

**PENGARUH *HEAT TREATMENT* DENGAN VARIASI MEDIA
QUENCHING AIR GARAM DAN OLI TERHADAP STRUKTUR MIKRO
DAN NILAI KEKERASAN BAJA PEGAS DAUN AISI 6135**

(Skripsi)

Oleh

Anggun Mersilia



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

PENGARUH *HEAT TREATMENT* DENGAN VARIASI MEDIA *QUENCHING* AIR GARAM DAN OLI TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN NILAI KEKERASAN BAJA PEGAS DAUN AISI 6135

Oleh

ANGGUN MERSILIA

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh *heat treatment* dengan variasi media *quenching* air garam dan oli terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan baja pegas daun AISI 3165. Proses pemanasan dilakukan pada temperatur 800°C selama 60 menit, lalu proses *quenching* dengan variasi media pendingin 100% air garam dan campuran 50% air garam : 50% oli, dan *tempering* pada temperatur 600°C selama 45 menit. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan baja pegas daun termasuk baja karbon sedang (C=0,343%) dan baja *chromium-vanadium* (AISI 6135). Hasil uji kekerasan sampel *raw material* sebesar 42,27 HRc, sampel dengan media *quenching* 100% air garam sebesar 34,27% HRc, dan sampel dengan media *quenching* campuran 50% air garam : 50% oli sebesar 38,27 HRc. Hasil struktur mikro pada sampel *raw material* menunjukkan fasa ferit dan perlit. Sampel hasil *quench-temper* menggunakan media *quenching* 100% air garam terbentuk fasa ferit, austenit sisa dan martensit temper yang lebih rapat dan menyebar merata dibandingkan sampel hasil media *quenching* campuran 50% air garam : 50% oli, sehingga nilai kekerasan menurun.

Kata kunci: Baja pegas daun, *quenching*, struktur mikro, *tempering*, uji kekerasan.

ABSTRACT

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT WITH VARIATIONS OF THE BRINE AND OIL QUENCHING MEDIUM TO MICROSTRUCTURE AND HARDNESS VALUE IN THE LEAF SPRING STEEL AISI 6135

By

ANGGUN MERSILIA

It has been conducted research the effect of heat treatment with variations of the brine and oil quenching medium to microstructure and hardness value in the leaf spring steel AISI 6135. The heating process at a temperature of 800°C for 60 minutes then quenching with variations of 100% brine and a mix of 50% brine : 50% oil quenching medium, and tempering at temperature 600°C for 45 minutes. Chemical composition test showed that leaf spring steel is medium carbon steel type and chromium-vanadium steel (AISI 6135). The result of the hardness test for raw material is 42,2 HRc, for quenching with 100% brine is 34,27% HRc and for quenching a mix of 50% brines : 50% oil is 38,27 HRc. The test result microstructure at raw material sample showed ferrite and perlite phase, quench-temper of 100% brine formed ferrite retained austenite and martensite temper phase more tightly, evenly spread than mix 50% brine : 50% oil, so that the hardness value decrease.

Keywords: *Hardness testing, leaf spring steel, microstructure, quenching, tempering.*

**PENGARUH *HEAT TREATMENT* DENGAN VARIASI MEDIA
QUENCHING AIR GARAM DAN OLI TERHADAP STRUKTUR MIKRO
DAN NILAI KEKERASAN BAJA PEGAS DAUN AISI 6135**

Oleh

Anggun Mersilia

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS

pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

: **PENGARUH HEAT TREATMENT DENGAN VARIASI MEDIA QUENCHING AIR GARAM DAN OLI TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN NILAI KEKERASAN BAJA PEGAS DAUN AISI 6135**

Nama Mahasiswa

: **Anggun Mersilia**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1217041005**

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
NIP. 19610723 198603 1 003


Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T.
NIP. 19850427 200912 1 003

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

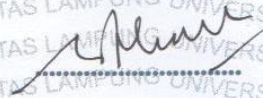

Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.
NIP. 19751219 200012 2 003

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

Ketua

: **Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**



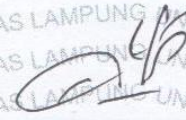
Sekretaris

: **Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**



2. **Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A.

NIP.19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Juni 2016

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juni 2016



Anggun Mersilia
NPM. 1217041005

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro, 7 November 1994.

Penulis anak ke empat dari lima bersaudara, dari pasangan Ayah Muhammad Ali dan Ibu Darmiwati.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 05 Metro, Metro Pusat pada tahun 2006, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 03 Metro diselesaikan pada tahun 2009, kemudian pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 05 Metro diselesaikan 2012.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2012. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Fisika Dasar. Penulis pernah melaksanakan Praktek kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “Pembuatan Magnet Permanen *Barium Hexaferrite* dan Analisis Sifat Fisisnya” di LIPI Serpong pada bulan Januari 2015. Penulis juga pernah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Toto Mulyo Kecamatan Way Bungur Lampung Timur pada bulan Juli sampai September 2015. Dalam bidang organisasi yang ada di Universitas Lampung, penulis pernah aktif sebagai anggota HLPM BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa) dan Anggota HIMAFI (Himpunan Mahasiswa Fisika) FMIPA Unila.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2012. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Fisika Dasar. Penulis pernah melaksanakan Praktek kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “Pembuatan Magnet Permanen *Barium Hexaferrite* dan Analisis Sifat Fisisnya” di LIPI Serpong pada bulan Januari 2015. Penulis juga pernah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Toto Mulyo Kecamatan Way Bungur Lampung Timur pada bulan Juli sampai September 2015. Dalam bidang organisasi yang ada di Universitas Lampung, penulis pernah aktif sebagai anggota HLPM BEM (Badan Eksekutif Mahasiswa) dan Anggota HIMAFI (Himpunan Mahasiswa Fisika) FMIPA Unila.

MOTTO

**“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”
(QS. Al-Insyirah,6-8)**

**“Knowing Is Not Enough, We Must Apply It. The Will Alone Is Not Enough, We Must Bring It Into Action”
(Leonardo Da Vinci)**

PERSEMBAHAN

Dengan ketulusan dan rasa syukur kepada Allah Subhanahu Wata'ala
kupersembahkan karya ku ini kepada:

“Bapak dan Ibu tersayang (Muhammad Ali dan Darmiwati) untuk kasih sayang
yang tidak terbatas, setiap doa yang dipanjatkan untuk kesuksesanku, serta
dukungan moril dan materiilnya yang tak akan pernah terbalaskan.”

“Kakak dan Adik ku (Apri Udin Saputra, Apen Isma Rofa, Akbar Anggara, Rama
Rizki Adilla)”

“Almamater Tercinta”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan yang maha kuasa, yang telah melimpahkan rahmatNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan ini yang berjudul “**Pengaruh *Heat Treatment* Dengan Media *Quenching* Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135**”. Skripsi ini berisikan hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dari Universitas Lampung dan melatih mahasiswa agar berusaha untuk berfikir cerdas dan kreatif serta terbiasa dalam menulis karya ilmiah.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. sebagai dosen pembimbing I dan Yayat Iman S., S.T, M.T. sebagai dosen pembimbing II serta berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu terselesaikannya laporan ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Bandar Lampung, Juni 2016

Penulis

Anggun Mersilia

SANWACANA

Assalamua'alaikum warohmatullohi wabarokatuh.

Alhamdulillah *rabbi* *'alamin*, segala puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh *Heat treatment* Dengan Variasi Media *Quenching* Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135”. Dalam proses penyelesaian skripsi ini, penulis banyak mendapat bimbingan, petunjuk, bantuan, nasihat, saran, dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati penulis sampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Yanti Yulianti selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila.
2. Bapak Drs. Pulung Karo-karo, M.Si., selaku Pembimbing Pertama, terima kasih atas segala bimbingan, saran dan selalu meluangkan waktunya dalam proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Yayat Iman, S.Si., M.T., selaku Pembimbing Kedua, terima kasih atas segala bimbingan, kritik dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D., selaku Pembahas, selaku Pembimbing Akademik, terima kasih atas segala masukan dan saran-saran, motivasi kepada penulis dalam memperbaiki skripsi ini.

5. Seluruh Dosen Jurusan Fisika Unila FMIPA Unila atas ilmu yang diberikan selama ini.
6. Orang tuaku, kakak-kakakku, dan adikku terima kasih atas segala motivasi, dukungan dan doanya.
7. Almh Mamah tercinta, yang menjadi inspirasi dan semangat ananda untuk tetap tegar dan terus maju menjalani hidup ini.
8. Sahabat-Sahabatku
(Palupi, Eno, Landa, Dian dan Apri) terima kasih atas dukungan dan motivasi, kalian adalah saudara terbaikku.
9. Teman-temanku seperjuangan jurusan fisika angkatan 2012 terima kasih atas kebersamaannya.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, semoga diberikan kebaikan yang berlimpah dari Allah SWT.

Mudah-mudahan skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi para pembaca. Penulis berharap semoga segala yang telah dilakukan dapat bernilai ibadah di sisi Allah SWT. Amin Ya Robbal'alamin. Wassalamu'alai'kum warahmatullahi wabarokatuh.

Bandar Lampung, Juni 2016

Penulis

Anggun Mersilia

‘DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Definisi Baja	6
2.2	Klasifikasi Baja.....	7
	2.2.1 Baja Karbon	7
	2.2.2 Baja Paduan	9
2.3	Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja	9
2.4	Definisi Baja Pegas Daun	10
2.5	Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	12
2.6	Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>)	16
	2.6.1 <i>Hardening</i>	17
	2.6.2 <i>Normalizing</i>	19
	2.6.3 <i>Quenching</i>	19
	2.6.4 <i>Tempering</i>	20
	2.6.5 Temperatur <i>Austenite</i>	22
	2.6.6 Homogenitas <i>Austenite</i>	23
2.7	Waktu Penahanan (<i> Holding Time</i>).....	24
2.8	Media Pendingin Baja.....	26
2.9	Pembentukan Martensit	28
2.10	Diagram Transformasi Untuk pendinginan	29
2.11	Kemampuan Kekerasan	31
2.12	Pengujian Sifat Fisis Baja.....	32
	2.12.1 Uji Komposisi Kimia.....	32
	2.12.2 Uji Struktur Mikro	33
2.13	Uji Sifat Mekanis Baja.....	37
	2.13.1 Uji Kekerasan	37
	2.13.2 Uji Kekerasan Rockwell	37

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	40
3.2	Alat dan Bahan	40
3.3	Prosedur Penelitian	40
	3.3.1 Preparasi Sampel.....	42
	3.3.2 Uji Komposisi Kimia	42
	3.3.3 Perlakuan Panas	42
	3.3.4 Uji Kekerasan.....	44
	3.3.5 Uji Struktur Mikro	44

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Preparasi Sampel.....	46
4.2	Hasil Uji Komposisi Kimia	48
4.3	Hasil Pengujian Kekerasan	51
4.4	Hasil Pengamatan Struktur Mikro	55

4.4.1 Hasil Struktur Mikro Tanpa Perlakuan Panas.....	56
4.4.2 Hasil Struktur Mikro Dengan Perlakuan Panas	58

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Beberapa macam <i>heat treatment</i> baja	31
2. Skala Rockwell <i>Hardness</i>	40
3. Komposisi baja pegas daun AISI 6135	49
4. Komposisi standar AISI-SAE	50
5. Hasil uji kekerasan	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Baja pegas daun.....	12
2. Diagram kesetimbangan Fe-Fe ₃ C	13
3. Diagram temperatur terhadap waktu.....	17
4. Temperatur <i>austenite</i> untuk pengerasan	23
5. Diagram TTT untuk baja <i>hypoeutectoid</i>	29
6. Hubungan kekerasan dengan meningkatnya kandungan karbon	31
7. Alat <i>Optical Emission Spectrometer</i> (OES).....	33
8. Skema perjalanan sinar pada mikroskop optic.....	36
9. Penetrasi Rockwell, F ₀ = beban awal (<i>preliminary minor load in kgf</i>), F ₁ = beban tambahan (<i>additional major load in kgf</i>), F = beban total (<i>total load in kgf</i>)	38
10. Diagram alir penelitian.....	41
11. Siklus perlakuan panas baja pegas daun	44
12. Sampel baja pegas daun	46
13. Proses perlakuan panas pada baja	47
14. Proses <i>normalizing</i> setelah <i>tempering</i> dengan media <i>quenching</i>	48
15. Diagram nilai kekerasan dengan variasi media <i>quenching</i>	53
16. Struktur mikro baja pegas daun <i>raw material</i> Nital 3%	56
17. Struktur mikro ferit dan perlit	57

18. Hasil uji struktur mikro pada proses <i>heat treatment</i>	58
19. Struktur mikro martensit temper yang dikelilingi karbida.....	59

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, penggunaan logam sebagai bahan utama operasional atau sebagai bahan baku produksi industri semakin tinggi. Baja karbon banyak digunakan terutama untuk membuat alat-alat perkakas, alat alat pertanian, komponen-komponen otomotif dan kebutuhan rumah tangga. Efek dari pemakaian, menyebabkan struktur logam akan terkena pengaruh gaya luar berupa tegangan-tegangan gesek sehingga menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Usaha menjaga agar logam lebih tahan gesekan atau tekanan adalah dengan cara perlakuan panas pada baja (Fariadhie, 2012).

Proses perlakuan panas meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu pula. Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, tegangan tarik logam dan sejenisnya. Tujuan tersebut akan tercapai jika memperhatikan faktor yang mempengaruhinya, seperti suhu pemanasan dan media pendingin yang digunakan (Djafrie, 1985).

Salah satu proses perlakuan panas pada baja adalah pengerasan (*hardening*), yaitu proses pemanasan baja sampai suhu di atas daerah kritis disusul

dengan pendinginan yang cepat dinamakan *quenching* (Amstead, 1979). Hasil dari proses *hardening* pada baja, akan menimbulkan tegangan dalam (*internal stresses*), dan rapuh (*britles*), sehingga baja tersebut belum cocok untuk segera digunakan. Oleh karena itu pada baja tersebut perlu dilakukan proses lanjut yaitu proses temper. Proses *tempering* akan menurunkan kegetasan, kekuatan tarik dan kekerasan sampai memenuhi syarat penggunaan, sedangkan keuletan dan ketangguhan meningkat.

Dalam bidang automotif, sebagian besar komponen terbuat dari baja misalnya pegas daun. Pegas daun termasuk ke dalam golongan baja pegas. Baja pegas daun merupakan suatu komponen utama yang digunakan untuk meredam getaran atau guncangan yang ditimbulkan oleh eksitasi-eksitasi gaya luar saat kendaraan bergerak sehingga komponen ini harus diperhitungkan dengan baik efek negatif terhadap kenyamanan penumpangnya. Baja pegas daun termasuk dalam golongan baja pegas, yang sebenarnya tidak memiliki kekerasan tinggi (Mamanal dan Akhir, 2015).

Pada penelitian Pramuko (2009) tentang peningkatan kekerasan baja pegas daun dengan suhu pemanasan 950°C dan waktu tahan 30 menit menyimpulkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada sampel *quenching* air garam sebesar 598,75 VHN dan berturut-turut ke posisi terendah yaitu *quenching* air sebesar 592,98 VHN, sampel *quenching* oli sebesar 569,63VHN, sampel *raw material* sebesar 409,31 VHN dan paling rendah sampel *annealing* sebesar 222,179 HVN. Hasil struktur mikro baja pegas daun *quenching* air garam menghasilkan fasa martensit halus dan merata, sampel *quenching* air menghasilkan fasa martensit kasar dan

endapan karbida pada batas butir, sampel *quenching* oli didapatkan sedikit fasa martensit dan banyak endapan karbida pada batas butir serta austenit sisa dan sampel *annealing* didapatkan fasa perlit dan ferit.

Berdasarkan hasil penelitian Kirono dan Saputra (2009) tentang pengaruh proses *tempering* 600°C, setelah *quenching* dengan media oli dan air garam terhadap sifat mekanis dan struktur mikro menyimpulkan nilai kekerasan dengan media air garam dan oli berturut-turut yaitu sebesar 30,9 HRC dan 29,5 HRC pada temperatur 850° selama 45 menit.

Pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Yogantoro (2010) tentang pengaruh temperatur pemanasan *low tempering*, *medium tempering* dan *high tempering* pada suhu pemanasan 850°C selama 30 menit dengan media *quenching* air garam terhadap nilai kekerasan. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada sampel *tempering* 200°C sebesar 459,9 VHN dan berturut-turut menuju posisi terendah, yaitu spesimen *tempering* 400°C sebesar 308,9 VHN, spesimen *tempering* 600°C sebesar 202,6 VHN dan spesimen *raw material* sebesar 175,6 VHN.

Hasil penelitian Desty (2013) tentang pengaruh lama pemanasan, pendinginan secara cepat, dan *tempering* 600°C dengan suhu pemanasan temperatur 780°C selama 40 dan 60 menit terhadap sifat ketangguhan pada baja pegas daun menyimpulkan bahwa nilai ketangguhan meningkat setelah proses *heat treatment* dimana ketangguhan awal 0,23 J/mm² dan setelah *ditempering* menjadi sebesar 0,803 J/mm².

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, peneliti akan menggunakan sampel baja pegas daun yang dipanaskan pada suhu 800°C selama 60 menit. Setelah baja dipanaskan kemudian langsung didinginkan secara cepat (*quenching*) dengan media pendingin yaitu larutan air garam dan oli dengan variasi persentase larutan 100% air garam dan campuran 50% air garam : 50% oli. Baja hasil *quenching* kemudian *ditempering* dengan suhu 600°C selama 40 menit. Selanjutnya dilakukan uji kekerasan, uji komposisi kimia, dan uji struktur mikro. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan sifat baja yang diharapkan terhadap pengaruh pemanasan dengan variasi campuran larutan air garam dan oli.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana komposisi kimia baja pegas daun sebelum dan setelah proses *heat treatment* ?
2. Bagaimana pengaruh media *quenching* 100% air garam dan campuran 50% air gram : 50% oli terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja?
3. Bagaimana pengaruh suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja pegas daun bekas dengan ukuran panjang 38 mm, lebar 31 mm dan tinggi 10 mm.

2. Baja pegas daun dipanaskan dengan pemanasan awal (*preheating*) 600°C selama 30 menit, lalu suhu austenisai 800°C dengan waktu penahanan 60 menit, lalu *diquench* dengan variasi persentasi larutan 100% air garam dan campuran 50% air garam : 50% oli yang kemudian di *tempering* pada suhu 600°C dengan waktu penahanan 40 menit.
3. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia, uji kekerasan, dan struktur mikro.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui komposisi kimia dari baja pegas daun.
2. Mengetahui pengaruh media *quenching* 100% air garam dan campuran 50% air garam : 50% oli terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja.
3. Mengetahui pengaruh suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan nilai kekerasan yang diinginkan dalam pengolahan baja.
2. Memberikan informasi kepada dunia industri dalam perlakuan panas baja pegas daun untuk pengembangan produk yang lebih baik.
3. Bermanfaat sebagai literatur atau bahan untuk penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2-2,1% wt. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat pada kisi kristal atom besi, selain karbon sebagai unsur paduan utama pada baja, terdapat unsur-unsur lain seperti titanium, krom, nikel, vanadium, kobalt, dan tungsten. Unsur lain pada baja sangat mempengaruhi sifat mekanis dari baja (Gery, et al, 2004).

Persentase komposisi karbon pada baja berkisar antara 0,05-1,5% dengan komposisi tersebut dapat menentukan klasifikasi baja. Persentase unsur karbon pada baja memiliki pengaruh langsung terhadap kekerasan baja (Amstead, 1987). Baja yang digunakan sebagai bahan baku untuk industri otomotif, manufaktur, konstruksi, *furniture*, listrik dan sektor elektronik yang kinerjanya menentukan tingkat pembangunan ekonomi di setiap Negara (Kareem, 2006).

2.2 Klasifikasi Baja

Berdasarkan komposisi kimia, baja dapat dibagi menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain (selain besi dan karbon). Baja karbon masih mengandung sejumlah unsur tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh pada sifat dasar baja. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan, silikon, dan beberapa unsur pengotor seperti belerang, posfor, oksigen, nitrogen dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil (Amanto, 1999).

2.2.1 Baja karbon

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif. Oleh karena itu, pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Perbedaan persentase kandungan karbon dalam campuran logam baja menjadi salah satu pengklasifikasian baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu:

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling mudah diproduksi diantara karbon yang lain, mudah di *machining* dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan

baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar, dan lain-lain (Amanto, 1999).

2. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3% C-0,6% C. Baja karbon menengah memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan untuk pengelasan, dan dapat dikeraskan dengan baik. Baja karbon menengah banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi, dan lain-lain (Amanto, 1999).

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kandungan karbon 0,6% C-1,7% C dan memiliki tahanan panas yang tinggi, kekerasan tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material perkakas (*tools*). Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu, baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji, dan sebagainya (Amanto, 1999).

2.2.2 Baja Paduan (*alloy steel*)

Baja paduan adalah baja cor yang ditambah unsur-unsur paduan. Tujuan dari pemberian unsur-unsur paduan seperti mangan, nikel atau molibden, khrom untuk memberikan sifat-sifat ketahanan aus, ketahanan asam dan korosi atau menambah ketangguhan/*thougness* (Surdia dan Chijiwa, 1999).

Baja paduan terdiri dari:

1. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

2. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5%-10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999).

2.3 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja

Baja yang hanya mengandung unsur karbon tidak akan memiliki sifat seperti yang diinginkan. Penambahan unsur-unsur paduan lain seperti Si, Mn, Ni, Cr, V, W dan lain sebagainya dapat menghasilkan sifat-sifat baja yang diinginkan. Pengaruh penambahan beberapa unsur paduan terhadap sifat baja adalah:

a. Silikon (Si)

Unsur silikon mempunyai pengaruh menaikkan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju pendinginan minimal yang dapat

menghasilkan 100% martensit). Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4% wt.

b. Mangan (Mn)

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai *deoxidizer* (pengikat O₂) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn yang rendah dapat menurunkan pendinginan kritis.

c. Nikel (Ni)

Unsur nikel memberikan pengaruh sama dengan Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan.

d. Khrom (Cr)

Unsur krom meningkatkan kekuatan tarik dan keplastisan, menambah mampu keras, meningkatkan daya tahan terhadap korosi dan tahan suhu tinggi.

e. Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbidat yang sangat keras dan menyebabkan baja memiliki kekerasan yang tinggi. Kekerasan dan tahan panas yang cukup tinggi pada baja sangat diperlukan untuk mesin pemotong dengan kecepatan tinggi (Kurniawan, 2007).

2.4 Definisi Baja Pegas Daun

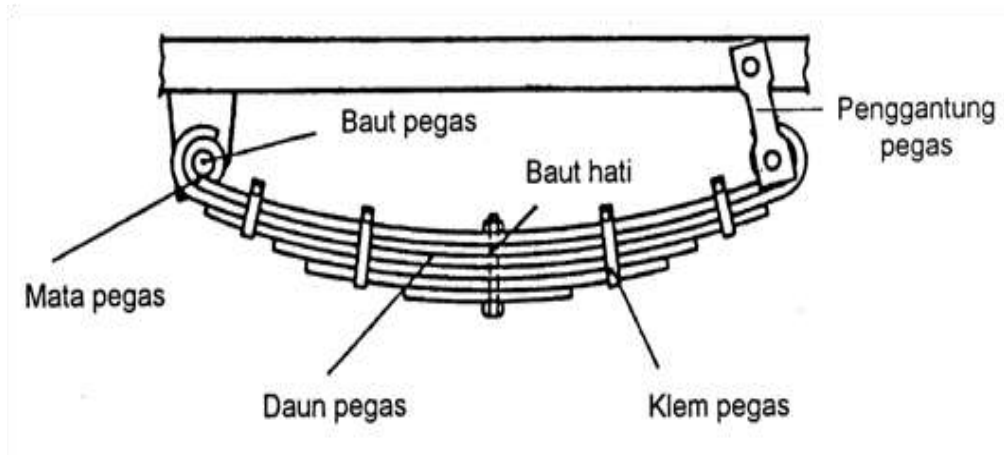
Baja pegas daun merupakan suatu komponen utama yang digunakan untuk meredam getaran atau guncangan yang ditimbulkan oleh eksitasi-eksitasi gaya luar saat kendaraan bergerak. Oleh karena itu komponen ini harus diperhitungkan dengan baik efek negatifnya terhadap kenyamanan penumpangnya. Bahan pegas

daun termasuk dalam golongan baja pegas, yang sebenarnya tidak memiliki kekerasan tinggi. Baja pegas daun digunakan sebagai suspensi kendaraan darat, baik untuk kendaraan roda empat maupun roda enam. Komponen ini biasanya terdiri dari beberapa plat datar yang dijepit bersama untuk mendapatkan efisiensi dan daya lenting yang tinggi.

Pegas daun adalah komponen yang berfungsi untuk meredam kejutan yang ditimbulkan permukaan jalan. Pegas jenis ini mampu menerima beban yang lebih besar bila dibandingkan dengan pegas lainnya seperti pegas koil dan pegas torsi. Oleh karena itu, pegas daun banyak digunakan pada sistem suspensi belakang pada kendaraan. Kerjanya : bila roda-roda belakang menerima kejutan dari permukaan jalan maka diteruskan ke rumah poros belakang yang mengakibatkan pegas daun terjadi pemanjangan atau pegas berubah bentuk dari elips mendekati lurus (pemegasan pegas daun) yang konstruksinya dilengkapi dengan ayunan pegas. Untuk memperhalus proses pemegasan pegas daun yang berlebihan maka suspensi ini dilengkapi peredam getaran yang dipasangkan di antara penopang pegas daun dengan frame (Mamanal dan Akhir, 2015).

Baja pegas daun dikenal sebagai baja plat datar yang dibuat melengkung. Baja pegas daun dirancang dengan dua cara yaitu: multi-daun dan mono-daun. Fungsi dari baja pegas daun yaitu: membawa beban, untuk meredam getaran atau guncangan yang ditimbulkan oleh eksitasi-eksitasi gaya luar pada kendaraan, melunakkan tumbukkan dengan memanfaatkan sifat elastisitas bahan, menyerap dan menyimpan energi dalam waktu yang panjang serta berguna untuk menambah

daya cengkram ban terhadap permukaan jalan. Contoh gambar baja pegas daun dan penggunaannya pada *suspense* kendaraan roda diperlihatkan pada Gambar 1.



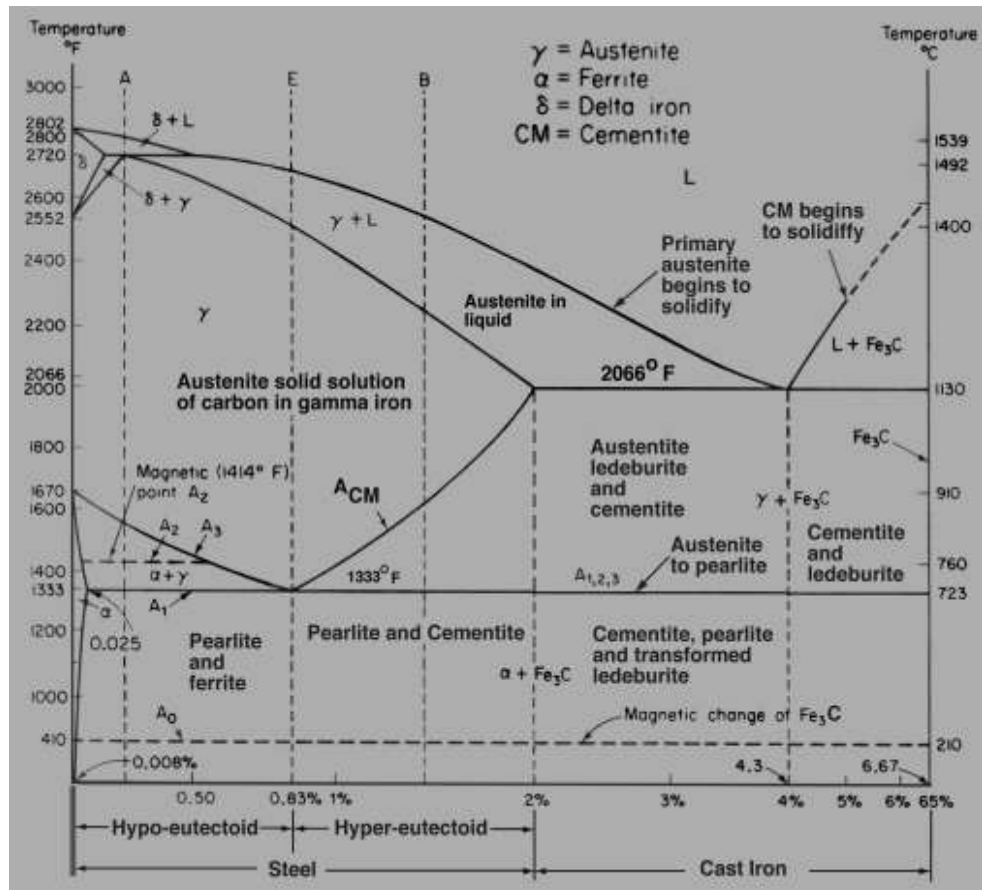
Gambar 1. Baja pegas daun (Mamanal dan Akhir, 2015).

2.5 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Diagram keseimbangan fasa besi-besi karbida dapat dilihat pada Gambar 2. Diagram ini dihasilkan pada proses pendinginan lambat. Baja dan besi tuang yang ada kebanyakan berupa paduan besi dengan karbon, dimana karbonnya berupa senyawa *interstitial* (sementit). Sementit merupakan struktur logam yang stabil. Selain unsur karbon pada besi dan baja terkandung kurang lebih 0,25% Si, 0,3%-1,5% Mn serta unsur pengotor lain seperti P, dan S. Karena unsur-unsur tadi tidak digunakan dengan menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. Melalui diagram keseimbangan Fe-Fe₃C secara garis besar baja dapat juga dikelompokkan sebagai berikut:

1. Baja *hypoeutectoid* dengan kandungan karbon 0,008%-0,80%.
2. Baja *eutectoid* dengan kandungan karbon 0,8%.
3. Baja *hypereutectoid* dengan kandungan karbon 0,8%-2%.

Diagram fasa Fe-Fe₃C sangat penting dibidang metalurgi karena sangat bermanfaat dalam menggambarkan perubahan-perubahan fasa pada baja seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C (De gamo, 1969).

Pada Gambar 2 ditampilkan diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C, fasa-fasa yang terdapat pada diagram diatas dapat dijelaskan seperti berikut. A₁ adalah temperatur reaksi *eutectoid* yaitu perubahan fasa γ menjadi $\alpha + Fe_3C$ (perlit) untuk baja *hypo-eutectoid*. A₂ adalah titik *currie* (pada temperatur 769°C), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik. A₃ adalah temperatur transformasi dari fasa γ menjadi α (ferit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunya temperatur. Acm adalah

temperatur transformasi dari fasa γ menjadi Fe_3C (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur. Sedangkan pada A_{123} adalah temperatur transformasi γ menjadi $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (perlit) untuk baja *hypereutecoid*.

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon:

1. *Austenite*

Austenite adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya *austenite* berubah menjadi ferit, perlit dan sementit. Sifat *Austenite* adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14%.

2. Ferit

Ferit ini disebut alpha (α), ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon. Oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferit rendah kurang dari 1 atom karbon per 1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025%, pada suhu 723°C . Ferit bersifat magnetik sampai suhu 768°C . Ferit lunak dan liat, kekerasan dari ferit berkisar antara 140-180 HVN (*Vicker Hardness Number*).

3. Perlit

Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan kadar karbon 0,025% dan sementit alam bentuk lamelar (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. Jadi perlit merupakan struktur mikro. Kekerasan dari perlit kurang lebih berkisar antara 180-250 HVN.

4. Bainit

Bainit merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa *austenite* ke suhu antara 250°C- 550°C dan ditahan pada suhu tersebut (*isothermal*). Bainit adalah struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit (Fe_3C). Kekerasan bainit kurang lebih berkisar antara 300-400 HVN (*Vicker Hardness Number*).

5. Martensit

Martensit merupakan fasa dimana ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam *lamellar*, melainkan jarum-jarum sementit. Fasa ini terbentuk dari *austenite* stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat. Terjadinya hanya presipitasi Fe_3C unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi *isothermal* pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam matriks ferit. Martensit bilah (*lath martensite*) terbentuk jika kadar karbon dalam baja sampai 0,6% sedangkan di atas 1% C akan terbentuk martensit pelat (*plate martensite*). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval 0,6% C- 1,08%. Kekerasan dari martensit lebih dari 500 HVN.

6. Sementit (karbida besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (sementit). Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C . Dibandingkan dengan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Akan tetapi karbida besi murni tidak liat, karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Kekerasan sementit adalah 800 HVN (Surdia, 1999)

2.6 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Proses perlakuan panas pada umumnya untuk memodifikasi struktur mikro baja sehingga meningkatkan sifat mekanik, salah satunya yaitu kekerasan (Smallman and Bishop, 1999).

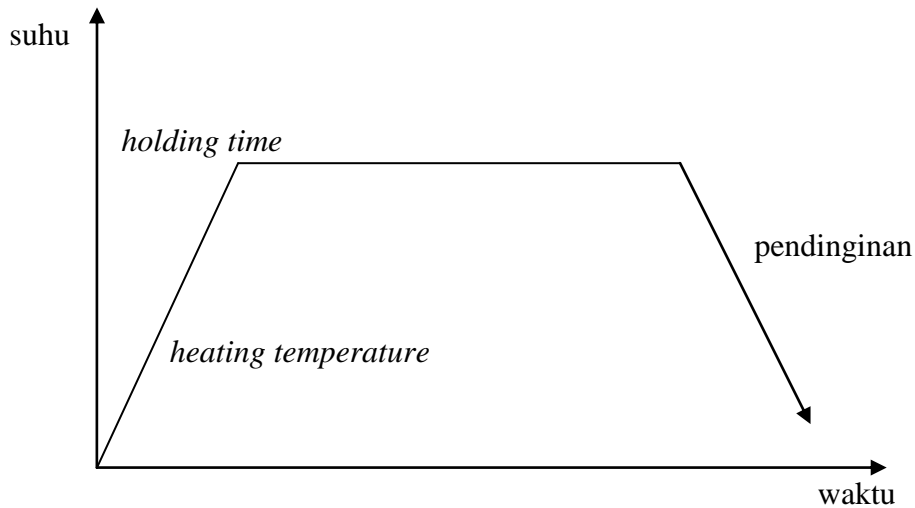
Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap logam/paduan dalam keadaan padat, sebagai upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Perubahan sifat tersebut terjadi karena ada perubahan struktur mikro selama proses pemanasan dan pendinginan dimana sifat logam atau paduan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro. Proses perlakuan panas terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari proses pemanasan bahan hingga pada suhu tertentu dan selanjutnya didinginkan juga dengan cara tertentu. Tujuan dari perlakuan panas adalah mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dan sesuai dengan yang diinginkan seperti meningkatkan kekuatan dan kekerasan, mengurangi tegangan, melunakkan, mengembalikan pada kondisi normal akibat pengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada pengerjaan sebelumnya, dan menghaluskan butir kristal yang akan berpengaruh pada keuletan bahan (ASM *handbook* Vol 4, 1991).

Secara umum, proses perlakuan panas adalah:

- Memanaskan logam/paduannya sampai pada suhu tertentu (*heating temperature*).
- Mempertahankan pada suhu pemanasan tersebut dalam waktu tertentu (*holding time*).

- Mendinginkan dengan media pendingin dan laju tertentu.

Skema pada proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram temperatur terhadap waktu seperti Gambar 3.



Gambar 3. Diagram temperatur terhadap waktu (Karmin dan Ginting, 2012).

2.6.1 *Hardening*

Hardening adalah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja. Perlakuan panas menurut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis (Schonmetz dan Gruber, 1985).

Hardening dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan, dan *strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, laju pendinginan yang dilakukan, dan ketebalan sampel. Kekerasan yang baik (martensit yang keras) dapat diperoleh melalui pemanasan untuk mencapai struktur *austenite*, karena hanya *austenite* yang dapat

bertransformasi menjadi martensit. Bila pada saat pemanasan masih terdapat struktur lain maka setelah di *quench* akan diperoleh struktur yang tidak seluruhnya terdiri dari martensit (Dalil dkk, 1999).

Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses *hardening* terhadap kekerasan baja yaitu oksidasi oleh oksigen. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen berpengaruh terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit. Oleh karena itu, pada benda kerja dapat terbentuk lapisan oksidasi selama proses *hardening*. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau *hardening* dapat dilakukan dengan cara menambah temperatur lebih tinggi karena bahan yang terdapat dalam baja akan bertambah kuat terhadap oksigen. Jadi, semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk mencegah besi teroksidasi (Schonmetz dan Gruber 1985).

Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil pemanasan yang merata. Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga dapat diperoleh struktur yang merata (Schonmetz, 1985).

Benda dengan ukuran yang lebih besar pada umumnya menghasilkan permukaan yang kurang keras meskipun kondisi perlakuan panas tetap sama. Hal ini disebabkan karena terbatasnya panas yang merambat dipermukaan. Oleh karena itu, kekerasan dibagian dalam akan lebih rendah daripada bagian luar. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir

diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet (Schonmetz, 1985).

2.6.2 Normalizing

Normalizing adalah proses pemanasan pada suhu austenit dan didinginkan di udara terbuka. Cara *normalizing* adalah memanaskan baja pada suhu 10°C-40°C di atas daerah kritis, kemudian pendinginan dengan udara terbuka. *Normalizing* biasanya diterapkan pada baja karbon rendah dan baja paduan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan bahan sebelumnya, menghilangkan tegangan dalam, dan memperoleh sifat-sifat fisik yang diinginkan (Amstead dan Djaprie, 1995). Hasil proses *normalizing* baja akan berbutir lebih halus, lebih homogen dan keras dari hasil *annealing* (Wardoyo, 2005).

2.6.3 Quenching

Quenching merupakan proses pengerjaan logam dengan pendinginan secara cepat. Sehingga melalui *quenching* akan mencegah adanya proses yang dapat terjadi pada pendinginan lambat seperti pertumbuhan butir. Secara umum, *quenching* akan menyebabkan menurunnya ukuran butir dan dapat meningkatkan nilai kekerasan pada suatu paduan logam. Laju *quenching* tergantung pada beberapa faktor yaitu medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktifitas termal medium, viskositas, dan agitasi (aliran media pendingin). Kecepatan pendinginan dengan air lebih besar dibandingkan pendinginan dengan oli, sedangkan pendingin dengan udara memiliki kecepatan yang paling kecil (Syaefudin, 2001).

Pada umumnya baja yang telah mengalami proses *quenching* memiliki kekerasan yang tinggi serta dapat mencapai kekerasan yang maksimum tetapi agak rapuh. Dengan adanya sifat yang rapuh, maka kita harus menguranginya dengan melakukan proses lebih lanjut seperti *tempering* (Mulyadi dan Suitra, 2010).

2.6.4 Tempering

Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan (*quenching*) pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis) sehingga diperoleh *ductility* tertentu, yang dilanjutkan dengan proses pendinginan (Koswara, 1991).

Suhu pemanasan pada proses *tempering* dapat dibedakan sebagai berikut:

1. *Tempering* suhu rendah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 150°– 300°C. Proses ini tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti. *Tempering* ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja. Seperti alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

2. *Tempering* suhu menengah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 300° - 550°C. *Tempering* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan sedikit menurunkan kekerasan. Peningkatan suhu *tempering* akan mempercepat penguraian martensit dan kira-kira pada suhu 315°C perubahan fase menjadi martensit temper berlangsung dengan cepat. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, dan pegas.

3. *Tempering* pada suhu tinggi

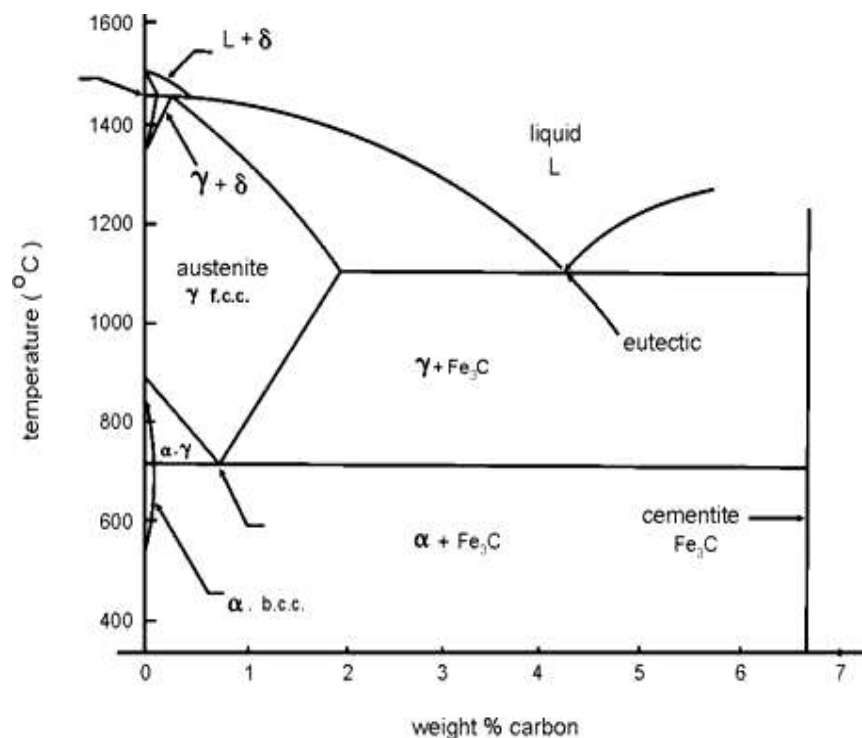
Tempering ini mempunyai suhu pemanasan $550^{\circ} - 650^{\circ} \text{ C}$. *Tempering* suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah. Tingginya suhu *tempering* dan lamanya *holding time* pada benda kerja tergantung pada jenis dan kekerasan baja yang dikehendaki. Semakin tinggi dan semakin lama *holding time* yang diberikan, semakin banyak terbentuk trosit dan sorbit sehingga kekerasan menjadi lebih rendah, keuletannya bertambah. Proses pendinginan setelah proses *tempering* umumnya bersifat alami yaitu pendinginan benda kerja pada udara terbuka, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sejenisnya (Schonmetz dan Gruber, 1985).

Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui *tempering*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat (Djafrie, 1985). Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lemah, proses ini berbeda dengan *annealing* karena dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak, mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung oleh kadar karbon.

Pada saat *tempering* proses *difusi* dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit yang berarti keuletan (*ductility*) dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik, dan kekerasan menurun. Djafrie menyatakan sifat-sifat mekanik baja yang telah dicelup, dan di temper dapat berubah dengan cara mengubah temperatur *tempering* (Djafrie, 1986).

2.6.5 Temperatur *Austenite*

Temperatur *austenite* yang dianjurkan untuk melakukan *hardening* adalah 25-50°C diatas temperatur kritis atas A_3 untuk baja *hypoeutectoid* dan 25-50°C di atas temperatur kritis bawah A_1 untuk baja *hypereutectoid*. Temperatur pemanasan yang hanya dibawah temperatur *eutectoid* tidak akan menghasilkan kenaikan kekerasan yang berarti karena pada pemanasan tersebut tidak akan didapat martensit. Pamanasan yang hanya sampai antara temperatur A_1 dan A_3 memang sudah menghasilkan *austenite*, tetapi masih terdapat ferit yang apabila didinginkan kembali ferit tersebut masih tetap berupa ferit yang apabila didinginkan kembali ferit tersebut masih tetap berupa ferit lunak. Kekerasan yang optimum hanya dapat dicapai dengan pemanasan seperti yang dianjurkan. Apabila pemanasan diteruskan ke temperatur yang lebih tinggi, maka akan diperoleh *austenite* dengan butiran yang terlalu kasar, sehingga jika didinginkan kembali akan ada kemungkinan terjadi struktur yang terlalu getas, dan juga tegangan yang terlalu besar yang dapat menimbulkan distorsi bahkan juga retak (Sidney, 1992). Temperatur *austenite* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Temperatur *austenite* untuk pengerasan (Sidney, 1992).

2.6.6 Homogenitas *Austenite*

Pemanasan yang dilakukan secara *equilibrium* akan memperoleh struktur yang memiliki komposisi yang homogen, karena ada pemanasan yang sangat lambat tersebut atom-atom akan dapat berdifusi secara sempurna untuk mencapai keadaan homogen. Pada pemanasan yang lebih cepat, difusi yang terjadi belum tercapai. Apabila *austenite* yang belum homogen tersebut didinginkan cepat (di *quenching*) akan diperoleh *martensit* dengan kekerasan yang berbeda, karena masing-masing berasal dari *austenite* dengan kadar karbon yang berbeda. Agar *austenite* menjadi lebih homogen, maka perlu diberi kesempatan kepada atom-atom untuk berdifusi secara sempurna, artinya pada saat pemanasan perlu diberi *holding time* yang cukup untuk dapat mencapai *austenite* yang homogen. Lamanya *holding time* tersebut tergantung pada laju pemanasan, semakin tinggi

laju pemanasan maka semakin panjang *holding time* yang harus diberikan. Pemanasan dengan menggunakan dapur listrik biasanya tidak memerlukan *holding time* yang lama, karena difusi sudah berlangsung cukup banyak selama pemanasan mendekati temperatur *austenite* (Dieter, 1990).

2.7 Waktu Penahanan (*Holding Time*)

Holding time merupakan waktu penahanan yang dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada suhu pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pada baja umumnya perlu dilakukan waktu penahanan, karena pada saat austenit masih merupakan butiran halus dan kadar karbon serta unsur paduannya belum homogen dan terdapat karbida yang belum larut. Baja perlu ditahan pada suhu austenit untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogen austenit. Waktu penahanan dapat dilakukan pada saat suhu dapur (*furnace*) telah mencapai suhu panas yang dikehendaki guna memberi kesempatan penyempurnaan bentuk kristal yang terbentuk pada suhu transformasi. Tujuan waktu penahanan pada proses *tempering* adalah agar struktur mikro yang dicapai setelah proses temper akan lebih homogen (Nur dkk, 2005).

Pada pemanasan baja, berdasarkan jenis-jenis bajanya, pedoman waktu tahan pada proses *heat treatment* diklasifikasikan menjadi beberapa jenis.

Berikut pembagiannya adalah sebagai berikut:

1. Baja konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, biasanya pada baja jenis ini diperlukan *holding time* atau waktu tahan yang singkat dan tidak terlalu lama yaitu 5-15 menit setelah suhu pemanasannya dianggap sudah memadai.
2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah, biasanya pada baja jenis ini disarankan untuk menggunakan *holding time* 15-25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. Baja campuran rendah (*low alloy tool steel*), biasanya pada baja jenis ini diperlukan *holding time* yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan pada baja tersebut dapat tercapai. *Holding time* yang digunakan yaitu 0,5 menit permilimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.
4. Baja krom campuran tinggi (*high alloy chrome steel*), biasanya pada baja jenis ini diperlukan yang paling panjang diantara semua baja perkakas, dan juga tergantung pada suhu pemanasannya. Selain itu diperlukan kombinasi suhu dan waktu *holding time* yang tepat. Biasanya waktu *holding time* yang digunakan pada baja jenis ini yaitu 0,5 menit permilimeter tebal benda dengan minimum 10 menit dan maksimal 1 jam.
5. *Hot- Work Tool Steel*, biasanya baja jenis ini mengandung karbida yang sulit larut, dan baru akan larut pada suhu 1000°C. Pada suhu ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu *holding time* harus dibatasi yaitu berkisar antara 15-30 menit.
6. Baja kecepatan tinggi (*high speed steel*), biasanya pada baja jenis ini memerlukan suhu pemanasan yang sangat tinggi yaitu berkisar antara 1200°C-

1300°C. Hal tersebut dilakukan untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir dan *holding time* diambil hanya beberapa menit saja (Dalil dkk, 1999).

2.8. Media Pendingin Baja

Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan baja bermacam-macam. Berbagai bahan media pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain:

1. Air

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O . Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku $0^{\circ}C$ dan titik didih $100^{\circ}C$ (Halliday dan Resnick, 1985). Pendinginan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat dibandingkan dengan oli (minyak) karena air dapat dengan mudah menyerap panas yang dilewatinya dan panas yang terserap akan cepat menjadi dingin. Kemampuan panas yang dimiliki air besarnya 10 kali dari minyak (Soedjono, 1978). Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak (Gary, 2011).

2. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendinginan pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan minyak bakar atau oli. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli yang mempunyai viskositas lebih rendah memiliki

kemampuan penyerapan panas lebih baik dibandingkan dengan oli yang mempunyai viskositas lebih tinggi karena penyerapan panas akan lebih lambat (Soedjono, 1978).

3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendinginan dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara (Soedjono, 1978).

4. Garam

Garam dipakai sebagai bahan pendinginan disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang (Soedjono, 1978). Cairan garam merupakan larutan garam dan air, titik didih larutan akan lebih tinggi daripada pelarut murninya. Besarnya kenaikan titik didih larutan dalam persamaan dinyatakan dengan:

$$\Delta T_d = K_d \times m \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

K_d = tetapan kesetaraan titik didih molal yang tergantung pada jenis pelarut,
untuk air sebesar $0,52^\circ\text{C m}^{-1}$

m = molalitas larutan

Keuntungan menggunakan air garam sebagai media pendingin adalah pada proses pendinginan suhunya merata pada semua bagian permukaan, tidak ada bahaya

oksidasi, karburasi atau dekarburasi (Gary, 2011). Kemampuan suatu media dalam mendinginkan sampel berbeda-beda yang dipengaruhi oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar pendingin (Soedjono, 1978).

2.9 Pembentukan Martensit

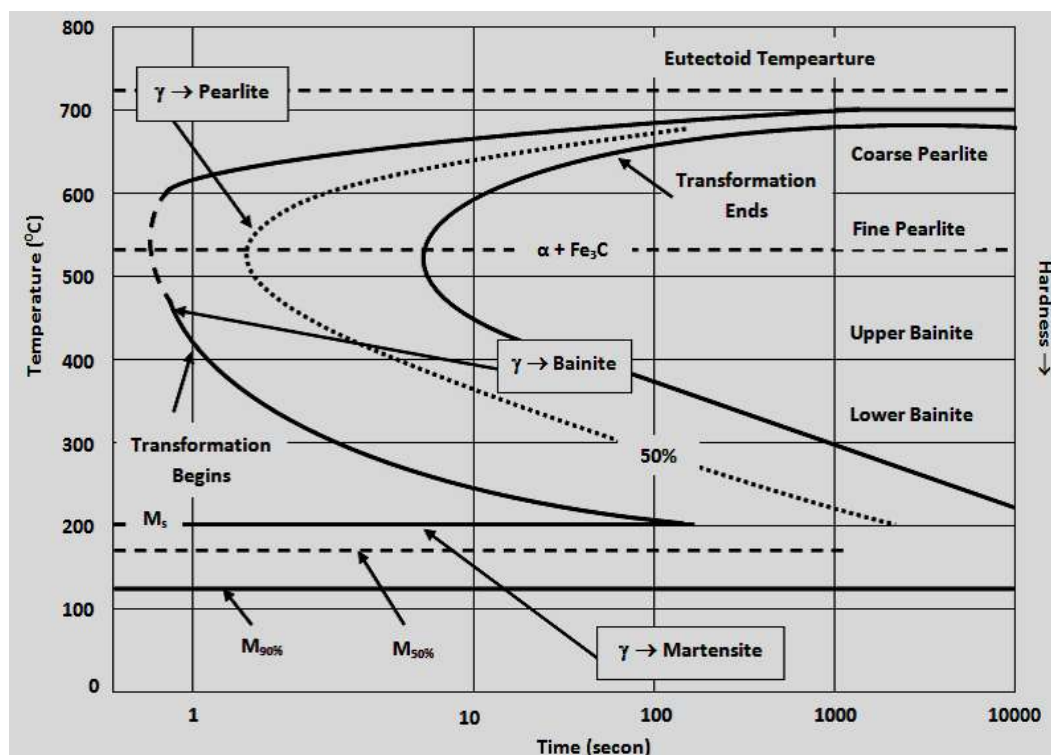
Martensit terbentuk jika fasa austenite dengan cepat ke temperatur rendah. Transformasi dari fasa austenit ke ferit terjadi suatu proses pengintian dan pertumbuhan butir yang dipengaruhi oleh waktu. Karena laju pendinginan yang begitu cepat, maka atom karbon tersebut terperangkap dalam larutan sehingga membentuk struktur martensit. Beberapa faktor yang mempengaruhi transformasi martensit adalah:

1. Proses transformasi terjadi tanpa difusi dan tidak terjadi perubahan komposisi kimia selama proses berlangsung. Volume yang kecil dari austenit tiba-tiba struktur kristalnya berubah oleh gerakan gesekan.
2. Proses transformasi hanya berlangsung selama pendinginan dan proses ini berhenti jika pendinginan dihentikan. Transformasi ini tergantung pada temperatur dan tidak tergantung pada waktu, sehingga jumlah dari martensit yang terbentuk mempunyai hubungan yang tidak linier dengan penurunan waktu. Temperatur pembentukan awal martensit ditandai dengan M_s dan temperatur akhir pembentukan ditandai dengan M_f (Gambar 5). Jika baja ditahan temperaturnya dibawah M_s , transformasi martensit akan berhenti dan tidak akan berlangsung lagi, kecuali jika temperaturnya diturunkan kembali secara cepat.

3. Pembentukan dari suatu paduan yang diberikan tidak dapat berubah, dan temperatur M_s (Gambar 5) tidak dapat berubah dari suatu paduan tidak dapat diturunkan dengan peningkatan laju (Adriansyah, 2007).

2. 10 Diagram transformasi untuk pendinginan

Diagram IT (*Isothermal Transformation*) atau TTT (*Time Temperature Transformation*) dilakukan dengan memanaskan baja karbon sehingga mencapai temperatur austenitasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan kontinu pada daerah fasa austenit kemudian menahannya untuk waktu tertentu dan mendinginkan lagi dengan laju pendinginan kontinu pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram TTT untuk baja *hypoeutectoid* (Smallman dan Bishop, 2000).

Pada Gambar 5 menunjukkan diagram TTT untuk jenis baja *hypoeutectoid*, dimana garis ordinat menunjukkan temperatur sedangkan garis absis menunjukkan waktu. Melalui diagram TTT ini, dapat diketahui kapan transformasi *austenite* dimulai serta waktu yang dibutuhkan untuk membentuk *austenite* sempurna. Untuk mencapai martensit, kecepatan turunnya suhu dapat relatif dipercepat dengan menggunakan media pendingin, misalnya air, air garam, dll. Seiring dengan turunnya suhu, pembentukan mendekati seratus persen martensit. Terbentuknya struktur mikro bainit dengan kecepatan suhu yang relatif lambat yaitu dengan menggunakan media pendingin udara. Pendinginan udara diberikan secara alami, sehingga lamanya untuk pendinginan membutuhkan waktu yang lama.

Dari diagram TTT (*Time Temperature Transformation*) dapat dibuat tabel beberapa macam proses *heat treatment* pada baja seperti Tabel 1.

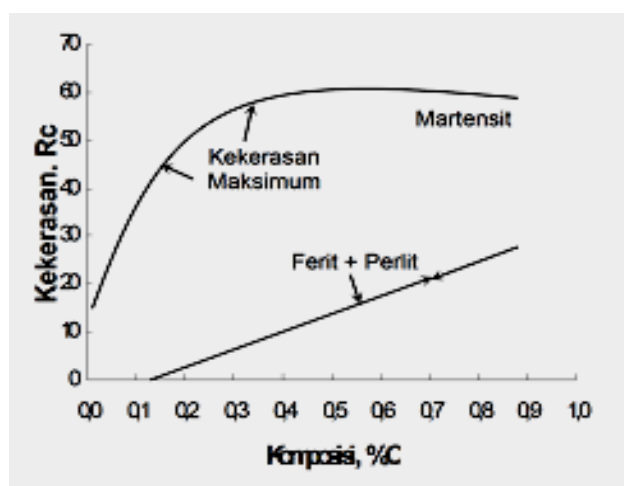
Tabel 1. Beberapa macam *heat treatment* baja

Proses	Tujuan	Prosedur	Fasa
Anil	Pelunakan	Pendinginan lambat dari daerah γ stabil	α + karbida
Celup	Pengerasan	Celup yang lebih cepat daripada CRm	Martensit
Austemper	Pengerasan tanpa pembentukan martensit rapuh	Celup disusul dengan transformasi isothermal diatas M_s	α + karbida
Temper	Peningkatan ketangguhan (biasanya dengan pelunakan minimal)	Pemanasan ulang dari martensit	α + karbida

(Van Vlack, 1992).

2.11. Kemampuan Kekerasan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap daya tembus dari bahan lain yang lebih keras (Karmin dan Ginting, 2012). Kemampuan kekerasan merupakan kemampuan bahan untuk dikeraskan. Kekerasan maksimum dapat tercapai bila martensit 100%. Baja yang dengan cepat bertransformasi dari austenit menjadi ferit dan karbida mempunyai kemampuan kekerasan yang rendah, karena dengan terjadinya transformasi pada suhu tinggi martensit tidak terbentuk. Sebaliknya baja dengan transformasi yang lambat dari austenit ke ferit dan karbida mempunyai kemampuan kekerasan yang lebih besar. Kekerasan mendekati maksimum dapat dicapai pada baja dengan kemampuan kekerasan yang tinggi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6 tentang hubungan antara kekerasan dengan meningkatnya kandungan karbon dalam baja.



Gambar 6. Hubungan kekerasan dengan meningkatnya kandungan karbon (Karmin dan Ginting, 2012).

2.12 Pengujian Sifat Fisis Baja

2.12.1 Uji Komposisi Kimia

Baja pada dasarnya memiliki kandungan unsur-unsur dengan persentase yang berbeda-beda didalamnya. Komposisi kimia merupakan suatu uji yang bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada logam atau baja dari suatu benda uji. Biasanya uji komposisi kimia dilakukan pada saat kita akan memulai suatu penelitian. Hal tersebut dimaksudkan agar sebelum melakukan suatu penelitian, kita sudah terlebih dahulu mengetahui klasifikasi dari baja atau sampel yang akan kita gunakan tersebut. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan mesin uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES).

Alat uji *Optical Emission Spectroscopy* mendeteksi komposisi atau kadar unsur-unsur yang terkandung dalam suatu logam, hasil dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unturnya dan intensitas sinar yang terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unturnya. Dalam prinsip pelaksanaannya, sinar radioaktif dan gas argon ditembakkan terhadap sampel yang akan mengakibatkan terbakarnya sampel sehingga memancarkan cahaya dan panjang gelombang serta intensitas tertentu. Cahaya yang timbul akibat pembakaran diubah menjadi cahaya monokromatik yang kemudian dilewatkan pada kaca prisma sehingga terdifraksi menjadi cahaya dengan panjang gelombang dan intensitas tertentu dan akan dideteksi oleh detektor unsur, sehingga dapat diketahui unsur yang terdapat pada sampel tersebut. (Zaenal, 1997).



Gambar 7. Alat *optical emission spectrometer* (OES) (Sumber: Lab. Analisis Kimia dan Metalurgi Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM)-LIPI, 2016).

2.11.2 Uji Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara bergantung pada sifat informasi yang dibutuhkan. Salah satu cara dalam mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik *metalografi* (pengujian mikroskopik). Mikroskop mikro yang digunakan untuk mengamati struktur bahan ditunjukkan pada Gambar 8.

a. Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang berkaitan dengan penyusun dari mikrostruktur logam dan paduan yang dapat dilihat langsung oleh mata maupun dengan bantuan peralatan seperti mikroskop optik, mikroskop elektron SEM (*Scanning Electron Microscope*), dan difraksi sinar-X. Metalografi tidak hanya berkaitan dengan struktur logam tetapi juga mencakup pengetahuan yang diperlukan untuk

preparasi awal permukaan bahan. Sampel metalografi harus memenuhi kriteria yaitu mewakili sampel, cacat dipermukaan minimum bebas goresan, lubang cairan lengket, inklusi, presipitat, fasa terlihat jelas, permukaan sampel datar sehingga perbesaran maksimum mampu dicapai, dan permukaan sampel bagian pinggir tidak rusak (Noviano, 2010).

Dalam preparasi sampel untuk pengujian mikroskopik dilakukan melalui lima tahapan yaitu: (Geels, 2006).

1. Pemotongan

Sampel untuk pengujian metalografi biasanya diambil dari material induk dengan melibatkan operasi pemotongan. Proses pemotongan induk dikerjakan dengan material *abrasive-wheel cutting* atau gergaji sehingga diperoleh sampel dengan dimensi sesuai dengan yang dikehendaki. Sampel yang dipotong tersebut harus memenuhi criteria persyaratan untuk metalografi.

2. Pembungkakan

Tujuan dari pembungkakan adalah untuk kenyamanan dalam menangani sampel dengan bentuk dan ukuran yang sulit selama proses penggerindaan, pemolesan, dan pengamatan metalografi. Tujuan kedua adalah melindungi ujung-ujung ekstrim dan cacat permukaan selama proses metalografi. Selain itu pembungkakan juga digunakan sebagai sarana untuk menangani sampel radioaktif.

3. Penggerindaan

Penggerindaan dilakukan untuk mengeliminasi sisi-sisi tajam dan goresan dari sampel akibat proses pemotongan. Proses penggerindaan dilakukan dengan menggunakan kertas gerinda dari *grade* kasar ke *grade* halus dengan

penggantian bertahap. Ketika dilakukan penggantian kertas gerindra posisi sampel harus diputar 90° dari posisi sampel ketika menggunakan kertas gerindra *grade* sebelumnya. Perlakuan ini ditujukan untuk menghilangkan goresan yang mungkin terbentuk ketika dilakukan penggerindaan.

4. Pemolesan

Pemolesan merupakan tahapan yang dilakukan untuk menyempurnakan hasil dari proses penggerindaan. Pada proses ini akan terjadi penghapusan goresan-goresan halus yang mungkin tersisa dari proses penggerindaan. Sehingga melalui proses pemolesan ini akan didapatkan sampel yang bebas dari goresan yang dapat menyebabkan hasil tidak maksimal saat metalografi. Pada umumnya pemolesan dilakukan dengan pasta *abrasive* seperti dengan menggunakan pasta alumina dan pasta intan.

5. Pengetsaan

Pengetsaan adalah suatu proses yang dilakukan untuk menampakkan batas-batas butir yang terbentuk pada logam. Prinsip dasar pengetsaan adalah melalui proses korosi terkendali. Pengendalian ini dapat berupa pengendalian waktu dan pengendalian bahan korosif yang digunakan.

Proses terjadinya perbedaan warna, besar butir, bentuk dan ukuran butir yang mendasari penentuan dari jenis dan sifat fasa pada hasil pengamatan foto mikro adalah di akibatkan adanya proses pengetsaan. Salah satu jenis bahan yang digunakan dalam pengetsaan adalah *Aqua Regia*. Prinsip dari pengetsaan sebenarnya merupakan proses pengikisan mikro terkendali yang menghasilkan alur pada permukaan akibat *crystal faceting* yaitu orientasi kristal yang berbeda (batas butir), akan terjadi reaksi kimia yang berbeda intensitasnya. Maka atom-

atomnya akan lebih mudah terlepas sehingga terkikis lebih aman. Akibatnya adanya perbedaan ini dan bergantung pada arah cahaya pantulan yang tertangkap oleh lensa maka akan tampak bahwa fasa yang lebih lunak akan terlihat lebih terang dan fasa yang lebih keras akan terlihat gelap. Begitu juga akan terlihat bentuk dan ukuran butirannya sehingga dapat dibedakan fasa-fasa yang terlihat dalam bahan yang akan diuji (Van Vlack, 1992).

Secara umum prinsip kerja mikroskop optik adalah sinar datang yang berasal dari sumber cahaya melewati lensa kondensor, lalu sinar datang itu menuju *glass plane* yang akan memantulkannya menuju sampel. Sebelum mencapai sampel, sinar datang melewati beberapa lensa pembesar. Kemudian sinar datang tersebut sebagian akan dipantulkan kembali, sedangkan sebagian lagi akan menyimpang akibat mengenai permukaan yang telah terkorosi pada saat pengetsaan. Sinar datang yang dipantulkan kembali ke mikroskop optik akan diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati.



Gambar 8. Skema perjalanan sinar pada mikroskop optik Alat *optical emission spectrometer* (OES) (Sumber: Lab. Analisis Kimia dan Metalurgi Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM)-LIPI, 2016).

2.13 Uji Sifat Mekanis Baja

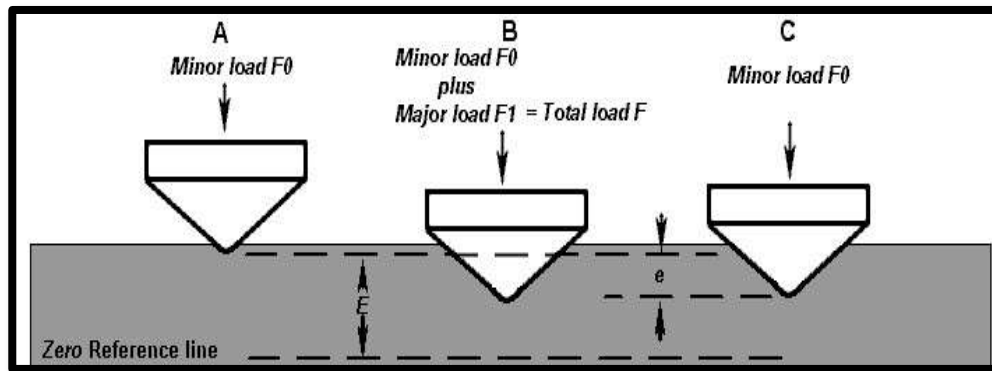
2.13.1 Uji Kekerasan

Pada umumnya kekerasan diartikan sebagai ketahanan terhadap deformasi, sedangkan nilai kekerasan pada logam adalah ukuran ketahanan logam terhadap deformasi permanen atau plastis. Ada tiga tipe umum pengukuran kekerasan tergantung bagaimana pengujian tersebut dilakukan, yaitu *scratch Hardness* adalah pengukuran yang didasarkan pada kemampuan logam terhadap goresan. Pengukuran ini didasarkan skala mohs. *Indentation Hardness* adalah pengukuran didasarkan pada kedalaman atau lebar goresan yang dibuat oleh suatu identor pada permukaan logam dengan beban tertentu. Pada saat teknik pengukuran dengan indantasi merupakan teknik pengukuran yang banyak dilakukan karena mudah untuk dilakukan dan tidak merusak spesimen secara berlebihan. Adapun beberapa teknik pengukuran kekerasan dengan indentasi yang banyak dilakukan adalah pengujian kekerasan *Rockwell* sesuai dengan yang ditetapkan oleh ASTM Standar E-18, pengujian kekerasan *Brinell* sesuai dengan ASTM Standar E-10, dan Pengujian kekerasan *Vickers* sesuai dengan ASTM Standar E-29.

2.13.2 Uji Kekerasan *Rockwell*

Pada uji kekerasan dengan metode *Rockwell* benda uji ditekan dengan penetrator (bola baja dan intan, dll). Harga kekerasan diperoleh dari perbedaan kedalaman dari beban mayor dan minor. Beban minor merupakan beban awal yang diberikan untuk pengujian *Rockwell* yang sudah ditentukan, sedangkan beban mayor merupakan beban minor ditambah dengan beban tambahan yang diberikan saat

pengujian kekerasan. Nilai kekerasan berdasarkan kedalaman penekanan indentor dan hasilnya dapat langsung dibaca pada jarum penunjuk indikator di mesin Rockwell. Ilustrasi pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Penetrasi Rockwell, F_0 = beban awal (*preliminary minor load in kgf*), F_1 = beban tambahan (*additional major load in kgf*), F = beban total (*total load in kgf*) (Higinss, 1999).

Nilai kekerasan Rockwell (HR):

$$HR = E - e \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

e = penambahan kedalaman penetrasi dari beban mayor, diukur dalam unit 0,002 mm

E = konstanta tergantung dari indentor. 100 unit untuk *diamond indenter*, 130 unit untuk *steel ball indenter* (contoh *indenter* pada Tabel 2).

Tabel 2. Skala Rockwell *Hardness*

Scale	Indenter	Minor Load F_0 kgf	Major Load F_1 kgf	Total Load F kgf
A	Diamond cone	10	50	60
B	1/16" steel ball	10	90	100
C	Diamond cone	10	140	150
D	Diamond cone	10	90	100
E	1/8" steel ball	10	90	100
F	1/16" steel ball	10	50	60
G	1/16" steel ball	10	140	150
H	1/8" steel ball	10	50	60
K	1/8" steel ball	10	140	150
L	1/4" steel ball	10	50	60
M	1/4" steel ball	10	90	100
P	1/4" steel ball	10	140	150
R	1/2" steel ball	10	50	60
S	1/2" steel ball	10	90	100
V	1/2" steel ball	10	140	150

(Sulaiman, 2010).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari sampai April 2016 di Laboratorium Analisis Kimia dan Metalurgi Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM) -LIPI Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

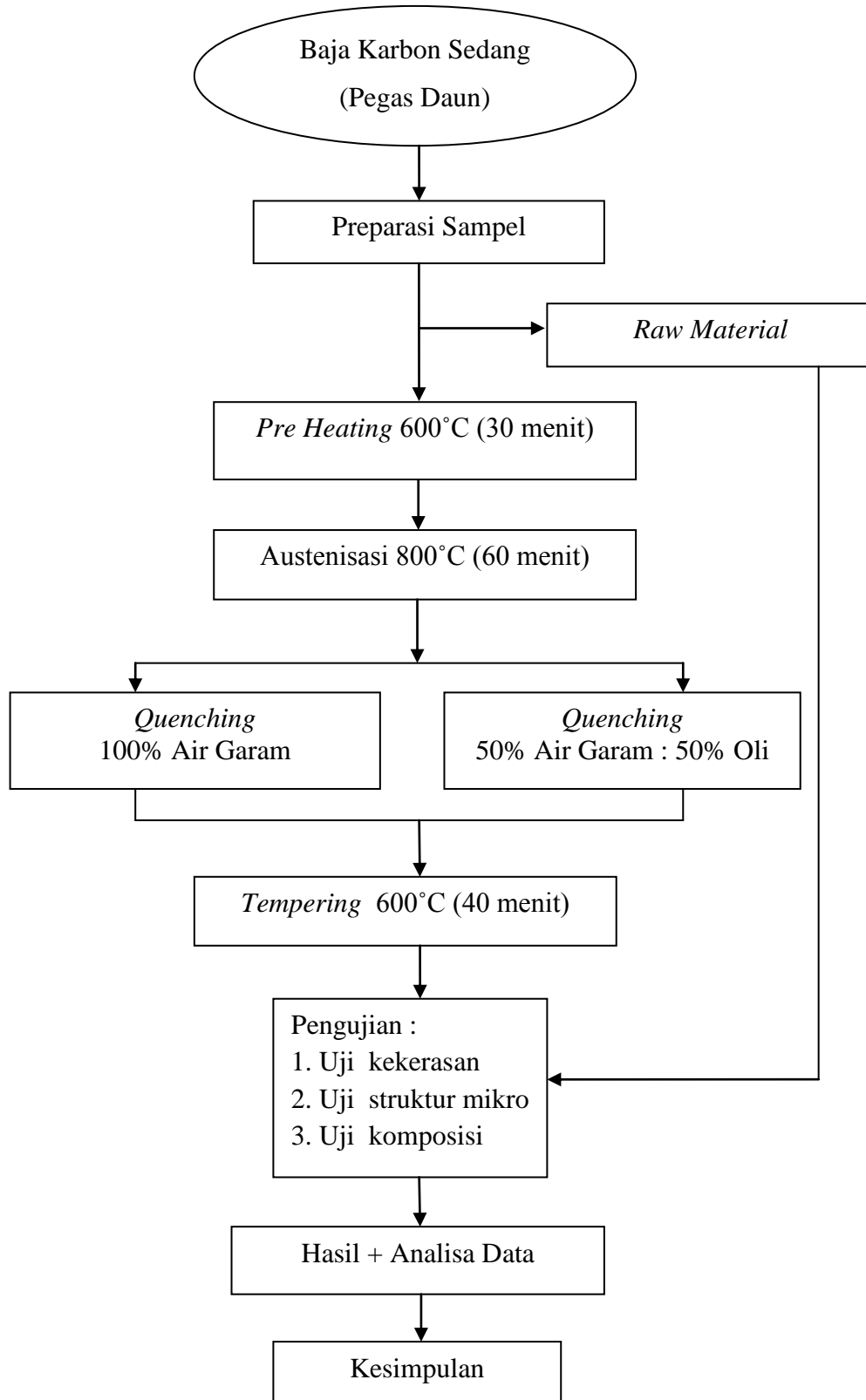
3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pemotong sampel (*cutting tool*), *grinding*, *Optical Emision Spectroscopy* (OES), tungku pemanas (*furnace*), *Rockwell-Analog Hardness Tester*, mesin *polishing* unipol 1210, alat pengering (*hair dryer*), *mounting press*, dan mikroskop optik tipe spark oes *spectromaxx*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja pegas daun bekas, kertas amplas (ukuran #80, #120, #240, #400 #600 #800, #1000, #1200), beludru, larutan Nital 3% (Etanol dan HNO₃), resin, bakelite, *Titanium oxide*, air garam dan oli.

3.3 Prosedur Percobaan

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 . Diagram alir penelitian.

3.3.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel yang dilakukan yaitu memotong baja pegas daun menggunakan *cutting tool* dengan ukuran panjang 40 mm, lebar 32 mm dan tinggi 10 mm sebanyak 6 buah. Untuk sampel *raw material* yaitu panjang 38 mm, lebar 31 mm dan tinggi 10 mm sebanyak 3 buah.

3.3.2 Uji Komposisi kimia

Uji komposisi kimia dilakukan bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada baja pegas daun yang akan digunakan sebelum dilakukannya suatu penelitian. Langkah-langkah untuk mengamati uji komposisi kimia adalah sebagai berikut:

- a. Memotong sampel baja sesuai dengan bentuk dan ukuran alat uji komposisi kimia.
- b. Mengampelas sampel memakai amplas, dengan nomor kekerasan atau tingkat kehalusan amplas: #80, #100, #120, #240, #600 #800, #1000 dan #1200.
- c. Menguji komposisi menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk melihat komposisi kimia serta unsur-unsur yang terkandung pada baja yang digunakan.

3.3.3 Perlakuan panas

Perlakuan panas dilakukan menggunakan tungku pemanas atau *furnace*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses perlakuan panas adalah:

a. *Pre-heating*

Pemanasan awal dilakukan sebelum pemanasan pada temperatur austenisasi. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya keretakan pada sampel akibat adanya *shock temperature*. Proses pemanasan pada temperatur 600°C dengan waktu tahan selama 30 menit.

b. Austenisasi

Setelah proses perlakuan pemanasan awal, pemanasan dilanjutkan hingga temperatur 800°C selama 60 menit.

c. Pendinginan cepat (*quenching*)

Proses pendinginan cepat dilakukan setelah proses perlakuan panas pada baja hingga mencapai temperatur dan waktu yang diinginkan. Media pendingin yang digunakan yaitu air garam dan oli.

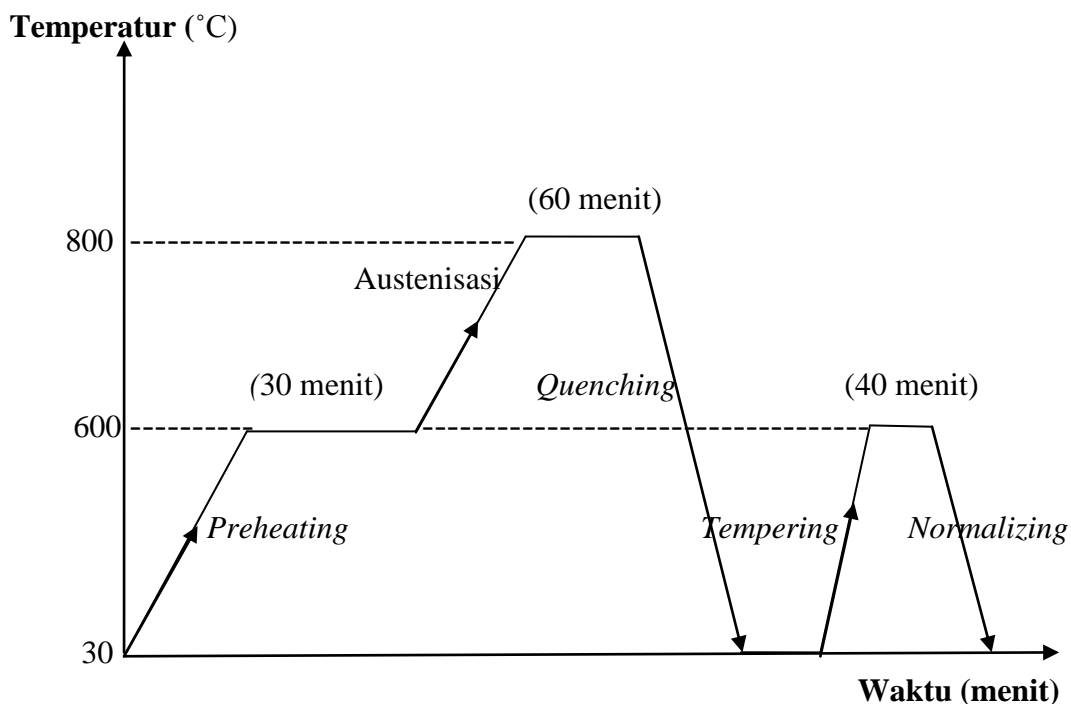
d. *Tempering*

Proses pemanasan kembali (*tempering*) setelah di*quenching* dengan temperatur 600°C selama 40 menit.

e. *Normalizing*

Sampel yang telah diberi perlakuan panas, dikeluarkan dari *furnace*. Setelah itu, sampel di *normalizing*. *Normalizing* adalah proses pemanasan yang didinginkan di udara terbuka.

Siklus perlakuan panas baja pegas daun ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Siklus perlakuan panas baja pegas daun.

3.3.4 Uji Kekerasan

Dalam penelitian ini pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell. Pada metode ini digunakan *Hardness Rockwell C*, indenter yang digunakan kerucut intan sebagai pendesak permukaan logam dengan diberi beban 1471 N. Indentasi dilakukan masing-masing selama 10 detik dan pengujian kekerasan dilakukan pada 3 titik yang berbeda pada tiap sampel uji.

3.3.5 Uji Struktur Mikro

Setelah uji kekerasan, untuk melihat struktur mikro pada sampel digunakan mikroskop optik dengan proses metalografi. Langkah-langkah preparasi sampel mikroskop optik adalah:

- a. Memotong sampel yang akan dilihat struktur mikronya.

- b. Melakukan *mounting* yaitu setelah dipotong kemudian sampel *dimounting*, untuk memudahkan pengoperasian selama proses preparasi (*grinding* dan *polishing*).
- c. Melakukan *grinding* atau pengamplasan pada sampel, secara berurutan dari yang kasar sampai halus memakai kekerasan atau tingkat kehalusan amplas: #60, #80 #100, #120, #240, #400, #800, 1000 dan #1200. Dalam proses *grinding* harus selalu dialiri air bersih secara terus-menerus dengan tujuan menghindari timbulnya panas dipermukaan sampel yang kontak langsung dengan kertas amplas dan juga menghilangkan partikel-partikel bahan *abrasive* menempel pada permukaan sampel.
- d. Melakukan *polishing* pada sampel dengan menggunakan kain poles (beludru) yang ditempelkan pada piringan yang berputar pada mesin poles, dimana sebelumnya telah diberi TiO_2 .
- e. Melakukan pengetsaan dengan larutan nital (larutan etanol+asam nitrat) 3% dituangkan dalam cawan kemudian sampel dicelupkan kedalam etsa selama \pm 3-5 detik dan kemudian dibersihkan dengan air dan alkohol setelah itu dikeringkan dengan alat pengering (*Hair Dryer*). Setelah sampel benar-benar kering, kemudian dilakukan pengamatan struktur mikro dengan perbesaran 10μ dan 100μ , dengan menggunakan alat mikroskop optik.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, kesimpulan yang diperoleh adalah:

1. Hasil pengujian komposisi kimia, menunjukkan baja pegas daun termasuk baja *chromium-vanadium steel* (AISI 6135) dan baja karbon medium yang mengandung unsur karbon (C) 0,343% dan unsur penyusun utamanya besi (Fe = 97%), krom (Cr = 1,086%), vanadium (V = 0,112%), tembaga (Cu = 0,100%). Setelah perlakuan panas (*heat treatment*) tidak mengalami perubahan komposisi secara signifikan.
2. Hasil uji kekerasan *raw material* sebesar 42,72 HRc. Setelah proses *tempering* menurunkan nilai kekerasan yaitu untuk media *quenching* 100% air garam nilainya 34,27 HRc dan untuk sampel campuran 50% air garam: 50% oli nilainya 38,27 HRc.
3. Media pendingin air garam memiliki laju pendinginan cepat sedangkan laju pendinginan oli lambat dan ketika dicampur 50% air garam : 50% oli kekerasan meningkat sebesar 4% dibanding 100% air garam.
4. Hasil struktur mikro pada sampel *raw material* menghasilkan ferit dan perlit. Sementara *quench-temper* 100% air garam :menghasilkan martensit temper, austenit sisa dan ferit yang lebih rapat dan menyebar, serta merata

dibandingkan *quench-temper* campuran 50% air garam : 50% oli sehingga kekerasan menurun.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan variasi persentasi media *quenching* yang lebih banyak agar dapat terlihat jelas perbedaan struktur mikro dan nilai kekerasannya, variasi suhu *tempering*, waktu tahan yang lebih lama dan hasil uji mekanik seperti uji tarik dan uji ketangguhan untuk mengetahui sifat mekanik dari baja pegas daun tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah. 2007. Pengaruh Temperatur Pada Proses *Heat Treatment* Untuk Meningkatkan Ketahanan Aus Baja Karbon Rendah Pada Pena Pegas Daun. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*. Vol. III. No. 1. Hal 7-9.
- Amanto, H. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. Hal 63-87.
- Amstead, B. H., dan Djaprie. 1979. *Teknologi Mekanik*. Edisi ke-7 Erlangga. Jakarta.
- Amstead, B. H., dan Djaprie, S. 1995. *Teknologi Mekanik*. Edisi ke-7 Erlangga. Jakarta. Hal 152.
- Arifin, F. dan Wijayanto. 2008. Pemanfaatan Pegas Daun Bekas sebagai Bahan Pengganti Mata Potong (*Punch*) pada Alat Bantu Produksi Massal (*Press Tools*). *Jurnal Media Mesin*. Vol. 9. No. 1. Hal. 20-27.
- ASM Handbook, 1985. *Metallography and Microstructures. Metal Handbook* Vol. 9. PP 1438-1453
- ASM Handbook, 1991. *Heat Treating of steel. Tenth Edition. Metals Handbook*. Vol 4. PP 14-367.
- ASM Handbook, 1993. *Properties and Selection: Iron Steels And High Performance Alloys. Metal Handbook*. Vol 1. PP 249-260.
- ASM Handbook, 1997. *Structure/Property Relationships in Iron and Steel. Second Edition. Metal Handbook*. Vol 20. PP 156-173.
- Dalil, M prayitno, A dan Inonu, I. 1999. Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil (*Holding Time*) Terhadap Kekerasan Logam. *Jurnal Natural Indonesia*. Vol. 2. No. 1. Hal 12-17.
- De Gamo, P., 1969, *Materials and Processes in Manufacturing*, Mac Millan Company, New York.

- Desty. 2013. *Pengaruh Lama Pemanasan, Pendinginan Secara Cepat, dan Tempering 600°C terhadap Sifat Ketangguhan pada Baja Pegas Daun AISI No. 9260*. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung.
- Dieter, GE, Djaprie, S. 1990, *Metalurgi Mekanik Jilid 1. Edisi ke-3*. PT. Erlangga. Jakarta. Hal 35-50.
- Djafrie, S. 1985. *Teknologi Mekanik Jilid 1*. Terjemahan dari *Manufacturing Processes*, Erlangga. Jakarta.
- Djafrie, S. 1986. *Metalurgi Mekanik*. Terjemahan dari *Mechanical Metallurgy*. Jakarta: Erlangga
- Fariadhie, Jeni. 2012. Pengaruh Temper dengan *Quenching* Media Pendingin Oli Mesran SAE 40 terhadap kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Baja ST 60. *Jurnal Politeknosains* . Vol. 9, No.1. Hal 1-14.
- Gary, M. 2011. *Heat Treatment*. Makalah Proses Produksi. Universitas Sriwijaya.
- Geels, K, 2006. *Mettallographic and Materialographic Specimen Preparatio, Light Microscopy, Image Analysis, and Hardness Testing*. ASTM Internasional PP. 10-13.
- Hadi, Q. 2010. Pengaruh Perlakuan Panas pada Baja Konstruksi ST 37 terhadap Distorsi, kekerasan, dan perubahan Struktur Mikro. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin SNTTM ke-9 13-15 Oktober 2010*. Hal 213-220.
- Halliday, D. dan Resnick, R. 1985. *Fisika Jilid I Edisi Ketiga*. Erlangga. Jakarta.
- Higgins, R. A. 1999. *Engineering Metallurgy, Part I, Applied Physical Metallurgy*. Six Edition, Arnold. London.
- Kareem, B. 2006. *Quality Verification of Made in Nigeria Steel Bars*. Nigera. Vol 5. PP 33-36.
- Karmin dan Ginting, M. 2012. Analisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit Menggunakan Media Pendingin Dromus. *Jurnal Austenite Jurusan Teknik Mesin*. Vol. 4. No. Hal 1-7.
- Kirono S. dan Saputra A. P. 2009. Pengaruh Proses *Tempering* Pada Karbon Medium Setelah *Quenching* Dengan Media Oli Dan Airt Garam (NaCl) Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *Jurnal Sintek*. Vol 5. No. 2. Hal 30-46.

- Koswara, Engkos. 1991. *Pengujian Bahan Logam*. Bandung. Humaniora Utama Press. Hal 134.
- Kurniawan P., I. 2007. *Perbedaan Nilai Kekerasan pada Proses Double Hardening dengan Media Pendingin Air dan Oli SAE 20 pada Baja Karbon*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Mamanal, I. P. dan Akhir, M. 2015. Pengaruh Temperatur *Hardening* Terhadap Peningkatan Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro *Leaf Spring* HIJET 1000. *Jurnal Blitek*. Vol. 5. No. 9. Hal 1-12.
- Mulyadi dan Sunitra, E. 2010. Kajian perubahan Kekerasan dan Difusi Karbon Sebagai Akibat dari Proses karburisasi dan Proses *Quenching* pada Material Gigi Perontok *Power Thresher*. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 7. No. 1. Hal 33-49.
- Noviani. 2010. *Pembuatan dan Karakterisasi Paduan Zr dengan Kadar Timah Putih Rendah*. Tugas Akhir. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Yogyakarta. Hal 31-32.
- Nur, I. Junaidi dan Hanwar, O. 2005. Analisis Pengaruh Media Pendingin dari Proses Perlakuan Panas terhadap Kekuatan Sambungan Pegas Daun dengan Las Smaw. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 2 No. 1. Hal 18-23.
- Pramuko, I. P. 2009. Peningkatan Kekakuan Baja Pegas Daun dengan Cara *Quenching*. *Media Mesin*. Vol. 10. No. 1. Hal 15-21. ISSN 1411-4348.
- Schonmetz, dan Gruber, A. K. 1985. *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*. Aksara. Bandung. Hal 82-85.
- Schonmetz, dan Gruber, A. K. 1987. *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*. Aksara. Bandung.
- Sidney. 1992. *Introduction for physics Metallurgy*. Prentice-Hall inc. USA.
- Smallman. R. E. and Bishop. R. J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. Oxford, Butterworth-Heinemann. Hal 298.
- Soejdono. 1978. *Pengetahuan Logam I*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- Streeter. 1992. *Fluid Mechanics*, McGraw Hill, New York.

- Sulaiman. 2010. *Pengaruh proses Pelengkungan dan Pemanasan Garis Plat Baja Kapal AISI E 2512 terhadap Nilai Kekerasan dan Laju korosi*. Skripsi. Universitas Diponegoro Semarang.
- Suratman, Rochim. 1994. *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Lembaga Penelitian ITB. Bandung.
- Surdia, T., dan Shinroku, S., 1999, *Pengetahuan Logam*, Cetakan ke-6, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Syaefudin. 2001. *Pengerasan Baja Karbon Rendah dengan Metode Nitridasi dan Quenching*. Skripsi. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Van Vlack, Djaprie, S., 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga. Jakarta. Hal 101-104.
- Watimenna dan Jandri, 2014. *Pengaruh Holding Time Dan Quenching Terhadap Kekerasan Baja Karbon St 37 Pada Proses Pack Carburizing Menggunakan Arang Batok Biji Pala (Myristica Fagrans)*. *Jurnal Teknologi*. Vol. 11. No. 1. Hal 1163 – 1171.
- Wardoyo, J.T. 2005. *Metode Peningkatan Tegangan Tarik dan Kekerasan Pada Baja Karbon Rendah Melalui Baja Fasa Ganda*. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 10. No. 3. Hal 237-248.
- Wibowo, B. T. 2006. *Pengaruh Temper dengan Quenching Media Pendingin Oli Mesran SAE 40 terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Baja ST 60*. Skripsi Semarang. Universitas Negeri Semarang.
- Yogantoro, A. 2010. *Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium Tempering dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketangguhan (Toughness)*. Skripsi. Surakarta. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Hal 48 – 49.
- Zaenal, H., George, B. E., 1997. *Aplikasi Metalurgical Spectrometer*. Balai Besar Industri Logam dan Mesin. Bandung.