

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Berbagai penelitian tentang *tempering* yang sudah pernah dilakukan oleh berbagai peneliti. Ada beberapa tinjauan pustaka yang melandasi munculnya gagasan untuk meneliti judul yang ditulis karena adanya dorongan untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhan material baja AISI 4340. Ada beberapa jurnal penelitian yang mengangkat tentang materi yang disajikan

Penelitian yang dilakukan Muhammad Junda Azizi, Wikan Jatimurti, dan Rochman Rochiem, (2019) berjudul Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan *Tempering* Terhadap Kekerasan Baja ASSAB 705 Yang Di *Hardening* Untuk Aplikasi Poros Pompa *Multistage*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan baja ASSAB 705 yang di *hardening* untuk aplikasi poros pompa *multistage*. Pengujian ini dilakukan dengan variasi temperatur dan waktu tahan *tempering* hal ini dikarenakan kerusakan yang terjadi pada poros pompa *multistage* setelah 4 (empat) tahun operasi. Hasil penelitian ini menghasilkan kegagalan pada poros pompa *multistage* disebabkan oleh komposisi dan sifat mekanik material yang tidak memenuhi standar poros ASTM A291 dan juga semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu tahan *tempering* yang diterapkan, baja ASSAB 705 semakin lunak. Secara berurutan, kekerasan dan ketahanan aus material hasil *tempering* dari tertinggi adalah ht 60 t 300, ht 120 t 300, ht 60 t 350, ht 120 t 350, ht 60 t 400 dan ht 120 t 400.

Penelitian yang dilakukan Susri Mizhar dan Sugianto Simatupang (2016). Penelitian ini untuk menganalisa Pengaruh variasi konsentrasi polimer dari media pendingin pada proses *quench-temper* terhadap struktur mikro dan ketangguhan impact dari baja AISI 4140. Agar mengetahui ketangguhan (*toughness*) dan struktur mikro dari baja karbon menengah paduan rendah (*low alloy medium carbon steel*) AISI 4140 setelah proses *Quench-Temper* dengan variasi konsentrasi polimer dari media pendingin dan variasi temperatur

tempering. Pada penelitian ini material terlebih dahulu di bentuk menjadi spesimen impak dan kemudian di panaskan (*heat treatment*) pada temperatur 860°C dan di tahan selama 1 jam lalu didinginkan dengan cepat (*quench*) pada media pendingin polimer dengan variasi konsentrasi 20%, 30% dan 40% sampai mencapai temperatur kamar. Kemudian di *Tempering* dengan variasi temperatur 400°C dan temperatur 500°C dengan waktu penahanan (*hold time*) selama 1 jam. Hasil pengujian impak tertinggi setelah proses *tempering* pada temperatur 500°C pada konsentrasi 40% polimer yaitu 1J/mm². Pengamatan struktur mikro memperlihatkan fasa *martensite* setelah proses *quench* dan perubahan fasa temper *martensite* terlihat setelah proses temper pada temperatur 400°C dan temperatur 500°C. Dengan kesimpulan yaitu pada proses *hardening* 860°C didapat nilai impak tertinggi pada konsentrasi polymer 40% dengan rata – rata 0.26 joule/mm². Pada proses temper 400°C nilai impak tertinggi didapat pada konsentrasi 30% dengan rata 0.57 joule/mm². Pada proses *tempering* 500°C harga impak mengalami kenaikan pada konsentrasi 40% mencapai 75.43% menjadi 1 joule/mm². Pada proses *hardening* 860°C konsentrasi 40% harga impak didapat dengan rata –rata 0.26 joule/mm², pada proses *tempering* 400°C konsentrasi 40% harga impak dengan rata –rata 0.52 joule/mm².sedangkan pada proses *tempering* 500°C konsentrasi 40% mengalami kenaikan mencapai 140.3% menjadi 1 joule/mm². Maka dari itu peneliti mendapat sains bahwa semakin bertambah konsentrasi dan temperatur *tempering* maka semakin tinggi harga impak yang di dapat.

Penelitian yang dilakukan Desti Nurjayanti, Ediman Ginting dan Pulung Karo-Karo (2013). Penelitian ini mengambil judul Pengaruh Lama Pemanasan, Pendinginan Secara Cepat, dan *Tempering* 600°C Terhadap Sifat Ketangguhan Pada Baja Pegas Daun AISI No. 9260. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat tangguh baja pegas daun yang biasanya dipakai pada kendaraan bermotor berdasarkan proses pemanasan, pendinginan secara cepat menggunakan oli, dan *tempering* sehingga dihasilkan data tentang ketangguhan baja pegas daun. Proses pemanasan dilakukan dengan suhu 780°C dengan waktu tahan 40 dan 60 menit yang selanjutnya didinginkan secara cepat

menggunakan oli. Proses pemanasan merubah fasa baja menjadi *martensite* yang bersifat keras dan dilanjutkan dengan proses *tempering* pada suhu 600°C dengan waktu tahan 40 menit yang membuat fasa baja berubah menjadi *martensit temper* dan *ferit*, sehingga kekerasan baja menurun dan ketangguhan meningkat. Dengan kesimpulan yaitu dari hasil uji ketangguhan, diperoleh bahwa sampel yang mengalami proses *tempering* memiliki nilai ketangguhan yang lebih besar dibandingkan dengan sampel asli (belum diberi perlakuan apa-apa) dan sampel yang belum mengalami proses *tempering*. Nilai ketangguhan pada sampel asli dan sebelum *tempering* berturut-turut ialah 0,23 J/mm² dan 0,07 J/mm², sedangkan setelah *tempering* nilai ketangguhan naik menjadi 0,803 J/mm². *Tempering* memunculkan fasa temper *martensite* dan *austenit* sisa yang membuat baja pegas daun menjadi tangguh. Struktur mikro setelah *tempering* terlihat lebih halus dan lebih homogen dibandingkan dengan struktur pada sampel yang belum diberikan *tempering* dan sampel asli. Butir-butir ferit yang kehilangan dan kekurangan karbon terlihat jelas yang berarti kekerasan baja berkurang dan ketangguhannya bertambah.

Penelitian ini dilakukan Anggun Mersilia, Pulung Karo-Karo, dan Yayasan Iman Supriyatna (2016). Penelitian ini membahas mengenai Pengaruh *Heat Treatment* Dengan Variasi Media *Quenching* Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135. Proses yang dilakukan pada penelitian adalah pada temperatur 800 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 selama 45 menit. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan baja pegas daun termasuk baja karbon sedang (C = 0,343%) dan *chromium-vanadium steel* (AISI 6135). Hasil uji kekerasan *raw material* sebesar 42,27 HRc, pada media *quenching* 100% air garam sebesar 34,27% HRc. Sementara pada media *quenching* campuran 50% air garam : 50% oli sebesar 38,27 HRC. Hasil struktur mikro pada sampel *raw material* menunjukkan fasa ferit dan perlit. Sementara *Quench-temper* campuran 50% air garam : 50% oli terbentuk fasa *ferit*, *austenit* sisa dan *martensit temper* yang lebih rapat dan menyebar merata

dibandingkan 100% air garam. Pada penelitian ini didapat kesimpulan yakni hasil uji komposisi kimia menunjukkan baja pegas daun termasuk baja karbon sedang dengan unsur karbon ($C=0,343\%$) dan *chromium-vanadium steel* (AISI 6135). Unsur penyusun utamanya besi ($Fe = 97\%$), *crom* ($Cr = 1,086\%$), *vanadium* ($V = 0,112\%$) dan tembaga ($Cu = 0,100\%$). Hasil uji kekerasan pada baja sampel *raw material* sebesar 42,72 HRC, Pada media *quenching* 100% air garam dan air garam 50% : 50% oli sebesar 34,27 HRC dan 38,27 HRC. Hasil pengamatan struktur mikro sebelum diberi perlakuan panas menghasilkan butir-butir ferit dan perlit dan setelah dikenakan perlakuan panas dengan media *quenching* 50% air garam : 50% oli menghasilkan butir-butir *martensit temper*, *austenit* sisa dan ferit yang lebih rapat dan menyebar merata dibandingkan dengan 100% air garam.

Penelitian ini dilakukan D.N. Adnyana (2016). Penelitian ini berjudul *Mettaalurgical Assesment Of A Broken Gearbox Intermediate Shaft Of A Reciprocating Compressor*. Penelitian ini menyajikan hasil pengujian dan analisis metalurgi pada patahan *gearbox* poros menengah dari sebuah kompresor torak hidrogen. *Gearbox* poros menengah tersebut memiliki gigi di bagian ujungnya dan dibuat dari baja permesinan dengan spesifikasi AISI 4340. *Gearbox* poros menengah ini dilaporkan sering mengalami kerusakan sejak kompresor dipasang dan dioperasikan sekitar tiga puluh tahun lalu. Di awal-awal pengoperasiannya ketika poros menengah tersebut masih dipasang dengan komponen orisinil, poros tersebut dilaporkan mengalami kerusakan sekitar tiga tahun operasi, tetapi belakangan setelah poros tersebut dibuat oleh pabrikan lokal, umur pakainya turun secara signifikan rata-rata kurang dari satu tahun atau bahkan hanya beberapa bulan saja. Untuk melakukan pengujian dan analisis metalurgi, sejumlah benda uji dipersiapkan baik dari poros yang patah maupun dari poros yang tidak patah untuk pengujian laboratorium meliputi uji makroskopik, analisa kimia, uji tarik, uji metalografi, uji kekerasan dan analisis menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). Hasil pengujian dan analisis metalurgi yang diperoleh menunjukkan bahwa *gearbox* poros menengah telah mengalami

patah lelah yang disebabkan oleh tegangan yang tinggi akibat kombinasi tegangan geser, tegangan lentur dan tegangan torsi. Patah lelah diawali dari bagian akar gigi poros menengah tersebut yang merupakan daerah dengan pemusatan tegangan yang tinggi dan merambat dalam dua arah, salah satunya pada arah berlawanan dengan arah jarum jam secara melintang dan radial sekitar 45° terhadap sumbu poros dan lainnya merambat secara radial dengan membentuk pola retak/patahan seperti “pusaran kolam” sebelum terjadi pertumbuhan yang cepat pada saat patah akhir yang membentuk patahan seperti mangkuk dan kerucut. Tegangan nominal yang tinggi yang dialami oleh poros menengah selama operasi kemungkinan disebabkan oleh kekuatan material poros yang rendah. Hasil analisa kimia yang diperoleh memperlihatkan bahwa material poros menengah tersebut adalah hampir mendekati dan sesuai dengan spesifikasi material menurut AISI 4340. Akan tetapi, dari hasil uji mekanis yang diperoleh sangat jelas menunjukkan bahwa material yang digunakan tidak sesuai dengan spesifikasi AISI 4340 dalam kondisi diberi perlakuan panas normalisasi. Rendahnya sifat mekanis dari poros menengah tersebut dibandingkan dengan material standar sangat dipengaruhi oleh struktur mikronya yang terdiri dari campuran *bainit* atau martensit *temper*, *perlit* dan *ferit*. Adanya struktur *perlit* dan terutama *ferit* dalam struktur mikro material poros menengah tersebut dapat menurunkan sifat mekanis secara signifikan dan ini kemungkinan dapat dikaitkan dengan ketidaksesuaian dalam proses manufaktur atau proses perlakuan panas yang diberikan pada poros tersebut. Disamping itu, percepatan patah lelah yang terjadi pada poros menengah tersebut sepertinya tidak ditunjang/dibantu oleh proses korosi. Kesimpulan pada penelitian ini adalah hasil analisa kimia diperoleh bahwa bahan yang digunakan untuk poros penggerak mendekati spesifikasi material AISI 4340. Namun dari hasil uji tarik dan uji kekerasan, material yang digunakan ternyata tidak memenuhi spesifikasi AISI 4340. Kekuatan tarik rendah dan kekerasan bahan poros penggerak dibandingkan dengan bahan standar sangat banyak dipengaruhi oleh struktur mikronya yaitu

campuran *bainite* atau *tempering* martensit, perlit, dan ferit. Dengan adanya perlit terutama ferit di struktur mikro bisa mengurangi sifat mekaniknya.

Penelitian ini dilakukan oleh Ahmadin (2015). Penelitian ini berjudul Analisa Pengaruh Media Pendingin Air Garam Terhadap Kekerasan Hasil Kerajinan Pandai Besi. Penelitian ini menggunakan *low carbon steel* baja ST 37 dengan kandungan kadar karbon 0,20 % C. dibuat spesimen *impact* sesuai standart ASTM E23 dan spesimen kekerasan, spesimen dipanaskan pada temperatur 700°C, 1 800°C, 900°C dan ditahan selama 1 jam, setelah mencapai temperatur yang penelitian kemudian spesimen di celupkan pada media solar dengan harapan mampu membentk selaput karbon terhadap baja karbon rendah yang kurang atau tidak terpengaruh terhadap perlakuan panas, hasil perlakuan dilakukan pengujian *impact* dan kekerasan. Hasil uji ketangguhan didapat harga *impact* rata-rata *raw material* adalah 3.146861 J/mm² dan pada spesimen yang di *quenching* adalah 0.386832 J/mm² (turun 83 %) dari *raw material*, 0.404233 J/mm² (turun 84 %) dari *raw material*, 0.331952 J/mm² (turun 83 %) dari *raw material*. Untuk pengujian kekerasan baja ST 37 *raw material* adalah 63, 60,6 HRC dan dan pada spesimen yang di *quenching* adalah 64, 61.5 HRC, 64.6, 62.7 HRC, 68.5, 63.6 HRC. Rata-rata harga HRC mengalami peningkatan pada tiap-tiap suhu pemanasan, dari nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan mengalami peningkatan yang kurang signifikan seiring dengan peningkatan suhu pemanasan benda kerja, dan kandungan karbon yang terdapat pada solar tidak mempengaruhi hasil peningkatan kekerasan pada proses *quenching*. Pada penelitian ini didapat kesimpulan yaitu Spesimen uji kerajinan pandai besi digolongkan kedalam baja karbon sedang dengan kadar karbon 0,4%. Proses *quenching* dengan menggunakan media pendingin air + garam dapat meningkatkan kekerasan pada baja kerajinan pandai besi dan kekerasan maksimum yang dapat dicapai sebesar 24,7% untuk specimen dengan *quenching* dengan menggunakan media air+garam 10%. Proses *quenching* menggunakan media pendinginan dengan kadar air garam lebih dari 10% (air + garam 10%) akan terjadi penurunan kekerasan yang cukup signifikan dari hasil pengujian kekerasan dengan nilai maksimum.

Menurut Effendi, S. (2009). Dengan proses *hardening* pada baja amutit, kekerasan naik dari rata-rata 34,24, sebelum di *hardening*, menjadi rata-rata kekerasan 63,2375 setelah di *hardening* dengan waktu penahanan. Waktu penahanan berpengaruh terhadap kekerasan baja amutit yang diperoleh setelah proses *hardening* di mana kekerasan naik seperti ditunjukkan pada grafik di atas. Kekerasan maksimum dicapai dengan waktu penahanan di atas 40 menit ditinjau dari grafik di atas untuk baja amutit dengan ukuran \emptyset 32 x 20 mm. Menurut Karmin, Yunus, M., & Ginting, M. (2014). Penggunaan media *quenching* emulsi minyak dromus dengan air mempunyai pengaruh terhadap peningkatan kekerasan baja amutit, namun penambahan volume air kedalam minyak dromus cenderung tidak memberikan pengaruh yang signifikan yaitu pada rentan 572 hingga 590 HV. Hasil *quenching* dengan emulsi minyak dromus dengan air, bila dibandingkan dengan medium *quenching* berupa oli kekerasannya melebihi hasil *quenching* dengan medium oli tetapi sedikit lebih rendah dari hasil *quenching* dengan air. Hasil yang diperoleh melalui *quenching* dengan emulsi dromus dan air, setelah mengalami proses pengerasan dilanjutkan tempering nilai kekerasan tertinggi 590 HV, diperoleh pada penggunaan campuran dromus oil dengan air rasio 1:30. Efek yang tidak menguntungkan dari ketiga medium pendingin dengan perbedaan rasio tersebut masing-masing memberikan efek retak dan distorsi terutama bila diterapkan pada material dengan geometri yang memberi peluang untuk terkonsentrasinya tegangan selama pendinginan. Dengan demikian bila ingin menggunakan media *quenching* ini, geometri material perlu dipertimbangkan supaya bentuknya simetris.

Menurut Rizkiawan, M.A, Romli, & Satria, E. (2020). Variasi media pendingin dan suhu terbukti dapat berpengaruh terhadap tingkat kekerasan baja JIS SUP 9 sebagai bahan alternatif pahat bubut HSS, setelah dilakukan proses pemanasan menggunakan pemanas induksi. Didapat Nilai F hitung lebih besar dari pada F tabel ($23,4 > 2,63$). Setelah dilakukan proses *quenching*, kekerasan tertinggi sebesar 60,7 HRC pada suhu. 800 °C dan

holding time 20 detik dengan media pendingin solar. Hal ini dikarenakan pada saat baja mencapai suhu austenit dengan waktu tahan 20 detik, baja didinginkan cepat menggunakan media pendingin solar sehingga terbentuk struktur martensit dan proses inilah yang membuat kekerasan baja meningkat. Hasil uji kekerasan dengan media pendingin udara pada suhu 750 °C mengalami penurunan kekerasan menjadi 21,8 HRC, dikarenakan pemanasannya tidak mencapai suhu austenisasi dan pendinginannya yang lambat, Sehingga atom karbon yang terperangkap dan berubah menjadi martensit sangat sedikit. Hasil uji kekerasan dengan media pendingin oli pada suhu 800 °C mengalami peningkatan kekerasan sebesar 55,4 HRC, hal ini dikarenakan pada saat baja mencapai suhu austenit dengan waktu tahan 20 detik, baja didinginkan cepat sehingga terbentuk atom karbon dan berubah menjadi martensit. Menurut Purnomo, G, Putri, F., & Effendi, S., (2020). Diketahui pengaruh variasi media pendingin terhadap kekerasan spesimen uji pisau sadap karet yang telah dilakukan proses *hardening* dan *quenching*. Dari pengujian kekerasan diketahui hasil rata-rata kekerasan setelah dilakukan proses *hardening* dan *quenching* pada temperatur 750°C, air garam = 16,5, oli =19,8, dan minyak sayur 19,5. Pada temperatur 800°C, air garam 47,9, oli 59,2, dan minyak sayur 56,9. Dan pada temperatur 900°C, air garam 47,4, oli 44,3, dan minyak sayur 46,6. Nilai kekerasan maksimum 59,2 HRC diperoleh dari proses *hardening* dengan media pendingin oli pada temperatur 800°C, sementara nilai kekerasan minimum diperoleh dari media pendingin air garam sebesar 16,5 HRC pada temperatur 750°C. Dari hasil Analisa diketahui bahwa dengan media pendingin yang berbeda tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kekerasan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kekerasan adalah media pendingin air garam dan minyak sayur dengan persentasi kontribusi dari air garam sebesar 98,93%, dan dengan persentasi kontribusi dari minyak sayur sebesar 98,80%, sementara persentasi kontribusi dari media pendingin oli sebesar 98,02 %.

2.2 Pengertian Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), *vanadium*, dan *nikel*. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk (Bhaskara dkk. 2018).

2.2.1 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Menurut (Bhaskara dkk.2018) Baja karbon adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon C dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat kuat tergantung pada kadar karbonnya, baja karbon dapat dikelompokkan menjadi tiga macam :

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Memiliki kadar karbon lebih kecil dari 0,20%, biasanya dipakai untuk *automobile bodies*, pipa, rantai, roda gigi, kerangka bangunan.

2. Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*)

Memiliki kadar karbon 0,20 % - 0,50 %, biasa dipakai untuk : *connecting rods*, *crank pins*, *poros as*, *crankshafts*, rel, obeng, palu.

3. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Memiliki kadar karbon 0,50 % - 2 %, biasa dipakai untuk : obeng , gergaji untuk memotong baja, palu pandai besi, sekrup, ragum.

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*, *chrom* untuk memberikan sifat-sifat khusus pada baja paduan tersebut. Sebagai contoh sifat-sifat ketahanan aus, ketahanan asam dan korosi atau menambah ketangguhan/*toughness* (Anom, 2010).

Baja paduan yang diklasifikasikan menurut kadar karbonnya dibagi menjadi 2 :

1. *Low Alloy Steel* jika elemen paduannya = 8%
2. *High Alloy Steel*, jika elemen paduannya > 8%

2.2.3 Definisi Poros Baja Karbon

Setiap jenis baja perlu diberi suatu nama agar mudah dikenali. Nama ini merupakan kode yang ditetapkan dalam suatu standar, lengkap dengan spesifikasi utamanya. Salah satu standar yang umum digunakan adalah AISI dan SAE. AISI merupakan singkatan dari American Iron and Steel Institute. Sedangkan SAE merupakan singkatan dari Society of Automotive Engineers. AISI dan SAE menyatakan spesifikasi baja dengan empat atau lima angka. Angka pertama menunjukkan jenis bajanya, angka 1 untuk baja karbon, angka 2 untuk baja nikel, angka 3 untuk baja *nickel-chromium*. dan seterusnya. Angka kedua pada baja paduan sederhana menunjukkan kadar unsur paduannya. Untuk baja paduan 43xx merupakan jenis baja *nickel-chrom-molybden*. Kemudian untuk dua digit terakhir menunjukkan kadar karbon dalam *per seratus persen* (Avner, 1987). Jadi untuk baja AISI 4340 merupakan baja paduan dengan kadar nikel 1,83%, *chromium* 0,50% atau 0,80%, *molybdenum* 0,25%, dan karbon 0,40%. Komposisi baja AISI 4340 menurut ASTM A29 ditampilkan dalam tabel 2.1 sebagai berikut

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 4340

Unsur	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
%	95.85	0.38	0.40	0.80	1.60	1.60	0.30	0.22

2.3 Axle Shaft

Semua kendaraan termasuk alat berat crane pasti memiliki axle shaft yang tersusun dalam sistem gerak. *Axle shaft* yang terhubung dalam sistem gerak memiliki dua fungsi penting. Pertama untuk mengirimkan torsi ke roda melalui pengaturan gigi. Kedua untuk mempertahankan posisi roda secara komparatif satu sama lain ke arah badan kendaraan (Souvik Das, 2015). Selain digunakan untuk menghubungkan roda dan mentransmisikan tenaga, axle shaft juga digunakan untuk mentransmisikan gerak rotasi. Dalam pengoperasiannya *axle shaft* biasanya terkena torsional stress dan bending stress karena bobotnya sendiri atau pun bobot komponen lain atau juga kemungkinan kesalahan susunan antara bearing. Oleh karena itu *axle shaft* harus memiliki kekerasan dan kekuatan yang baik agar mampu menahan stress yang bekerja. (Osman Asi, 2005).



Gambar 2.1 *Axle Shaft* [14]

Menurut *ASM Handbook* penggunaan material standar untuk aplikasi *axle shaft* dapat menggunakan beberapa jenis material. Beberapa material yang sering digunakan adalah baja 4340, baja 4140, baja 1045, baja 6150, dan lain sebagainya. Sedangkan menurut ASTM A291 penggunaan material standar untuk aplikasi *axle shaft* dibagi menjadi beberapa *grade* dan *class*.

Tabel 2.2 Standar material *axle shaft* dalam kondisi *hardned* dan *tempered*

Perusahaan	Material	Kondisi	Hardness	Tensile Strength
KARL GEORG	42CrMo4 + QT atau C45	<i>Hardened</i> <i>and</i> <i>Tempered</i>	-	-
ASSAB	ASSAB 705 (AISI 4340)	<i>Hardened</i> <i>and</i> <i>Tempered</i>	28,7-38,8 HRC atau 291-361 HV	≥ 980 N/mm ²

Sumber: ASSAB, KARL GEORG

2.2.3. Jenis Axle Shaft

Menurut (Orosa, 2012). Ada 2 jenis *axle shaft* yang penting untuk diketahui yaitu :

a. *Shaft* Transmisi

Poros ini sebagai penyambung daya (*Power*) antara sumber daya/ tenaga (Mesin) dan yang akan digerakkan (roda, *pulley*, gear dll).

b. *Shaft* Mesin

Poros ini merupakan bagian part dari mesin yang berdiri sendiri contohnya *crank shaft*.

Untuk penelitian ini adalah *shaft* transmisi.

2.4 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Menurut (Asmadi dkk.2017). Perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan material yang terkontrol dengan maksud merubah struktur mikro agar sifat mekanik berubah sesuai dengan yang kita inginkan. Secara umum proses perlakuan panas adalah sebagai berikut :

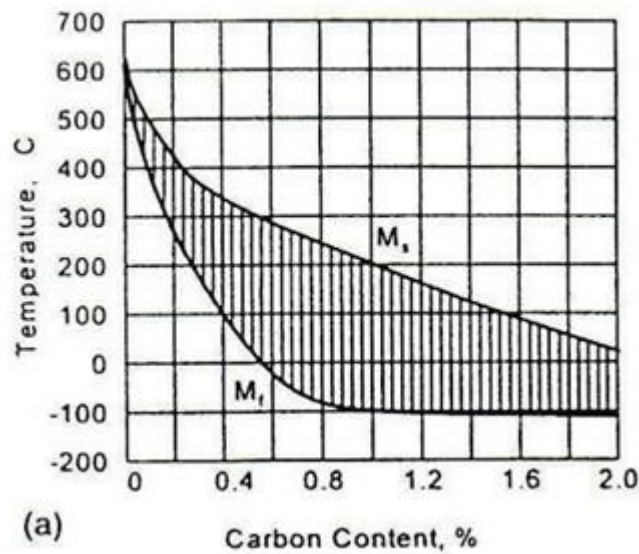
- a) Pemanasan material sampai suhu tertentu dengan kecepatan tertentu pula.
- b) Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu sehingga temperaturnya merata.
- c) Pendinginan dengan media pendingin (air oli atau udara).

Ketiga hal diatas tergantung dari material yang akan di *heat treatment* dan sifat-sifat akhir yang diinginkan. Melalui perlakuan panas yang tepat tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia logam harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon (C) dapat mengakibatkan perubahan sifat fisis. Proses perlakuan panas itu terdiri dari berbagai proses, yaitu:

- a) Proses *Annealing*, *full annealing* dan *isothermal annealing*.
- b) Proses *Stress relieving*.
- c) Proses *Normalizing*.
- d) Proses *Hardening*.
- e) Proses *Tempering* yang dibagi menjadi *Martempering* dan *Austempering*.

2.4.1 Pembentukan *Martensit*

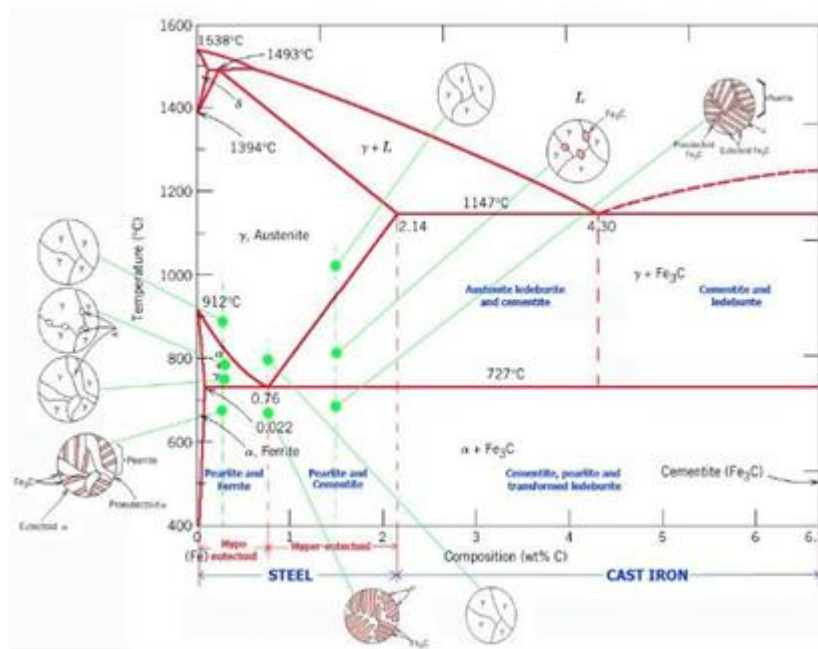
Kekerasan *martensit* tergantung dari kadar karbon. Semakin tinggi kadar karbon maka kekerasan *martensit* akan semakin tinggi. Namun demikian, semakin tinggi kadar karbon menyebabkan M_s dan M_f semakin turun sehingga pada temperatur kamar akan menghasilkan *austenit* sisa (*retained austenite*) yang akan mengurangi kekerasan *martensit*. *Austenit* sisa disebabkan karena pada saat pendinginan selesai pada temperatur kamar, ada *austenit* yang belum selesai bertransformasi menjadi *martensit* (Asmadi dkk.,2017).



Gambar 2.2 Diagram pembentukan *martensit* [4].

2.4.2 Diagram Fasa

Ketika suatu unsur paduan ditambahkan ke dalam baja maka diagram fasa Fe-Fe₃C tidak lagi berada dalam kondisi ekuilibrium. Maka dari itu kehadiran unsur paduan akan mengubah titik kritikal yang ada pada diagram fasa khususnya pada titik eutektoid dan membuat titik eutektoid bergeser ke sebelah kiri. Unsur seperti *nickel* dan *manganese* akan menurunkan temperatur pemanasan kritikal ketika *molybdenum*, *aluminium*, *silicon*, *tungsten*, dan *vanadium* justru menaikannya. Tentunya perubahan temperatur kritikal yang dipengaruhi unsur paduan akan menaikkan atau menurunkan temperatur hardening bila dibandingkan dengan baja karbon biasa. Semua unsur paduan cenderung mengurangi kadar karbon pada titik eutektoid namun hanya unsur *nickel* dan *manganese* yang menurunkan temperatur eutektoid. (Avner, 1987)



Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe – Fe₃C [3].

Gambar 2.3 menjelaskan diagram fasa Fe-Fe₃C. Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstisial-nya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe₃C. Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan *ekuilibrium* berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700 °C pun

perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil.

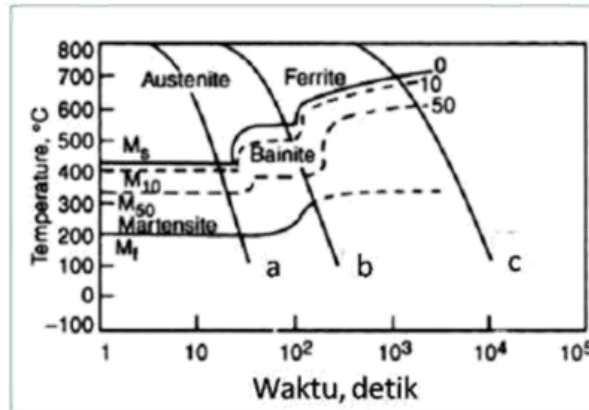
Dari Gambar 2.10 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:

- Pada 1496 °C, kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \rightarrow \gamma$.
- Pada 1130°C, kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. $L \rightarrow \gamma + Fe_3C$.
- Pada 723 °C, kadar karbon antara 0.025 – 6.67 %, berlangsung reaksi *eutectoid*. $\Gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$.

2.4.3 Diagram CCT (*Continuous Cooling Temperature*)

Diagram *Continuous Cooling Transformation*, atau biasa disebut CCT Diagram, merupakan diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan kontinyu dengan fasa atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi fasa. Sebagai ilustrasi, baja mengandung 0,2% karbon yang telah diaustenisasi pada temperatur 920°C, kemudian didinginkan dengan laju yang berbeda sampai temperatur 200°C dan 250°C. Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperatur *austenite* sekitar 920°C ke temperatur 200°C. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa *austenite* menjadi *martensit*. Fasa *austenit* akan mulai terdekomposisi menjadi *martensit* pada Temperatur M_s , *martensite start*. Sedangkan akhir pembentukan *martensit* akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperatur M_f , *martensite finish*. Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang/*medium* dari temperatur 920°C ke 250°C. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa *austenit* terdekomposisi menjadi struktur *bainit*. Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan lambat dari temperatur 920°C ke

250°C. Pendinginan lambat ini menyebabkan fasa *austenit* terdekomposisi menjadi fasa *ferit* dan *perlit*.



Gambar 2.4 Diagram CCT (*Continuous Cooling Temperature*) [20]

2.4.4 *Tempering*

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan kurang cocok digunakan melalui *tempering*, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Proses *tempering* terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lunak, proses ini berbeda dengan proses lain karena disini sifat-sifat dapat dikendalikan dengan cermat *tempering* dimungkinkan oleh karena sifat struktur *Martensit* yang tidak stabil. Struktur logam yang tidak stabil tidak berguna untuk tujuan penggunaan, karena dapat mengakibatkan pecah. Dengan penemperan, tegangan dan kegetasan diperlunak dan kekerasan sesuai dengan penggunaan. Ketinggian suhu penemperan dan waktu penghentian benda kerja tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang dikehendaki. Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok 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

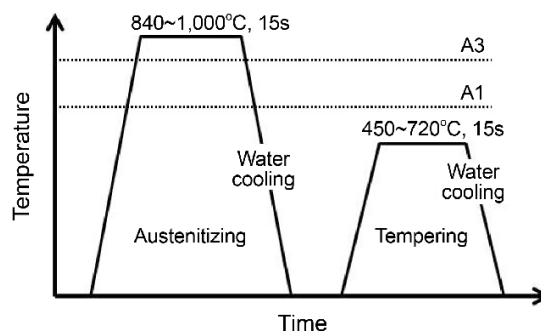
mekanik baja yang telah dicelup, dan di *tempering* dapat diubah dengan cara mengubah temperatur *tempering* (Asmadi dkk.,2017). Menurut tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut :

1) *Tempering* pada suhu rendah (150° - 300°C) *Tempering* ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

2) *Tempering* pada suhu menengah (300° - 550°C) *Tempering* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas.

3) *Tempering* pada suhu tinggi (550° - 650°C) *Tempering* suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

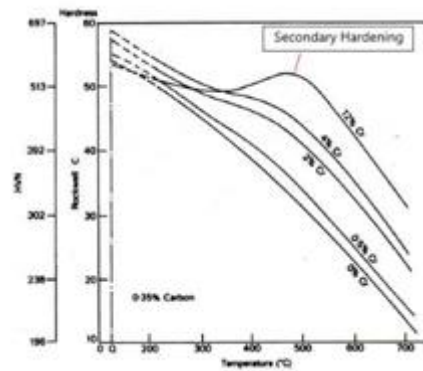
Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan sturuktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram *isothermal*.



Gambar 2.5 Proses *Quenching* dan *Tempering* [10].

Unsur pembentuk karbida mempunyai pengaruh yang lebih kuat apalagi unsur pembentuk karbida kompleks seperti *chrom*, *tungsten*, *molibdenum*, dan *vanadium*, pengaruhnya kuat sekali. Bukan saja akan menghambat peurunan kekerasan, bahkan bila terdapat dalam jumlah besar dapat menaikkan kekerasan pada *tempering* pada

temperatur tinggi. Fenomena ini disebut sebagai *secondary hardening*.



Gambar 2.6 Pengaruh Kadar *Chrom* Terhadap Penurunan Kekerasan Setelah *Tempering* [5].

2.4.5 Media pendingin

Menurut (Prabowo, 2019). Media pendingin yaitu suatu bahan yang digunakan untuk mendinginkan suatu spesimen yang sudah dipanaskan pada proses perlakuan panas. Media pendingin ini diperlukan untuk merubah sifat mekanik baja agar mendapatkan sifat yang lebih keras dari sebelumnya. Ada banyak media yang dipakai untuk proses perlakuan panas ini diantaranya air, oli, udara, dan air garam. Namun seiring dengan berkembangnya dunia pendidikan media pendingin banyak ditemukan untuk digunakan pada proses perlakuan panas. 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 $100^{\circ}C$. 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. Sehingga akan dihasilkan kekerasan dan kekuatan yang baik pada

baja. Pendinginan menggunakan air menyebabkan tegangan dalam, distorsi dan retak.

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.

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.

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. Cairan garam merupakan larutan garam dan air, titik didih larutan akan lebih tinggi daripada pelarut murninya. Keuntungan menggunakan air garam sebagai media pendingin adalah pada proses pendinginan suhunya merata pada semua bagian permukaan, tidak ada bahaya oksidasi, karburasi atau dekarburasi.

5. Oli

Pendinginannya lebih lambat karena masa jenisnya lebih kecil dibandingkan dengan air dan air garam sehingga laju pendinginannya lebih lambat dibandingkan keduanya. Menghasilkan struktur ferit dan pearlit bahkan lebih cepat dibandingkan solar.

2.4.6 *Holding Time*

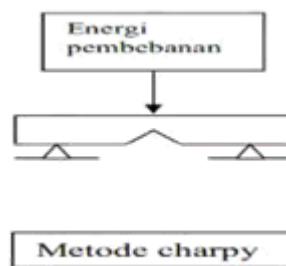
Menurut (Pramono.2011). *Holding time* adalah suatu proses mempertahankan suhu pada waktu tertentu sehingga temperaturnya merata dan perubahan strukturnya terjadi secara merata pula. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam *austenite* , difusi karbon dan unsur paduannya. Baja perlu ditahan pada suhu *austenite* untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogen *austenite* . Waktu penahanan sangat berpengaruh pada saat transformasi karena apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogen selain itu waktu tahan terlalu pendek akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan. Pedoman untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai jenis baja dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Jenis dan Waktu Tahan Bahan
(Prabowo, Aryo Aji. 2019)

Jenis Baja	Waktu Tahan (Menit)
Baja Karbon dan baja paduan rendah	5-15
Baja paduan menengah	15-25
<i> Low alloy tool steel </i>	10-30
<i> High alloy chrome steel </i>	10-60
<i> Hot work tool steel </i>	15-30

2.5 Pengujian Impak

Uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya. Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh pada logam (Siahaan dan Riza.2020).



Gambar 2.7 Pembebanan Metode *Charpy* [20].

2.5.1 Pengujian Impak Metode *Charpy*

Pengujian impak charpy (juga dikenal sebagai tes charpy v-notch) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas. Uji impak dilakukan untuk menentukan kekuatan material serta mengetahui ketangguhan logam akibat pembebanan kejut pada beberapa macam kondisi tertentu. Untuk menentukan kekuatan material sebagai sebuah metode uji impak digunakan dalam dunia industri yakni uji impak charpy. Dasar pengujian ini adalah penyerapan energi potensial dari beban yang mengayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk material uji sehingga terjadi deformasi (Siahaan dan Riza.2020).



Gambar 2.8 Mesin Uji Impak

2.6. Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan merupakan standar pengujian kekerasan yang menentukan tingkat kekerasan suatu bahan. Uji kekerasan terdapat 3 metode yaitu *Brinell*, *Rockwell* dan *Vickers* pada pengujian ini menggunakan metode *rockwel* dengan memakai indenter intan beban 150 kgf.



Gambar 2.9 Mesin Uji Kekerasan