

## **BAB II DASAR TEORI**

### **2.1** Pengertian Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada sisi kristal (crystal lattice) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah titanium, krom (chromium), nikel, vanadium, cobalt dan tungsten (wolfram). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsure 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).

### **2.2** Klasifikasi Baja

Baja dapat digolongkan berdasarkan komposisi yang terkandung dalam baja sendiri dalam kandungan komposisi kita dapat melihat golongan baja tersebut. Seperti kadar karbon yang terkandung, kadar sulfur dan paduan lain yang digunakan sebagai penyusun baja tersebut. Berikut ini klasifikasi yang dapat digolongkan berdasarkan komposisi yang terkandung.

#### *2.2.1 Carbon Steel*

Baja karbon tersusun dari unsur besi dan unsur karbon. Oleh sebab itu, pada umumnya baja sebagian besar hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Perbedaan nilai persentase kandungan karbon dalam campuran unsur logam baja menjadi salah satu klasifikasi baja. Pada baja karbon dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan nilai karbon yang terkandung dalam baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi ke dalam tiga macam, yaitu:

### *2.2.2 Baja dengan kadar karbon rendah*

Baja kadar karbon rendah merupakan golongan baja yang mengandung nilai karbon kurang dari 0,3 persen. Dilihat dari biaya produksi baja karbon rendah memiliki biaya yang paling murah dibandingkan dengan baja karbon lainnya, memiliki sifat mudah dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Baja karbon rendah ini dapat digunakan dalam banyak hal seperti pembuatan pagar halaman rumah.

### *2.2.3 Baja dengan kadar karbon Sedang*

Baja dengan kadar karbon sedang adalah golongan baja yang mempunyai kadar karbon antara 0,3% - 0,6%. Baja dengan kadar karbon sedang memiliki keunggulan tersendiri jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi dibandingkan baja karbon rendah, baja kadar karbon sedang memiliki kekuatan tarik dan batas regangan yang tinggi, mudah dibentuk oleh mesin, Baja karbon sedang banyak digunakan dalam banyak hal seperti untuk bahan pembuatan poros, bantalan dan rel kereta api.

### *2.2.4 Baja dengan kadar karbon tinggi*

Baja kadar karbon tinggi merupakan baja yang mempunyai komposisi nilai karbon sebesar 0,6% - 1,7% dan memiliki tahanan panas yang sangat tinggi, memiliki nilai kekerasan tinggi, tetapi nilai keuletannya lebih rendah. Baja kadar karbon tinggi mempunyai nilai kuat tarik paling tinggi dibandingkan dengan baja yang lainnya dan banyak digunakan sebagai material perkakas karena sifat yang dimiliki. Salah satu pemanfaatan dari baja kadar karbon tinggi tersebut adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah kadar karbon yang terkandung di dalam baja maka karbon ini banyak dimanfaatkan dalam pembuatan pegas.

## **2.3 Sifat-sifat Baja**

Pada umumnya baja memiliki dua sifat yang sangat penting untuk diketahui dan dipelajari yaitu sifat mekanik dan fisik. Untuk penjelasan tentang sifat mekanik dan fisik dari baja sebagai berikut:

### 2.3.1 Sifat mekanik pada baja

Sifat mekanik suatu bahan merupakan suatu kemampuan bahan untuk menahan beban-beban dinamis maupun statis yang dikenakan padanya dan mempertahankan diri dari gaya-gaya luar yang mempengaruhinya. Beberapa sifat mekanik bahan, dijelaskan sebagai berikut:

### 2.3.2 Nilai keuletan bahan atau ductility

Ductility merupakan sifat dari suatu bahan liat yang mempunyai gaya regangan (tensile strain) relatif besar sampai dengan titik kerusakan yang memungkinkan dibentuk secara permanen.

### 2.3.3 Nilai ketangguhan bahan atau toughness

Thoughness adalah salah satu sifat dari suatu bahan yang menunjukkan bahwa besarnya energi yang dibutuhkan untuk mematahkan bahan.

### 2.3.4 Nilai kekuatan tarik bahan atau tensile test

Tensile test merupakan kekuatan tarik dari suatu bahan ditentukan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula. Setelah titik leleh, tegangan terus naik dengan berlanjutnya deformasi plastis sampai titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhir.

### 2.3.5 Nilai kekerasan

Nilai kekerasan adalah ketahanan logam atau bahan terhadap perubahan gaya tekan yang dilakukan oleh gaya luar, tahanan yang dilakukan oleh bahan terhadap desakan. Biasanya pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *rockwell*, *vickers*, dan *brinell*.

## 2.4 Baja St 41

Baja St 41 merupakan jenis logam medium carbon, artinya logam ini terdiri dari campuran ferrite dan pearlite yang kandungannya sama-sama besar atau setara dengan baja S 40 C (JIS, G4051), dengan komposisi paduan 0,37-0,43 % C, 0,5-0,35% Si, 0,60-0,90% Mn. Daya tahan baja St 41 ini memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup baik.

### 2.4.4 Peningkatan Kandungan Unsur

Dengan adanya peningkatan kandungan unsur karbon pada baja maka nilai kekuatan tarik dan kekerasa semakin menjadi naik sedangkan kemampuan regang, keuletan, ketangguhan dan kemampuan lasnya menurun.

### 2.4.5 Kandungan unsur-unsur baja St 41

Kandungan unsur-unsur pada baja St 41 menurut standard (JIS G-3123)

Tabel 2.1. Karakteristik Unsur Baja St 41 (JIS G-3123)

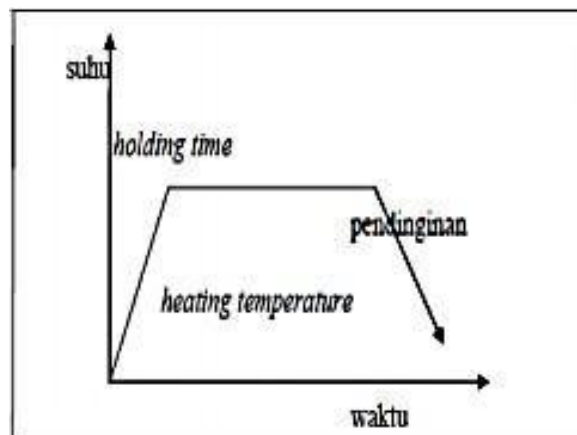
| No | Nama Unsur (simbol) | Persentase (%) |
|----|---------------------|----------------|
| 1  | Mangan (Mn)         | 0,45           |
| 2  | Karbon (C)          | 0,10           |
| 3  | Silikon (Si)        | 0,20           |
| 4  | Fosfor (P)          | 0,017          |
| 5  | Belerang (S)        | 0,009          |

Tabel 2.2. sifat mekanik baja St 41

| SIFAT          | BAJA ST 41                |
|----------------|---------------------------|
| Mekanik        | 7.7 – 8.03 ( x1000kg/m3 ) |
| Baja St 41     | 190 – 210 Gpa             |
| Berat Spesifik | 505 Mpa                   |
| 7.7- 8,03      | 179.8                     |

## 2.5 Heat Treatment

Suatu proses pengubahan sifat fisik logam atau yang disebut dengan Heat treatment. Heat treatment merupakan pemanasan dan pengaturan laju pendingin sampai struktur mikro berubah. Proses heat treatment digunakan untuk memanaskan spesimen sampai mencapai suhu austenisasinya ( Djafrie, 1995 dalam Hanafi,2018). Proses perlakuan panas ini bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Setelah heat treatment terjadi perubahan sifat dapat mencakup keseluruhan bagian logam (Mizhar dan Suherman, 2011). Heat treatment yang sering digunakan adalah, hardening,normalizing dan tempering ( Choudhury dkk, 2001 dalm Mustofa,2016). Perlakuan heat treatment pada baja biasanya dilakukan dengan proses heat treatment dan colling. Pada saat pendinginan mengalami terjadinya perubahan martensit yang dapat membuat kekerasan optimum. Sifat-sifat yang lain tidak terpengaruh pada proses pengerasan (Zinn dan Semiatin, 1988 dalam Mustofa, 2016). Gambar proses ini secara sederhana dapat digambarkan melalui skema diagram suhu terhadap waktu pada.

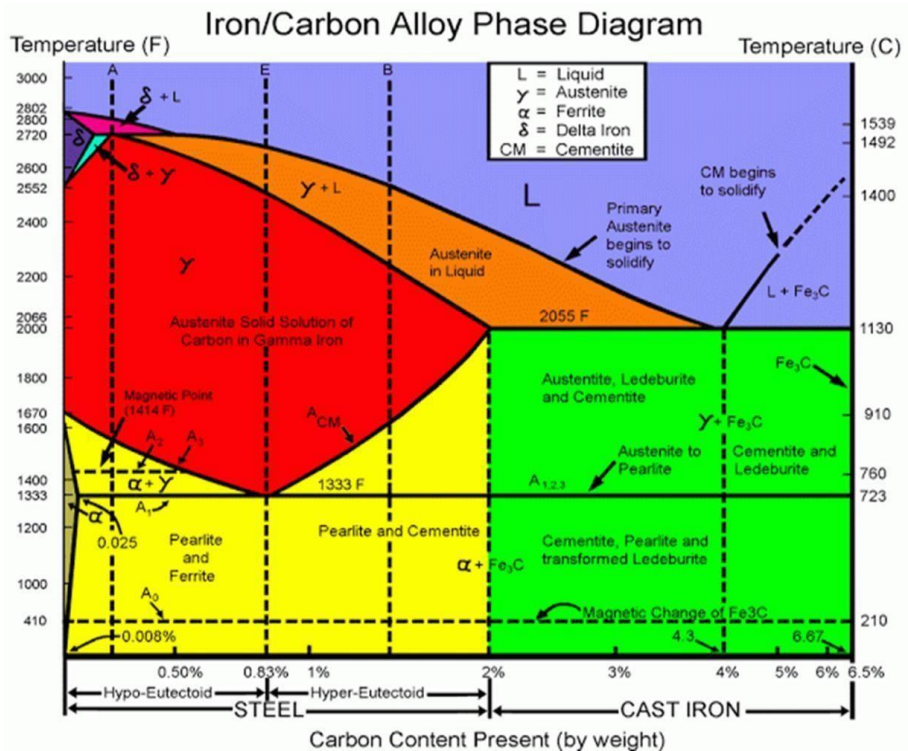


Gambar 2.1. Diagram Suhu Pada Waktu (Karmin dan Ginting, 2012)

## 2.6 Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C

Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C yaitu diagram menunjukkan keterkaitan antara kandungan karbon (%C) dan temperatur selama pemanasan perlahan. Dari diagram fasa didapati hasil berupa pengetahuan penting yaitu:

- 1) Fasa-fasa yang terbentuk pada temperatur dan komposisi yang berbeda pada pendinginan lambat.
- 2) Temperatur pembekuan dan daerah-daerah pembekuan paduan Fe-C bila dilakukan pendinginan lambat.
- 3) Temperatur cair dari masing-masing paduan.
- 4) Dari unsur karbon fasa tertentu diketahui batas-batas dan Temperatur dari tiap-tiap paduan kelarutan atau batas kesetimbangan.



Gambar 2.2 Diagram fasa ferrous – Fe<sub>3</sub>C (Callister,2014)

Pada gambar diagram fasa ferrous – Fe<sub>3</sub>C diatas dapat dilihat bagian dari sistem Fe-C yang menjadi dasar untuk memahami mikrostruktur paduan Fe yang disebut baja dan besi cor. Terlihat baja sangat responsif terhadap perlakuan panas karena adanya perbedaan besar dalam kelarutan padat dalam austenit dan ferit serta eksistensi dari eutectoid.

Dimna terdapat beberapa garis temperatur perubahan fasa dan merupakan titik kesetimbangan yang dideteksi selama analisa thermal pada 727°C dan 1147°C. Dimana pada diagram fasa fe- Fe<sub>3</sub>c dapat ditarik kesimpulan bahwa adanya perubahan fasa yang terbentuk dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya ialah komposisi kimia, temperatur transformasi, dan laju dari pendingin.

## 2.7 Waktu Tahan (Holding Time)

Waktu tahan (Holding time) adalah proses penahanan waktu yang bertujuan untuk memperoleh kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening memiliki prinsip menahan suhu pengerasan agar dapat menjadi pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen larut kedalam austenit dan diffusi karbon dan unsur paduannya (Koswara, 1999 dalam Hanafi, 2018). Hal yang sangat berpengaruh dalam proses quenching adalah Waktu penahanan yang mana jika pemberian holding time yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak sejenis selain itu holding time yang singkat akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan kurangnya jumlah karbida yang larut. Selain itu jika holding time yang diberikan terlalu lama, transformasi terjadi namun diikuti dengan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan ketangguhan (Thelning, 1984 dalam Pramono, 2011). Penentuan holding time dari bermacam jenis baja dapat dilihat pada 2.3.

Tabel 2.3 Jenis Baja dan Waktu Tahan yang Dibutuhkan pada Proses Perlakuan Panas (Prayitno dkk, 1999 dalam Pramono, 2011)

| Jenis Baja                         | Waktu Tahan (menit) |
|------------------------------------|---------------------|
| Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah | 5 – 15              |
| Baja Campuran Menengah             | 15 – 25             |
| Baja Perkakas                      | 10 – 30             |
| Baja Kadar krom tinggi             | 10 – 60             |
| Baja Untuk Pekerjaan               | 15 – 30             |

Tebal dan tipisnya suatu benda uji sangat berpengaruh pada pemberian holding time pada saat proses austenisasi. Pemberian waktu penahanan terhadap ketebalan benda uji dapat ditulis secara matematis pada persamaan 1 berikut (Krauss, 1986 dalam Pramono 2011).

$$T = 1,4 \times H$$

Dengan: T = Holding Time (menit)

H = Ketebalan Benda uji (mm)

Setelah material dipanaskan sampai temperatur austenit dan temperatur ditahan langkah berikutnya adalah quenching (celup cepat). Metode quenching merupakan salah satu metode pendinginan dengan laju pendinginan cepat yang

dilakukan dalam suatu media pendingin berbentuk cairan berbentuk cairan. Supaya memperoleh sifat mekanik yang lebih keras. Untuk baja karbon rendah dan baja karbon sedang biasanya dilakukan pencelupan dengan media pendingin air, sedangkan untuk baja karbon tinggi dan baja paduan digunakan minyak sebagai media pencelupan, dikarenakan minyak laju pendinginannya tidak secepat air (Bahtiar et al,2008).

Pada praktik dilapangan media pendingin air memiliki laju pendinginan yang cepat dibandingkan media pendingin minyak. Pada penelitian *Md. Arefin kowser (2015)* Laju pendingin air lebih cepat dari pada minyak dan kekerasan media pendingin air untuk spindel endmill lebih keras dibanding minyak.

| Sifat        | Celup Cepat   | Pendingin Lambat            |
|--------------|---------------|-----------------------------|
| Keras        | Lebih Keras   | Lebih lunak                 |
| Kekuatan     | Lebih kuat    | Kurang kuat                 |
| Sifat        | Getas         | Ulet                        |
| Struktur     | Martensite    | Ferrit, Pearlite, Sementite |
| Ukuran butir | Butiran halus | Butiran logam besar         |

Tabel 2.4 Perbandingan celup cepat dan pendinginan lambat.  
(Sumber : *Rachmad Supardi, 1997:63*)

## 2.8 Hardening (Pengerasaan)

Proses hardening ( pengerasaan) berguna untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa mengubah komposisi kimia secara keseluruhan (Bahtiar et al.,2004). Temperatur baja karbon rendah *hipoeutektoid* sekitar 20-50°C diatas garis A3, berdasarkan diagram Fe-C garis A3 temperaturnya antara 840°C - 950°C. Setelah dipanaskan mencapai temperatur *austenite*, temperatur ditahan atau holding time untuk mendapatkan kekerasa maksimum dari suatu bahan.



## 2.9 Media Pendingin

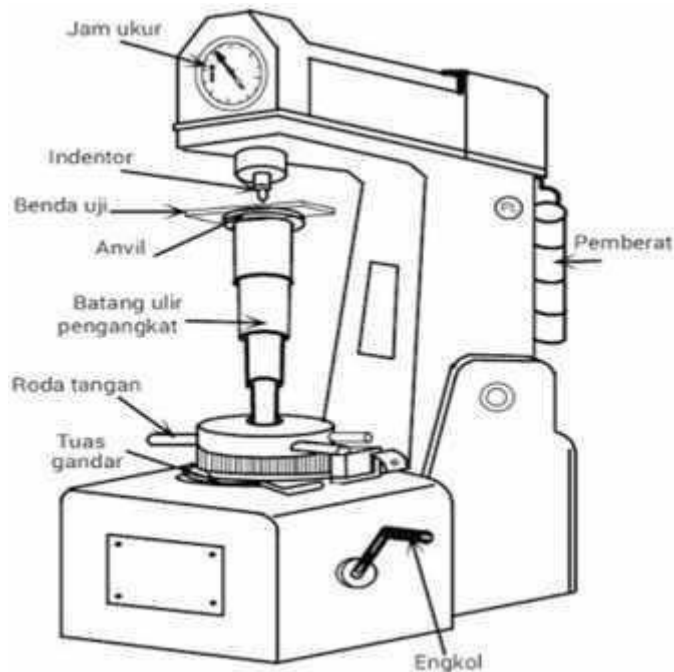
Untuk mencapai struktur martensit maka austenite yang terjadi harus didingin cukup cepat. Untuk hal ini baja harus didinginkan dalam suatu media pendingin tertentu. Pada proses perlakuan panas untuk mendinginkan suatu material ada bermacam-macam jenisnya yaitu air, oli dan larutan garam. Kemampuan media pendingin benda kerja berbeda beda dikarenakan masing-masing media tersebut memiliki karakteristik berbeda dikarenakan temperatur, kekentalan, dan kadar larutan:

- Air Pendinginan dengan menggunakan media air dapat memberikan daya pendinginan yang cepat, kebanyakan air tersebut dilarutkan dengan mencampurkan garam dapur untuk mempercepat temperatur suatu benda kerja hasil perlakuan panas. Air mempunyai karakteristik yang tidak dimiliki oleh zat kimia yang lain, pada kisaran suhu 00C – 1000C adalah suhu yang dibutuhkan sesuai dalam kehidupan sehari-hari 00C adalah titik beku dan pada 1000C merupakan titik didih air (*Bambang,2018*). Oleh karena itu air dibutuhkan selain untuk kebutuhan sehari juga untuk pendinginan setelah proses perlakuan panas ( Heat Treatment ) dengan suhu yang sesuai.
- Oli Pada umumnya oli adalah fluida yang berfungsi sebagai pelumas, namun selain itu oli juga bisa digunakan sebagai media pendingin setelah proses perlakuan panas pada baja. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh pada pendinginan benda kerja, viskositas oli yang lebih tinggi justru mengakibatkan penyerapan panas lebih lambat sedangkan oli dengan viskositas yang rendah dapat memiliki penyerapan panas lebih baik. (*Yulius,2017*)
- Larutan Garam Larutan garam dipilih sebagai media pendingin disebabkan memiliki sifat yang cepat dan teratur dalam proses pendinginan baja. Dikarenakan zat arang pada permukaan benda tersebut meningkat yang mengakibatkan pada setiap baja yang didinginkan menggunakan larutan garam ini akan menjadi lebih keras (*Hamzah Nur,2017*)

## 2.10 Pengujian Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan Rockwell yaitu pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan bahan yang sering dipakai, karena pengujian kekerasan Rockwell mempunyai beberapa keunggulan yaitu: cepat, sederhana, tidak membutuhkan bantuan mikroskop untuk mengetahui jejak, dan juga relatif tidak merusak bahan. Pengujian kekerasan Rockwell dikerjakan dengan menekan permukaan spesimen uji dilaksanakan dengan menaruh beban minor (beban pendahuluan), kemudian ditambah dengan beban mayor (beban utama), kemudian ditambah dengan beban mayor (beban utama), kemudian beban minor dipertahankan sedangkan beban mayor dilepaskan. Besarnya beban minor ini adalah 10 kgf sedangkan besarnya beban utama biasanya adalah 50 kgf, 90 kgf atau 140 kgf.

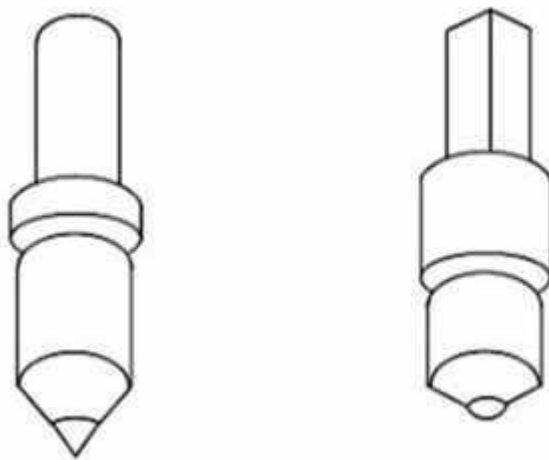
Penerapan beban minor dilakukan bertujuan untuk membantu kedudukan indenter pada spesimen uji dan juga agar dapat menghilangkan penyimpangan dari permukaan spesimen yang siap untuk menerima beban utama. Untuk itu bagian permukaan spesimen uji tidak harus dibuat sehalus mungkin.



Gambar 2.3. Mesin Rockwell Manual

### 2.10.1 Indentor

Indentor ada dua macam indentor yang dipakai untuk pengujian kekerasan Rockwell, yaitu intan berbentuk bola yang terbuat dari tungsten karbida dan juga indentor berbentuk kerucut yang terbuat dari intan, indentor bola baja mempunyai diameter 1/16", 1/8", 1/4" , dan diameter 1/2" sedangkan indentor kerucut intan mempunyai sudut puncak 120° dimana bagian ujungnya sedikit dibulatkan dengan jari-jarri 0,2 mm. Nama untuk indentor kerucut intan juga dikenal dengan sebutan 'Brale'.



Gambar 2.4. Indentor intan dan indentor bola

Indentor bola baja dipakai pada saat kita melakukan pengujian kekerasan materia yang lebih ulet sedangkan indentor kerucut intan biasanya dipakai untuk menguji material yang mempunyai nilai sangat tinggi pada kekerasan rockwell.

### 2.10.2 Skala Kekerasan Rockwell

Ada beberapa skala pada metode Rockwell, misalnya untuk baja yang ulet/lunak menggunakan skala B, dengan indentor bola baja berdiameter 1/16" dan beban total sebesar 100 kgf, contoh-contoh dari skala B yaitu baja yang lunak, paduan aluminium dan paduan, Sedangkan untuk material yang lebih keras menggunakan kerucut intan sebagai indentornya dengan beban total 150 kgf dengan skala C, contoh-contoh dari skala C yaitu paduan baja seperti besi tuang dan banyak paduan baja lainnya.

Selain skala B dan skala C dikenal juga dengan sebutan skala umum, ada beberapa skala lainnya seperti skala A, D, E, F, G dan lain-lain. Tabel berikut merupakan macam-macam skala pengujian kekerasan Rockwell.

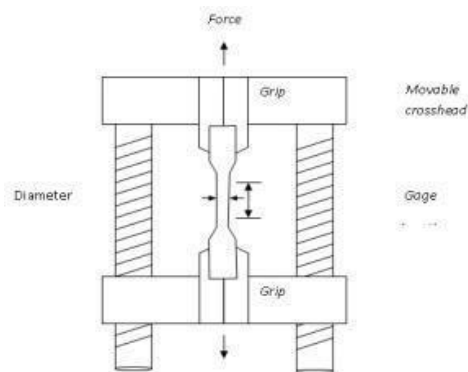
Tabel 2.5 Skala pada pengujian kekerasan rockwell

| Skala | Indentor        | Beban Minor<br>F0 (Kgf) | Beban Mayor<br>F1(kgf) | Beban Total<br>F (kgf) |
|-------|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| A     | Kerucut Intan   | 10                      | 50                     | 60                     |
| B     | Bola baja 1/16" | 10                      | 90                     | 100                    |
| C     | Kerucut Intan   | 10                      | 140                    | 150                    |
| D     | Kerucut Intan   | 10                      | 90                     | 100                    |
| E     | Bola baja 1/8"  | 10                      | 90                     | 100                    |
| F     | Bola baja 1/16" | 10                      | 50                     | 60                     |
| G     | Bola baja 1/16" | 10                      | 140                    | 150                    |
| H     | Bola baja 1/8"  | 10                      | 50                     | 60                     |
| K     | Bola baja 1/8"  | 10                      | 140                    | 150                    |
| L     | Bola baja 1/4"  | 10                      | 50                     | 60                     |
| M     | Bola baja 1/4"  | 10                      | 90                     | 100                    |
| P     | Bola baja 1/4"  | 10                      | 140                    | 150                    |
| R     | Bola baja 1/2"  | 10                      | 50                     | 60                     |
| S     | Bola baja 1/2"  | 10                      | 90                     | 100                    |
| V     | Bola baja 1/2"  | 10                      | 140                    | 150                    |

(Sumber: Tata Surdia, 1987:32)

## 2.11 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu[Askeland1985]. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.



Gambar 2.5. Mesin uji tarik dilengkapi spesimen ukuran standart.

Seperti pada gambar 2.11 benda yang di uji tarik diberi pembebanan pada kedua arah sumbunya. Pemberian beban pada kedua arah sumbunya diberi beban yang sama besarnya.

Pengujian tarik adalah dasar dari pengujian mekanik yang dipergunakan pada material. Dimana spesimen uji yang telah di standarisasi, dilakukan pembebanan *uniaxial* sehingga spesimen uji mengalami peregangan dan bertambah panjang hingga akhirnya patah. Pengujian tarik relatif sederhana, murah dan sangat terstandarisasi dibanding pengujian lain. Hal-hal yang perlu diperhatikan agar pengujian menghasilkan nilai yang valid adalah; bentuk dan dimensi spesimen uji, pemilihan grips dan lain-lain.

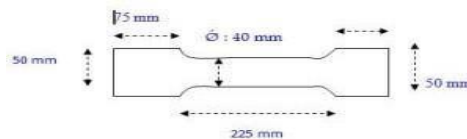
### 2.11.1 Bentuk dan Dimensi Spesimen uji

Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM E8 atau D638. Bentuk dari spesimen penting karena kita harus menghindari terjadinya patah atau retak pada daerah grip atau yang lainnya. Jadi standarisasi dari bentuk spesimen uji dimaksudkan agar retak dan patahan terjadi di daerah gage length.

### 2.11.2 Grip and Face Selection

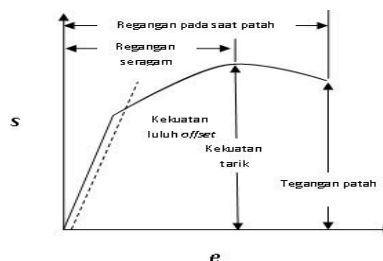
Face dan grip adalah faktor penting. Dengan pemilihan setting yang tidak tepat, spesimen uji akan terjadi slip atau bahkan pecah dalam daerah grip (jaw break). Ini akan menghasilkan hasil yang tidak valid. Face harus selalu tertutupi di seluruh permukaan yang kontak dengan grip. Agar spesimen uji tidak bergesekan langsung dengan face.

Beban yang diberikan pada bahan yang di uji ditransmisikan pada pegangan bahan yang di uji. Dimensi dan ukuran pada benda uji disesuaikan dengan standar baku pengujian.



Gambar 2.6. Dimensi dan Ukuran Spesimen Untuk Uji Tarik

Kurva tegangan-regangan teknik dibuat dari hasil pengujian yang didapatkan.



Gambar 2.7. Contoh Kurva Uji Tarik