

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini dibutuhkan beberapa studi literatur terlebih dahulu, yang diharapkan dapat menghasilkan teori-teori ataupun rumusan-rumusan sehingga tujuan dan manfaat dari penelitian ini dapat tercapai. Berikut ini adalah beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lainnya sehingga dapat dijadikan sebagai landasan teori dalam penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan oleh (Apriatun, Taufikurrahman, dan Sundari, E. 2021) membahas tentang analisa pengaruh variasi waktu penahanan pada proses *pack carburizing* terhadap kekerasan baja karbon rendah ST 37. Pada penelitian yang dilakukan oleh ketiga peneliti tersebut menjelaskan tentang 3 tingkatan baja karbon sesuai dengan kandungan karbonnya masing-masing. Pertama yaitu baja karbon rendah yang mempunyai kandungan karbon kurang dari 0,3% karena kandungan karbonnya rendah maka sifat baja ini sangat lunak, tetapi mempunyai tingkat keuletan yang tinggi baja ini dapat dituang, dikarenakan permukaannya (*case hardening*), mudah dilas dan ditempa. Baja karbon rendah ini biasanya banyak digunakan untuk konstruksi jembatan, mur, baut, plat, kawat, roda gigi, dan pipa. Tingkatan selanjutnya yaitu baja karbon sedang yang mempunyai kandungan karbon antara 0,3-0,7%. Baja karbon ini lebih kuat dan keras dibandingkan baja karbon rendah. Sifat-sifat dari baja ini adalah dapat dikeraskan, di *tempering*, dilas, dikerjakan pada mesin dengan baik penggunaannya juga hampir sama dengan baja karbon rendah. Kandungan karbon yang tertinggi disebut dengan baja karbon tinggi karena mempunyai kandungan karbon antara 0,7 sampai 1,7%. Kekerasannya lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedua baja karbon diatas.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ardiansyah, Y. 2016) membahas tentang pengaruh temperatur proses *hardening* dengan media air terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan baja karbon sedang. Pada penelitian ini terdapat

penjelasan tentang beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon, yaitu *Austenite*, *Ferrite*, *Pearlite*, *Bainit*, *Martensite*, dan *Sementite* (Karbida Besi). Setelah itu peneliti juga menjelaskan tentang uji kekerasan dengan metode *rockwell*. Alasan digunakannya pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan *rockwell*, dengan spesifikasi karena benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah merupakan baja karbon sedang, dimana pembacaan nilai kekerasan dapat mudah diketahui dengan hanya melihat dial indikator yang terdapat pada mesin uji kekerasan *rockwell* diatas maka skala yang sesuai untuk digunakan pada pengujian ini adalah skala C dengan penekan (*indenter*) berupa baja berbentuk kerucut (*cone*). Pengujian metode *rockwell* C dilakukan dengan cara menekan indenter kerucut dengan sudut puncak  $120^\circ$  pada permukaan benda kerja yang akan diuji dengan beban awal ( $F_0$ ) sebesar 10 kg maka ujung indenter masuk sedikit ke dalam benda uji, kemudian pengukuran ke dalam diatur pada posisi nol dengan demikian pengaruh alas uji dan kelonggaran instrumen uji ditiadakan, maka jarum penunjuk yang menunjukkan kedalaman penetrasi  $t_0$ , selanjutnya diberi beban penambahan  $F_1$  sebesar 140 kg sehingga beban total menjadi 150 kg, maka kedalaman penetrasi bertambah dalam  $t_1$  dan proses ini dapat dilihat pada alat pengukurnya. Setelah penurunan beban dari  $F$  ke  $F_0$  kedalaman penetrasi menjadi  $t_b$  yang merupakan kedalaman tetap yang dinyatakan dalam harga 0,002 mm waktu penekanan antara 5-8 detik. Pada skala *rockwell*, jarak 0,2 mm dibagi kedalam 100 bagian yang sama yaitu masing-masing 0,002 mm. Penunjukkan skala *rockwell* dinyatakan: HRA, HRC, HRD = 100-e dan HRF 130-e, di mana lambang e adalah kedalaman penetrasi yang dinyatakan dalam satuan 0,002 mm, jadi  $e = t_b/0,002$ .

Penelitian yang dilakukan oleh (Candra, S., Witantyo, dan Djoenaedy, A.R. 2008) membahas tentang studi *quenching* media pada proses *hardening* material baja paduan SK3 mod. Pada penelitian ini menjelaskan tentang oli mesin bekas, Dimana oli mesin bekas ini memiliki viskositas yang tidak terlalu tinggi. Hal ini yang menjadikan kemampuan menyerap panas dan sekaligus melepas panas menjadi cukup baik. Meskipun saat dipergunakan terlihat ada efek yang kurang baik yaitu timbul asap yang relatif banyak dan mudah terbentuk kerak pada

permukaan material uji (meskipun mudah dibersihkan). Dengan karakteristik kemampuan *cooling rate* nya tersebut, maka material uji akan sangat mungkin berstruktur mikro *martensite* dan sedikit *perlite*. Sehingga diperkirakan akan menghasilkan nilai kekerasan yang cukup baik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Jordi, M., Yudo, H., dan Jokosisworo, S. 2017) membahas tentang analisa pengaruh proses *quenching* dengan media berbeda terhadap kekuatan tarik dan kekerasan baja ST 36 dengan pengelasan SMAW. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa 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. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur-unsur lain selain karbon yang akan tertinggal di dalam baja seperti mangan (Mn), silikon (Si), kromium (Cr), *vanadium* (V), dan unsur lainnya. Adapun sifat-sifat mekanik yang terdapat pada baja yaitu Kekuatan (*strength*), Kekerasan (*hardness*), Kekenyalan (*elasticity*), Kekakuan (*stiffness*), Plastisitas (*plasticity*), Ketangguhan (*toughness*), dan Kelelahan (*fatigue*).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Nugroho, E., Handono, S.D., Asroni, dan Wahidin. 2019) dengan judul “Pengaruh temperatur dan media pendingin pada proses *heat treatment* baja AISI 1045 terhadap kekerasan dan laju korosi” didapat nilai kekerasan pada *raw material* sebesar 11,4 HRC. Selanjutnya, pada suhu 750<sup>0</sup>C dengan *holding time* 30 menit untuk media air sebesar 16,9 HRC dan media oli sebesar 14 HRC. Selanjutnya, pada suhu 850<sup>0</sup>C nilai kekerasan dengan media air sebesar 58,2 HRC dan media oli sebesar 33 HRC. Sedangkan pada suhu 950<sup>0</sup>C didapat nilai kekerasan dengan media air sebesar 51,7 HRC dan media oli sebesar 33,4 HRC. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa baja AISI 1045 yang di *holding time* selama 30 menit dengan berbagai variasi suhu sehingga didapat nilai kekerasan yang berbeda-beda.

Penelitian yang dilakukan oleh (Palupi, O.B. 2016) membahas tentang pengaruh *heat treatment* dengan variasi media *quenching* oli dan solar terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan baja pegas daun AISI 6135. Pada penelitian ini menjelaskan tentang pengaruh unsur paduan pada baja yaitu unsur karbon (C),

unsur mangan (Mn), unsur silikon (Si), unsur nikel (Ni), dan unsur *chrom* (Cr).

Penelitian yang dilakukan oleh (Periyanto, 2016) membahas tentang analisa pengaruh media perlakuan panas *quenching* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja karbon sedang. Proses perlakuan panas yang diterapkan pada penelitian ini yaitu proses *quenching* dan analisa struktur mikro, dimana proses *quenching* pemanasan terhadap spesimen dilakukan hingga mencapai temperatur austenit 600°C, 700°C, dan 800°C yang kemudian ditahan selama 1 jam. Setelah itu spesimen tersebut didinginkan secara cepat dengan menggunakan media air, oli dan air garam. Pada spesimen-spesimen yang telah mengalami proses perlakuan panas tersebut dilakukan pengujian *vickers*. Kekuatan nilai rata-rata kekerasan baja tanpa perlakuan panas 640,40 VHN, menggunakan media pendingin air yaitu 641,07 VHN, menggunakan oli 640,87 VHN dan yang menggunakan media pendingin air garam 895,90 VHV. Hal ini membuktikan adanya pengaruh media pendingin terhadap hasil kekerasan baja. Dalam suatu proses laku panas, setelah pemanasan mencapai *temperature* tertentu dan diberi *holding time* secukupnya maka dilakukan pendinginan dengan laju tertentu maka sifat mekanik yang terjadi setelah pendinginan akan tergantung pada laju pendinginan. Dari pengujian tersebut disimpulkan bahwa untuk media pendingin yang terbaik untuk pembuatan bahan antara air, oli dan air garam adalah oli, karena oli memiliki viskositas kekentalan yang tinggi dibandingkan media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Priyanto, I. 2017) membahas tentang pengaruh temperatur media pendingin (air, *collant*, oli) pada pengelasan GMAW terhadap struktur mikro, kekuatan tarik dan kekerasan pada baja ST 37. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa kekerasan adalah tahanan yang dilakukan oleh bahan terhadap desakan kedalam perubahan yang tetap, ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur ukuran bekas penekan yang terbentuk diatas benda uji. Salah satu sifat mekanis yang menentukan kekuatan suatu bahan adalah kekerasan. Pengujian

kekerasan yang dilakukan terhadap suatu benda uji dapat dilakukan dengan berbagai metode *Rockwell*, *Brineell* dan *Vickers* yang masing-masing memiliki perbedaan dalam cara menentukan angka kekerasannya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Rusjdi, H., Pramono, A.W. dan Faathir, W.B. 2016) membahas tentang pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanis dan struktur mikro pada baja AISI 4340. Pada penelitian ini peneliti menjelaskan tentang apa itu diagram fasa. Diagram yang menggambarkan hubungan antara temperatur dimana terjadinya perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon disebut dengan diagram fasa. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sundari, E., Taufikurrahman, dan Fahlevi, R. 2018) membahas tentang analisa pengaruh *pack carburizing* terhadap sifat mekanis *sprocket* imitasi sepeda motor menggunakan arang kayu gelam dan serbuk cangkang remis sebagai katalisator. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa proses *quenching* adalah sebuah upaya pendinginan secara cepat setelah baja mengalami sebuah perlakuan pemanasan. Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *ferrite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Perkerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di *quenching* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh (Supriyanto, A., Alimuddin, dan Bohari. 2018) membahas tentang analisis logam Fe, Cu, Pb, dan Zn dalam minyak pelumas baru dan bekas menggunakan *x-ray fluorescence*. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa kandungan logam dari minyak pelumas bekas sangat penting, karena banyak dari logam ini berpotensi sangat berbahaya bagi organisme hidup. Logam ini berasal dari bahan bakar dan dari keausan bermotor. Minyak pelumas bekas mengandung konsentrasi tinggi Timbal (Pb), Seng (Zn), Kalsium (Ca), Barium (Ba) dan Magnesium (Mg), dan konsentrasi yang lebih rendah dari Besi (Fe), Natrium (Na), Tembaga (Cu), Aluminium (Al), Kromium (Cr), Mangan

(Mn), Kalium (K), Nikel (Ni), Timah (Sn), Silikon (Si), Boron (B) dan Molibdenum (Mo). Kadar logam di minyak pelumas meningkat terhadap waktu operasional motor dan jumlahnya tergantung pada jenis bahan bakar dan kondisi mekanik mesin.

Penelitian yang dilakukan oleh (Trihutomo, P. 2015) yang membahas tentang analisa kekerasan pada pisau berbahan baja karbon menengah hasil proses *hardening* dengan media pendingin yang berbeda. Proses *hardening* yang diterapkan pada pembuatan pisau pemotong bertujuan untuk memperoleh pisau pemotong dengan tingkat kekerasan yang tinggi. Penggunaan media pendingin yang berbeda pada proses pembuatan pisau bertujuan untuk memperoleh kekerasan yang tinggi dengan tingkat kegetasan yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kekerasan pada pisau berbahan baja karbon menengah hasil dari proses *hardening* dengan menggunakan media pendingin yang berbeda. Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat eksperimental. Bahan pisau yang terbuat berdasarkan baja karbon menengah, diberikan perlakuan *hardening* dalam temperatur 800°C dengan *holding time* saat pemanasan selama 30 menit. Kemudian dilakukan pendinginan dengan menggunakan media pendingin yang berbeda yaitu air, air garam, oli dan udara. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan mesin uji kekerasan *micro vickers*. Hasil analisa data menunjukkan bahwa pisau yang menggunakan media pendingin air memiliki nilai rata-rata kekerasan 652,64 HV, pisau yang menggunakan media pendingin air garam rata-rata nilai kekerasannya 836,56 HV, pisau yang menggunakan media pendingin oli mempunyai nilai rata-rata kekerasan 600 HV dan pisau yang menggunakan media pendingin udara memiliki rata-rata nilai kekerasan 335,44 HV. Dari analisa data didapat kesimpulan bahwa proses pembuatan pisau menggunakan media pendingin oli adalah yang terbaik karena menghasilkan pisau dengan tingkat kekerasan yang tinggi disertai dengan tingkat keuletan yang baik sehingga tidak getas.

Penelitian yang dilakukan oleh (Yunus, M., Najamudin, dan Kurniadi. 2016) membahas tentang pengaruh perlakuan *quenching-tempering* terhadap kekuatan impak pada baja karbon sedang. Penelitian ini menjelaskan tentang

definisi dari baja paduan. Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan dan *wolfram* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran. Berdasarkan unsur-unsur campuran dari sifat-sifat baja maka baja paduan dapat digolongkan menjadi baja dengan kekuatan tarik yang tinggi, tahan karat dan baja tahan panas.

Penelitian yang dilakukan oleh (Yusman, F. 2018) membahas tentang pengaruh media pendingin pada proses *quenching* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja AISI 1045. Pada penelitian ini peneliti menjelaskan tentang pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *rockwell*. Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *rockwell* merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kekuatan kekerasan suatu logam dengan menggunakan indentor bola baja ataupun kerucut intan. Metode *rockwell* adalah metode yang banyak digunakan di Amerika Serikat, hal ini dikarenakan karena sifat dari metode *rockwell* yang memiliki sifat cepat, bebas dari kesalahan yang disebabkan oleh operator, dapat membedakan kekerasan yang kecil pada baja yang dilakukan proses pengerasan dan memiliki titik *relative* kecil sehingga tidak akan merusak logam.

Penelitian yang dilakukan oleh (Zamroji, M. 2018) membahas tentang analisa pengaruh *heat treatment (hardening)* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro besi cor nodular (FCD 60). Pada penelitian ini peneliti menjelaskan tentang proses perlakuan panas (*heat treatment*). Proses perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam. Setelah itu proses *Hardening* adalah perlakuan panas terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan, jangka waktu penghentian yang memadai pada suhu pengerasan dan

pendinginan (pengejutan) berikutnya secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis. Akibat pengejutan 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. Karena logam menjadi keras melalui peralihan wujud struktur, maka perlakuan panas ini disebut juga pengerasan alih wujud. *Hardening* dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan dan *fatigue limit/strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan (*temperature austenitising*), *holding time* dan laju pendinginan yang dilakukan serta seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras banyak tergantung pada *hardenability*.

## 2.2 Baja

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. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur-unsur lain selain karbon yang akan tertinggal di dalam baja seperti mangan (Mn), silikon (Si), kromium (Cr), *vanadium* (V), dan unsur lainnya. Berdasarkan komposisi dalam prakteknya baja terdiri dari beberapa macam yaitu: Baja Karbon (*Carbon Steel*) dan Baja Paduan (*Alloy Steel*) (Jordi dkk., 2017).

### 2.2.1 Klasifikasi baja karbon (*carbon steel*)

Berdasarkan tinggi rendahnya presentase karbon di dalam baja, baja karbon diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Baja Karbon Rendah yang mempunyai kandungan karbon kurang dari 0,3% karena kandungan karbonnya rendah maka sifat baja ini sangat lunak, tetapi mempunyai tingkat keuletan yang tinggi baja ini dapat dituang, dikarenakan permukaannya (*case hardening*), mudah dilas dan ditempa. Baja karbon rendah ini biasanya banyak digunakan untuk konstruksi jembatan, mur, baut, plat, kawat, roda gigi, dan pipa (Apriatun dkk., 2021).
2. Baja Karbon Sedang yang mempunyai kandungan karbon antara 0,3-0,7%.

Baja karbon ini lebih kuat dan keras dibandingkan baja karbon rendah. Sifat-sifat dari baja ini adalah dapat dikeraskan, di *tempering*, dilas, dikerjakan pada mesin dengan baik penggunaannya juga hampir sama dengan baja karbon rendah (Apriatun dkk., 2021).

3. Baja Karbon Tinggi mempunyai kandungan karbon antara 0,7 sampai 1,7%. Kekerasannya lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedua baja karbon diatas (Apriatun dkk., 2021).

### **2.2.2 Klasifikasi baja paduan (*alloy steel*)**

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan dan *wolfram* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran. Berdasarkan unsur-unsur campuran dari sifat-sifat baja maka baja paduan dapat digolongkan menjadi baja dengan kekuatan tarik yang tinggi, tahan karat dan baja tahan panas (Yunus dkk., 2016).

1. Baja dengan Kekuatan tarik yang tinggi

Baja ini mengandung mangan, nikel, kromium dan sering juga mengandung vanadium (Yunus dkk., 2016).

2. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat mempunyai seratus lebih yang berbeda-beda Akan tetapi,seluruh baja itu mempunyai satu sifat karena kandungan kromium yang membuatnya tahan terhadap karat (Yunus dkk., 2016).

3. Baja Tahan Panas

Problem utama yang berhubungan dengan penggunaan temperatur tinggi adalah kehilangan kekuatan, serangan oksidasi dan unsur kimia. Kekuatannya pada temperatur tinggi dapat diperbaiki dengan menaikkan temperatur transformasi dan penambahan unsur kromium atau dengan merendahkan temperatur transformasi dan penambahan unsur nikel (Yunus dkk., 2016).

### 2.2.3 Sifat mekanik baja

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 (Jordi dkk., 2017).

Sifat-sifat mekanik yang terpenting antara lain:

1. Kekuatan (*strength*) menyatakan bahwa 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 (Jordi dkk., 2017).
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 (Jordi dkk., 2017).
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 (Jordi dkk., 2017).
4. Kekakuan (*stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting daripada kekuatan (Jordi dkk., 2017).
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*) (Jordi dkk., 2017).

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 (Jordi dkk., 2017).
7. Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah 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 (Jordi dkk., 2017).
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 (Jordi dkk., 2017).

#### **2.2.4 Pengaruh unsur paduan pada baja**

Berikut ini pengaruh unsur paduan pada baja yaitu sebagai berikut:

1. Unsur karbon (C)  
Berfungsi meningkatkan sifat mekanik seperti kekuatan dan kekerasan meskipun demikian karbon juga dapat menurunkan keuletan dan ketangguhan (Palupi dalam Widyatmadji, 2016).
2. Unsur mangan (Mn)  
Kandungan mangan kurang lebih 0,6% guna menaikkan kuat tarik sehingga memiliki sifat kuat dan ulet (Palupi dalam Widyatmadji, 2016).
3. Unsur silikon (Si)  
Meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, ketahanan terhadap panas dan karat (Palupi dalam Widyatmadji, 2016).
4. Unsur nikel (Ni)  
Unsur nikel pada suatu baja sering ditambahkan untuk memperoleh sifat-

sifat baja sesuai yang diinginkan, fungsinya seperti memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas, jika pada baja paduan terdapat unsur nikel maka baja tahan terhadap korosi (Palupi dalam Widyatmadji, 2016).

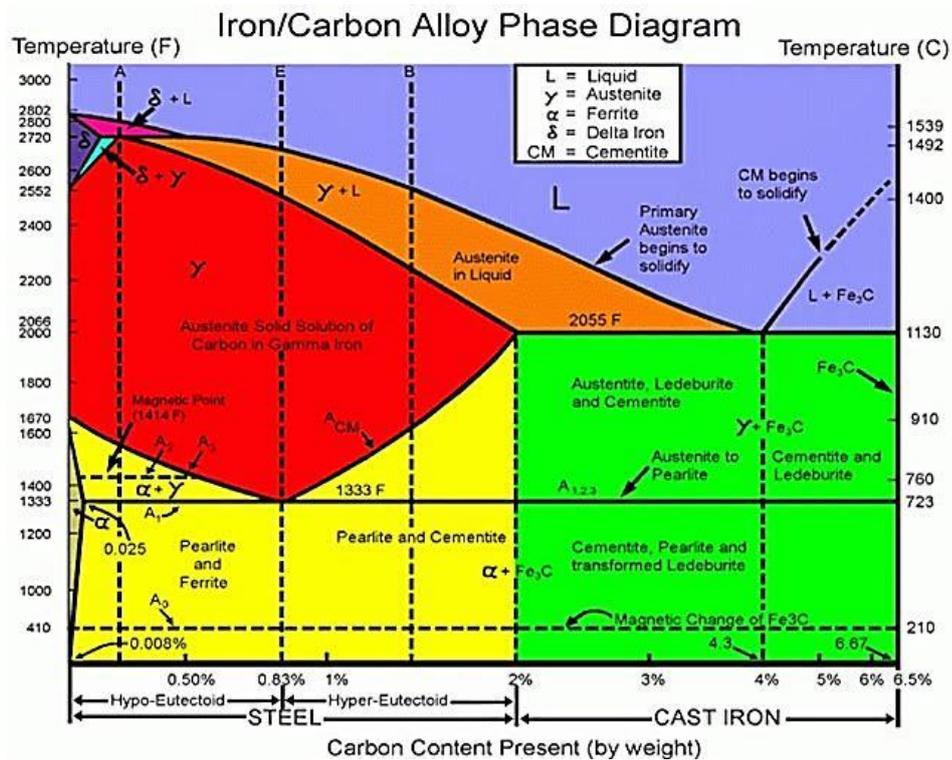
#### 5. Unsur *chrom* (Cr)

Meningkatkan kekerasan baja, kekuatan tarik, ketangguhan, ketahanan abrasi, korosi, dan tahan terhadap suhu tinggi (Palupi dalam Widyatmadji, 2016).

### 2.2.5 Diagram fasa (Fe-C)

Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi didalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Hubungan ini dinyatakan dalam suhu dan komposisi, setiap perubahan komposisi dan perubahan suhu akan mempengaruhi struktur mikro (Pratama, 2020).

Pada diagram fasa Fe-C yang ditampilkan muncul larutan padat ( $\alpha$ ,  $\gamma$ , ) atau disebut besi delta ( $\delta$ ), *austenite* ( $\gamma$ ) dan *ferrite* ( $\alpha$ ). *Ferrite* mempunyai struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*) dan *austenite* mempunyai struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) sedangkan besi delta ( $\delta$ ) mempunyai struktur kristal FCC pada suhu tinggi. Apabila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau *sementite*. Karbida besi mempunyai komposisi kimia  $Fe_3C$  yang sifatnya keras dan getas. Peningkatan kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan sifat mekanik baja tersebut, terutama kekerasan karena sifat yang dimiliki oleh endapan *sementite* yang keras (Pratama dalam Indah, 2020).



Gambar 2.1. Diagram Fasa (Fe-C) (Rusjdi dkk., 2016)

Berikut ini beberapa fasa yang sering ditemukan dalam baja karbon, yaitu sebagai berikut:

### 1. Austenite

*Austenite* adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendingin selanjutnya *austenite* berubah menjadi *ferrite* dan *pearlit* dan *sementite*. Sifat *austenite* adalah lunak, tidak magnetis dan dapat ditempa. Kadar karbon maksimum sebesar 2,14% (Ardiansyah, 2016).

### 2. Ferrite

Fasa ini disebut alpha ( $\alpha$ ), ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon oleh sebab itu daya larut karbon dalam *ferrite* rendah  $< 1$  atom C per 1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008%, sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025% pada suhu  $723^{\circ}\text{C}$ . *Ferrite* bersifat magnetik sampai suhu  $768^{\circ}\text{C}$ . Sifat *ferrite* lainnya adalah lunak dan liat atau ulet. *Ferrite* berwarna putih (Ardiansyah, 2016).

### 3. Pearlite

Fasa ini merupakan campuran mekanis yang terdiri dari dua fasa, yaitu *ferrit* dengan kadar karbon 0,025% dan *semitite* dalam bentuk *lamellar* (lapisan) dengan kadar karbon 6,67% yang berselang-seling rapat terletak bersebelahan. *Pearlit* merupakan struktur mikro dari reaksi *eutektoid lamellar*. Sifat *pearlite* adalah lebih keras dan lebih kuat dari pada *ferrite* tetapi kurang liat atau ulet dan tidak magnetis. *Pearlite* berwarna hitam (Ardiansyah, 2016).

### 4. Bainit

*Bainit* merupakan fasa yang terjadi akibat transformasi pendinginan yang sangat cepat pada fasa *austenite* ke suhu antara 250°C-550°C dan ditahan pada suhu tersebut (*isothermal*). *Bainit* adalah struktur mikro dari reaksi *eutektoid* ( $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) *non lamellar* (tidak berupa lapisan). *Bainit* merupakan struktur mikro campuran fasa *ferrit* dan *semitite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Sifat dari *bainit* adalah lunak (Ardiansyah, 2016).

### 5. Martensite

*Martensite* merupakan fasa dimana *ferrit* dan *semitite* bercampur, tetapi bukan dalam *lamellar*, melainkan jarum-jarum *semitite*. Fasa ini terbentuk dari *austenite* meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi  $\text{Fe}_3\text{C}$  unsur paduan lainnya tetapi larut transformasi *isothermal* pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam *metriks ferrit*. *Martensite* bilah (*lath martensite*) terbentuk jika kadar C dalam baja sampai 0,6% sedangkan di atas 1% C akan terbentuk *martensite* pelat (*plate martensite*). Perubahan dari tipe bilah ke pelat terjadi pada interval  $0,6\% < C < 1,08\%$ . Sifat dari *martensite* adalah rapuh dan keras, kekerasan tergantung dari komposisi karbon. *Martensite* berbentuk seperti jarum (Ardiansyah, 2016).

### 6. Sementite (Karbida Besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (*semitite*). Karbida besi mempunyai komposisi kimia  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Dibandingkan dengan *ferrit*, *semitite* ini sangat keras. Karbida besi dalam *ferrit* akan meningkatkan kekerasan baja, tetapi karbida besi murni tidak liat atau ulet.

Karbida ini tidak dapat menyesuaikan diri dengan adanya konsentrasi tegangan, oleh karena itu kurang kuat. Sifat *sementite* adalah keras, rapuh dan magnetis (Ardiansyah, 2016).

### 2.3 Karakteristik Pipa Carbon Steel ASTM A106 Grade B

ASTM (*American Standard Testing and Material*) A106 atau juga disebut ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) SA106 merupakan spesifikasi standar untuk pipa baja karbon *seamless* yang diterapkan untuk layanan suhu tinggi. Pipa *Carbon Steel* ASTM A106 mempunyai 3 tingkatan atau *grade* yaitu *grade A*, *grade B*, dan *grade C*. Dari ketiga *grade* tersebut yang paling sering digunakan yaitu Pipa *Carbon Steel* ASTM A106 *grade B*, yang juga digunakan dalam sistem perpipaan minyak, gas, air, dan lain-lain. Pipa ini tidak hanya digunakan dikawasan perindustrian tetapi juga sering digunakan oleh masyarakat biasa salah satunya digunakan dalam pembuatan linggis brongsong di Desa Sukadana Kecamatan Sungai Rotan Kabupaten Muara Enim. Pipa ASTM A106 yang digunakan oleh masyarakat Desa Sukadana memiliki ukuran yaitu diameter luar sebesar 60 mm dan diameter dalam sebesar 52 mm dengan ketebalan 4 mm. Pipa ASTM A106 *Grade B* ini juga setara dengan Pipa ASTM A53 dan juga API 5L B. Pipa ini juga termasuk baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) karena memiliki kandungan karbon sebesar 0.30% (Octal, 2012). Berikut ini komposisi kimia yang terdapat pada pipa *carbon steel* ASTM A106, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Pada Pipa *Carbon Steel* ASTM A106 (Octal, 2012)

Chemical Composition			
Grade	Grade A	Grade B	Grade C
	%		
Carbon (C) Mx.	0.25	0.30	0.35
Manganese (Mn)	0.27-0.93	0.29-1.06	0.29-1.06
Phosphorus (P) Mx.	0.035	0.035	0.035
Sulfur (S) Mx.	0.035	0.035	0.035
Silicon (Si) Mx.	0.10	0.10	0.10
Chromium (Cr) Mx.	0.40	0.40	0.40
Copper (Cu) Mx.	0.40	0.40	0.40
Molybdenum (Mo) Mx.	0.15	0.15	0.15
Nickel (Ni) Mx.	0.40	0.40	0.40
Vandadium (V) Mx.	0.08	0.08	0.08

## 2.4 Linggis Brongsong

Linggis Brongsong merupakan salah satu peralatan manual yang digunakan untuk suatu pekerjaan penggalian tanah seperti penggalian sumur, penanaman, dan lain-lain. Linggis brongsong ini hampir sama seperti cangkul karena sama-sama digunakan untuk pekerjaan penggalian tanah, tetapi yang membedakannya adalah linggis brongsong ini mempunyai keunggulan yaitu dapat menggali tanah dengan lubang yang diameternya kecil sehingga mempermudah penanaman seperti penanaman pohon karet yang menggunakan *polybag* (kantong plastik tanaman) dan perkebunan pertanian lainnya yang merupakan sumber ekonomi di Desa Sukadana Kecamatan Sungai Rotan Kabupaten Muara Enim ini. Linggis brongsong ini mempunyai ukuran dengan panjang sebesar 300 mm dan lebar pada bagian mata linggis brongsong sebesar 111 mm. Bentuk dari linggis brongsong ini dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Linggis Brongsong

## 2.5 Heat Treatment

Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam (Zamroji, 2018).

### 2.5.1 *Hardening*

*Hardening* adalah perlakuan panas terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan, jangka waktu penghentian yang memadai pada suhu pengerasan dan pendinginan (pengejutan) 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. Karena logam menjadi keras melalui peralihan wujud struktur, maka perlakuan panas ini disebut juga pengerasan alih wujud (Zamroji, 2018).

*Hardening* dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan dan *fatigue limit/strength* yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperatur pemanasan (*temperature austenitising*), *holding time* dan laju pendinginan yang dilakukan serta seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras banyak tergantung pada *hardenability* (Zamroji, 2018).

### 2.5.2 *Quenching*

*Quenching* adalah sebuah upaya pendinginan secara cepat setelah baja mengalami sebuah perlakuan pemanasan. Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *ferrite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Perkerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di *quenching* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut (Sundari dkk. dalam Totten.GE, 2018).

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* (Zamroji, 2018).

## 2.6 Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan spesimen linggis brongsong yang telah dilakukan proses *quenching* yaitu sebagai berikut:

### 2.6.1 Oli Bekas

Dinas Lingkungan Hidup Kota Gorontalo (2018), mengatakan bahwa Oli bekas adalah Limbah B3 (Barang Berbahaya dan Beracun) kategori Limbah B3 cair yang mengandung logam berat dari bensin atau mesin bermotor. Dalam oli bekas terkandung sejumlah sisa hasil pembakaran yang bersifat asam dan korosif, deposit, dan logam berat yang bersifat karsinogenik.

Kandungan logam dari minyak pelumas bekas sangat penting, karena banyak dari logam ini berpotensi sangat berbahaya bagi organisme hidup. Logam ini berasal dari bahan bakar dan dari keausan bermotor. Minyak pelumas bekas mengandung konsentrasi tinggi Timbal (Pb), Seng (Zn), Kalsium (Ca), Barium (Ba) dan Magnesium (Mg), dan konsentrasi yang lebih rendah dari Besi (Fe), Natrium (Na), Tembaga (Cu), Aluminium (Al), Kromium (Cr), Mangan (Mn), Kalium (K), Nikel (Ni), Timah (Sn), Silikon (Si), Boron (B) dan Molibdenum (Mo). Kadar logam di minyak pelumas meningkat terhadap waktu operasional motor dan jumlahnya tergantung pada jenis bahan bakar dan kondisi mekanik mesin (Supriyanto dkk., 2018).

Oli Mesin bekas memiliki viskositas yang tidak terlalu tinggi. Hal ini yang menjadikan kemampuan menyerap panas dan sekaligus melepas panas menjadi cukup baik. Meskipun saat dipergunakan terlihat ada efek yang kurang baik yaitu timbul asap yang relatif banyak dan mudah terbentuk kerak pada permukaan material uji (meskipun mudah dibersihkan). Dengan karakteristik kemampuan *cooling rate* nya tersebut, maka material uji akan sangat mungkin berstruktur mikro *martensite* dan sedikit *perlite*. Sehingga diperkirakan akan menghasilkan nilai kekerasan yang cukup baik (Candra dkk., 2008).

## 2.7 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah tahanan yang dilakukan oleh bahan terhadap desakan kedalam perubahan yang tetap, ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda

uji. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menekankan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur ukuran bekas penekan yang terbentuk diatas benda uji (Priyanto dalam Surdja dan Saito, 2017).

Salah satu sifat mekanis yang menentukan kekuatan suatu bahan adalah kekerasan. Pengujian kekerasan yang dilakukan terhadap suatu benda uji dapat dilakukan dengan berbagai metode *Rockwell*, *Brinell* dan *Vickers* yang masing-masing memiliki perbedaan dalam cara menentukan angka kekerasannya (Priyanto, 2017).

Dalam pengujian kekerasan ini menggunakan pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell*.

### **2.7.1 Metode pengujian *Rockwell***

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



Gambar 2.3. *Rockwell Hardness Tester* Model HR-150A

Seperti yang telah dijelaskan bahwa alasan digunakannya pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan *rockwell* yaitu karena benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah merupakan baja karbon sedang,

dimana pembacaan nilai kekerasan dapat mudah diketahui dengan hanya melihat dial indikator yang terdapat pada mesin uji kekerasan *rockwell* diatas maka skala yang sesuai untuk digunakan pada pengujian ini adalah skala C dengan penekan (*indenter*) berupa baja berbentuk kerucut (*cone*) (Ardiansyah, 2016).

Pengujian metode *rockwell* C dilakukan dengan cara menekan indenter kerucut dengan sudut puncak  $120^\circ$  pada permukaan benda kerja yang akan diuji dengan beban awal ( $F_0$ ) sebesar 10 kg maka ujung indenter masuk sedikit ke dalam benda uji, kemudian pengukuran ke dalam diatur pada posisi nol dengan demikian pengaruh alas uji dan kelonggaran instrumen uji ditiadakan, maka jarum penunjuk yang menunjukkan kedalaman penetrasi  $t_0$ , selanjutnya diberi beban penambahan  $F_1$  sebesar 140 kg sehingga beban total menjadi 150 kg, maka kedalaman penetrasi bertambah dalam  $t_1$  dan proses ini dapat dilihat pada alat pengukurnya. Setelah penurunan beban dari  $F$  ke  $F_0$  kedalaman penetrasi menjadi  $t_b$  yang merupakan kedalaman tetap yang dinyatakan dalam harga 0,002 mm waktu penekanan antara 5-8 detik (Ardiansyah, 2016).

Pada skala *rockwell*, jarak 0,2 mm dibagi kedalam 100 bagian yang sama yaitu masing-masing 0,002 mm. Penunjukkan skala *rockwell* dinyatakan: HRA, HRC, HRD = 100-e dan HRF 130-e, di mana lambang e adalah kedalaman penetrasi yang dinyatakan dalam satuan 0,002 mm, jadi  $e = t_b/0,002$  (Ardiansyah, 2016).

Cara mengetahui dalamnya penetrasi dapat dihitung berdasarkan petunjuk angka kekerasan, misalnya 60 HRC maka dalamnya penetrasi ( $t_b$ ) =  $(100-60) \times 0,002 = 0,08$  mm dan HRF dalamnya penetrasi ( $t_b$ ) =  $(130-60) \times 0,002 = 0,14$  mm (Ardiansyah, 2016). Jadi rumus ini hanya untuk mengetahui tingkat kekerasan *rockwell*, dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{HRC} = 100 - t_b / 0,002 \text{ untuk } \textit{rockwell} \text{ A, C, dan D}$$

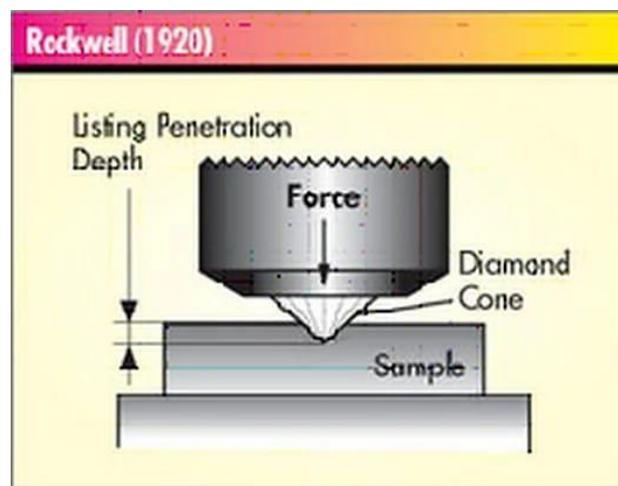
$$\text{HRB} = 130 - t_b / 0,002 \text{ untuk } \textit{rockwell} \text{ selain A, C, dan D}$$

Pengukuran kekerasan baja yang diperkeras, pengukuran kekerasan disarankan menggunakan *rockwell* C. Spesifikasi alat uji *Rockwell Hardness Tester* model HR-150A (Ardiansyah, 2016).

Tabel 2.2. Beban, Indentor, dan Skala Kekerasan (Ardiansyah, 2016)

Simbol Skala	Penekan	Beban			Skala	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut Intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola Baja 1.558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut Intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut Intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola Baja 3.175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola Baja 1.558 mm (1/16")	10	50	60	130	Merah
G	Bola Baja 1.558 mm (1/16")	10	140	150	130	Merah
H	Bola Baja 3.175 mm (1/8")	10	50	60	130	Merah
K	Bola Baja 3.175 mm (1/8")	10	140	150	130	Merah
L	Bola Baja 6.35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola Baja 6.35 mm (1/4")	10	90	100	130	Merah
P	Bola Baja 6.35 mm (1/4")	10	140	150	130	Merah
R	Bola Baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola Baja 12,7 mm (1/2")	10	90	100	130	Merah
V	Bola Baja 12,7 mm (1/2")	10	140	150	130	Merah

Berikut ini gambar pengujian kekerasan *rockwell*:

Gambar 2.4. Bentuk pengujian kekerasan *rockwell* (Ardiansyah, 2016)

Sebagian besar hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengujian kekerasan metode *rockwell* yaitu sebagai berikut:

- a. Penumbuk dan landasan harus bersih dan terpasang dengan baik.
- b. Permukaan yang akan diuji harus bersih dan kering, halus, dan bebas dari oksida. Permukaan yang agak kasar biasanya dapat menggunakan uji *rockwell*.

- c. Permukaan harus datar dan tegak lurus terhadap penumbuk.
- d. Uji untuk permukaan silinder akan memberikan hasil pembacaan yang rendah, kesalahan yang terjadi tergantung pada lengkungan, beban, penumbuk dan kekerasan bahan.
- e. Tebal benda uji harus sedemikian hingga tidak terjadi gembung (*bulge*) pada permukaan dibaliknya. Tebal benda uji dianjurkan 10 kali kedalaman lekukan. Pengujian dilakukan pada bahan yang tebalnya satu macam.
- f. Daerah diantara lekukan-lekukan harus 3 hingga 5 kali diameter lekukan.
- g. Kecepatan penerapan beban harus dibakukan, hal ini dilakukan dengan cara mengatur daspot pada mesin uji *rockwell*. Tanpa pengontrolan beban secara hati-hati dapat terjadi variasi nilai kekerasan yang cukup besar pada bahan-bahan yang sangat lunak. Peruntukkan bahan demikian gagang pengoperasian mesin uji *rockwell* harus dikembalikan ke posisi semula segera setelah beban besar telah diterapkan secara penuh (Ardiansyah, 2016).

## 2.8 Analisa Hasil Pengujian

Sering kali kita menghadapi banyak rata-rata (lebih dari dua rata-rata). Apabila kita mengambil langkah pengujian perbedaan rata-rata tersebut satu persatu (dengan t tes) akan memakan waktu, tenaga yang banyak. Disamping itu, kita akan menghadapi resiko salah yang besar. Untuk itu, telah ditemukan cara analisis yang mengandung kesalahan lebih kecil dan dapat menghemat waktu serta tenaga yaitu dengan ANOVA (*Analisis of variances*) (Irianto, 2016).

Dalam penyelesaian penelitian ini penulis mengolah data hasil pengujian menggunakan metode statistika, pengolahan data statistik tersebut menggunakan metode *analysis of variance* (ANOVA). Pada penelitian ini penulis menggunakan ANOVA Satu Arah (*One-way Anova*). Anova Satu Arah atau Anova Satu Jalur (*One-way Anova*) adalah alat statistik yang digunakan untuk melakukan pengujian hipotesis apakah terdapat perbedaan rata-rata di antara tiga atau lebih kelompok sampel. Adapun langkah-langkah menghitung ANOVA Satu Arah (*One-way Anova*), yaitu:

- a) Asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak.
- b) Asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal.
- c) Menentukan hipotesis:
- $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$  (tidak ada efek terhadap perlakuan)
  - $H_1 : \text{Salah satu } \mu \text{ tidak sama}$  (terdapat efek terhadap perlakuan)
- d) Menentukan derajat kebebasan untuk jumlah kuadrat total:

$$dk SS_t = N - 1$$

- e) Menentukan derajat kebebasan untuk jumlah kuadrat antar kelompok:

$$dk SS_b = k - 1$$

- f) Menentukan derajat kebebasan untuk jumlah kuadrat dalam kelompok:

$$dk SS_w = N - k$$

- g) Menentukan jumlah kuadrat total:

$$SS_t = \sum X^2 - \frac{G^2}{N}$$

- h) Menentukan jumlah kuadrat antar kelompok:

$$SS_b = \sum \frac{T^2}{n} - \frac{G^2}{N}$$

- i) Menentukan jumlah kuadrat dalam kelompok:

$$SS_w = SS_t - SS_b$$

- j) Menentukan deviasi rata-rata kuadrat (*mean squared deviation*) untuk jumlah kuadrat antar kelompok:

$$MS_b = \frac{SS_b}{dk SS_b}$$

- k) Menentukan deviasi rata-rata kuadrat (*mean squared deviation*) untuk jumlah kuadrat dalam kelompok:

$$MS_w = \frac{SS_w}{dk SS_w}$$

- l) Menentukan F hitung:

$$F = \frac{MS_b}{MS_w}$$

- m) Melengkapi tabel hasil perhitungan ANOVA dari data yang didapat.
- n) Apabila  $F$  hitung sudah ditemukan maka langkah berikutnya adalah melihat  $F$  tabel kemudian membandingkan antar  $F$  hitung dengan  $F$  tabel. Untuk melihat  $F$  tabel diperlukan *alpha* atau taraf signifikan ( $\alpha$ ) dan *dk*. *dk* yang dibutuhkan untuk melihat tabel  $F$  ada dua macam, yaitu  $dk SS_b$  dan  $dk SS_w$ .
- o) Jika  $F_{\text{HITUNG}} (F_0) < F_{\text{TABEL}}$ , maka hipotesis ( $H_0$ ) dapat diterima, begitu juga sebaliknya (Irianto, 2016).

Tabel 2.3. Hasil Perhitungan ANOVA (Irianto, 2016)

Sumber Variance	Sum of Squares (SS)	Degrees of Freedom (dk)	Mean Square (MS)	F
Antar Kelompok (Model)	$SS_b$	$dk SS_b$	$MS_b$	$MS_b / MS_w$
Dalam Kelompok (Pure Error)	$SS_w$	$dk SS_w$	$MS_w$	
Cor Total	$SS_t$	$dk SS_t$		

## 2.9 Hipotesa

Berdasarkan variabel yang digunakan dalam penelitian ini, maka dibuat hipotesa sebagai berikut:

$H_0$  = Tidak ada pengaruh variasi temperatur suhu dan *holding time* terhadap tingkat kekerasan linggis brongsong. Jika  $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$  maka  $H_1$  ditolak.

$H_1$  = Ada pengaruh variasi temperatur suhu dan *holding time* terhadap tingkat kekerasan linggis brongsong. Jika  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$  maka  $H_0$  ditolak.