



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA DAIDO PX4**

LAPORAN PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gerla Sarjana Terapan**

HIMAWAN TRIYARSO

40040220655011

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV REKAYASA
PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
NOVEMBER 2022**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN KEKERASAN BAJA DAIDO PX4**

LAPORAN PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gerla Sarjana Terapan**

HIMAWAN TRIYARSO

40040220655011

PROGRAM STUDI DIPLOMA IV REKAYASA PERANCANGAN

MEKANIK

SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

NOVEMBER 2022

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Himawan Triyarso

NIM : 40040220655011

Tanda Tangan : 

Tanggal : November 2022

SURAT TUGAS



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK

Jalan Hayam Wuruk No. 3-49Reburan,
Semarang, Kode Pos 50241
Telepon / Faksimili (024) 8310333
Laman: <http://me.vokasi.undp.ac.id/>
email: me.vokasi@ive.undp.ac.id

TUGAS AKHIR NO. 066/PA/RPM/VI/2022

Dengan ini diberikan Tugas Akhir untuk Mahasiswa berikut :

Nama : Himawan Triyarso
NIM : 40040220655011
Judul Tugas Akhir : **Analisa Pengaruh Temperatur Tempering terhadap Pembentukan Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan pada Baja Daido PX4**

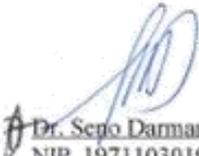
Isi Tugas :

1. Melakukan analisa pengaruh *Tempering* terhadap pembentukan struktur micro baja Daido PX4
2. Melakukan analisa pengaruh *Tempering* terhadap nilai kekerasan baja Daido PX4
3. Menyusun laporan Tugas Akhir.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini, dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang , 27 Mei 2022

 Ketua PSD IV Rekayasa Perancangan mekanik


Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T.
NIP. 197110301998021001

Tembusan :
Dosen Pembimbing

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK

Jalan Hayam Wuruk No. 1, Pekunden,
Semarang, Kode Pos 50244
Telepon / Faksimile (024) 8316333
Laman: <http://me.vokasi.unpd.ac.id>
email: me.vokasi@live.unpd.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN

Telah disetujui Laporan Proyek Akhir mahasiswa Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik yang disusun oleh :

Nama : Himawan Triyarso

NIM : 40040220655011

Judul Tugas Akhir : **Analisa Pengaruh Temperatur Tempering terhadap
Pembentukan Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan
pada Baja Daido PX4**

Disetujui Pada Tanggal : 30 November 2022

Semarang , 30 November 2022
Dosen Pembimbing,

Bambang Setyoko S.T.,M.Eng.
NIP. 196809011998021001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Himawan Triyarso

NIM : 40040220655011

Program Studi : Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik

Judul Tugas Akhir : Analisa Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Daido Px4

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang di perlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (S.Tr) pada Program Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Bambang Setyoko S.T.,M.Eng. ()

Penguji I : Dr. Seno Darmanto S.T.,M.T ()

Penguji II : Drs. Sutrisno, M.T. ()

Semarang, 27 Desember 2022

Ketua PSD IV Rekayasa

Perancangan Mekanik

Dr. Seno Darmanto S.T.,M.T

NIP. 19711030199802

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Himawan Triyarso
NIM : 40040220655011
Program Studi : Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, mnyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-Exclusive Royalty Free Right*) Atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisa Pengaruh Temperatur *Tempering* terhadap Pembentukan Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan pada Baja Daido PX4”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalty/ Non Eksklusif ini Universitas Diponegoro boleh menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 27 Desember 2022

Yang Menyatakan



(Himawan Triyarso)

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

"Belajar dari kemarin, hidup untuk hari ini, berharap untuk hari esok. Yang penting jangan berhenti bertanya." - Albert Einstein.

PERSEMBAHAN

Laporan ini dipersembahkan kepada :

1. Allah Subhanahuwata'ala yang selalu memberikan rahmat dan hidayahNya.
2. Nabi Muhammad Shallallahu alaihiwasalam atas sauri teladannya.
3. Bapak dan Ibu tercinta yang selalu menyayangi, memberikan doa restu serta dukungannya selama ini.
4. Istri dan Anak tercinta yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
5. Bambang Setyoko S.T.,M.Eng. selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan masukan - masukan yang sangat berguna serta ucapan terima kasih atas kesabarannya dalam membimbing kelompok Tugas Akhir kami sampai selesai.
6. Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi DIV Rekayasa Perancangan Mekanik yang telah memberikan kesempatan untuk melanjutkan belajar di prodi ini.
7. Seluruh Staf Program Studi DIV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang yang telah membantu dan memberikan pembelajaran.
8. Teman-teman yang telah banyak membantu tenaga, waktu dan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Daido PX4” ini dengan baik dan lancar. Laporan Tugas Akhir ini disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

Penulis banyak mendapat saran, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak selama menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. Dr. Seno Darmanto, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro;
2. Bambang Setyoko S.T.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing kami yang telah banyak memberikan arahan dan dorongan kepada kami atas terselesainya tugas akhir ini;
3. Didik Ariwibowo, S.T., M.T. selaku dosen wali;
4. Bapak dan Ibu Dosen Tim Penguji Tugas Akhir;
5. Seluruh staf pengajar pada Program Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang yang telah banyak memberikan arahan.
6. Teman - teman yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini hingga selesai.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis sangat menghargai kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan dari laporan ini.

Akhirnya penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

ANALISA TEMPERATUR *TEMPERING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA DAIDO PX4

Baja PX4 adalah material yang banyak digunakan untuk pembuatan cetakan plastik. Dalam pembuatan cetakan plastic ini membutuhkan material dengan keuletan dan tingkat kekerasan tertentu agar dapat diaplikasikan pada mesin. Untuk mencapai spesifikasi dengan kekerasan yang sesuai serta memiliki sifat ulet diperlukan proses *heat treatment* dengan suhu *hardening* dan *tempering* yang sesuai. Pada penelitian ini dilakukan pengujian struktur mikro dan pengujian nilai kekerasan pada baja PX4 yang sudah di *hardening* dengan variasi suhu *tempering* yang berbeda. Ada 4 sampel benda uji yang disiapkan dalam penelitian ini, 1 sampel hanya dilakukan *hardening* pada suhu 950 °C kemudian di *quenching* dengan media oli kemudian 3 sampel lain dilakukan *hardening* pada suhu 950°C kemudian di *quenching* dan *tempering* pada suhu masing – masing 200°C, 400°C, 600°C. Hasil penelitian ini di dapatkan untuk sample yang hanya dilakukan *hardening* pada suhu 950°C mendapatkan nilai kekerasan 42,67 HRc. Untuk sampel yang dilanjut proses *tempering* pada suhu 200°C mendapatkan nilai kekerasan 40,17 HRc, *tempering* pada suhu 400°C mendapatkan nilai kekerasan 38.50 HRc dan terakhir sampel dengan suhu *tempering* 600 °C mendapatkan nilai kekerasn 35,83 HRc. Hasil pengujian yang mendekati ada pada sampel yang dilakukan *hardening* 950°C dan *tempering* 600 °C dibandingkan dengan spesifikasi plastic mould 33 – 35 Hrc.

Kata Kunci : Daido Px4, *Cold working process*, *Tempering*, Mikroskop Metalurgi, *Hardness Rockwell Test*

TEMPERING TEMPERATURE ANALYSIS OF MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF DAIDO PX4 STEEL

PX4 steel is a widely used material for making plastic molds. In making this plastic mold requires material with a certain level of toughness and hardness so that it can be applied to the machine. To achieve specifications with appropriate hardness and ductile properties, a heat treatment process with appropriate hardening and tempering temperatures is required. In this research, microstructure testing and hardness value testing were carried out on hardened PX4 steel with different tempering temperature variations. There were 4 samples of test objects prepared in this study, 1 sample was only hardened at 950 °C then quenched with oil media then 3 other samples were hardened at 950 °C then quenched and tempered at 200 ° respectively C, 400°C, 600°C. The results of this study were obtained for samples that were only hardened at 950°C to get a hardness value of 42.67 HRc. For samples that were continued with the tempering process at 200°C to get a hardness value of 40.17 HRc, tempering at 400°C to get a hardness value of 38.50 HRc and finally the sample with a tempering temperature of 600 °C got a hardness value of 35.83 HRc. The test results were close to the sample hardening 950°C and tempering 600 °C compared to the plastic mold specifications of 33 – 35 Hrc.

Keywords: *Daido Px4, Cold working process, Tempering, Metallurgical Microscopy, Hardness Rockwell Test*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
SURAT TUGAS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah dan Batasannya.....	2
1.2.1 Rumusan Masalah	2
1.2.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Luaran Penelitian	3
BAB II.....	4
2.1 Baja Paduan.....	4
2.2 Pengaruh Unsur Paduan	5
2.3 Baja Mangan	6
2.4 Baja Daido Px4	9
2.4.1 Komposisi Baja Daido Px4	9
2.5 Heat Treatment.....	11
2.6 Pengerasan (<i>Hardening</i>).....	13
2.6.1 Austenitisasi	13

2.6.2	Quenching	15
2.7	Tempering	16
2.8	Bentuk Struktur Mikro	17
BAB III		22
3.1	Diagram Alir Penelitian	22
3.2	Bahan Penelitian.....	23
3.3	Peralatan Penelitian.....	23
3.3.1	Alat Uji Kekerasan	23
3.3.2	Metalurgi Mikroskop.....	24
3.3.3	Tungku Heat Treatment.....	26
3.4	Metode Penelitian.....	27
3.4.1	Persiapan Material Penelitian	27
3.4.2	Perlakuan Panas (Heat Treatment) pada Spesimen Pengujian	27
3.4.3	Pengujian Kekerasan (Hardness Rockwell Test)	29
3.4.4	Pengujian Struktur Mikro	30
BAB IV		32
4.1	Analisa Data	32
4.1.1	Pengamatan Struktur Mikro	32
4.1.2	Hasil Pengujian Kekerasan.....	36
4.2	Pembahasan.....	38
4.2.1	Pengaruh Temperatur <i>Tempering</i> terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan pada Baja Daido PX4	38
4.2.2	Pengaruh Temperatur Tempering terhadap Tensile Strength.....	43
BAB V.....		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA		48
LAMPIRAN.....		51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram fase Fe-Mn	6
Gambar 2. 2 Pengaruh penambahan unsur paduan pada temperatur eutektoid dan kandungan karbon eutektoid	7
Gambar 2. 3 Pengaruh Mn dan C pada daerah austenit	8
Gambar 2. 4 Diagram fasa Fe-Fe ₃ C	12
Gambar 2. 5 Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas	14
Gambar 2. 6 Tiga tahapan pada quenching	16
Gambar 2. 7 Ferrit	18
Gambar 2. 8 Pearlite	18
Gambar 2. 9 Austenite	19
Gambar 2. 10 Ledeburite	19
Gambar 2. 11 Cementite	20
Gambar 2. 12 Bainite	20
Gambar 2. 13 Martensite	21
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	22
Gambar 3. 2 Alat uji rockwell hardness test	24
Gambar 3. 3 Mikroskop metalurgi Novel NJ-160A	25
Gambar 3. 4 Bagian –bagian Mikroskop Metalurgi	26
Gambar 3. 5 Tungku Heat Treatment	26
Gambar 3. 6 Material Sampel Pengujian	27
Gambar 3. 7 Proses Heat Treatment	28
Gambar 3. 8 Titik pengujian kekerasan	30
Gambar 4. 1 Struktur mikro Baja Daido PX4 setelah proses Hardening dengan perbesaran 500X	33
Gambar 4. 2 Struktur Mikro Martensit Temper	33
Gambar 4. 3 Struktur mikro Baja Daido PX4 setelah proses hardening dan tempering 400°C dengan Perbesaran 500X	35
Gambar 4. 4 Hasil pengujian specimen baja SA179	35

Gambar 4. 5 Struktur mikro Baja Daido PX4 setelah proses hardening dan tempering 600 °C dengan Perbesaran 500X.....	36
Gambar 4. 6 Grafik pengaruh kondisi material dengan perlakuan hardening dan terhadap nilai kekerasan.....	37
Gambar 4. 7 Diagram TTT Baja Daido PX4	39
Gambar 4. 8 Perubahan Nilai Kekerasan Dibandingkan Spesifikasi Awal	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Daido Px4	9
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Baja Px4 Sample Benda Uji	23
Tabel 3. 2 Komposisi Etsa	31
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell (HRc)	36
Tabel 4. 2 Standar Kekerasan <i>Injection Moulding</i>	38
Tabel 4. 3 Konversi Nilai Kekerasan (Hrc) ke Tensile Strengt (Mpa)	44

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel 1 Approximate Conversion Value For Steel Rockwell C Hardness (SAE J 417) Revised In 1983 51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja paduan Daido PX4 adalah material yang banyak digunakan untuk pembuatan cetakan plastik (*plastic mould*). Dalam pembuatan cetakan plastic ini membutuhkan material dengan tingkat kekerasan tertentu. Untuk nilai kekerasan cetakan plastik berkisar antara 33 HRC sampai dengan 35 HRC. Selain nilai kekerasan dibutuhkan juga material yang memiliki sifat ulet sehingga dapat menahan deformasi saat diaplikasikan pada mesin *plastic Injection Moulding*. Dalam dunia industri *plastic moulding* pasti digunakan untuk produksi secara massal. Hal ini dikarenakan barang dari material plastik yang dibuat menggunakan *plastic moulding* saat ini sangat besar dan banyak baik itu mulai dari segmen rumah tangga, perkantoran sampai dengan segmen otomotif. Oleh karena itu, penting untuk membuat material yang digunakan untuk membuat *plastic moulding* memiliki keuletan dan kekerasan yang sesuai spesifikasi yang ditentukan.

Baja Daido Px4 diproduksi melalui proses *continuous casting* yang dalam proses pembuatannya memerlukan proses rol (*rolling*) dan proses tempa (*forging*). Material ini mempunyai sifat dan karakteristik khusus, diantaranya tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap abrasi, dan mempunyai mampu mesin yang baik.

Untuk mencapai spesifikasi material *plastic moulding* dengan kekerasan yang sesuai dan memiliki sifat ulet diperlukan proses heat treatment dengan suhu hardening dan tempering yang sesuai. Sehingga pada penelitian kali ini akan

dilakukan pengujian struktur mikro dan pengujian nilai kekerasan pada Baja PX4 yang sudah di *hardening* dengan variasi suhu *tempering* yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah dan Batasannya

1.2.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perbedaan temperatur *tempering* terhadap struktur mikro Baja Daido Px4 ?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan temperatur *tempering* terhadap nilai kekerasan pada Baja Daido Px4 ?
3. Bagaimanakah perlakuan panas yang paling sesuai untuk mencapai kekerasan dan sifat mekanik plastic moulding?

1.2.2 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Komposisi kimia pada setiap material uji diasumsikan sama.
2. Proses pendinginan material dengan oli.
3. Pengaruh lingkungan diabaikan.
4. Cacat pada material uji diasumsikan tidak ada.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perbedaan struktur mikro Baja Daido Px4 yang dilakukan beberapa variasi suhu *tempering*.
2. Mengetahui kekerasan Baja Daido Px4 yang dilakukan beberapa variasi suhu *tempering*.
3. Untuk mendapatkan perlakuan panas yang sesuai guna pembuatan *plastic moulding*.

1.4 Luaran Penelitian

Pelaksanaan Tuga Akhir akan menghasilkan luaran, yaitu:

1. Laporan Tugas Akhir
2. Alat Skala Laboratorium
3. Artikel Ilmiah

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Paduan

Baja pada dasarnya adalah paduan besi-karbon, dengan kadar karbon kurang dari 2%. Selain terdiri dari karbon, baja juga terdiri dari unsur lain, sebagian berasal dari pengotor pada bijih besi (belerang dan fosfor), yang biasanya kadarnya ditekan serendah mungkin, sebagian lagi dari unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi/baja (silikon dan mangan). Berdasarkan komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan. Baja karbon, selain terdiri dari besi dan karbon juga terdiri dari mangan kurang dari 0,8%, silikon kurang dari 0,5%, dan unsur lain yang sangat sedikit. Baja paduan adalah baja karbon yang ditambahkan unsur-unsur tertentu dengan tujuan modifikasi sifat mekanik yang diinginkan (*Avner, 1974*).

Baja paduan terdiri dari dua jenis yaitu baja paduan rendah dan baja paduan tinggi. Baja paduan rendah (*Low alloy steel*) adalah baja paduan dengan kadar unsur kurang dari 10%, mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kadar yang sama, selain itu mempunyai keuletan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama, *hardenability* dan sifat tahan korosi lebih baik. Baja paduan tinggi (*High alloy steel*) adalah baja paduan dengan kadar unsur lebih dari 10%, pada umumnya mempunyai sifat khusus tertentu seperti baja tahan karat, baja perkakas, baja tahan panas, dan lain-lain (*Avner, 1974*).

2.2 Pengaruh Unsur Paduan

Baja karbon memiliki kelebihan seperti kemudahan pada perlakuan panas dan harga murah, tetapi juga memiliki keterbatasan, seperti *hardenability* rendah, ketahanan oksidasi dan korosi rendah, kekuatan rendah pada temperatur tinggi. Di lain sisi, baja paduan digunakan karena memiliki sifat-sifat yang tidak bisa diperoleh dari baja karbon. Maka dari itu, sangat penting untuk menentukan unsur paduan dan komposisi unsur yang sesuai untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan. Unsur-unsur paduan ditambahkan pada baja untuk beberapa tujuan, seperti berikut:

1. Meningkatkan *hardenability*.
2. Meningkatkan ketahanan pada korosi dan oksidasi.
3. Meningkatkan sifat pada temperatur tinggi.
4. Meningkatkan ketahanan pada abrasi.

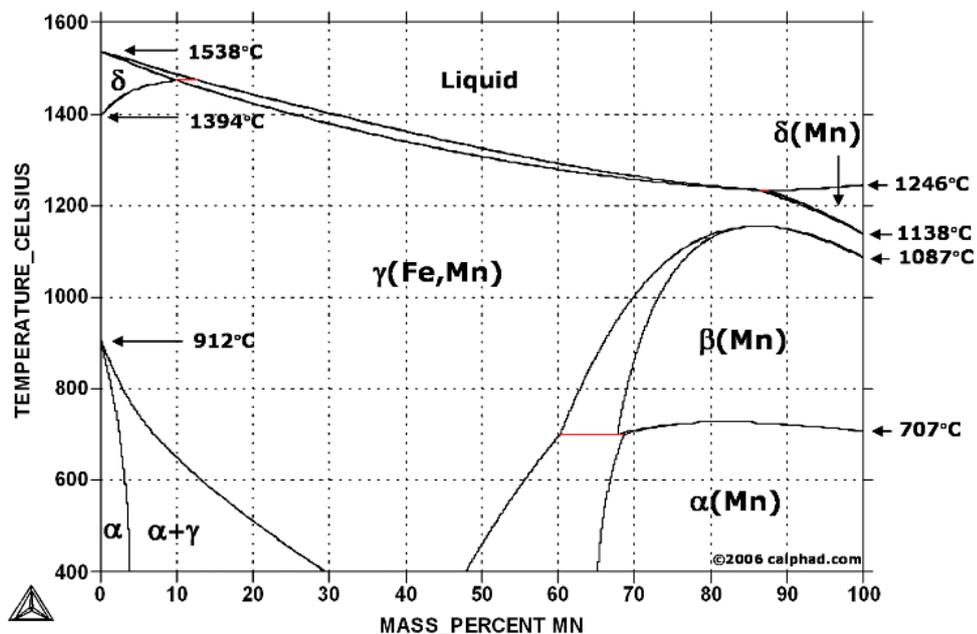
Unsur-unsur paduan yang ditambahkan pada baja karbon secara umum dapat mempengaruhi beberapa hal berikut, seperti:

1. Unsur paduan dapat membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik.
2. Unsur paduan dapat mengubah temperatur transformasi fasa terjadi.
3. Unsur paduan dapat mengubah kelarutan karbon dalam austenit dan *Ferrite*
4. Unsur paduan dapat mengubah laju reaksi transformasi austenit menjadi produk dekomposisi dan laju pelarutan sementit menjadi austenit selama pemanasan.
5. Adanya unsur paduan dapat mengurangi penghalusan pada *tempering*.

2.3 Baja Mangan

Mangan merupakan salah satu unsur yang selalu ada pada baja sebagai deoksidiser. Mangan mengurangi kecenderungan terjadinya *hot shortness* yang ditimbulkan oleh belerang (S). Mangan mencegah terjadinya FeS yang membentuk eutektik dengan besi yang menghasilkan baja mengalami *hot shortness* (kegetasan baja pada rentang *hot forming*). Mangan dan belerang berikatan membentuk MnS, yang memiliki titik lebur tinggi, kemungkinan terjadi retak pada pengerjaan ditemperatur tinggi dapat dicegah.

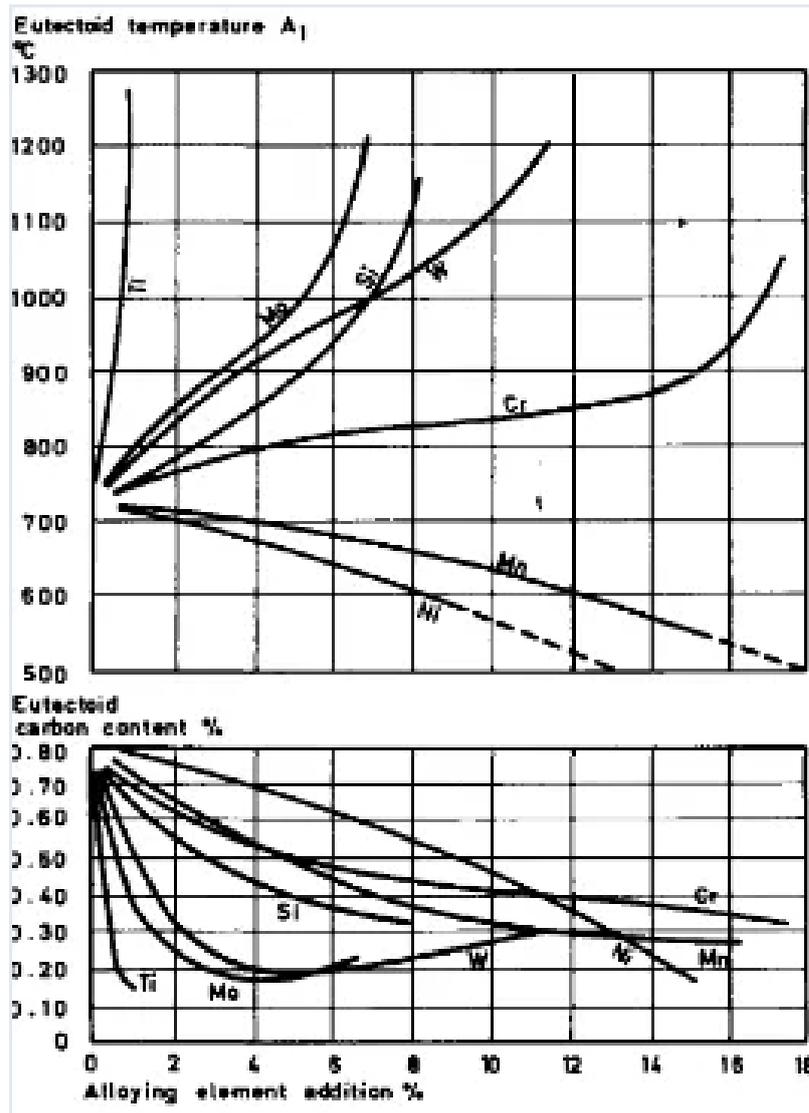
Baja dikatakan baja paduan mangan bila mengandung Mn lebih dari 0,8%. Unsur mangan bila dipadukan dengan unsur Fe menghasilkan diagram fasa seperti pada Gambar 2.1. Bila dilihat dari diagram fase Fe-Mn, pada kandungan Mn lebih dari 0,8% cenderung larut pada Fe dengan membentuk larutan pada (*solid solution*) berupa α atau γ atau kombinasi keduanya.



Gambar 2. 1 Diagram fase Fe-Mn

(Thelning, 1984)

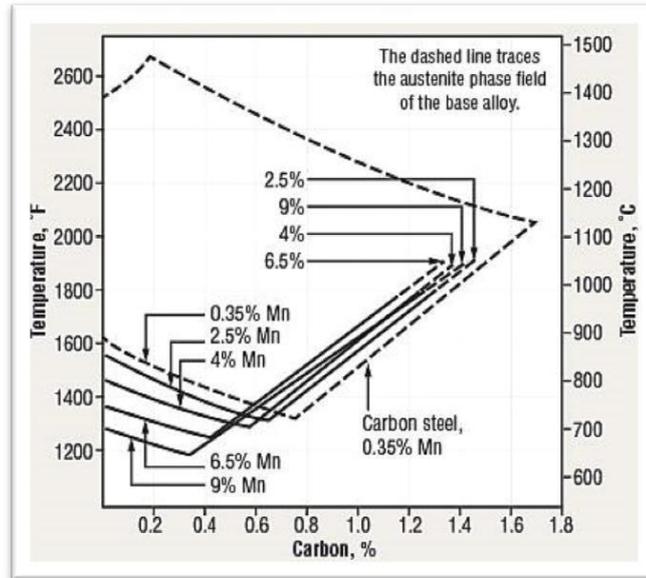
Mangan menaikkan kekuatan dan kekerasan, dan ini lebih efektif pada kadar karbon yang lebih tinggi. Mangan merupakan penstabil austenit sehingga unsur paduan ini akan membuat austenit lebih stabil pada temperatur yang lebih rendah. Adanya unsur Mn menurunkan temperatur kritis dan mengurangi kadar karbon pada eutektoid, seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Pengaruh penambahan unsur paduan pada temperatur eutektoid dan kandungan karbon eutektoid

(Thelning, 1984)

Pengaruh unsur seperti mangan, pada temperatur transformasi dan komposisi eutektoid seperti pada Gambar 2.3. Pada kasus ini, posisi normal temperatur kritis dinyatakan garis putus-putus. Temperatur kritis semakin rendah dan eutektoid terjadi dengan komposisi karbon yang lebih rendah dari komposisi karbon normal. Temperatur kritis akan turun lebih jauh ketika jumlah unsur paduan Mn meningkat.



Gambar 2. 3 Pengaruh Mn dan C pada daerah austenit
(Thelning, 1984)

Pengaruh unsur mangan tidak hanya mengubah temperatur transformasi austenit menjadi *Pearlite* pada kondisi setimbang tetapi juga temperatur pada transformasi struktur yang lain. Pengaruh sebagian besar unsur paduan adalah pada laju pendinginan kritis yang lebih rendah daripada laju pendinginan pada baja karbon. Hal ini karena diagram transformasi isothermal bergeser kekanan, sehingga membutuhkan waktu yang lebih banyak untuk memulai dan mengakhiri transformasi austenit (Clark, 1962).

2.4 Baja Daido Px4

Material Px4 Mod. merupakan material substitusi impor yang digunakan untuk kebutuhan material cetakan plastik. Saat ini, cetakan plastik (plastic mold) dalam pembuatannya memerlukan material standar dengan ukuran tertentu. Dalam pembuatan komponen cetakan (mold) umumnya menggunakan material berbentuk batang atau balok (bloom) dibentuk dengan proses permesinan dari awal sampai akhir, sehingga memerlukan waktu yang cukup lama.

Komponen plastik sangat dominan dalam industri manufaktur khususnya otomotif, dalam pembuatannya diperlukan cetakan yang terbuat dari material Daido PX4 untuk molding jenis injeksi plastik (*plastic injection*).

Baja Daido Px4 diproduksi melalui proses *continuous casting* yang dalam proses pembuatannya memerlukan proses rol (*rolling*) dan proses tempa (*forging*). Material ini mempunyai sifat dan karakteristik khusus, diantaranya tahan terhadap temperature.

2.4.1 Komposisi Baja Daido Px4

Komposisi kimia baja daido Px4 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Daido Px4

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
0.35- 0.45	0.2- 0.4	1.3- 1,6	1.8- 2.1	0.9- 1,0	0.15- 0,3	<0,010	<0,01 0

1. Silikon

Silikon selain meningkatkan kekuatan *Ferrite*, juga adalah deoksidator kuat.

Dengan bergabung dengan unsur-unsur lain, silikon akan ikut memberikan efek

peningkatan ketangguhan dan homogenisasi nilai keras di dalam baja sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan mampu keras.

2. Mangan

Mangan adalah unsur terpenting kedua setelah karbon. Walaupun tidak sekuat carbon, tetapi bertambahnya kadar mangan di dalam baja juga akan meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik, dan menurunkan kekenyalan. Unsur ini secara signifikan akan menaikkan mampu keras.

3. Phospor

Phospor ada di dalam baja dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan luluh dan mengurangi kekenyalan pada suhu rendah, selain juga untuk meningkatkan ketahanan korosi atmosfer dan mampu permesinan". Kadar phospor pada baja umum kecil.

4. Sulfur

Perlakuan panas, kehadiran sulfur akan mampu permesinan dengan kadar (0,06 - 0,30)%.

5. Tembaga

Tembaga dengan kadar (0,15 — 0,25)%, akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh serta akan sedikit menurunkan kekenyalan. Sedangkan dengan kadar (0,20-0,50)% akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi atmosfer.

6. Nikel

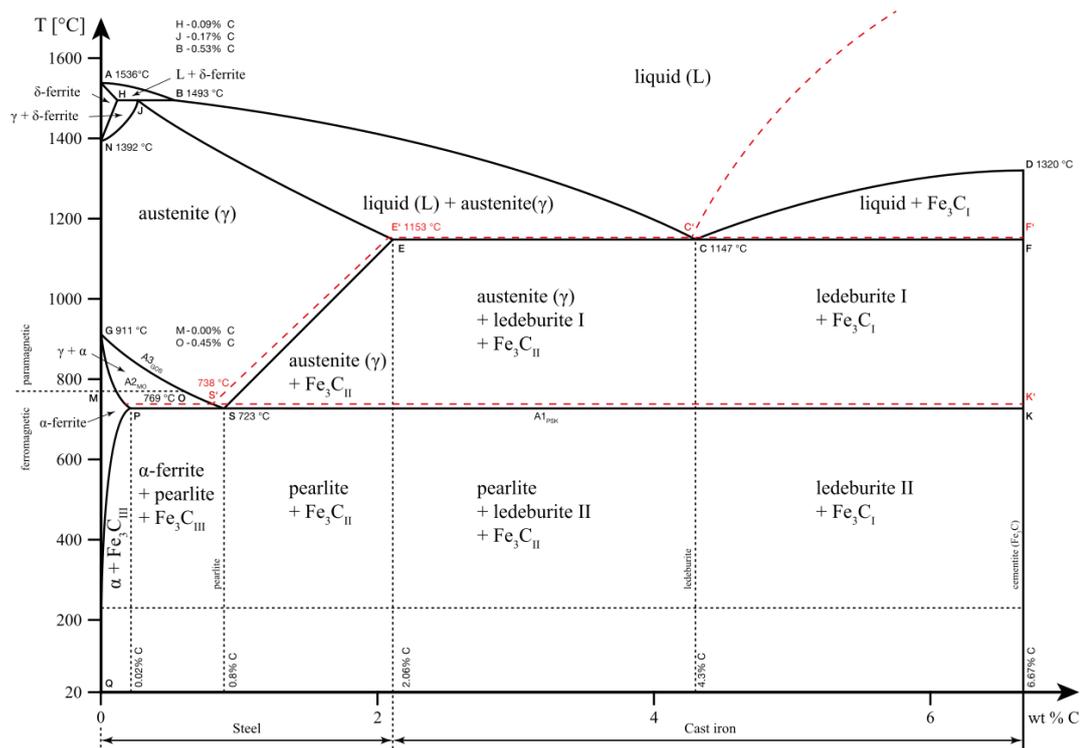
Nikel secara umum ada di dalam baja dengan kadar (1,0 — 4,0)%, walaupun untuk tujuan tertentu dapat ditambahkan sampai maksimal 36%.

7. Chrom

Chrom mempunyai kecenderungan meningkatkan mampu keras, ketangguhan, ketahanan aus, ketahanan terhadap timbulnya nod austained, dan juga ketahanan terhadap korosi.

2.5 Heat Treatment

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Adanya sifat *alotropik* dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam. *Alotropik* itu sendiri adalah merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Pada temperatur dibawah 910°C sel satuannya *Body Center Cubic* (BCC), temperatur antara 910°C dan 1392°C sel satuannya *Face Center Cubic* (FCC) sedangkan temperatur diatas 1392°C sel satuannya kembali menjadi BCC. Perubahan Struktur mikro pada proses Heat Treatment dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 2. 4 Diagram fasa Fe-Fe₃C

(Nugroho, 2017)

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C dan fasa - fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas - batas temperature kritis pada diagram Fe - Fe₃C.

- A1 adalah temperatur reaksi eutektoid yaitu perubahan fasa γ menjadi α +Fe₃C (*Pearlite*) untuk baja hypoeutectoid.
- A2 adalah titik Currie (pada temperatur 769 oC), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.
- A3 adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi α (*Ferrite*) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

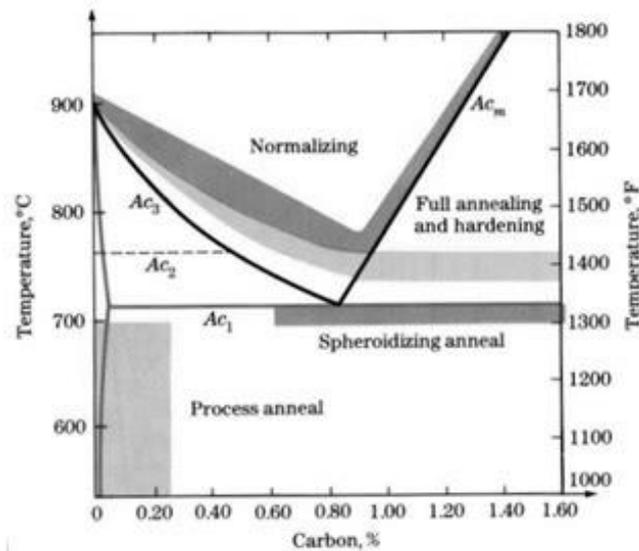
- d. Acm adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi Fe_3C (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.

2.6 Pengerasan (*Hardening*)

Baja dikeraskan dengan austenitisasi, pendinginan cepat (*quenching*), dan kemudian *tempering* untuk mencapai kekerasan akhir. Baja memiliki komposisi yang berbeda-beda maka dari itu penting untuk memahami ketebalan maksimum yang dapat dikeraskan pada suatu media pendingin yang spesifik, misalnya air atau minyak, dan memperkirakan variasi kekuatan akhir dan keuletan yang dapat diperoleh pada temperatur *tempering* yang berbeda-beda. Prosedur untuk *quenching* dan *tempering* seperti pada Gambar 2.6. *Tempering* tidak digunakan untuk mengeraskan baja. Baja dikeraskan dengan austenitisasi dan *quenching*. *Tempering* dilakukan untuk mengembalikan keuletan yang hilang saat dikeraskan dan biasanya penghalusan (*softening*) diperoleh dengan *tempering*.

2.6.1 Austenitisasi

Pada proses austenitisasi, baja dipanaskan sampai daerah austenit (γ) dan ditahan selama beberapa waktu tertentu untuk melarutkan karbida sampai menjadi larutan padat austenit. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan austenitisasi pada kadar karbon tertentu seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Rentang temperatur austenitisasi pada perlakuan panas
(Campbell, 2008)

Peningkatan kadar karbon, temperatur berkurang sepanjang garis Ac_3 sampai mencapai minimum pada Ac_1 , komposisi eutektoid (0,8%), dan kemudian meningkat sepanjang garis Ac_m . Tahap pertama pada pembentukan austenit adalah nukleasi dan pertumbuhan austenit dari *Pearlite* (*Ferrite*+ Fe_3C). Pembentukan austenit yang homogen dapat dipercepat dengan meningkatkan temperatur dan meningkatkan kehalusan partikel karbida mula-mula. Meskipun begitu, temperatur austenitisasi perlu dijaga serendah mungkin untuk mengurangi retak dan distorsi, mengurangi oksidasi dan dekarburisasi, dan mengurangi pertumbuhan butir (Campbell, 2008).

Temperatur yang dibutuhkan untuk mencapai 100% austenit pada baja hipereutektoid cukup tinggi, meskipun begitu austenit untuk pengerasan pada baja dapat diperoleh pada temperatur sekitar 770°C. Karbida yang tidak terlarut dalam jumlah kecil memiliki pengaruh yang kecil pada sifat mekanik akhir baja.

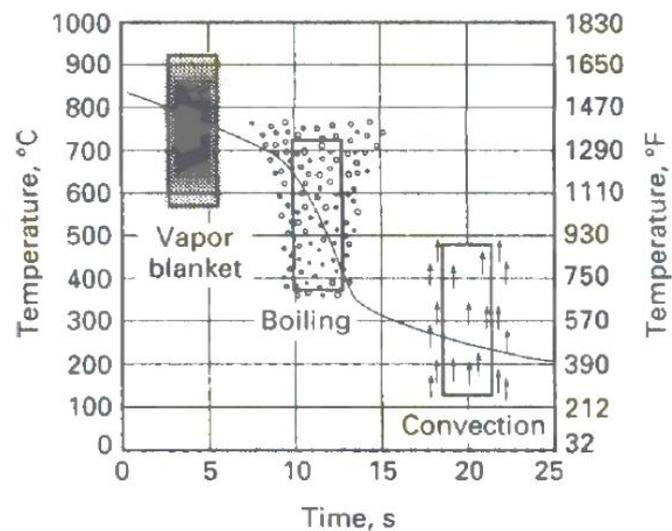
2.6.2 Quenching

Proses perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan beberapa waktu tertentu pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat (*quenching*), sehingga diperoleh martensit. Pada suatu benda kerja yang dikeraskan maka kekerasan yang terjadi akan tergantung pada seberapa banyak martensit yang terbentuk dan kekerasan martensit itu sendiri. Banyaknya martensit yang akan terjadi tergantung pada seberapa banyak austenit yang terjadi pada saat pemanasan dan seberapa cepat pendinginannya sedangkan kekerasan martensit tergantung pada kadar karbon dalam baja yang terlarut dalam austenit.

Pada saat baja didinginkan secara cepat dari temperatur austenitisasi (*quench*), karbon tidak memiliki waktu untuk berdifusi dari struktur mikro austenit ketika struktur ini bertransformasi menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*), struktur ini disebut martensit. Proses *quenching* merupakan proses mendinginkan pada laju pendinginan tertentu untuk membentuk martensit. Distorsi struktur BCT menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi pada baja yang di-*quench*. Beberapa baja di-*quench* dengan air atau oli untuk menghasilkan laju pendinginan yang cukup. Pendinginan dengan air menghasilkan laju pendinginan tercepat juga menghasilkan tegangan sisa yang paling tinggi sehingga dapat menghasilkan distorsi dan retak.

Terdapat tiga tahapan hilangnya panas selama *quenching* pada media liquid, seperti pada Gambar 2.6, yaitu *vapor blanket*, *nucleate boiling*, dan *liquid cooling*. Tahap *vapor blanket* memiliki karakteristik dengan uap air menyelimuti benda kerja. Hal ini terjadi karena suplai panas dari bagian dalam benda kerja

yang menuju permukaan melebihi jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *quenchant* dan menghasilkan fasa uap air. Laju pendinginan tertinggi terjadi pada tahap *nucleate boiling*. Selama periode ini uap air terlepas dan laju ekstraksi panas yang dihasilkan berhubungan dengan pendidihan inti (*nucleate boiling*) dari *quenchant* pada logam. Panas secara cepat dilepas dari permukaan akibat kontak cairan pendingin pada logam dan kemudian menguap. Tahap *liquid cooling* dimulai ketika temperatur permukaan logam berkurang sampai dibawah titik didih cairan *quenching*. Dibawah temperatur ini, pendinginan terjadi dengan mekanisme konduksi dan konveksi pada *quenchant*.



Gambar 2. 6 Tiga tahapan pada quenching
(ASM Metal Handbook, Vol4, Heat Treatment)

2.7 Tempering

Tempering adalah proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan sampai temperatur dibawah temperatur kritis terendah (A1), lalu didinginkan pada laju yang diinginkan. Proses ini bertujuan untuk mengembalikan sebagian keuletan/ketangguhan, berakibat turunnya kekerasan, dan melepas tegangan dalam

untuk memperoleh keuletan yang lebih baik (Clark, 1962). Struktur martensit dihasilkan dari proses *quenching*, maka dari itu ada tegangan internal besar, diperoleh dari transformasi martensit, sehingga keuletan berkurang. *Tempering* dapat meningkatkan keuletan dan ketangguhan, yang sangat penting untuk meningkatkan penyerapan energi impak dan struktur martensit temper menghasilkan kekuatan dinamik yang baik pada baja (LI Hong-ying, 2013)

Martensit merupakan suatu struktur yang metastabil, bila dipanaskan kembali secara bertahap karbon yang terperangkap dalam struktur BCT dari martensit tersebut akan keluar menjadi karbida sehingga BCT akan menjadi BCC, ferrit. Proses pemanasan kembali dan pendinginan lambat yang mengikutinya dinamakan *tempering*.

Tempering dilakukan dengan memanaskan suatu baja yang memiliki struktur mikro martensit sampai temperatur dibawah eutektoid dalam waktu tertentu. Pada umumnya *tempering* dilakukan pada temperatur antara 200 °C sampai 650 °C, meskipun tegangan internal dapat lepas pada temperatur sekitar 200 °C.

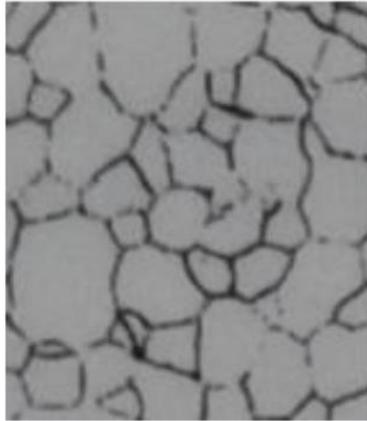
2.8 Bentuk Struktur Mikro

Pada setiap perlakuan Heat Treatment perubahan struktur mikro dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Struktur yang terlihat pada mikroskop disebut mikrostruktur. Berikut adalah struktur mikro yang terbentuk sesuai Diagram Fasa Fe-Fe₃C :

1. Ferrit

Ferrit yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir

- butir kristal yang padat. Berwarna putih terang, kekerasan dari *Ferrite* berkisar antara 140 - 180 HVN (Vicker Hardness Number). Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing).



Gambar 2. 7 Ferrit
(*Petzow, 1999*)

2. Pearlite

Pearlite yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha - ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%. Berbentuk pipih atau berlapis. Berwarna kehitaman. Sifat mekanis lunak.



Gambar 2. 8 Pearlite
(*Petzow, 1999*)

3. Austenite

Austenite yaitu larutan padat interstisial karbon dalam besi γ dengan kadar karbon 2%. Berbentuk padatan seperti plat, berwarna abu - abu terang. Mempunyai struktur kristal FCC (Face Cetered Cubic). Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni).



Gambar 2. 9 Austenite
(*Petzow, 1999*)

4. Ledeburite

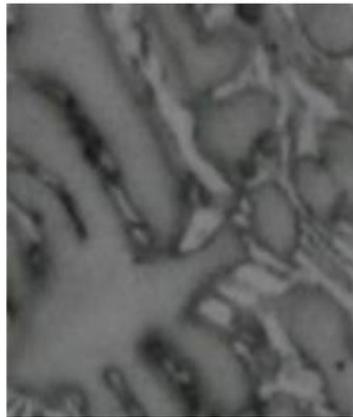
Ledeburite yaitu suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite dengan kadar karbon 4,3%. Berbentuk berbutir - butir. Berwarna putih dengan bitnik - bintik hitam. Sifat mekanis keras.



Gambar 2. 10 Ledeburite
(*Petzow, 1999*)

5. Cementite

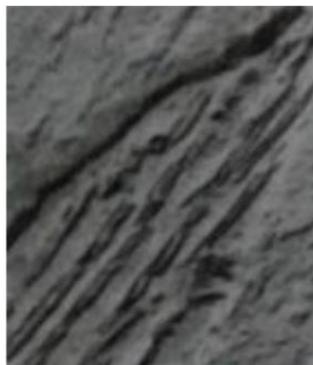
Cementite yaitu karbida besi Fe_3C merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%. Berbentuk jaringan (network). Berwarna putih. Sifat mekanis sangat keras dan getas.



Gambar 2. 11 Cementite
(*Petzow, 1999*)

6. Bainite

Bainite yaitu acicular mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550°C dengan kadar karbon $<0,5\%$. Berbentuk jarum - jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain. Berwarna abu - abu gelap. Sifat mekanis sangat keras dan getas.



Gambar 2. 12 Bainite
(*Petzow, 1999*)

7. Martensite

Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon $>0,5\%$. Berbentuk jarum - jarum pendek. Berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras.



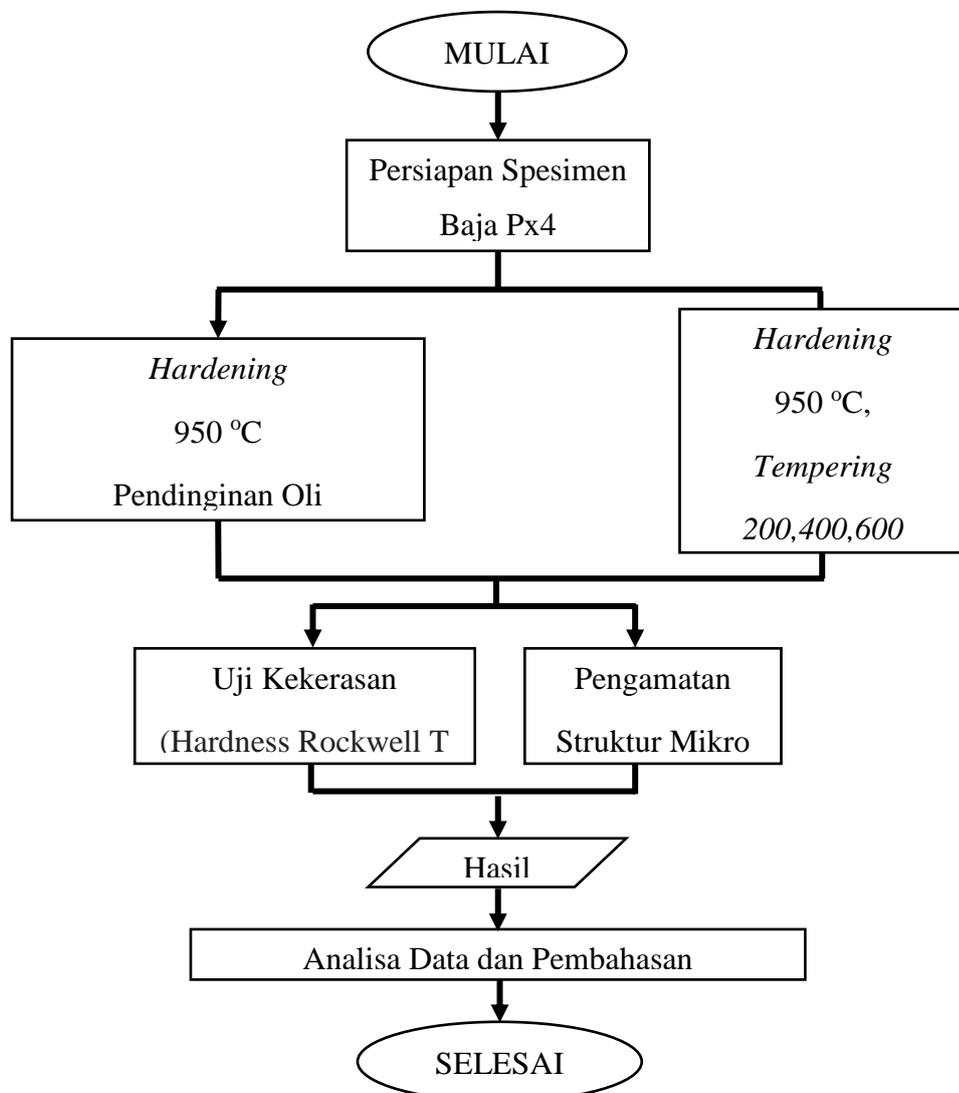
Gambar 2. 13 Martensite
(*Petzow, 1999*)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan terdiri dalam beberapa tahapan. Agar penelitian dapat berjalan dengan maksimal dan memperoleh hasil yang akurat maka disusun tahapan penelitian dalam diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah baja Daido PX 4 yang diperoleh dari PT. Daido Steel Indonesia. Berikut komposisi baja yang akan digunakan untuk penelitian.

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Baja Px4 Sample Benda Uji

Unsur	Berat (%)
C	0,44
Si	0,4
Mn	1,5
P	0,01
S	0,01
Cr	1,9
Mo	0,27
Ni	0,7
W	-
V	-

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut,

3.3.1 Alat Uji Kekerasan

Alat uji kekerasan yang digunakan adalah *Rockwell Hardness Test*.

Spesifikasi :

1. Rockwell
2. HardnessTesterHR-150A
3. Preload 98,1N (10kg)
4. Beban pengujian : 588,4N (60kg) , 980,7N (100kg), 1471N (150kg)
5. Skala Rockwell : 20 – 88 HRA. 20 – 100 HRB. 20 – 70 HRC.
6. Tinggi maksimum sampel uji : 170 mm.
7. Kedalaman maksimum sampel uji : 165 mm. Dimensi instrumen : (466 X 238 X 460) mm Berat pas : 65 kg

8. Tenaga : Listrik (220 V, 50 – 60 Hz)



Gambar 3. 2 Alat uji rockwell hardness test

3.3.2 Metalurgi Mikroskop

Mikroskop yang digunakan adalah Novel NJ-160A Spesifikasi Mikroskop

Metalurgi :

Spesifikasi :

1. Perbesaran objective (50X, 100X , 200X, 500X)
2. Optional objective 1000X
3. Tidak ada perbesaran *zoom range*
4. Perubahan perbesaran dengan merubah posisi objective
5. *Working Distance* (jarak antara lensa dan sample) sangat pendek
6. Menggunakan Cahaya dari atas (kecuali seri MT8000)
7. Aplikasi untuk micro structure grain size, particle Size, metalurgical phase analysis
8. Optional Metalurgi analysis software (Standrad ASTM)

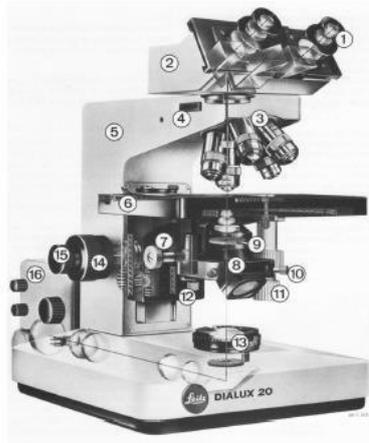


Gambar 3. 3 Mikroskop metalurgi Novel NJ-160A

Bagian – Bagian Mikroskop Metalurgi :

1. Eyepiece lens
2. Binocular head
3. Revolving objective lenses
4. Filter support
5. Truss
6. Subject-table
7. Condenser height adjustment
8. Condenser
9. Aperture adjustment
10. Condenser centralizer
11. Subject movement x-direction
12. Subject movement y-direction
13. Illumination aperture
14. Rough contrast adjustment
15. Fine contrast adjustment

16. Lamp housing



Gambar 3. 4 Bagian –bagian Mikroskop Metalurgi

3.3.3 Tungku Heat Treatment

Spesifikasi Tungku *Heat Treatment*

1. Merk : Hoffman
2. Type : K1
3. Tahun Pembuatan : 1991
4. Temperatur Alat : 20 °C – 950 °C



Gambar 3. 5 Tungku Heat Treatment

3.4 Metode Penelitian

Didalam diagram alir tersebut material yang digunakan untuk penelitian adalah Baja Daido PX4. Penelitian akan berfokus pada pengaruh perbedaan temperatur *tempering* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk. Adapun tahapan pengujian adalah sebagai berikut :

3.4.1 Persiapan Material Penelitian

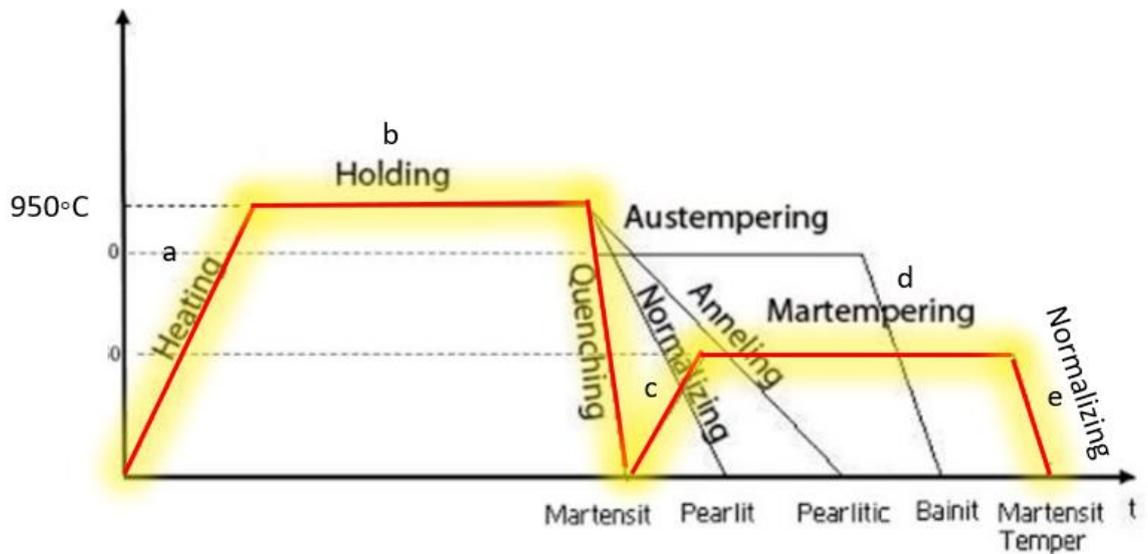
Mempersiapkan material Baja Daido Px4 untuk spesimen dalam pengujian. Terdapat empat macam spesimen yang akan diuji dengan perlakuan masing – masing spesimen berbeda. Untuk memudahkan dalam pengujian maka spesimen diberi nama spesimen F1,F2,F3,F4 Gambar 3.6 menunjukkan material sampel yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 3. 6 Material Sampel Pengujian

3.4.2 Perlakuan Panas (Heat Treatment) pada Spesimen Pengujian

Proses ini bertujuan untuk mengubah struktur mikro suatu material agar diperoleh sifat mekanik sesuai dengan yang diinginkan. Pada penelitian ini dilakukan proses *Tempering* sesuai gambar 3.4 berikut :



Gambar 3. 7 Proses Heat Treatment

1. Heating

Heating adalah proses pemanasan spesimen yang bertujuan untuk membuat spesimen mencapai temperature austenite dimana pada penelitian ini spesimen dipanaskan pada suhu 950°C.

2. Holding

Holding adalah penahanan temperature spesimen yang bertujuan untuk membuat temperature pemanasan merata pada semua bagian spesimen. Pada penelitian ini suhu spesimen ditahan pada suhu 950 °C selama 60 menit.

3. Quencing

Quencing merupakan proses pendinginan yang dilakukan secara cepat, pada penelitian ini media yang digunakan adalah oli. Tujuan dari quencing yaitu memperhalus atau memperkecil ukuran butir sehingga menghasilkan sifat yang keras. Fasa akhir martensite.

Oli digunakan karena tingkat keretakannya rendah daripada air garam dan air dan oli sulit menguap. Jika spesimen didinginkan di oli maka

yang media yang panas hanya disekitar spesimen, sedangkan jika menggunakan air dan air garam maka media tersebut akan cepat menguap dan wadah akan panas juga. Jika diurutkan berdasarkan viskositas maka nilai viskositas tertinggi adalah oli, air, air garam. Jika diurutkan berdasarkan masa jenis maka nilai masa jenis tertinggi adalah air garam (1025 kg/m^3), air (1000 kg/m^3), oli (800 kg/m^3).

4. Tempering

Tempering adalah proses perlakuan panas untuk menghilangkan kegetasan material dengan cara pemanasan kembali. Pada penelitian ini terdapat 4 spesimen uji, 1 spesimen hanya dilakukan proses hardening dan 3 spesimen dilakukan proses Tempering. Spesimen yang dilakukan proses Tempering selanjutnya dinamakan specimen F2, Spesimen F3 dan Spesimen F3. Spesimen F2 dilakukan Tempering pada suhu 200°C dengan waktu holding selama 30 menit, Spesimen F3 dilakukan Tempering pada suhu 400°C dengan waktu holding selama 30 menit, Spesimen F4 dilakukan Tempering pada suhu 600°C dengan waktu holding selama 30 menit.

5. Normalizing

Normalizing merupakan salah satu proses pendinginan untuk menentukan sifat mekanik yang di inginkan. Pendinginan dilakukan di udara terbuka pada temperatur kamar dengan tujuan untuk mengembalikan ukuran butir. Fasa akhir pearlite halus.

3.4.3 Pengujian Kekerasan (Hardness Rockwell Test)

Setelah persiapan masing – masing spesimen selesai dilakukan perlakuan panas. Langkah berikutnya yaitu melakukan pengujian kekerasan.

Pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan masing – masing spesimen. Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan menggunakan *Hardness Rockwell Test*. Pengujian kekerasan pada masing – masing spesimen dilakukan di tiga titik yaitu 2 titik ada samping dan 1 titik berada di tengah sempel, lihat gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Titik pengujian kekerasan

3.4.4 Pengujian Struktur Mikro

Setelah pengujian kekerasan selesai dilanjutkan dengan pengujian struktur mikro pada masing – masing spesimen dengan menggunakan alat mikroskop metalurgi. Pengujian struktur mikro diharapkan dapat menampilkan hasil perbedaan struktur masing – masing spesimen yang sudah melalui perlakuan *hardening* dan *tempering*. Sehingga hasil dari pengujian struktur mikro dapat digunakan untuk proses analisa dan mengetahui sifat mekanik masing – masing spesimen. Dalam proses pengujian struktur mikro diperlukan cairan etsa. Pengetsaan berfungsi untuk melihat lebih jelas struktur mikro yang terbentuk pada spesimen. Pada pengujian struktur mikro etsa yang digunakan adalah Nital 4%. Berikut tabel komposisi cairan etsa.

Tabel 3. 2 Komposisi Etsa

Nama Etsa	Komposisi
Nital 4%	100 mL nitrid acid (HNO ₃)
	100 mL ethanol

Selanjutnya benda dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop *metallurgy* untuk mengetahui hasil struktur mikro. Langkah terakhir adalah melakukan analisa terhadap masing – masing spesimen dan komparasi dari hasil pengamatan.

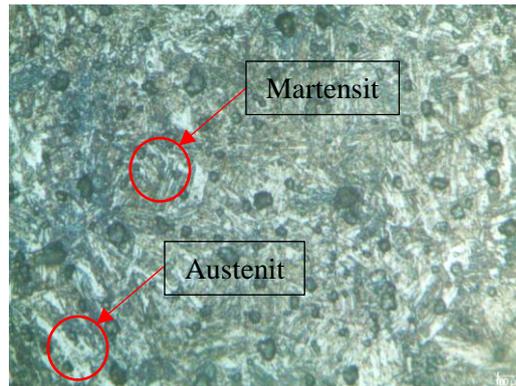
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

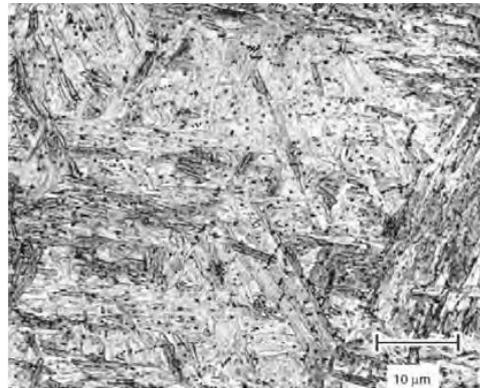
4.1 Analisa Data

4.1.1 Pengamatan Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro baja Daido PX4 dengan perlakuan hardening pada temperatur 950°C dan waktu tahan 60 menit kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan media pendingin oli dapat dilihat pada Gambar 4.1 Struktur yang terlihat adalah mertensite dan austenite sisa. Struktur martensit terbentuk karena proses pendinginan yang cepat pada temperatur austenit. Proses pendinginan cepat tidak 100% menghasilkan struktur martensit tetapi juga menghasilkan retained austenite. Retained austenit adalah austenite yang tidak mengalami transformasi menjadi martensit saat pendinginan cepat atau kita dapat menyebutnya austenit sisa. Penyebab terbentuknya retained austenit adalah karena pada saat proses quenching tidak mencapai M_f (Martensit Finish) pada diagram CCT (Continuous Cooling Temperatur), hal ini dapat diakibatkan oleh rendahnya temperature (Martensit finish) kerana pengaruh dari unsur paduan. Namun austenite sisa sering kali tidak dapat terlihat pada struktur mikro dikarenakan jumlahnya yang sedikit. Sebagai refrensi dapat dilihat struktur martensit pada Gambar 4.2 yang menunjukkan gambar struktur mikro martensit dimana strukturnya terdiri atas martensit dengan bilah yang kasar dan butiran – butiran karbida.



Gambar 4. 1 Struktur mikro Baja Daido PX4 setelah proses Hardening dengan perbesaran 500X



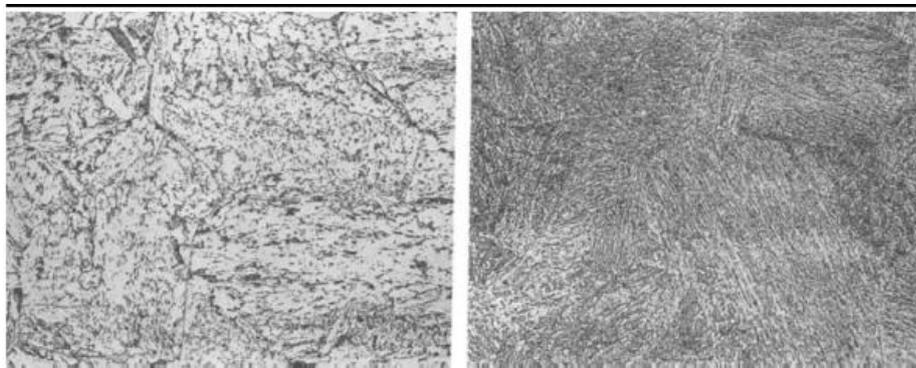
Gambar 4. 2 Struktur Mikro Martensit

(Suryana : 2016)

Pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan perlakuan hardening pada temperatur 950 °C dan waktu tahan 60 menit kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan media pendingin air (quenching). Setelah itu spesimen dilakukan proses tempering pada temperatur 200 °C dengan waktu tahan 30 menit dan dilanjutkan dengan proses pendinginan dengan media pendingin udara. Gambar 4.3. Hasil pengamatan material baja as-tempered 200°C, struktur mikro yang terbentuk adalah *Bainit Temper*. Sebagai rujukan dalam menganalisa foto struktur dapat dilihat Gambar 4.4 yang menunjukkan contoh *upper bainite* dan *lower bainit*. *Upper bainit* memiliki bentuk bilah yang kasar sedangkan *lower bainit* memiliki bentuk bilah yang lebih halus.

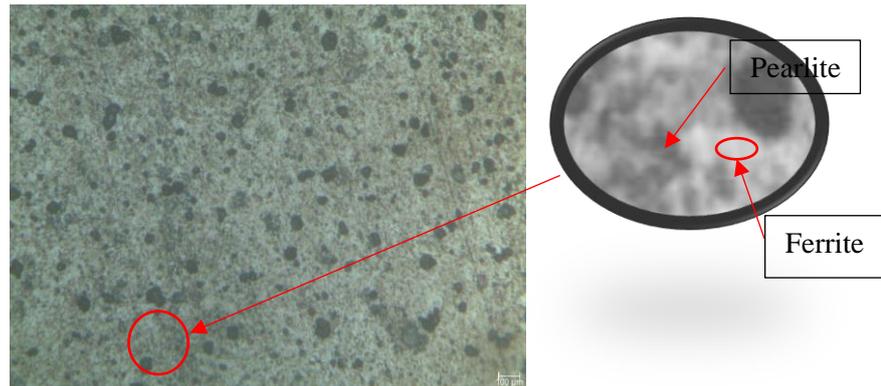


Gambar 4. 3 Struktur mikro Baja Doido PX4 setelah proses hardening dan tempering 200°C dengan perbesaran 500X

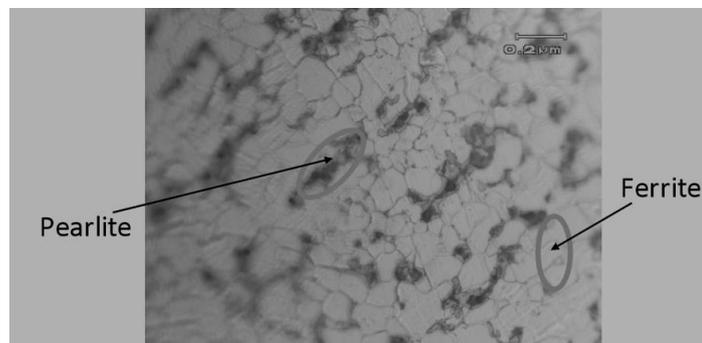


Gambar 4. 4 Uper bainit (kiri) dan Lower Bainit (Kanan)
(Suryana : 2016)

Kemudian dari pengamatan struktur mikro pada spesimen dengan perlakuan *hardening* pada temperatur 950°C dan waktu tahan 60 menit kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan media pendingin oli. Setelah itu spesimen dilakukan proses *tempering* dengan temperatur 400°C dengan waktu tahan 30 menit dan dilanjutkan dengan proses pendinginan dengan media pendingin udara. Gambar 4.5 Hasil pengamatan material baja *as-tempered* 400°C, struktur mikro yang terbentuk hampir sama dengan kondisi *as-tempered* 200°C yaitu *Pearlite* . Sebagai referensi diambil hasil jurnal yang menunjukkan hasil foto mikro *Pearlite* yang ditunjukkan pada gambar 4.6.



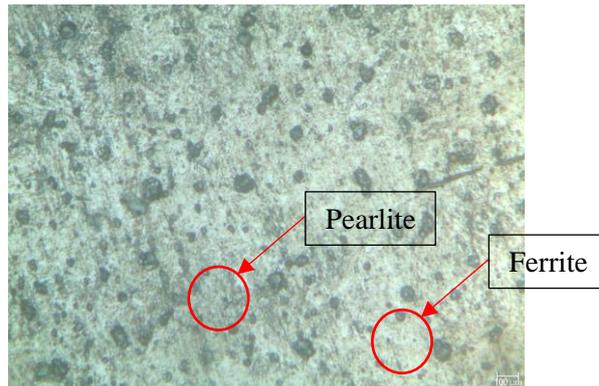
Gambar 4. 3 Struktur mikro Baja Daido PX4 setelah proses hardening dan tempering 400°C dengan Perbesaran 500X



Gambar 4. 4 Hasil pengujian specimen baja SA179

(Nugroho : 2017)

Struktur mikro spesimen dengan perlakuan hardening pada temperatur 950°C dan waktu tahan 60 menit kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan media pendingin air. Setelah itu spesimen dilakukan proses tempering dengan temperatur 600°C dengan waktu tahan 30 menit dan dilanjutkan dengan proses pendinginan dengan media pendingin udara. Gambar 4.7 Hasil pengamatan material baja as-tempered 600°C, struktur mikro yang terbentuk hampir sama dengan kondisi as-tempered 200°C dan 400°C yaitu *Pearlite dan Ferrite*, yang membedakan adalah volume sebaran *Ferrite* pada kondisi as-tempered 200°C dan 400°C lebih banyak.



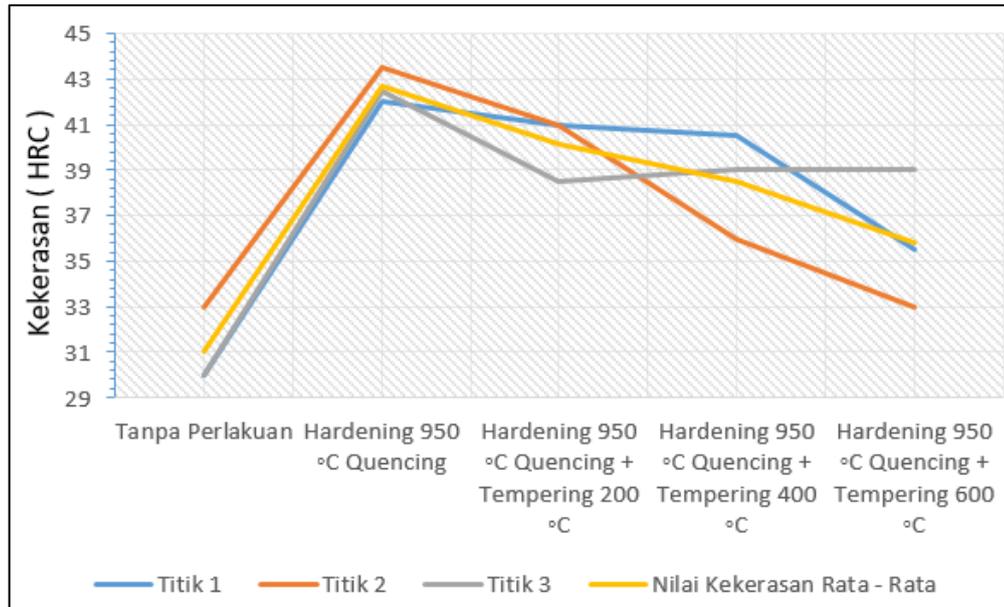
Gambar 4. 5 Struktur mikro Baja Daido PX4 setelah proses hardening dan tempering 600 °C dengan Perbesaran 500X

4.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Kekerasan material adalah kemampuan atau ketahanan material untuk menahan beban identasi atau deformasi pada material tersebut. Tujuan dari pengujian kekerasan adalah untuk mengukur tingkat ketahanan material dan mengetahui sifat mekanik material. Perlakuan panas pada material umumnya menyebabkan perubahan kekerasan pada material tersebut. Pada penelitian ini pengujian kekerasan menggunakan *Hardness Rockwell Test*. Hasil dari pengujian kekerasan masing – masing sampel dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell (HRc)

Kode Benda Uji	Perlakuan Panas	Titik Pengujian Kekerasan (HRc)			Nilai Kekerasan Rata - Rata
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	
X	Tanpa Perlakuan	30	33	30	31.00
F1	Hardening 950 °C Quencing	42	43.5	42.5	42.67
F2	Hardening 950 °C Quencing + Tempering 200 °C	41	41	38.5	40.17
F3	Hardening 950 °C Quencing + Tempering 400 °C	40.5	36	39	38.50
F4	Hardening 950 °C Quencing + Tempering 600 °C	35.5	33	39	35.83



Gambar 4. 6 Grafik pengaruh kondisi material dengan perlakuan hardening dan terhadap nilai kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di 3 titik masing – masing sampel. Dengan rincian 2 titik bagian tepi dan 1 titik pada bagian tengah. Kemudian hasil dari nilai kekerasn 3 titik tersebut di rata-rata untuk dijadikan nilai kekerasan sampel tersebut. Pada gambar 4.5 menjelaskan bahwa hubungan perlakuan sampel terhadap nilai kekerasan sampel. Pada grafik bahwa sampel baja kode sampel F1 dengan perlakuan hardening 950 °C mendapatkan nilai kekerasan 42,67 HRc. Sedangkan baja kode sampel F2 dengan perlakuan hardening 950 °C dan dilanjut dengan proses tempering 200 °C mendapatkan nilai kekerasan 40,17 HRc. Setelah itu baja kode sampel F3 dengan perlakuan hardening 950 °C dan dilanjut dengan proses tempering 400 °C mendapatkan nilai kekerasan 38.50 HRc. Terakhir baja kode sampel F4 dengan perlakuan hardening 950 °C dan dilanjut dengan proses tempering 600 °C mendapatkan nilai kekerasn 35,83 HRc. Kekerasan terbesar diperoleh dari baja kode sampel

F1 dengan perlakuan hardening 950 °C tanpa proses tempering yaitu 42,67 HRc dan kekerasan terkecil diperoleh dari baja kode sampel F4 dengan perlakuan hardening 950 °C dan proses tempering 600 °C yaitu sebesar 35,83 HRc. Seiring dengan meningkatnya temperatur tempering maka nilai kekerasan baja akan menurun dan keuletan baja akan bertambah.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Temperatur *Tempering* terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan pada Baja Daido PX4

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati dan menganalisa pengaruh perbedaan temperatur tempering terhadap struktur mikro yang terbentuk pada baja Daido PX4 yang sesuai dengan standar kekerasan *Plastic Injection Moulding*. Adapun spesifikasinya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Standar Kekerasan *Injection Moulding*

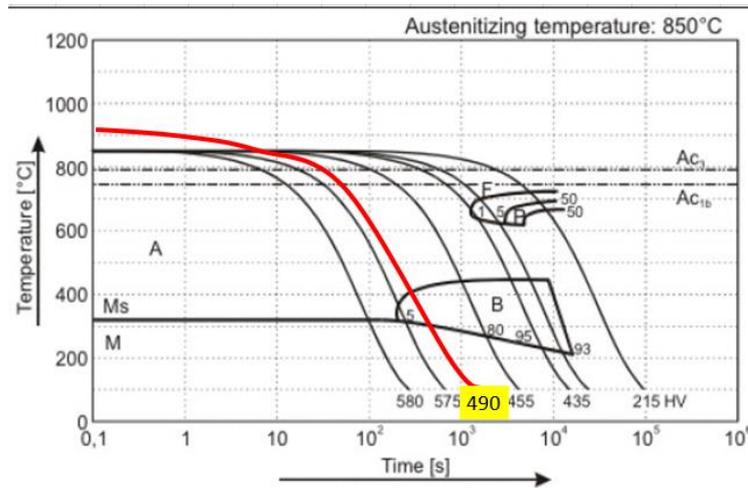
No	Jenis Molding	Material Yang Di Injeksi	Kekerasan Yang direkomendasikan (HRC)
1	Injection Moulding	Thermoplastic	33-35
2	Blow Molding	General Thermoset Thermoplastic	33-35
3	Holder Material	General Thermoset Thermoplastic	33-35

(Kuswono, 2015)

Material awal baja daido PX4 sebelum dilakukan proses hardening adalah 31 Hrc. Spesifikasi tersebut jika dibandingkan dengan standar kekerasan

moulding berada di bawah spesifikasi sehingga membutuhkan proses hardening untuk mendapatkan hasil kekerasan yang mendekati spesifikasi tersebut.

Pada material yang dilakukan perlakuan panas *hardening* pada temperatur austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit, dan *quenching* media pendingin oli, Proses *hardening* terjadi dapat ditunjukkan pada grafik TTT pada gambar 4.6.



Gambar 4. 7 Diagram TTT Baja Daido PX4
(Kuswono, 2015)

Struktur mikro yang terbentuk di dominasi oleh martensit kemudian terdapat austenitisasi sisa. Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon >0,5%. Bentuk martensit berupa jarum - jarum pendek berwarna hitam pekat yang memiliki sifat mekanis sangat keras. Sedangkan austenite yaitu larutan padat interstisial karbon dalam besi γ dengan kadar karbon 2% berbentuk padatan seperti plat berwarna abu - abu terang. Austenite mempunyai struktur kristal FCC (*Face Cetered Cubic*) dengan Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni). Jika struktur mikro yang terbentuk dbandingkan dengan hasil uji kekerasan pada material, hasilnya diperoleh

adanya kenaikan nilai kekerasan dari 31 Hrc menjadi 42.67 Hrc. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses *hardening* pada temperatur austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit, dan *quenching* media pendingin oli membuat material menjadi sangat keras.

Pada material yang dilakukan perlakuan panas *hardening* pada temperatur austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit dengan *quenching* media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 200 °C terdapat perubahan struktur mikro yang terbentuk. Struktur mikro yang terbentuk di dominasi oleh bainit kemudian terdapat *Pearlite* halus. *Pearlite* yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha - ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%. Bentuk pipih atau berlapis ,berwarna kehitaman dengan sifat mekanis lunak.. Sedangkan bainite yaitu acicular mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550°C dengan kadar karbon <0,5% berbentuk jarum - jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain. Bainit memiliki warna abu - abu gelap dengan sifat mekanis sangat keras dan getas. Jika struktur mikro yang terbentuk dibandingkan dengan hasil uji kekerasan pada material, hasilnya diperoleh adanya penurunan nilai kekerasan dari 42.67 Hrc menjadi 40.17 Hrc. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses *hardening* pada temperatur austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit, dan *quenching* media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 200 °C membuat material menjadi lebih lunak di bandingkan material yang hanya dilakukan proses perlakuan panas *hardening* pada temperatur

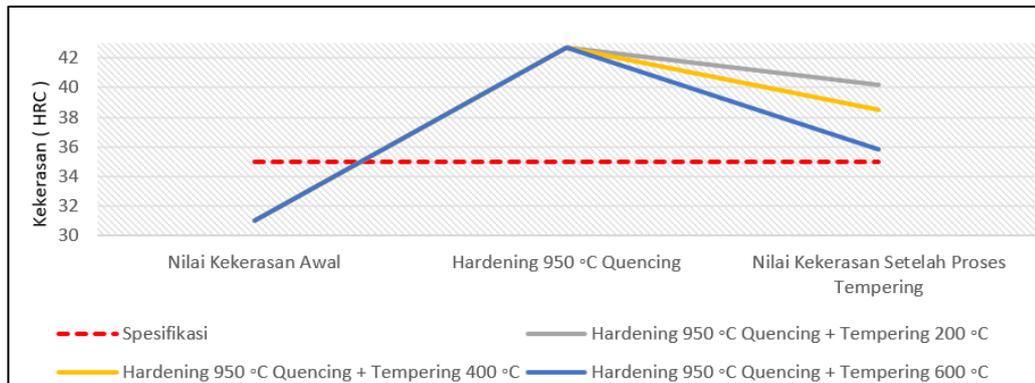
austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit dengan *quenching* media pendingin oli.

Pada material yang dilakukan perlakuan panas *hardening* pada temperatur austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit dengan *quenching* media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 400 °C terdapat perubahan struktur mikro yang terbentuk. Struktur mikro *Pearlite* semakin banyak dan muncul *ferrite*. *Ferrite* yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Bentuk butir - butir kristal yang padat berwarna putih terang, kekerasan dari *Ferrite* berkisar antara 140 - 180 HVN (Vicker Hardness Number) dengan sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing). *Pearlite* yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha - ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%. Bentuk pipih atau berlapis ,berwarna kehitaman dengan sifat mekanis lunak. Jika struktur mikro yang terbentuk dibandingkan dengan hasil uji kekerasan pada material, hasilnya diperoleh adanya penurunan nilai kekerasan dari 42.67 Hrc menjadi 38,5 Hrc. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses *hardening* pada temperatur austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit, dan *quenching* media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 400 °C membuat material menjadi lebih lunak di bandingkan material yang hanya dilakukan proses perlakuan panas *hardening* pada temperatur austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit dengan *quenching* media pendingin oli.

Pada material yang dilakukan perlakuan panas *hardening* pada temperatur austenitisasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit dengan *quenching* media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 600 °C terdapat perubahan struktur mikro yang terbentuk. Struktur mikro *Ferite*. *Ferite* yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Bentuk butir - butir kristal yang padat berwarna putih terang, kekerasan dari *Ferrite* berkisar antara 140 - 180 HVN (Vicker Hardness Number) dengan sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing). *Pearlite* yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan *Ferite* terdiri dari lapisan alpha - ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%. Bentuk pipih atau berlapis ,berwarna kehitaman dengan sifat mekanis lunak. Jika struktur mikro yang terbentuk dibandingkan dengan hasil uji kekerasan pada material, hasilnya diperoleh adanya penurunan nilai kekerasan dari 42.67 Hrc menjadi 38,5 Hrc. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses *hardening* pada temperatur austenitisasi 950°C dengan waktu tahan 60 menit, dan *quenching* media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 600°C membuat material menjadi lebih lunak dan ulet di bandingkan material yang hanya dilakukan proses perlakuan panas *hardening* pada temperatur austenitisasi 950°C dengan waktu tahan 60 menit dengan *quenching* media pendingin oli.

Pada hasil penelitian ini didapat bahwa perlakuan panas yang dilakukan dapat merubah struktur mikro, sifat mekanik dan kekerasan material. Namun jika dibandingkan dengan tujuan penelitian yaitu mencapai spesifikasi

kekerasan molding yaitu 33 – 35 Hrc maka proses perlakuan panas *hardening* dan *tempering* yang dilakukan pada penelitian belum dapat mencapai kekerasan material yang di inginkan.



Gambar 4. 8 Perubahan Nilai Kekerasan Dibandingkan Spesifikasi Awal

Pada grafik perubahan nilai kekerasan dibandingkan spesifikasi awal didapati perlakuan panas yang mendekati spesifikasi tersebut yaitu material yang dilakukan perlakuan panas *hardening* pada temperatur austenitiasi 950 °C dengan waktu tahan 60 menit dengan *quenching* media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 600 °C.

4.2.2 Pengaruh Temperatur Tempering terhadap Tensile Strength

Setelah di dapatkan nilai kekerasan pada material yang di uji kemudian dilakukan konversi nilai tensile strength pada masing – masing material tersebut. Konversi dilakukan menggunakan Tabel approximate conversion value for steel Rockwell C Hardness (SAE J 417) revised in 1983 yang ditunjukkan pada table 4.4. Nilai tensile strength dapat di lihat pada table 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Konversi Nilai Kekerasan (Hrc) ke Tensile Strengt (Mpa)

Kode	Perlakuan Panas	Nilai Kekerasan (Hrc)	Tensile Strengt (Mpa)
X	Tanpa Perlakuan	31.00	980
F1	Hardening 950 °C Quencing	42.67	1325.15
F2	Hardening 950 °C Quencing + Tempering 200 °C	40.17	1280.15
F3	Hardening 950 °C Quencing + Tempering 400 °C	38.50	1203.45
F4	Hardening 950 °C Quencing + Tempering 600 °C	35.83	1095.2

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian tentang analisa pengaruh temperatur tempering terhadap pembentukan struktur mikro dan nilai kekerasan pada Baja Daido PX4, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada material yang dilakukan perlakuan panas hardening pada temperatur austenitisasi 950°C dengan waktu tahan 60 menit, dan quenching media pendingin oli, Proses hardening terjadi dapat ditunjukkan pada grafik TTT pada gambar. Struktur mikro yang terbentuk di dominasi oleh martensit dan ada austenitisasi sisa. Sifat material sangat keras namun ada beberapa titik yang lunak karena ada austenite sisa.
2. Pada material yang dilakukan perlakuan panas hardening pada temperatur austenitisasi 950°C dengan waktu tahan 60 menit dengan quenching media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 200°C terdapat perubahan struktur mikro yang terbentuk. Struktur mikro yang terbentuk di dominasi oleh bainit kemudian dan muncul *Pearlite* halus. Sifat material masih keras namun sudah melunak dibandingkan dengan material yang hanya dilakukan proses hardening dan quenching.
3. Pada material yang dilakukan perlakuan panas hardening pada temperatur austenitisasi 950°C dengan waktu tahan 60 menit dengan quenching media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature

400°C terdapat perubahan struktur mikro yang terbentuk adalah *Pearlite* yang semakin banyak dan muncul *Ferite*. Sifat material mulai ulet dan lunak.

4. Pada material yang dilakukan perlakuan panas hardening pada temperatur austenitisasi 950°C dengan waktu tahan 60 menit dengan quenching media pendingin oli kemudian dilanjutkan dengan proses tempering pada temperature 600°C terdapat perubahan struktur mikro yang terbentuk. *Ferite* semakin banyak dan dominan. Sifat material mulai ulet dan lunak.
5. Pada hasil penelitian ini didapat bahwa pelakuan panas yang dilakukan dapat merubah struktur mikro, sifat mekanik dan kekerasan material. Namun jika dibandingkan dengan tujuan penelitian yaitu mencapai spesifikasi kekerasan molding yaitu 33 – 35 Hrc maka proses perlakuan panas hardening dan tempering yang dilakukan pada penelitian belum dapat mencapai kekerasan material yang di inginkan.
6. Semakin tinggi nilai kekerasan maka semakin tinggi pula tensile strength yang dihasilkan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian tentang analisa pengaruh temperatur tempering terhadap pembentukan struktur mikro dan nilai kekerasan pada Baja Daido PX4, maka saran – saran yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Karena hasil kekerasan belum mencapai nilai kekerasan yang di inginkan maka perlu dilakukan penelitian dengan varisi Hardening dan Tempering yang lebih lebar.

2. Pada Pengujian kekerasan minimal menggunakan 3 sampel dan memperbanyak titik pengujian untuk meningkatkan keakuratan analisa pada nilai kekerasan yang dihasilkan.
3. Pengujian yang perlu ditambahkan untuk penelitian selanjutnya adalah pengujian tarik dan impak. Agar sifat mekanik yang terbentuk dari proses perlakuan panas mendapatkan nilai dari masing-masing pengujian yang lebih lengkap dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

_____. 1992. ASM Handbook, Vol 9, Metallography and Microstructure.

ASM International, Materials Park.

_____. 1991. ASM Handbook, Vol 4, Heat Treating. ASM International, Material Park.

Kuswono , 2015. Analisa Uji Kekerasan dan Uji Tarik Material AISI P20 Mod. Hasil Perlakuan Hardening dan Tempering. Bandung : Politeknik Manufactur Negri Bandung

Lanal Septiawan Nugroho. 2017. Pengaruh Proses Annealing Terhadap Perubahan Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 yang Telah Mengalami Pembengkokan. Surabaya : Tugas akhir - ITS. TM 145502.

Imam Ahmad Suryana. 2016. Analisa Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja AAR – M201 Grade E. Surabaya : Institute Teknologi Sepuluh November.

Muhhamad Ardiansyah, 2020. Pengaruh Proses Nitridasi Gas terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Ketahanan Aus Baja PX4. Yogyakarta : Iniversitas Gajah Mada.

Bhadesia, H.K.D.H dan Robert Honeycombe. 2006. *Steels : Microstructure and*

Properties 3rd. Burlington : Butterworth-Heinemann.

Callister, William D, Jr and Rethwisch, David G. 2015. *Fundamental of Material Science and Engineering : An Integrated Approach 5th*. New York : John Wiley & Sons, Inc.

Campell, F.C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. New York : ASM International.

Daido Steel Co. Ltd., PX4 – General Purpose Cold Die Steel. Tokyo, Japan. Roni

Hong-ying, LI, dkk. 2013. *Effect Of Tempering temperature on Microstructure and*

Mecahnical Properties of AISI 6150 Steel. Journal Central South University.

20 : 266 – 270.

Khan, Mochammad Ghulam Isaq. 2015. *Analisa Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Pada Baja Aar-M201 Grade E*. Surabaya : Teknik Material Dan Metalurgi – ITS.

Manurung, Vuko AT, Yohanes Tri Joko Wibowo, Satriyo Yudi Baskoro. 2020.

Panduan Metalografi. Jakarta : LP2M Politeknik Manufaktur Astra.

Thehning, Karl-Erik. 1984. *Steel and Its Heat Treatment*. Oxford :
Butterworth- Heinemann.

Okatomo H.,1992. ASM Handbook Vol.3 Alloy Phase Diagram

G. Petzow. 1999. *Metallographic Etching*, 2nd edition. ASM International.

LAMPIRAN

Tabel 1 Approximate Conversion Value For Steel Rockwell C Hardness (SAE J 417) Revised In 1983

Conversion Table of Hardness

(SAE J 417) revised in 1983

Approximate conversion value for steel Rockwell C hardness*1

(HRC) Rockwell C scale hardness	(HV) Vickers hardness	Brinell hardness (HB) 10mm ball load 3000kgf		Rockwell hardness*3			Rockwell superficial hardness; diamond conical indenter			(HS) Shore hardness	Tensile strength*2 (approximate Value) MPa	(HRC)*3 Rockwell C scale hardness
		Standard ball	Tungsten carbide ball	(HRA) A scale load 60kgf diamond conical indenter	(HRB) B scale load 100kgf diamond 1.6mm (1/16in) ball	(HRD) D scale load 100kgf diamond conical indenter	15-N scale load 15kgf	30-N scale load 30kgf	45-N scale load 45kgf			
68	940	-	-	85.6	-	76.9	93.2	84.4	75.4	97	-	68
67	900	-	-	85.0	-	76.1	92.9	83.6	74.2	95	-	67
66	865	-	-	84.5	-	75.4	92.5	82.8	73.3	92	-	66
65	832	-	(739)	83.9	-	74.5	92.2	81.9	72.0	91	-	65
64	800	-	(722)	83.4	-	73.8	91.8	81.1	71.0	88	-	64
63	772	-	(705)	82.8	-	73.0	91.4	80.1	69.9	87	-	63
62	746	-	(688)	82.3	-	72.2	91.1	79.3	68.8	85	-	62
61	720	-	(670)	81.8	-	71.5	90.7	78.4	67.7	83	-	61
60	697	-	(654)	81.2	-	70.7	90.2	77.5	66.6	81	-	60
59	674	-	(634)	80.7	-	69.9	89.8	76.6	65.5	80	-	59
58	653	-	615	80.1	-	69.2	89.3	75.7	64.3	78	-	58
57	633	-	595	79.6	-	68.5	88.9	74.8	63.2	76	-	57
56	613	-	577	79.0	-	67.7	88.3	73.9	62.0	75	-	56
55	595	-	560	78.5	-	66.9	87.9	73.0	60.9	74	2075	55
54	577	-	543	78.0	-	66.1	87.4	72.0	59.8	72	2015	54
53	560	-	525	77.4	-	65.4	86.9	71.2	58.6	71	1950	53
52	544	(500)	512	76.8	-	64.6	86.4	70.2	57.4	69	1880	52
51	528	(487)	496	76.3	-	63.8	85.9	69.4	56.1	68	1820	51
50	513	(475)	481	75.9	-	63.1	85.5	68.5	55.0	67	1760	50
49	498	(464)	469	75.2	-	62.1	85.0	67.6	53.8	66	1695	49
48	484	451	455	74.7	-	61.4	84.5	66.7	52.5	64	1635	48
47	471	442	443	74.1	-	60.8	83.9	65.8	51.4	63	1580	47
46	458	432	432	73.6	-	60.0	83.5	64.8	50.3	62	1530	46
45	446	421	421	73.1	-	59.2	83.0	64.0	49.0	60	1480	45
44	434	409	409	72.5	-	58.5	82.5	63.1	47.8	58	1435	44
43	423	400	400	72.0	-	57.7	82.0	62.2	46.7	57	1385	43
42	412	390	390	71.5	-	56.9	81.5	61.3	45.5	56	1340	42
41	402	381	381	70.9	-	56.2	80.9	60.4	44.3	55	1295	41
40	392	371	371	70.4	-	55.4	80.4	59.5	43.1	54	1250	40
39	382	362	362	69.9	-	54.6	79.9	58.6	41.9	52	1215	39
38	372	353	353	69.4	-	53.8	79.4	57.7	40.8	51	1180	38
37	363	344	344	68.9	-	53.1	78.8	56.8	39.6	50	1160	37
36	354	336	336	68.4	(109.0)	52.3	78.3	55.9	38.4	49	1115	36
35	345	327	327	67.9	(108.5)	51.5	77.7	55.0	37.2	48	1080	35
34	336	319	319	67.4	(108.0)	50.8	77.2	54.2	36.1	47	1055	34
33	327	311	311	66.8	(107.5)	50.0	76.6	53.3	34.9	46	1025	33
32	318	301	301	66.3	(107.0)	49.2	76.1	52.1	33.7	44	1000	32
31	310	294	294	65.8	(106.0)	48.4	75.6	51.3	32.5	43	980	31
30	302	286	286	65.3	(105.5)	47.7	75.0	50.4	31.3	42	950	30
29	294	279	279	64.7	(104.5)	47.0	74.5	49.5	30.1	41	930	29
28	286	271	271	64.3	(104.0)	46.1	73.9	48.6	28.9	41	910	28
27	279	264	264	63.8	(103.0)	45.2	73.3	47.7	27.8	40	880	27
26	272	258	258	63.3	(102.5)	44.6	72.8	46.8	26.7	38	860	26
25	266	253	253	62.8	(101.5)	43.8	72.2	45.9	25.5	38	840	25
24	260	247	247	62.4	(101.0)	43.1	71.6	45.0	24.3	37	825	24
23	254	243	243	62.0	100.0	42.1	71.0	44.0	23.1	36	805	23
22	248	237	237	61.5	99.0	41.6	70.5	43.2	22.0	35	785	22
21	243	231	231	61.0	98.5	40.9	69.9	42.3	20.7	35	770	21
20	238	226	226	60.5	97.8	40.1	69.4	41.5	19.6	34	760	20
(18)	230	219	219	-	96.7	-	-	-	-	33	730	(18)
(16)	222	212	212	-	95.5	-	-	-	-	32	705	(16)
(14)	213	203	203	-	93.9	-	-	-	-	31	675	(14)
(12)	204	194	194	-	92.3	-	-	-	-	29	650	(12)
(10)	196	187	187	-	90.7	-	-	-	-	28	620	(10)
(8)	188	179	179	-	89.5	-	-	-	-	27	600	(8)
(6)	180	171	171	-	87.1	-	-	-	-	26	580	(6)
(4)	173	165	165	-	85.5	-	-	-	-	25	550	(4)
(2)	166	158	158	-	83.5	-	-	-	-	24	530	(2)
(0)	160	152	152	-	81.7	-	-	-	-	24	515	(0)

*1 Bold numbers are according to ASTM E 140 Table 1 (arranged jointly by SAE, ASM and ASTM).

*2 1MPa = 1N/mm²

*3 The value in parentheses in the table are for ratings rarely used and indicated for reference.