuk Aplikasi Poros Mesin Uap”.

Email:nabil.musyaffa.1927@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)