

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Berbagai penelitian tentang media pendingin dengan proses *hardening* sudah banyak dilakukan oleh peneliti. Ada banyak tinjauan pustaka yang melandasi munculnya gagasan untuk meneliti judul yang ditulis karena adanya dorongan untuk mencari metode baru dan pembahasan baru sehingga dapat membantu dalam penyusunan laporan ini. Ada banyak jurnal penelitian yang mengangkat tentang materi yang disajikan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Rabiatul Adawiyah, 2015) Pengaruh beda media pendingin pada proses *hardening* terhadap kekerasan baja pegas daun. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan dan *fatigue limit / strength* yang lebih baik, dan untuk mendapatkan kekerasan yang tinggi. Setelah dilakukan *hardening* langkah selanjutnya yaitu setelah didapat hasil kekerasan maka dapat dibandingkan hasil kekerasan dari empat sampel dan diambil atau kekerasan yang paling tinggi. Proses penelitian ini adalah dengan jalan memanaskan pegas daun sampai suhu didaerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat. Bila kadar karbon diketahui, suhu pemanasnya dapat dibaca dari diagram fasa besi-carbide. Akan tetapi bila komposisi baja tidak diketahui, perlu diadakan percobaan untuk mengetahui daerah pemanasannya. Pengolahan data hasil penelitian dengan menggunakan analisa *statistic anova* sampel yang digunakan sebanyak 9 buah, untuk masing-masing media pendingin 3 sampel. Dari hasil pengolahan data tersebut terlihat bahwa *levene* statistik adalah 8,467 dengan nilai sig sebesar 0,018 yang berarti variasi dari nilai kekerasan adalah sama. Sedangkan dengan melihat nilai F hitung sebesar 1,345 dengan nilai sig sebesar 0,329. dengan hasil tersebut nilai F table sebesar 5,99 yaitu F hitung kecil dari F table berarti rata-rata nilai kekerasan setiap sistem adalah sama. Kesamaan Rata-rata dari nilai kekerasan adalah signifikan.

Faktor yang mempengaruhi hasil karena kurangnya variasi sampel yang diteliti, pada proses perlakuan panas pegas daun yang mempengaruhi hasil karena

kurangnya variasi sampel yang diteliti, dan pada proses perlakuan panas pegas daun.

Penelitian yang dilakukan oleh (Syaifudin Yuranto, 2015). Pengaruh media pendingin pada proses *hardening* material baja S45C. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik baja yang didinginkan dengan media pendingin air garam, oli, air, dan udara dalam media pendingin terhadap tingkat kekerasan pada baja S45C setelah dikeraskan dalam proses *hardening* dan struktur mikro. Penelitian dimulai dari pemotongan spesimen uji kekerasan dengan diameter 6 mm x 7 mm x 10 mm dan uji impact dengan diameter 10 mm x 10 mm 55 mm. hasil yang diperoleh uji kekerasan air garam memiliki nilai rata-rata kekerasan 95 BHN, Nilai rata-rata kekerasan oli 89 BHN, nilai rata-rata kekerasan air 94 BHN, nilai rata-rata kekerasan udara 87 BHN dan nilai kekerasan tanpa di *hardening* 88 BHN. Uji impact pada udara memiliki nilai rata-rata 1,175 J/mm<sup>2</sup>, nilai rata-rata impact air garam 0,257 J/mm<sup>2</sup>, nilai rata-rata impact air 0,369 J/mm<sup>2</sup>, nilai rata-rata impact oli 1, 128 J/mm<sup>2</sup> dan nilai rata-rata impact tanpa di *hardening* 0,955 J/mm<sup>2</sup>.

Penelitian yang dilakukan oleh (Gusti rusydi furqon, Muhammad furqon, Moch. Andi Sugeng .P, 2016). analisa uji kekerasan pada poros baja st 60 dengan media pendingin yang berbeda. Seiring dengan banyaknya kegagalan mekanis yang ditemui, Salah satu contohnya misalnya faktor kelelahan logam seperti patahnya poros kereta api, poros roda mobil, dan peristiwa patahnya poros baling-baling kapal. Penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa besar pengaruh beban-beban tersebut terhadap kekuatan lelah material poros, maka diperlukan pengujian material menggunakan benda uji (spesimen) dan disertai dengan analisa maupun perhitungan secara teliti. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode anova yang bertujuan untuk mencari perbedaan pengaruh media pendingin terhadap kekerasan material. Dengan jumlah sampel tiga media pendingin, kemudian bahan yang digunakan adalah baja ST 60 dengan temperatur 600 °C. Setelah melakukan penelitian dengan metode anova didapatkan hasil dengan nilai Fhitung -6,0560294 < Ftabel 3,88. Nilai kekerasan sebelum perlakuan panas yaitu 112,4 HB dan yang sesudah perlakuan panas yaitu air (110,2 HB), udara (94,8 HB) dan oli mesran SAE 40 (119,4 HB). Diantara ketiga media pendingin setelah

perlakuan panas yang paling baik dalam meningkatkan kekerasan material adalah oli mesran SAE 40 dengan nilai rata-rata 119,4 HB.

Penelitian yang dilakukan oleh (Y.M. Utomo,2018) Peningkatan Nilai Kekuatan Mekanik Pada Baja St 60 dengan Metode Pemanas Induksi Sebagai Bahan Alternatif Pisau Bubut HSS. Untuk dapat meningkatkan kekerasan dan keausan material dapat dilakukan dengan beberapa cara, dalam penelitian ini akan dilakukan pengerasan logam menggunakan pemanas induksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui variasi suhu pengerasan di mana suhu pengerasan adalah 600 °C, 700 °C, dan 800 °C dengan mendinginkan air laut dengan kekuatan, kekerasan dan pengamatan metalografi pada baja ST 60. Dari penelitian ini menghasilkan nilai rata-rata pengujian kekerasan yang diperoleh pengaruh variasi suhu terhadap nilai kekerasan pada baja st 60 yang didinginkan dengan air laut dibandingkan dengan bilah HSS Co5. Suhu 600 °C adalah 23,33 HRC, suhu 700 °C adalah 59,22 dan suhu 800 °C adalah 60,33 HRC sedangkan pisau HSS Co5 adalah 63,33 HRC, pada suhu 800 ° C yang kekerasannya hampir menyerupai pisau asli. Hasil uji metalografi pada bahan baku dan suhu perlakuan panas 600 °C, 700 °C dan 800 °C, bahan baku terlihat banyak butiran ferit, suhu 600 °C butiran ferit lebih kecil dari bahan baku tetapi tidak jauh berbeda karena pemanasan tidak mencapai suhu austenite, suhu 700 °C ada batas retakan karena bilah kejut termal martensit terbentuk, suhu 800 °C terbentuk martensit ke inti.

Penelitian yang dilakukan oleh (Rifky Ismail, Nizar Rahman Aprilitama dan Sugiyanto 2015) pengamatan struktur mikro dan kekerasan pada roda gigi pasca pengerasan permukaan menggunakan pemanas induksi. Objek penelitian ini adalah roda gigi transmisi yang membutuhkan tahan aus dan sifat keras pada permukaan serta tangguh dan ulet dibagian dalam. Proses pengerasan permukaan dilakukan menggunakan alat pemanas induksi. Proses pengerasan permukaan dilakukan menggunakan alat pemanas induksi. Material yang digunakan adalah baja AISI 4140 dan baja ST 60 yang banyak digunakan sebagai bahan baku dalam industri alat transportasi. Spesimen berbentuk gear ditempatkan di tengah koil induksi dan dipanaskan sampai suhu austenit kemudian dicelupkan ke dalam minyak pendingin dengan cepat.

Tabel 2.1 Komparasi Kajian Pustaka

NO	Judul-Penulis-Tahun	Bahan (komposit)	Metode, hasil dan pembahasan
1	<p><b>Judul :</b> Pengaruh beda media pendingin pada proses <i>hardening</i> terhadap kekerasan baja pegas daun</p> <p><b>Penulis :</b> Rabiatul Adawiyah</p> <p><b>Tahun :</b> 2015</p>	Baja pegas daun JIS SUP 9A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standar yang digunakan: ASTM E18</li> <li>• Dari hasil pengolahan data tersebut terlihat bahwa Levene Statistik adalah 8,467 dengan nilai sig sebesar 0,018, yang berarti varian dari nilai kekerasan adalah sama. Sedangkan dengan melihat nilai F hitung sebesar 1,345 dengan nilai sig sebesar 0,329. Dengan hasil tersebut dimana F tabel sebesar 5,99 yaitu F hitung kecil dari F tabel berarti rata-rata nilai kekerasan setiap sistem adalah sama. Kesamaan Rata-rata dari nilai kekerasan adalah signifikan. Faktor yang mempengaruhi hasil karena kurangnya variasi sampel yang diteliti, dan pada proses perlakuan panas pegas daun.</li> </ul>
2	<p><b>Judul :</b> Pengaruh media pendingin pada proses <i>hardening</i> material baja S45C.</p> <p><b>Penulis :</b> Syarifudin Yuranto</p>	Baja S45C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standar yang digunakan: ASTM E10</li> <li>• Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan, yaitu hasil yang diperoleh uji kekerasan air garam memiliki nilai rata-rata kekerasan</li> </ul>

	<b>Tahun : 2015</b>		95 BHN , nilai rata-rata kekerasan udara 87 BHN dan nilai kekerasan tanpa di hardening 88 BHN. Uji impact pada udara memiliki nilai rata- rata 1.175 J/mm <sup>2</sup> , nilai rata-rata impact air garam 0.257 J/mm <sup>2</sup> , nilai rata- rata impact oli 0.369 J/mm <sup>2</sup> , nilai rata-rata impact tanpa hardening 0.955 J/mm <sup>2</sup> .
3	<p><b>Judul :</b> analisa uji kekerasan pada poros baja st 60 dengan media pendingin yang berbeda</p> <p><b>Penulis :</b> Gusti rusydi furqon, Muhammad furqon, Moch. Andi Sugeng</p> <p><b>Tahun : 2016</b></p>	Baja St 60	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standar yang digunakan: ASTM E18</li> <li>• Setelah melakukan penelitian dan menganalisis data dengan menggunakan metode anova nilai yang didapatkan adalah Fhitung - 6,0560294 &lt; Ftabel 3,88, penulis menyimpulkan bahwa terdapat pengaruh media pendingin terhadap kekerasan material baja ST 60 pada temperatur 600 °C tetapi tidak disignifikan. Nilai kekerasan sebelum perlakuan panas yaitu 112,4 HB dan nilai kekerasan sesudah perlakuan panas dengan tiga variasi media pendingin yaitu air (110,2 HB), udara (94,8 HB), dan oli mesran SAE 40 (119,4 HB). Dari ketiga media pendingin yang memberikan hasil kekerasan lebih</li> </ul>

			baik pada material baja ST 60 yaitu media pendingin oli mesran SAE 40 dan didapatkan nilai kekerasan rata-ratanya 119,4 HB
4	<p><b>Judul :</b> Peningkatan Nilai Kekuatan Mekanik Pada Baja St 60 dengan Metode Pemanas Induksi Sebagai Bahan Alternatif Pisau Bubut HSS</p> <p><b>Penulis :</b> Y.M. Utomo</p> <p><b>Tahun :</b> 2018</p>	Baja St 60	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standar yang digunakan: ASTM E18</li> <li>• Variasi suhu mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan pada baja st 60 yang di quenching air laut ketika dibandingkan dengan pisau HSS Co5. Pada Suhu 600 °C nilai kekerasannya adalah 23,33 HRC, pada suhu 700 °C nilainya adalah 59,22 dan pada suhu 800 °C nilainya adalah 60,33 HRC sedangkan pada pisau HSS Co5 nilai kekerasannya adalah 63,33 HRC, sehingga terlihat bahwa pada suhu 800 °C mempunyai nilai kekerasannya hampir menyerupai pisau asli. Pengamatan struktur mikro pada suhu 600°C, butiran ferit lebih kecil dari pada raw material, hal ini dikarenakan suhu pemanasannya tidak mencapai suhu austenit. Pada suhu 700 °C muncul batas retakan karena shock thermal, martensit bilah terbentuk dan pada suhu 800 °C adalah terbentuk martensit hingga inti.</li> </ul>

5	<p><b>Judul :</b> pengamatan struktur mikro dan kekerasan pada roda gigi pasca pengerasan permukaan menggunakan pemanas induksi</p> <p><b>Penulis :</b> Rifky Ismail, Nizar Rahman Aprilitama dan Sugiyanto</p> <p><b>Tahun :</b> 2015</p>	Baja AISI 4140 dan Baja St 60	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standar yang digunakan: ASM</li> <li>• Setelah dilakukan proses pengerasan permukaan menggunakan pemanas induksi pada roda gigi ST 60 dan AISI 4140 menghasilkan tingkat kekerasan permukaan yang bervariasi. Hasil kekerasan macro hardness dan micro vickers menunjukkan 6 spesimen roda gigi ST 60 dan AISI 4140 setelah di induksi mengalami kenaikan curva kekerasan permukaan dari sebelum perlakuan dan setelah perlakuan induksi, spesimen roda gigi ST 60 naik menjadi 3 kali lipat nilai kekerasannya sedangkan pada roda gigi AISI 4140 naik 2 kali lipat.</li> </ul>
---	--	-------------------------------	---

Dari tinjauan pustaka di atas, peneliti tertarik untuk mencari pengaruh media pendingin dan suhu pada proses pemanas induksi terhadap tingkat kekerasan baja JIS SUP 9 Sebagai alternatif pahat bubut HSS.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Pengertian *Induction Heater*

Suatu pemanas induksi dapat kita bayangkan bagian dari suatu trafo dengan pengisian arus terjadi pada lilitan kumparan. Setelah sumber AC dihubungkan dengan kumparan maka arus bolak-balik akan mengalir pada semua bagian konduktor dan akan timbul medan magnet disekitar kumparan induksi tersebut. Apabila pada komponen tersebut ditempatkan suatu bahan konduktif, maka akan timbul arus eddy dalam bahan tersebut. Karena arus eddy dalam mengambil

energinya dalam bentuk panas sedangkan magnet dalam bentuk lingkaran, maka panas yang dihasilkan dari pemanasan akan berubah apabila terjadi perubahan frekuensi (Rachmadona, N., 2015).

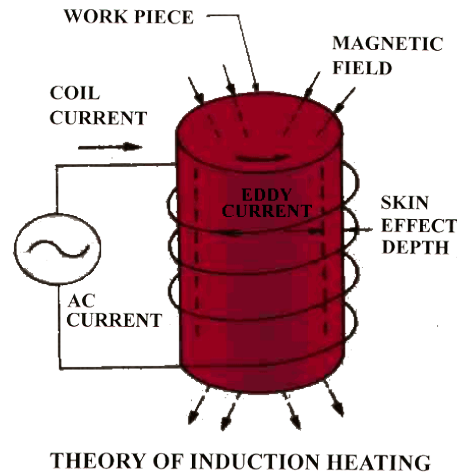
Kumparan pemanas induksi yang berfungsi sebagai beban merupakan pengaplikasian dari sumber AC yang berfrekuensi tinggi, dalam penerapannya maka pada permukaan kumparan dapat diletakan sebuah lempengan baja. Pemanas akan dikondisikan sesuai dengan frekuensi yang dihasilkan sumber AC sehingga proses dari pemanas induksi akan terlibat dengan mengamati perubahan temperature pada inti besi tersebut.

Pada penelitian ini, proses pemanasan menggunakan pemanas induksi yang memanfaatkan arus listrik yang dapat menghasilkan panas jika dilakukan pada baja karbon. Menurut penelitian yang telah dibuat oleh saudara Hakiki (2018) dalam tugas akhirnya yang berjudul “ Rancang Bangun Sistem *Induction Heater* Berbasis Mikrokontroler Atmega 328”, dapat memanaskan logam baja hingga suhu 500 °C dengan waktu 103 detik dan logam besi dengan waktu 92 detik. Jadi dapat disimpulkan bahawa pemanasan logam dengan *induction heater* dapat dilakukan dengan waktu yang singkat dan dapat digunakan dalam proses *Heat treatment*.

### **2.2.2 Prinsip Kerja *Induction Heater***

Sebuah sumber listrik digunakan untuk menggerakkan sebuah arus bolak balik atau yang biasa disebut sebagai arus AC yang besar melalui sebuah kumparan induksi. Kumparan induksi ini dikenal sebagai kumparan kerja. Aliran arus yang melalui kumparan ini menghasilkan medan magnet yang sangat kuat dan cepat berubah dalam kumparan kerja. Benda kerja yang akan dipanaskan ditempatkan dalam medan magnet ini dengan arus AC yang sangat kuat. Ketika sebuah beban masuk dalam kumparan kerja yang dialiri oleh arus AC, maka nilai arus yang mengalir akan mengikuti besarnya sesuai dengan nilai beban yang masuk. Medan magnet yang tinggi akan dapat menyebabkan sebuah beban dalam kumparan kerja tersebut melepaskan panasnya, sehingga panas yang ditimbulkan oleh beban tersebut justru dapat melelehkan beban itu sendiri. Karena panas yang dialami oleh beban akan semakin tinggi, hingga mencapai nilai titik leburnya (Rachmadona, N., 2015).





**Gambar 2.1** Prinsip Kerja Pemanas Induksi  
(Sumber : Rachmadona, N., 2015 )

### 2.2.3 Sifat - Sifat Mekanik Pada Baja

Sifat mekanik pada baja sangat berperan penting dalam pemilihan bahan dasar untuk penelitian di dunia perteknikan. Hal ini di karenakan baja memiliki sifat mekanik yang cukup baik. Adapun beberapa sifat-sifat mekanik yang perlu kita diketahui, yaitu :

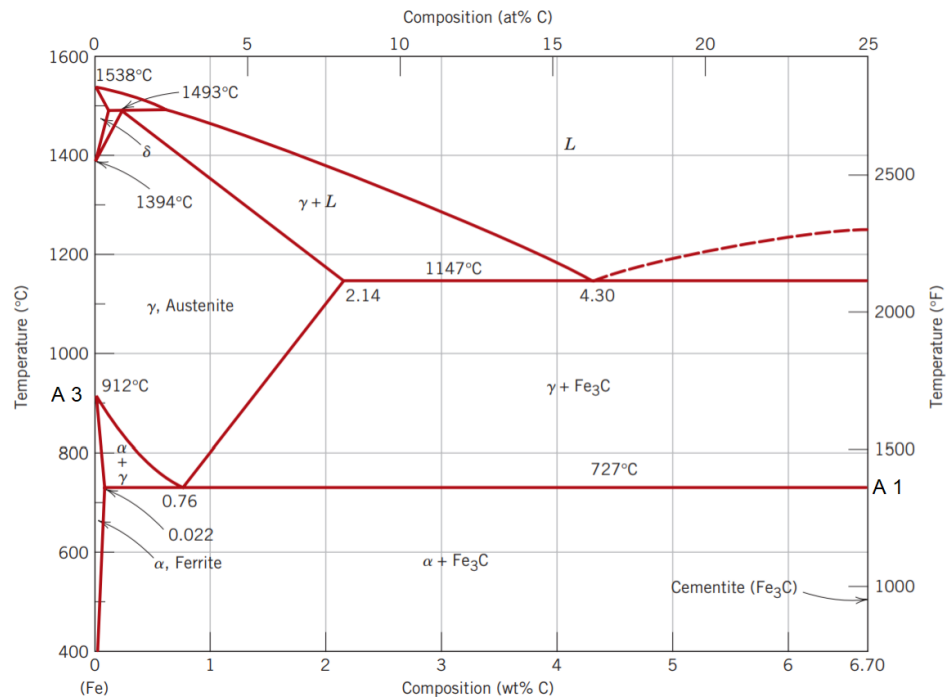
- Keuletan (*ductility*) Adalah sifat bahan yang mempunyai gaya regangan (*tensile strain*) relative besar sampai dengan titik kerusakan, yang memungkinkannya dibentuk secara permanen (Karmin dan Ginting, 2012).
- Ketangguhan (*thougness*) Adalah sifat bahan yang menunjukkan besarnya energy untuk mematahkan bahan ( Karmin dan Ginting, 2012).
- Kekuatan tarik (*tensile test*) adalah kekuatan tarik yang ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula (Karmin dan Ginting, 2012).
- Kekerasan (*Hardness*), yaitu ketahanan baja terhadap besarnya gaya yang dapat menembus permukaan baja. Cara ujinya dengan kekerasan *Brinell*, *Rockwell*, *ultrasonic*, dll (Karmin dan Ginting, 2012).
- Kekuatan (*strength*), yaitu kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah, kekuatan ini terdiri dari : kekuatan tarik, kekuatan tekan, kekuatan geser, dan lain sebagainya.

### 2.2.4 Proses Hardening

*Hardening* adalah memanaskan logam sampai temperatur tertentu dengan waktu beberapa lama pada temperatur itu, kemudian didinginkan dengan cepat, sehingga menimbulkan suatu susunan yang keras. *Hardening* bertujuan untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan aus dan ketangguhan dengan kombinasi kekerasan. Proses *hardening* ini menyebabkan pada susunan atom-atom yang teratur timbul tegangan dan logam itu menjadi keras (Sumpena, 2018).

Langkah-langkah proses *hardening* adalah sebagai berikut:(Adawiyah, 2014)

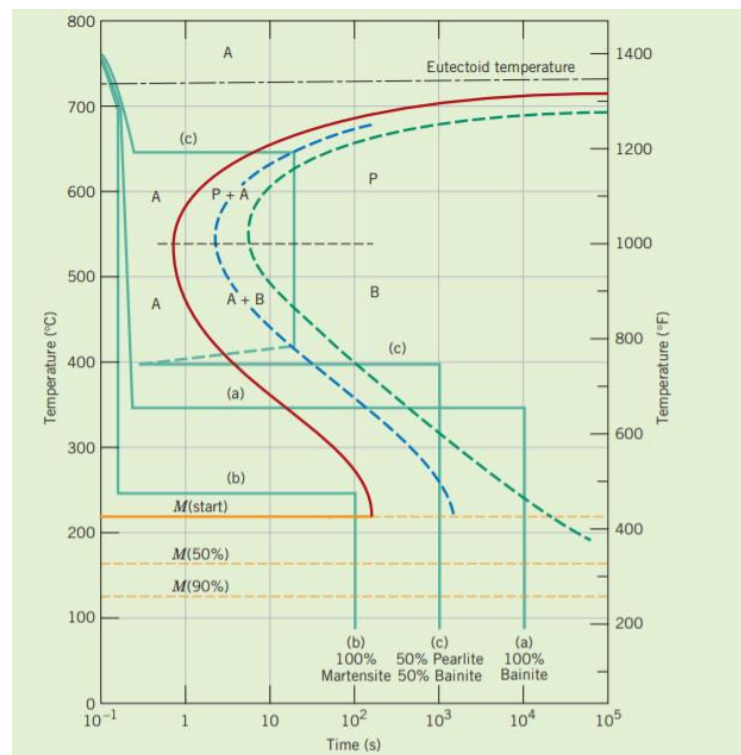
1. Melakukan pemanasan (*heating*) diatas A1 pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C, misalnya pemanasan sampai 850 °C bertujuan untuk mendapatkan struktur *austenite*, yang salah satu sifat *austenite* adalah tidak stabil pada suhu di bawah A1, sehingga dapat ditentukan struktur yang diinginkan.



**Gambar 2.2** Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C  
(sumber : Callister, 2007)

2. Penahanan suhu (*holding*), *holding time* dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenite dan difusi karbon dan unsur paduannya.

3. Pendinginan untuk proses *hardening* kita lakukan pendinginan secara cepat. Tujuannya adalah untuk mendapatkan struktur martensite, semakin banyak unsur karbon, maka struktur martensite yang terbentuk juga akan semakin banyak. Karena martensite terbentuk dari fase austenite yang didinginkan secara cepat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur Kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat.



**Gambar 2.3** kurva pendinginan pada diagram TTT  
( *time - temperature - transformation* )  
(Sumber : Callister, 2007)

Beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon:

1. Austenit adalah campuran Fe(besi) dan C(karbon), bersifat lunak dengan keliatan tinggi dan karbon maksimum sebesar 2.14% (Yogantoro,2010).
2. Ferit ( $\alpha$ ) mempunyai ruang antar atom kecil dan rapat sehingga sedikit menampung atom karbon. Ferit lunak dan liat. Kadar maksimum karbon sebesar 0.025% pada suhu 723 °C (Yogantoro, 2010).
3. Perlit merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu ferit dengan karbon 0.025% dan sementit dalam bentuk lamellar (lapisan) dengan

karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan (Yogantoro, 2010).

4. Bainit adalah struktur mikro dari reaksi eutectoid ( $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) non-lamelar (tidak berupa lapisan). Bainit merupakan struktur mikro campuran fasa ferit dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) (Yogantoro, 2010).
5. Martensit merupakan fasa ferit dan sementit bercampur, tetapi bukan dalam lamellar, melainkan jarum-jarum sementit (yogantoro, 2010)
6. Sementit merupakan paduan logam besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (sementit). Dibandingkan dengan ferit sementit sangat keras (Yogantoro, 2010).

### 2.2.5 Hardenability

*Hardenability* adalah ukuran kemampuan suatu material untuk membentuk fasa martensit. *Harden-ability* dapat diukur dengan beberapa metode diantaranya metode *jominy* dan metode *grossman*. Dari metode ini akan mendapatkan kurva antara harga kekerasan dengan jarak *quenching* dari pusat *quench*.

Ada perbedaan pengertian antara kekerasan dengan kemampukerasan, *Hardenability* adalah kemampuan untuk mengeras sampai kekerasan tertentu pada suatu bahan bila bahan tersebut dikenakan suatu perlakuan panas. Sedangkan kekerasan adalah kemampuan bahan untuk menahan penetrasi dari luar. Besarnya kekerasan dipengaruhi beberapa faktor antara lain:

1. Semakin besar kandungan karbon semakin tinggi kekerasannya sehingga menjadi getas.
2. Jarak pendinginan pada *specimen* setelah mengalami perlakuan panas pada tiap titik akan berbeda-beda. Semakin lambat laju pendinginan maka kekerasannya akan semakin kecil (Adawiyah, 2014).

### 2.2.6 Quenching

Proses quenching atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendingin yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja.

Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase mertensit, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon. Martensit adalah fasa meta stabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat. Pemanasan harus dilakukan secara bertahap (*preheating*) dan perlahan-lahan untuk memperkecil deformasi ataupun resiko retak. Setelah temperatur pengerasan (*austenitizing*) tercapai, ditahan dalam selang waktu tertentu (*holding time*) kemudian didinginkan cepat. Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui temper, kekerasan, dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat. Pada saat tempering proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit berarti keuletan (*ductility*) dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik, dan kekerasan menurun. Sifat-sifat mekanik baja yang telah dicelup, dan di-temper dapat diubah dengan cara mengubah temperatur tempering (Yusman, 2018).

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

1. Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendingin yang cepat. Biasanya ke dalam air tersebut dilarutkan juga garam dapur sebagai usaha mempercepat turunnya temperatur benda kerja dan mengakibatkan bahan menjadi tambah keras (Ardiansyah, 2016).

2. Minyak atau Oli

Oli mengandung lapisan-lapisan halus untuk mencegah terjadinya benturan antar logam seminimal mungkin, mencegah goresan atau keausan. Penggunaan pelumas sebagai media pendingin dalam proses perlakuan akan menyebabkan timbulnya lapisan karbon pada bagian permukaan spesimen yang akan mempengaruhi sifat mekanis spesimen (Palupi,2016).

### 3. Solar

Viskositas solar dan bahan dasar solar membawa pengaruh dalam mendinginkan spesimen. Penggunaan solar sebagai media pendingin akan menyebabkan timbulnya selaput karbon pada spesimen tergantung dari besarnya viskositas pelumas (Palupi,2016).

### 4. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara yang disirkulasikan ke dalam ruangan pendingin 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 (Ardiansyah, 2016).

#### **2.2.7 Klasifikasi Baja Karbon**

Menurut salah seorang peneliti yang bernama Awal Anggi baja karbon memiliki klasifikasi yang mengacu berdasarkan tingkatan kandungan karbon (C) itu terhadap berat besi (Fe) pada baja tersebut. Adapun klasifikasi dari baja karbon adalah:

##### a) Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kandungan karbon terhadap berat besi berkisaran antara 0 % sampai dengan 0,25 % . Baja karbon rendah cenderung memiliki sifat keuletan yang baik namun untuk sifat mekanik lainnya seperti kekerasan cenderung buruk disebabkan karena kecil atau sedikitnya kandungan karbon yang terkandung dalam baja karbon rendah sehingga tidak dapat menghasilkan fasa martensit pada proses perlakuan panas. Baja karbon rendah sendiri biasanya digunakan untuk bahan-bahan manufaktur karena sifatnya yang mampu tempa dan dapat dibentuk karena sifat keuletannya yang tinggi.

##### b) Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon menengah dimana kandungan karbon pada baja tersebut berkisaran antara 0,25 % sampai 0,55 % . Baja karbon sedang memiliki kekuatan mekanik yang baik serta memiliki keuletan dan kekuatan kekerasan yang baik, karena baja karbon sedang dapat

ditingkatkan sifat mekaniknya karena baja karbon sedang memiliki kadar karbon yang cukup untuk dilakukan perlakuan panas. Sifat mekanik dari baja karbon sedang dapat ditingkatkan dengan beberapa cara yaitu *austenitizing*, *quenching* dan *tempering* yang dapat menghasilkan struktur martensit pada baja tersebut. Baja karbon sedang biasanya digunakan sebagai bahan baku dari pembuatan alat-alat perkakas, komponen-komponen mesin seperti poros, roda gigi, pegas dan lain-lain.

c) Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi merupakan baja karbon yang kandungan karbon nya berkisar pada 0,55 % sampai 1,4 % dibandingkan berat besi yang diunakan pada baja tersebut. Baja karbon tinggi memiliki tingkat kekerasan yang tinggi namun keuletan dari baja karbon tinggi sangat kecil. Baja karbon tinggi biasanya digunakan untuk alat-alat yang memerlukan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap gesekan dan defleksi serta beberapa alat seperti bearing, mata bor, mata pahat dan lain lain (Anggi, 2012).

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Karbon

Baja Karbon		
Rendah	Sedang	Tinggi
$\leq 0,25\%$ (C)	0,25% – 0,55% (C)	$\geq 0,55\%$ (C)

(Sumber : Wardoyo, J.T. 2005)

### 2.2.8 Baja JIS SUP 9

Salah satu jenis kelompok baja yang khusus di pakai untuk pembuatan pegas adalah baja SUP. Aplikasinya baja SUP adalah kelompok jenis baja yang biasa di pakai didalam pembuatan pegas daun (*Leaf spring*), pegas coil (*Coil spring*), dan pegas torsi (*Torsion bar spring*). Berdasarkan standard tersebut baja SUP dibagi menjadi 9 (sembilan) grade yaitu SUP 3, SUP 6, SUP 7, SUP 9, SUP 9A, SUP 10, SUP 11A, SUP 12, SUP 13 .(Umartono, A.S dan Awali, S. 2015)

Baja JIS SUP 9 memiliki kekuatan mekanik yang baik serta memiliki keuletan dan kekuatan kekerasan yang baik, Namun baja JIS SUP 9 bersifat lunak jika belum disepuh atau dikeraskan. Sifat mekanik dari baja JIS SUP 9 dapat

ditingkatkan dengan beberapa cara yaitu *austenitizing*, *quenching* dan *tempering* yang dapat menghasilkan struktur martensit pada baja tersebut.

Tabel 2.3 Macam-macam baja SUP, dan penggunaannya, berdasarkan JIS G 4801: 2005

	<i>Designatinon of Grade</i>	<i>Remark</i>
SUP 3	<i>High carbon steel</i>	digunakan untuk pegas daun
SUP 6	<i>Silicon Chromium steel</i>	digunakan untuk pegas daun
SUP 7	<i>Manganese steel</i>	digunakan untuk pegas koil dan pegas torsi
SUP 9	<i>Manganese</i>	digunakan untuk pegas koil dan pegas torsi
SUP 9A	<i>Chromium steel</i>	digunakan untuk pegas koil dan pegas torsi
SUP 10	<i>Chromium vanadium steel</i>	digunakan untuk pegas koil dan pegas torsi
SUP 11A	<i>Manganese chromium baron steel</i>	digunakan untuk pegas daun ukuran besar, pegas koil dan pegas torsi
SUP 12	<i>Silicon chromium steel</i>	digunakan untuk pegas koil
SUP 13	<i>Chromium molybdemum steel</i>	digunakan untuk pegas daun ukuran besar dan pegas koil

(Sumber : Umartono, A.S dan Awali, S. 2015)

Berikut ini adalah komposisi kimia dan sifat mekanik baja pegas daun JIS SUP 9:

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Baja Pegas Daun JIS SUP 9

NO	Nama Unsur	Simbol	Kandungan %
1.	Carbon	C	0,52-0,60
2.	Mangan	Mn	0,65-0,95
3.	Phospor	P	≤ 0,030
4.	Silicon	Si	0,15-0,35
5.	krom	Cr	0,65-0,95
6.	Sulfur	S	≤ 0,035

(Sumber: lampiran)



Tabel 2.5 Sifat Mekanik Baja Pegas Daun JIS SUP 9

<i>Yield strength</i>	:	$\geq 1080$ Mpa
<i>tensile strength</i>	:	$\geq 1225$ MPa
Elongasi	:	$\geq 9\%$
Kekerasan	:	$\leq 35$ HRC

(Sumber : lampiran)

### 2.2.9 Pahat bubut HSS

Pada sekitar tahun 1898, ditemukan jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan Crom (Cr) dan Tungsten/ Wolfram (W) dengan melalui proses penuangan (molten metallurgy) selanjutnya dilakukan pengerolan atau penempaan dibentuk menjadi batang segi empat atau silinder. Pada kondisi masih bahan (raw material), baja tersebut diproses secara pemesinan menjadi berbagai bentuk pahat bubut. Setelah proses perlakuan panas dilaksanakan, kekerasannya akan menjadi cukup tinggi sehingga dapat digunakan untuk kecepatan potong yang tinggi yaitu sampai dengan tiga kali kecepatan potong pahat CTS. Baja Kecepatan Tinggi (High Speed Steel-HSS) apabila dilihat dari komposisinya dapat dibagi menjadi dua yaitu, Baja Kecepatan Tinggi (High Speed Steel-HSS) konvensional dan Baja Kecepatan Tinggi (High Speed Steel-HSS) spesial. Baja Kecepatan Tinggi (HSS) konvensional, terbagi menjadi dua yaitu: Molibdenum HSS dan Tungsten HSS. Untuk Baja Kecepatan Tinggi konvensional (HSS) spesial, terbagi menjadi enam yaitu: Cobalt Added HSS, High Vanadium HSS, High Hardness Co HSS, Cast HSS, Powdered HSS dan Coated HSS.

Berikut ini adalah komposisi kimia dari pahat bubut HSS M2 menurut standar ASTM A681:

Tabel 2.6 Komposisi Kimia Pahat HSS

ASTM A681	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W
M2	0,78 – 0,88	0,20 – 0,45	0,15 – 0,40	0,030 Max	0,030 Max	3,75 – 4,50	4,50 – 5,50	1,75 – 2,20	5,50 – 6,75

(Sumber: lampiran)

Dan berikut ini adalah tingkat kekerasan pahat bubut HSS:

Tabel 2.7 Kekerasan Pahat Bubut HSS

Jenis pahat	Heat treatment	HRC
M2	<i>Tempered at 621 °C and quenched at 1204 °C</i>	62
M2	<i>Quenched at 1204 °C</i>	65

(Sumber: lampiran)

Pada penelitian ini menggunakan pahat bubut HSS M2 sebagai pembanding terhadap material alternatif pahat bubut HSS.

#### 2.2.10 Uji Kekerasan Metode *Rockwell* (HR/HRN)

Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kekuatan kekerasan suatu logam dengan menggunakan indentor bola baja ataupun kerucut intan. Metode Rockwell adalah metode yang banyak digunakan di Amerika Serikat, hal ini dikarenakan karena sifat dari metode Rockwell yang memiliki sifat cepat, bebas dari kesalahan yang disebabkan oleh operator, dapat membedakan kekerasan yang kecil pada baja yang dilakukan proses pengerasan dan memiliki titik relative kecil sehingga tidak akan merusak logam (Yusman,2018).

Pengujian metode rockwell C dilakukan dengan cara menekan indentor kerucut dengan sudut puncak 120° pada permukaan benda kerja yang akan diuji dengan beban awal (F0) sebesar 10 kg maka ujung indentor masuk sedikit ke dalam benda uji, kemudian pengukuran ke dalam diatur pada posisi nol dengan demikian pengaruh alas uji dan kelonggaran instrumen uji ditiadakan, maka jarum penunjuk yang menunjukkan kedalaman penetrasi t0, selanjutnya diberi beban penambahan F1 sebesar 140 kg sehingga beban total menjadi 150 kg, maka kedalaman penetrasi bertambah dalam t1 dan proses ini dapat dilihat pada alat pengukurnya. Setelah penurunan beban dari F ke F0 kedalaman penetrasi menjadi tb yang merupakan kedalaman tetap yang dinyatakan dalam harga 0,002 mm waktu penekanan antara 5-8 detik.

Rockwell menetapkan skala harga kekerasan yaitu :

HRC = 100 untuk kedalaman penetrasi 0 mm

HRC = 0 untuk kedalaman penetrasi 0,2 mm

HRF = 130 untuk kedalaman penetrasi 0 mm

Pada skala rockwell, jarak 0,2 mm dibagi kedalam 100 bagian yang sama yaitu masing-masing 0,002 mm. Penunjukkan skala rockwell dinyatakan : HRA, C, D = 100-e dan HRF 130-e, di mana lambang e adalah kedalaman penetrasi yang dinyatakan dalam satuan 0,002 mm, jadi  $e = tb / 0,002$ .

Cara mengetahui dalamnya penetrasi dapat dihitung berdasarkan petunjuk angka kekerasan, misalnya 60 HRC maka dalamnya penetrasi  $(tb) = (100-60) \times 0,002 = 0,08$  mm dan HRF dalamnya penetrasi  $(tb) = (130-60) \times 0,002 = 0,14$  mm. Jadi rumus ini hanya untuk mengetahui tingkat kekerasan rockwell, dapat dihitung dengan rumus :

HRC =  $100 - tb / 0,002$  untuk rockwell A, C, dan D

HRB =  $130 - tb / 0,002$  untuk rockwell selain A, C, dan D

Keterangan:

HR = nilai kekerasan Rockwell (HR)

E = jarak antara penekan saat diberi beban minor dengan garis acuan nol (*zero reference line*) untuk tiap jenis penekan.

e = perbedaan kedalaman penembusan dalam material uji sebelum dan sesudah penambahan beban utama dan beban awal

F0 = beban minor (kg)

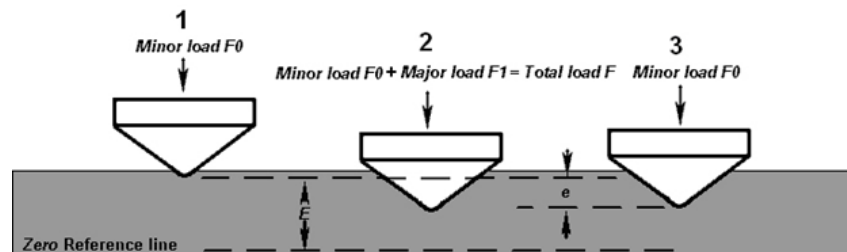
F1 = beban mayor (kg)

F = total beban (Kg)

Tabel 2.8 Skala Kekerasan *Rockwell*

skala	indentor	F0 (kg)	F1 (kg)	F (kg)	E	Jenis material uji
A	Intan	10	50	60	100	Material yang sangat keras seperti tungsten karbida
B	1/16" bola besi	10	90	100	130	Baja karbon sedang, baja karbon rendah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	<i>Hardened steel, Hardened Tempered alloy</i>
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Baja tipis, tembaga, tembaga berilium
E	1/8" bola besi	10	90	100	130	Besi tuang, paduan aluminium, magnesium
F	1/16" bola besi	10	50	60	130	Lembaran aluminium
G	1/16" bola besi	10	140	150	130	Paduan aluminium, paduan tembaga
H	1/8" bola besi	10	50	60	130	Pelat aluminium, timah
K	1/8" bola besi	10	140	150	130	Besi cor, paduan aluminium

(Sumber : Yusman, 2018)

**Gambar 2.4** Prinsip Kerja Metode Kekerasan Rockwell (Ardiansyah, 2016)