

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam industri manufaktur, khususnya Industri Kecil Menengah (IKM) per daun bekas memiliki peran krusial sebagai salah satu bahan utama pembuatan arit/sabit, pisau, parang dan produk-produk lain yang dibutuhkan di sektor perkebunan. Per bekas sendiri, seiring penggunaannya dalam jangka waktu yang relatif lama, biasanya sifat mekaniknya akan semakin menurun. Per daun bekas merupakan salah satu material yang memenuhi persyaratan teknis dan juga ekonomis dalam pembuatan alat-alat perkebunan. Berikut adalah alasan-alasan utama pemilihan pegas daun sebagai material baku untuk pembuatan alat-alat perkebunan:

1. Ketangguhan Tinggi: Baja pegas, seperti tipe AISI 5160 atau 9260, dikenal karena ketahanannya yang luar biasa terhadap retak dan patah, bahkan di bawah tekanan atau benturan keras.
2. Kekerasan yang Baik: Melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang tepat, baja pegas dapat mencapai tingkat kekerasan yang tinggi. Kekerasan ini memungkinkan bilah (mata pisau) untuk diasah menjadi sangat tajam dan mempertahankan ketajamannya untuk waktu yang lama.
3. Sifat Elastis: Meskipun diubah bentuknya (dilenturkan atau dibengkokkan) selama penggunaan, baja pegas memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk aslinya (elastisitas yang tinggi).

4. Kandungan Karbon dan Paduan: Baja pegas umumnya adalah baja karbon tinggi atau baja paduan rendah dengan tambahan elemen seperti kromium atau vanadium. Elemen-elemen ini meningkatkan sifat mekanik baja, termasuk ketahanan lelah (*fatigue resistance*) dan kemampuan pengerasan.
5. Ketersediaan dan Biaya: Sering kali, pegas daun bekas dari kendaraan (mobil atau truk) dapat diperoleh dengan biaya yang relatif rendah atau bahkan gratis. Hal ini menjadikannya bahan baku yang ekonomis dan dapat diakses oleh perajin skala kecil atau industri rumahan.

Kombinasi dari sifat-sifat ini, khususnya keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan, membuat baja pegas daun menjadi material yang ideal dan diminati untuk alat potong pertanian dan perkebunan. Per/pegas daun bekas yang digunakan harus memiliki sifat mekanik yang optimal, termasuk kekerasan (*hardness*) yang cukup untuk menahan deformasi dan kekuatan tarik (*tensile strength*) yang memadai untuk menahan beban tarik tanpa patah. Standar Nasional Indonesia (SNI) menetapkan spesifikasi ketat untuk sifat-sifat ini.

Namun, dalam praktik produksi, sering kali ditemukan bahwa produk yang dihasilkan melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) tidak memenuhi spesifikasi SNI tersebut. Hal ini disebabkan oleh variasi dalam proses quenching, yaitu tahap pendinginan cepat setelah pemanasan austenitisasi, yang bertujuan untuk membentuk struktur martensitik guna meningkatkan kekerasan dan kekuatan material. Media pendingin yang digunakan, seperti air, oli, atau media lain, mempengaruhi laju pendinginan (*cooling rate*) dan dapat menimbulkan distorsi, retak, atau sifat mekanik yang tidak seragam. Misalnya, pendinginan

yang terlalu cepat dengan media air dapat menyebabkan kekerasan berlebih di permukaan tetapi kekuatan tarik rendah akibat retak internal, sementara media oli yang lebih lambat mungkin menghasilkan kekerasan di bawah standar SNI.

Masalah ini semakin relevan di Indonesia, terutama di daerah Sumatera Utara, di mana industri kecil dan menengah (IKM) sering kali menggunakan fasilitas *quenching* sederhana tanpa pengendalian ketat terhadap variasi media pendingin, yang mungkin akan berdampak pada penurunan kualitas. Selain itu, ketidaksesuaian dengan SNI juga menghambat sertifikasi produk dan daya saing di pasar global.

Peningkatan kualitas material merupakan salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam dunia manufaktur. Salah satu metode yang sering digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik material adalah proses perlakuan panas (*Heat Treatment*), khususnya *quenching*. Proses *quenching* adalah metode pendinginan cepat yang dilakukan setelah pemanasan material hingga suhu tertentu, dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik material tersebut. Namun, efektivitas dari proses *quenching* sangat dipengaruhi oleh media pendingin yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik material, khususnya dalam hal ini per bekas, menjadi sangat relevan dan penting untuk dilakukan.

Dalam konteks penggunaan per daun bekas, penelitian ini menjadi semakin penting mengingat kebutuhan akan material yang memiliki sifat mekanik yang baik namun dengan biaya produksi yang rendah. Per daun bekas merupakan material yang telah mengalami siklus penggunaan dan seringkali mengalami

penurunan sifat mekanik. Oleh karena itu, diperlukan metode yang efektif untuk meningkatkan kembali sifat mekanik per bekas agar dapat digunakan kembali dalam aplikasi industri. Proses *quenching* dengan variasi media pendingin diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik per bekas.

Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik per bekas melalui proses *quenching*, guna mengidentifikasi kondisi yang memenuhi spesifikasi SNI. Dengan memahami pengaruh dari masing-masing media pendingin, diharapkan dapat ditemukan media pendingin yang paling efektif untuk meningkatkan sifat mekanik per bekas. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode perlakuan panas yang lebih efisien dan efektif dalam industri manufaktur, dimana per bekas saat ini menjadi salah satu bahan baku yang banyak digunakan oleh Industri Kecil Menengah dalam pembuatan pisau, parang dan arit/sabit.



Gambar 1. 1 Dodos dan egrek sawit

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan alasan yang disebutkan di atas, maka permasalahan yang timbul adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi media pendingin mempengaruhi nilai kekerasan per bekas setelah proses *quenching*?
2. Seberapa besar perubahan kekuatan tarik per bekas ketika menggunakan media pendingin yang berbeda dalam proses *quenching*?

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menargetkan untuk memahami bagaimana variasi media pendingin dapat mempengaruhi sifat mekanik dari per bekas, dengan tujuan akhir untuk meningkatkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang merupakan salah satu parameter kualitas yang krusial di industri. Mengingat kompleksitas dari variabel-variabel yang dapat memengaruhi hasil proses *quenching*, pembatasan masalah akan memastikan bahwa analisis difokuskan pada aspek-aspek paling signifikan dan interpretasi temuan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Oleh karena itu, penelitian ini secara sadar dan argumentatif membatasi ruang lingkupnya pada parameter-parameter fundamental berikut:

1. Batasan fokus utama penelitian ini adalah pengukuran efek dari variasi media pendingin terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik per bekas.
2. Batasan variabel penelitian ini adalah kekerasan dan kekuatan tarik, sedangkan media pendingin yang divariasikan mencakup oli dan air garam.

3. Batasan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah per daun bekas dari kendaraan, yang kemungkinan telah mengalami degradasi sifat mekanik akibat siklus penggunaan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan informasi seberapa besar pengaruh media pendingin terhadap nilai kekerasan per bekas setelah proses *quenching*.
2. Untuk mendapatkan informasi seberapa besar perubahan kekuatan tarik per bekas ketika menggunakan media pendingin yang berbeda dalam proses *quenching*.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh media pendingin terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik per bekas.
2. Memberi pemahaman lebih mengenai pengaruh variasi media pendingin dalam proses *quenching* terhadap sifat mekanik material, khususnya kekerasan dan kuat tarik.
3. Mendukung pengembangan produk dengan sifat mekanik yang lebih baik, sehingga dapat meningkatkan daya saing produk di pasaran.
4. Menjadi referensi tambahan bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan optimasi proses *quenching* untuk mendapatkan sifat material yang diinginkan.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

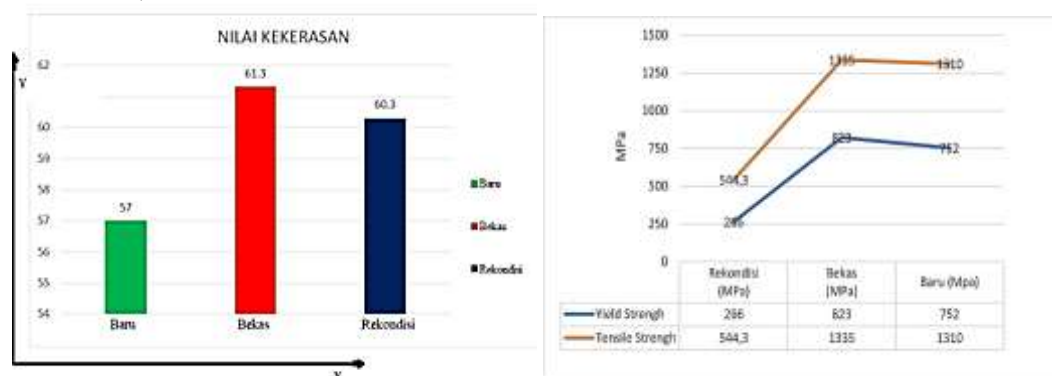
Ridwan Abdul Mujib, dkk (2023) melakukan penelitian mengenai pengaruh pemanasan variasi temperature terhadap kuat tarik pada baja pegas daun bekas. Pada penelitian ini, dilakukan pemanasan (*heat treatment*) pada temperature 400 °C, 600 °C, dan 800 °C dengan waktu penahanan selama 20 menit, kemudian dilakukan pengujian tarik dan pengujian struktur mikro. Kekuatan tarik yang diperoleh berturut-turut sebesar 853 MPa, 1.041 MPa dan 1.343 MPa.

Raihan Insan Nararya, dkk (2025) melakukan penelitian terkait analisa kekuatan lentur dan kekerasan pegas daun truk dan mobil hasil tempering. Pada penelitian ini, digunakan spesimen pegas daun pada kondisi raw, tempering 460 °C, dan tempering 510 °C. Dari hasil penelitian didapatkan nilai suhu optimal untuk dilakukan perlakuan panas adalah sebesar 510 °C, dimana pada suhu tersebut, pegas daun mengalami peningkatan kekuatan lentur sebesar 45,3 % atau 1164, 33 MPa, sedangkan kekerasannya menurun sebesar 20,4 % atau sebesar 6,5 HR.

Indra Setiawan, dkk, melakukan penelitian untuk meningkatkan mutu baja SUP9 pada pegas daun dengan proses perlakuan panas. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperature sebelum dan sesudah perlakuan panas terhadap nilai kekerasan baja pegas daun. Pengujian dilakukan pada benda uji baru yang tidak diberi perlakuan panas, dan benda uji yang mengalami perlakuan panas dengan temperatur 850 °C selama 30 menit dan didinginkan dengan media

oli, kemudian dipanaskan kembali pada suhu 480 °C selama 15 menit dan didinginkan dengan media oli. Hasil penelitian ini didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada baja yang mendapatkan perlakuan panas, yaitu sebesar 45,5 HRC, sedangkan baja yang tidak mendapatkan perlakuan panas memiliki kekerasan sebesar 44,7 HRC.

Raja Zulkarnaini, dkk (2023) melakukan penelitian mengenai pengaruh perlakuan panas *normalizing*, *quenching*, dan *tempering* terhadap spesimen baja pegas daun mobil isuzu panther. Pada penelitian ini, digunakan perbandingan antara pegas baru, pegas bekas dan pegas rekondisi (pegas bekas yang mengalami proses *normalizing*, *quenching* dan *tempering*). Proses rekondisi ini dilakukan dengan harapan dapat mengembalikan kekuatan luluh dan kekuatan tarik baja pegas daun bekas. Namun pada hasil yang diperoleh, spesimen mengalami penurunan kekerasan dan kekuatan tarik. Hasil dari pengujian kekerasan menunjukkan bahwa didapatkan nilai kekerasan untuk spesimen bekas 61,3 HRC dan spesimen rekondisi 60,3 HRC, terjadi penurunan kekerasan sebesar 1,6%. Dari data hasil pengujian tarik, nilai kuat tarik spesimen bekas sebesar 1335 MPa, dan nilai kuat tarik spesimen rekondisi sebesar 544,3 MPa, terjadi penurunan sebesar 40,8 %.



Gambar 2. 1 Diagram hasil uji (Raja Zulkarnaini, dkk, 2023)

## 2.2 Baja

### 2.2.1 Pengertian Baja Secara Umum

Baja adalah logam paduan logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya termasuk karbon. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal atom besi. Baja merupakan komponen utama pada bangunan, infrastruktur, kapal, mobil, mesin, perkakas, dan senjata. (wikipedia). Berdasarkan banyaknya zat arang yang dikandung besi atau baja, dapat dibedakan menjadi dua bagian:

- a. Mengandung karbon antara 0,01 – 1,7%, disebut besi atau baja tempa
- b. Mengandung karbon antara 2,3 – 3,5%, disebut baja atau besi tuang.  
(Sucahyo, 1995).

Baja dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam, salah satu pengelompokan baja yaitu berdasarkan kegunaan dalam konstruksi yaitu baja dapat digunakan sebagai baja konstruksi dan baja non konstruksi. Baja konstruksi digunakan untuk keperluan konstruksi bangunan dan pembuatan bagian-bagian mesin. Berdasarkan campuran dan proses pembuatannya, baja konstruksi dibedakan menjadi beberapa jenis:

- a. Baja Karbon (*Carbon Steel*)
- b. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

### 2.2.2 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,1% hingga 1,7% sesuai tingkatannya. Karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, adalah elemen-elemen yang ada pada baja karbon.

Selain itu, ada elemen lain yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya: mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium.

Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya kita dapat mendapatkan kualitas baja yang kita inginkan. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. 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*).

Sedangkan Mangan dipadukan dalam baja karbon dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan luluh dengan kandungan tidak lebih dari 0,5 % untuk dapat mencegah terjadinya kegetasan pada suhu tinggi (*hot shortness*) dan untuk mempermudah proses rolling saat pembentukan raw material. Untuk Phosphor (P) dan Sulfur (S) kedua unsur ini sedapat mungkin diminimalisir dalam paduan baja karbon, karena pada dasarnya sulit untuk mendapatkan paduan baja karbon tanpa phosphor dan sulfur. Phosphor menimbulkan sifat getas dan menurunkan kekuatan baja dalam menahan beban benturan pada suhu rendah. Sedangkan Sulfur menyebabkan baja menjadi getas pada suhu tinggi. Menurut Murtiono,A., 2012, klasifikasi 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.

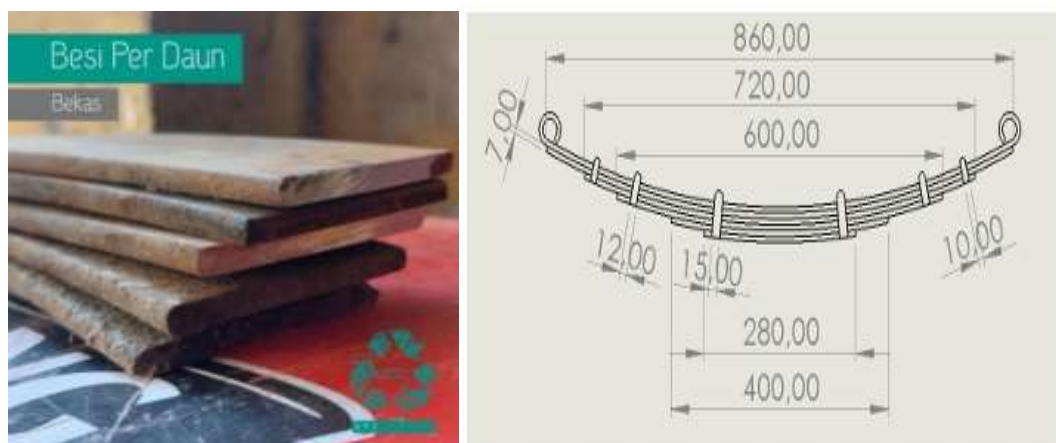
2. **Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*)** Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung karbon 0,3%C sampai 0,6%C. Baja karbon menengah memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas regang 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.
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.

### 2.2.3 Per Daun (*Spring Leaf*)

Per daun mobil atau *leaf spring* ialah varian suspensi yang terdiri dari konfigurasi lembaran logam yang disusun berdampingan dengan panjang yang bervariasi. *Leaf spring* kebanyakan digunakan di kendaraan komersial yang dirancang untuk mengangkut beban berat.

*Leaf spring* menjadi salah satu suspensi yang pionir dan masih banyak dipergunakan dalam beberapa jenis kendaraan. Beberapa mobil yang menggunakan leaf spring mencakup SUV, mobil pikap, dan truk, terutama kendaraan yang kerap membawa muatan berat. Walaupun kurang nyaman untuk penumpang, per daun ini diakui karena kekokohnya dalam menanggung beban. Elemen dalam per daun terdiri dari bilah-bilah per, anting (sakel), dan bantalan (*bushing*). Meskipun dikenal sebagai suspensi yang kokoh, per daun dapat diatur untuk memberikan kenyamanan dan kesetimbangan yang diinginkan.



Gambar 2. 2 Per daun bekas dan ukurannya

Per daun, khususnya per daun bekas, memiliki banyak kegunaan karena terbuat dari baja berkualitas tinggi, seperti: sebagai material untuk pembuatan peralatan pertanian dan rumah tangga oleh pandai besi, seperti pisau dan perkakas lainnya, serta untuk keperluan modifikasi dan restorasi kendaraan, yaitu sebagai bahan untuk per daun tambahan (*add-a-leaf*) untuk menambah kapasitas beban atau menambah ketinggian kendaraan, atau sebagai suku cadang untuk kendaraan komersial.

### **2.3 Media Pendingin**

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/Oli

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.

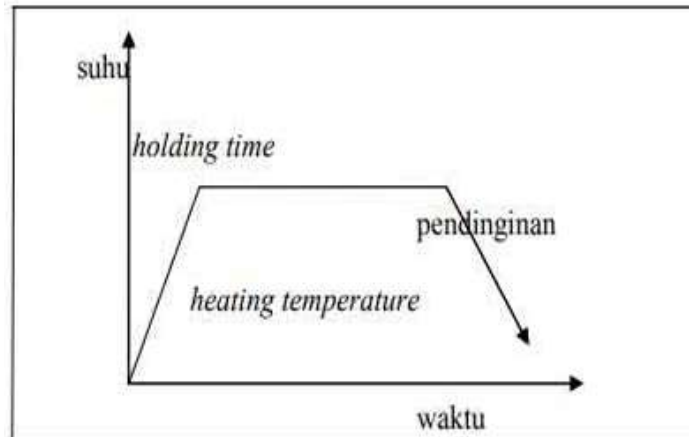
Dari empat media pendingin diatas, minyak/oli cenderung untuk memberikan pendinginan lambat dan air garam yang paling cepat. Penahanan Suhu Stabil (*holding time*). *Holding time* dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen pada struktur austenitnya atau terjadi kelarutan karbrida ke dalam austenite dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pedoman menentukan holding time dari berbagai jenis :

1. Baja karbon konstruksi dari baja karbon dan baja paduan rendah, mengandung karbrida yang mudah larut, diperlukan holding time singkat 5-15 menit.
2. Baja konstruksi dari baja paduan menengah dianjurkan menggunakan holding time 15 – 25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. *Low alloy tool steel*, memerlukan holding time yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per millimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit.
4. *High alloy chrome steel*, membutuhkan holding time yang paling panjang diantara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya.

5. *Hot work tool steel*, mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada 1000°C. Pada temperature ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu holding time harus dibatasi, 15 – 30 menit.
6. *High speed steel*, memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi, 1200-1300°C. Untuk memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi, 1200-1300°C. Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir holding time diambil hanya beberapa menit saja.

#### **2.4 Proses *Heat Treatment***

*Heat Treatment* (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada *electric furnace* (tungku pemanasan) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli, dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendaratkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan (Adawiyah dkk, 2014; 89). Skema pada proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram temperatur terhadap waktu seperti Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Diagram temperatur terhadap waktu

## 2.5 Quenching

*Quenching* adalah salah satu proses perlakuan panas baja dengan cara pemanasan pada suhu tertentu berkisar bergantung pada kandungan karbon yang dimiliki oleh baja itu sendiri, kemudian setelah mencapai suhu maksimal yang ditentukan ditahan selama beberapa saat, lalu di dinginkan secara mendadak dengan media pendingin seperti air, oli, air garam, minyak maupun pendingin lainnya. *Quenching* itu sendiri merupakan suatu bagian dari proses *hardening*. *Quenching* dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan, dan *strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dihasilkan juga tergantung pada kandungan karbon dan kekerasan yang terjadi tergantung pada temperature pemanasan, *holding time*, laju pendinginan yang dilakukan dan ketebalan sampel. Untuk memperoleh kekerasan yang baik (martensit yang keras) maka pada saat pemanasan harus dapat dicapai struktur austenit, karena hanya austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit.

Perlakuan panas *hardening* adalah proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk

mendapatkan sifat-sifat tertentu (Trihutomo 2015: 29) . Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan, jangka waktu penghentian yang memadai pada suhu pengerasan dan pendinginan (pengejukan) berikutnya secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis. Akibat pengejukan dingin dari daerah suhu pengerasan ini, dicapai suatu keadaan paksaan bagi struktur baja yang merangsang kekerasan, oleh karena itu maka proses pengerasan ini disebut pengerasan kejut.

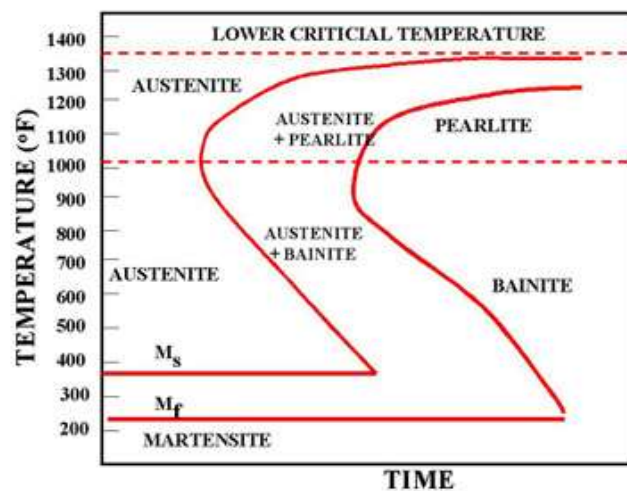
Setelah proses *hardening* selanjutnya akan di lakukan proses pendinginan. *Quench* merupakan pendinginan secara cepat suatu logam dengan pencelupan pada media pendingin. Kekerasan maksimum dapat terjadi dengan mendinginkan secara mendadak sampel yang telah dipanaskan sehingga mengakibatkan perubahan struktur mikro. Laju pendinginan tergantung pada beberapa faktor yaitu temperatur medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktivitas termal medium, viskositas, dan agitasi (aliran media pendingin). Laju pendinginan tergantung pada beberapa faktor yaitu medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktivitas 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).

Proses *quenching* melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan *hardenability* dari logam tersebut. *Hardenability*

merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses *quenching*.

#### 1. Pendinginan tidak menerus

Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram *Isothermal Transformation Diagram* di bawah ini.



Gambar 2. 4 *Isothermal Transformation Diagram*

Berikut beberapa penjelasan tentang diagram di atas :

- Bentuk diagram tergantung dengan komposisi kimia terutama kadar karbon dalam baja tersebut.
- Untuk baja dengan kadar karbon kurang dari 0,83% yang ditahan suhunya dititik tertentu dan letaknya dibagian atas dari kurva C, akan menghasilkan struktur perlit dan ferit.

- c) Jika ditahan suhunya pada titik tertentu bagian bawah kurva C tapi masih disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan mendapatkan struktur mikro Bainit (lebih keras dari perlit).
- d) Bila ditahan suhunya pada titik tertentu di bawah garis horizontal, maka akan mendapat struktur Martensit (sangat keras dan getas).
- e) Semakin tinggi kadar karbon, maka kedua buah kurva C tersebut akan bergeser kekanan.
- f) Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh tingginya suhu pemanasan, lamanya pemanasan dan semakin lama pemanasannya akan timbul butiran yang lebih besar. Semakin cepat pendinginan akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil.

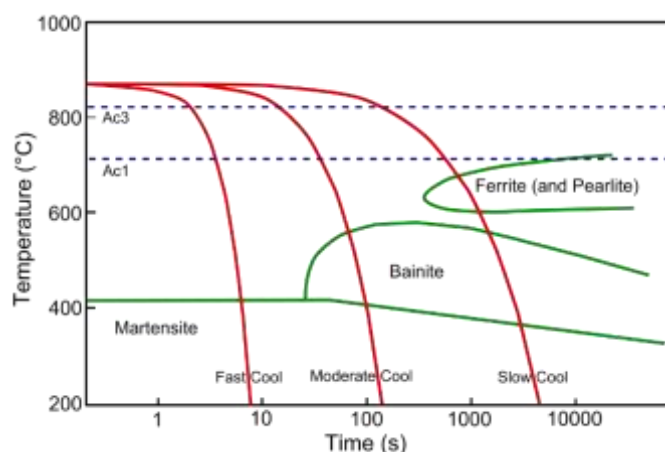
## 2. Pendinginan Terus Menerus

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan terus menerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari diagram *Continuous Cooling Transformation Diagram*.

Penjelasan diagram *Continuous Cooling Transformation Diagram* :

Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperature austenite sekitar 920 °C ke temperatur 200°C. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa austenite menjadi martensit. Fasa *Austenite* akan mulai terdekomposisi menjadi martensit pada Temperature MS (*Martensite Start*). Sedangkan

akhir pembentukan martensit akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperatur MF (*martensite finish*). Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang/medium dari temperature 920°C ke 250°C. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa austenite terdekomposisi menjadi struktur bainit. Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan 20 lambat dari temperatur 920°C ke 250°C. Pendinginan lambat ini menyebabkan fasa austenit terdekomposisi menjadi fasa ferit dan perlit.



Gambar 2. 5 *Continuous Cooling Transformation Diagram*

Proses *hardening* yang lainnya sebagai berikut :

a. *Tempering*

*Tempering* adalah proses pemanasan kembali sampai temperatur di bawah temperatur kritis bawah, hal tersebut dimaksudkan agar dapat mengurangi tegangan dalam, keuletan serta ketangguhannya naik kembali (Supriyanto dan Bowo 2012: 47). *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur *tempering* (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah

dikeraskan bersifat rapuh/getas dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (*annealing*) karena sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat.

Pada suhu 200°C sampai 300°C laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C difusi berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi di antara atom besi dapat membentuk cementit. 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 pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500°C pada proses tempering.
3. *Tempering* pada suhu tinggi ( 550°C - 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.

*b. Annealing*

Proses penganilan (*annealing*) pada baja adalah proses pemanasan logam baja hingga tinggi suhu tertentu, kemudian dipertahankan suhunya tetap dalam waktu tertentu dan diikuti dengan pendinginan lambat dalam tungku yang dimatikan (Pujiastuti, dkk 2015: 14). Tujuan *annealing* adalah untuk mendapatkan baja dengan kadar karbon tinggi tetapi dapat dikerjakan mesin/mampu mesin atau pengerjaan dingin, memperbaiki keuletan, menurunkan/menghilangkan ketidak homogenan struktur, memperhalus ukuran butir, menghilangkan tegangan dalam dan menyiapkan struktur baja untuk proses perlakuan panas. Semakin tinggi suhu pemanasan maka struktur mikro baja karbon akan berubah dan besar ukuran butir bertambah besar sehingga baja karbon semakin ulet dan kekerasan menurun.

Bertambahnya suhu *annealing* maka kekerasan akan menurun. Kekerasan juga akan menurun dengan dengan bertambahnya waktu tahan. Logam dipanaskan sekitar 25°C di atas temperatur kritis bagian atas, ditahan dalam beberapa waktu, kemudian didinginkan pelan-pelan di tungku perapian. Proses ini digunakan untuk memindahkan tekanan internal penuh sebagai hasil proses pendinginan. Berikutnya pendinginan logam diatur kembali di dalam sama besar untuk menurunkan energi bentuk wujud, tegangan yang baru dibebaskan dibentuk dan pertumbuhan butir dukung. Tujuannya untuk menghilangkan *internal stress* pada logam dan untuk

menghaluskan *grain* (batas butir) dari atom logam, serta mengurangi kekerasan, sehingga menjadi lebih ulet.

c. *Normalizing*

*Normalizing* adalah suatu proses yang dilakukan dengan cara memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenit, kemudian pada temperatur tersebut ditahan untuk beberapa saat, lalu di dinginkan perlahan-lahan dengan menggunakan media pendingin udara. Tujuan dari perlakuan *normalizing* ini adalah meningkatkan keseragaman dan mengeliminasi tegangan sisa. Temperatur pemanasan *normalizing* sekitar 50° C di atas temperatur kritis atas untuk baja hypoeutectoid agar diperoleh austenit yang homogen (Kohar, R. 2014: 60).

## 2.6 Sifat Mekanik

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban beban yang dikenakan padanya. Beban-beban tersebut dapat berupa beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi (Murtiono, Arief. 2012 : 59). Sifat-sifat mekanik yang terpenting antara lain :

1. Kekuatan (*strength*), menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain dapat dilihat dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.
2. Kekerasan (*hardness*), dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini

berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.

3. Kekenyalan (*elasticity*), menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
4. Kekakuan (*stiffness*), menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting daripada kekuatan.
5. Plastisitas (*plasticity*), menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang permanen tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, *forging*, *rolling*, *extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan/kekenyalan (*ductility*).
6. Ketangguhan (*toughness*), menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk

mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit untuk diukur.

7. Kelelahan (*fatigue*), merupakan kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.
8. Keretakan (*creep*), merupakan kecenderungan suatu logam mengalami deformasi plastis yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tersebut menerima beban yang besarnya relatif tetap.

## **2.7 Pengujian Material**

Pengujian material merupakan suatu proses pemeriksaan bahan-bahan untuk mengetahui sifat serta karakteristiknya yang meliputi sifat fisik, sifat mekanik struktur, dan juga komposisi kimia yang terdapat pada material tersebut. Secara umum pengujian material dibagi menjadi 2, yaitu pengujian yang merusak (*destructive test*) dan pengujian tidak merusak (*non-destructive test*). Pengujian merusak (*destructive test*) merupakan proses pengujian material yang bisa menimbulkan kerusakan pada material yang diuji. Pengujian tidak merusak (*non destructive test*) merupakan proses pengujian material yang tidak menimbulkan kerusakan pada material yang diuji. Untuk contoh dari pengujian merusak diantaranya pengujian keausan, pengujian kekerasan, pengujian korosi, pengujian dampak, pengujian tarik, pengujian bending,

pengujian lelah. Sedangkan contoh pengujian tidak merusak diantaranya pengujian metalografi atau struktur mikro, serta pengujian ultrasonik.

## 2.8 Pengujian Tarik

Salah satu hal yang bisa menyebabkan kegagalan pada elemen sebuah konstruksi mesin adalah beban yang bekerja pada elemen mesin besarnya melebihi kekuatan material. Kekuatan merupakan sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kekuatan pada material dibagi menjadi dua bagian yaitu kekuatan tarik dan kekuatan ulur. Kekuatan material bisa diperoleh dari sebuah pengujian yang dikenal dengan nama uji tarik dari pengujian ini selain diperoleh specimen kerja yang putus karena proses penarikan, juga di hasilkan sebuah kurva uji tarik. Kurva ini merupakan gambaran dari proses pembebanan pada specimen kerja mulai dari awal penarikan hingga specimen kerja itu putus.

Beberapa komponen utama yang terdapat pada mesin uji tarik terdiri dari alat pencatat gaya (*Load Cell*), alat pencatat panjang specimen (*Extensometer*), batang penarik (*Moving Crosshead*) dan specimen. *Load cell* digunakan untuk mencatat besarnya pembebanan ( $F$ ) yang dialami oleh specimen, sedangkan *Extensometer* digunakan untuk mencatat besarnya pertambahan material panjang ( $\Delta l$ ) yang terjadi pada specimen. Hubungan antara gaya ( $F$ ) terhadap material panjang ( $\Delta L$ ) inilah yang nantinya akan dikonversikan ke dalam kurva tegangan ( $\sigma$ ) terhadap regangan teknik ( $\epsilon$ ). Sifat elastis dan plastis berhubungan erat dengan sifat bahan.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \dots \dots (2)$$

$$Y = \frac{Fl_0}{A\Delta l} \dots \dots \dots (3)$$

## 2.9 Uji Kekerasan

Kekerasan adalah mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokalisasi (lengkungan kecil atau goresan). Macam-macam uji kekerasan sebagai berikut :

1. Uji kekerasan *Rockwell*
2. Uji kekerasan *Brinell*
3. Uji kekerasan *Vickers*
4. Uji kekerasan *Knoop*

### 2.9.1 Uji Kekerasan *Rockwell*

Metode yang paling umum digunakan karena simpel dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi indenter dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras. Jenis Indenter yang digunakan pada metode *Rockwell* :

1. Bola baja keras

Ukuran 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 inci (1,588; 3,175; 6,350; 12,70 mm)

2. Intan kerucut

*Hardness Number* (nomor kekerasan) ditentukan oleh perbedaan kedalaman penetrasi *indenter*, dengan cara memberi beban minor diikuti beban major yang lebih besar. Berdasarkan besar beban minor dan major, uji kekerasan *rockwell* dibedakan atas 2, yaitu :

#### 1. *Rockwell*

- a. Beban minor : 10 kg
- b. Beban mayor : 60, 100, 150 kg

Tabel 2. 1 Skala kekerasan *Rockwell*

Simbol	Indenter	Beban Major (kg)
A	INTAN	60
B	BOLA 1/16 INCH	100
C	INTAN	150

2. *Rockwell Superficial* : untuk bahan tipis

- a. Beban minor : 3 kg
- b. Beban mayor : 15, 30, 45 kg

Tabel 2. 2 Skala kekerasan *Rockwell Superficial*

Simbol	Indenter	Beban Major (kg)
15 N	INTAN	15
30 N	INTAN	30
45 N	INTAN	45
15 T	BOLA 1/16 INCH	15
30 T	BOLA 1/16 INCH	30
45 T	BOLA 1/16 INCH	45
15 W	BOLA 1/16 INCH	15
30 W	BOLA 1/16 INCH	30
45 W	BOLA 1/16 INCH	45

Tahapan dalam melakukan uji kekerasan *Rockwell* adalah sebagai berikut:

1. Tentukan skala *Rockwell*, dengan cara menentukan beban yang diberikan dan jenis indenter yang digunakan. Misalnya skala *Rockwell C* menggunakan beban 150 kgf dan indenter kerucut intan.

2. Ukur kedalaman lekukan dengan menggunakan *loop* meter atau mikroskop, untuk mengukur kedalaman lekukan yang dibuat oleh penekan/indenter.
3. Hitung nilai kekerasan *Rockwell* dengan menggunakan rumus berikut:

$$HR = N - (d/D)$$

dimana:

HR : nilai kekerasan *Rockwell*

N : beban yang diterapkan (kgf)

d : kedalaman lekukan (mm)

D : diameter bola atau lebar kerucut berlian (mm)

### 2.9.2 Uji Kekerasan *Brinell*

Indenter : 1. Bola baja keras ; diameter 10 mm (0,394")

2. Tungsten carbide ; diameter 10 mm (0,394")

Beban : 500 – 3000 kg, step 500 kg

Angka kekerasan *Brinell* adalah fungsi beban dan diameter lubang hasil,

dirumuskan :

$$HB = \frac{2P}{\pi D [D - (D^2 - d^2)^{1/2}]} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : P = beban

D = diameter indenter

d = diameter lubang

### 2.9.3 Uji Kekerasan *Mikro Knoop dan Vickers*

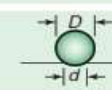

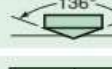

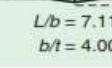

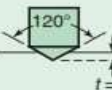

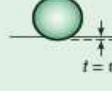

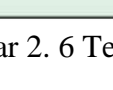

Indenter : Intan piramid ; Beban : 1 – 1000 gr. Hasil test berupa lekukan diperiksa dengan mikroskop :

HK = *hardness number Knoop* (KHN)

HV = *hardness number Vickers* (VHN)

*Knoop* dan *Vickers* digunakan untuk uji kekerasan mikro :

1. Daerah kecil dari spesimen
2. Uji bahan getas : keramik

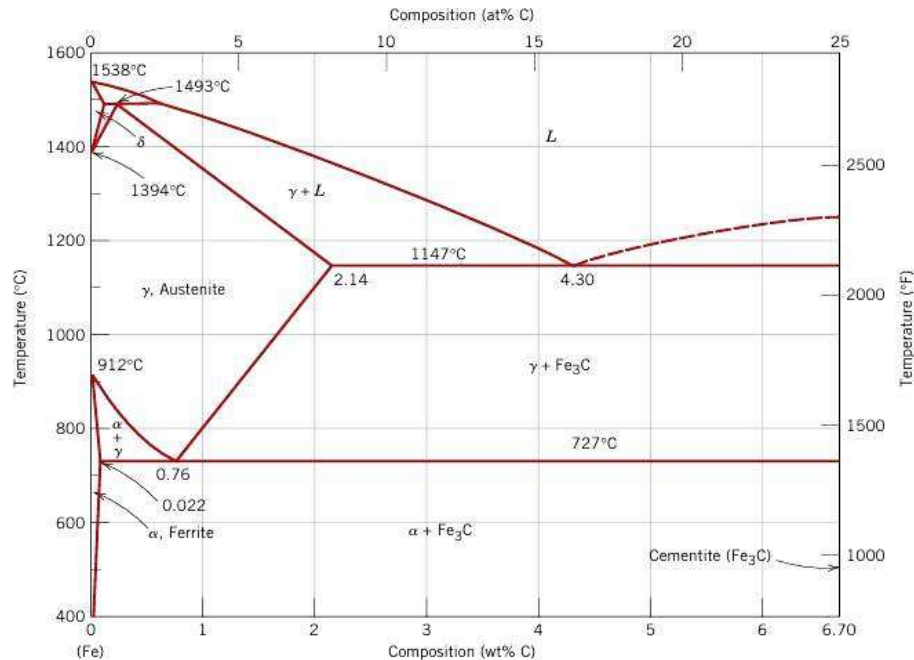
Test	Indenter	Shape of indentation		Load, $P$	Hardness number
		Side view	Top view		
Brinell	10-mm steel or tungsten-carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Diamond pyramid			1–120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$
Knoop	Diamond pyramid			25 g–5 kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Diamond cone			60 kg	HRA
				150 kg	HRC
				100 kg	HRD
B } F } G }	$\frac{1}{16}$ -in. diameter steel ball			100 kg	HRB
				60 kg	HRF
				150 kg	HRG
E	$\frac{1}{8}$ -in. diameter steel ball			100 kg	HRE

Gambar 2. 6 Teknik pengujian kekerasan

## 2.10 Diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C

Untuk menentukan suhu pemanasan suatu pengujian dan menentukan proses perlakuan panasnya dapat menggunakan diagram yang dapat membantu dalam menentukan suhu pemanasan, diagram ini disebut dengan diagram fase Fe – Fe<sub>3</sub>C. Diagram fase Fe – Fe<sub>3</sub>C merupakan diagram yang menampilkan hubungan antara suhu dan kandungan karbon, perubahan fasa terjadi selama proses pendinginan dan pemanasan. Diagram fase Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fase yang terjadi di dalam baja, serta

untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang terjadi di dalam baja paduan dengan berbagai jenis perlakuan.



Gambar 2. 7 Diagram Fase Fe-Fe<sub>3</sub>C (Callister, 2013)

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C yaitu perubahan fase *ferrite* atau besi alfa ( $\alpha$ ), *austenite* atau besi gamma ( $\gamma$ ), *cementite* atau besi karbida, *pearlite*, dan *martensite*. Berikut adalah penjelasan fase dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### 4. *Ferrite* atau besi alfa ( $\alpha$ )

*Ferrite* merupakan larutan karbon yang terkandung dalam struktur besi murni. Struktur *ferrite* mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) dan mempunyai sifat yang lunak dan ulet. Batas kelarutan tertinggi yang dimiliki oleh struktur *ferrite* hanya 0,022% C. kelarutan terbatas tersebut membuat atom-atom karbon pada BCC sulit untuk tertampung.

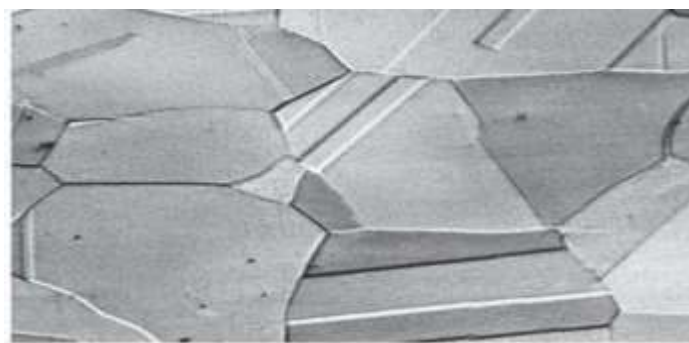
Struktur *ferrite* akan mulai terbentuk ketika melewati temperatur sekitar 300°C sampai 727°C (Callister, 2013).



Gambar 2. 8 Struktur mikro *ferrite* (Callister, 2013).

#### 5. *Austenite* atau besi gamma ( $\gamma$ )

*Austenite* merupakan perpaduan struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) dengan struktur besi murni dengan jarak atom yang terjauh dibandingkan dengan struktur *ferrite*. Struktur FCC mempunyai ruang-ruang yang tidak dapat menampung atom-atom karbon dan proses penambahan atom karbon menyebabkan terjadinya tegangan dalam pada struktur FCC dan tidak semua ruang dapat terisi. Fase ini akan terbentuk jika melewati garis reaksi *eutectoid* pada temperatur 725°C sampai 1394°C (Callister, 2013).



Gambar 2. 9 Struktur mikro *austenite* (Callister, 2013)

#### 6. *Pearlite*

*Pearlite* merupakan perpaduan struktur antara *cementite* dan *ferrite*. Perpaduan tersebut berbentuk seperti pelat-pelat kecil dan tersusun diantara

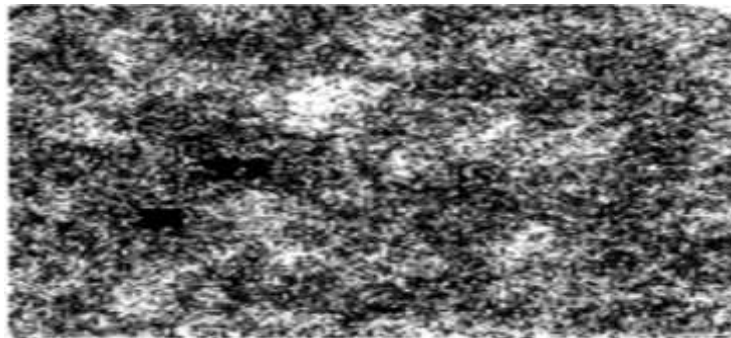
dua perpaduan struktur *cementite* dan *ferrite*. *Pearlite* akan terbentuk jika komposisi karbon mencapai 0,76% C dan mempunyai komposisi *eutectoid*. Pada saat proses pembentukan struktur *pearlite*, fase *austenite* akan berubah bentuk menjadi *ferrite* dan besi karbida secara bersamaan. *Pearlite* akan terjadi ketika dibawah temperatur *eutectoid* yaitu sekitar 723°C (Callister, 2013).



Gambar 2. 10 Struktur mikro *pearlite* (Callister, 2013).

#### 7. *Cementite* (Besi Karbida)

*Cementite* merupakan paduan besi karbon yang terjadi karena mengalami kelebihan batas kelarutan sehingga membentuk fase kedua yang disebut Fe C atau besi karbida. Pada peristiwa ini terbentuk senyawa antara besi karbida yang diwakili dengan garis vertikal pada diagram fase (Callister, 2013).



Gambar 2. 11 Struktur mikro *cementite* (Callister, 2013).

### 8. *Martensite*

*Martensite* merupakan struktur fase tunggal non-equilibrium yang dimanifestasikan dari transformasi *austenite* tanpa difusi. Transformasi *martensite* timbul ketika laju pendinginan cepat untuk mencegah difusi karbon. Demikian dengan *austenite* yang memiliki struktur kristal FCC yang mengalami transformasi *polimorphic* menjadi *martensite* tetragonal yang berfusi pada tubuh BCT (*Body Centered Tetragonal*) (Callister, 2013). Berbeda dengan struktur *ferrite*, semua atom karbon tetap sebagai pengotor interstisial di *martensite*, dengan demikian larutan padat akan memiliki nilai tinggi yang dengan cepat akan berubah menjadi struktur lain (Callister, 2013).



Gambar 2. 12 Struktur mikro *martensite* (Callister, 2013).