

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Kajian pustaka yang melandasi timbulnya gagasan untuk meneliti judul yang ditulis adalah karena adanya dorongan keingintahuan akan pengaruh perlakuan *quenching* dengan variasi media pendingin yaitu air, oli bekas dan minyak goreng terhadap kekerasan egrek untuk mengupayakan peningkatan kekerasan agar produk pandai besi dapat bertahan lebih kuat, dan tidak aus serta tahan lama pada kondisi-kondisi yang sering bermasalah. Berikut adalah beberapa referensi yang diambil dalam penelitian ini.

Penelitian ini dilakukan oleh Suherman dkk (2012). Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan sifat fisis dan mekanis dari material yang digunakan untuk membuat alat pemanen buah kelapa sawit (egrek dan dodos) buatan lokal dengan produk impor serta perbaikan sifat fisis dan mekanisnya. Pada penelitian ini dilakukan pemotongan pada bagian ujung (gagang) dan bagian tengah egrek di sisi yang tajam untuk mendapatkan data sifat fisis dan mekanis egrek. Dalam pengujian sifat fisis dan mekanis bahan terdiri dari pengujian komposisi kimia, struktur mikro dan kekerasan metode *rockwell*. Hasil pengujian komposisi kimia dengan spektrometer analisis menunjukkan bahwa bahan yang digunakan untuk membuat egrek dan dodos, baik produk lokal maupun produk impor hampir sama yaitu termasuk golongan baja karbon sedang (AISI 1045). Nilai kekerasan material pada bagian tengah egrek produk impor lebih keras bila dibanding dengan produk lokal yaitu masing-masing 29 dan 22 HRC. Pengamatan struktur mikro bahan dengan menggunakan mikroskop optik menunjukkan bahwa struktur mikro pada egrek produk lokal maupun produk impor didominasi oleh struktur ferit dan perlit kasar (*coarse pearlite*). Struktur mikro dari dodos produk impor didominasi oleh struktur *bainite* bawah (*lower bainite*) dengan kekerasan sebesar 57 HRC sedangkan pada dodos produk lokal nilai kekerasannya hanya mencapai 25 HRC dengan struktur ferit dan pearlit. Untuk memperbaiki sifat mekanis kedua

produk maka proses *hardening* dengan memanaskan baja pada temperatur 800°C dengan waktu tahan 30 menit sehingga menghasilkan peningkatan sifat mekanisnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Mirantie Dwiharsanti dkk (2018). Penelitian ini dilakukan untuk membahas Analisis Komparatif Tingkat Kekerasan Dan Komposisi Karbon Egrek Antara Produk Lokal Dan Impor. Analisis komparatif dilakukan untuk data tingkat kekerasan dan komposisi karbon pada egrek impor dan lokal. Banyaknya pengusaha perkebunan sawit memilih egrek impor dibandingkan egrek lokal sehingga dapat menurunkan produksi egrek lokal indonesia. Dari kondisi tersebut perlu dilakukan penelitian mengenai kualitas egrek impor dan lokal, apakah terdapat perbedaan kualitas pada egrek tersebut. Berdasarkan analisis komparatif, egrek impor dan lokal memiliki kekerasan yang berbeda. Rata-rata Tingkat kekerasan egrek impor sebesar 49,4 HRC dan tingkat kekerasan egrek lokal sebesar 34,08 HRC. Sedangkan komposisi karbon egrek impor sebesar 0,5122% dan egrek lokal sebesar 0,4861%. Untuk mendapatkan kekerasan egrek produk lokal yang lebih baik agar bisa menyamai kekerasan egrek produk impor salah satu caranya adalah dengan melakukan proses *heat treatment* yaitu *hardening* dan *quenching*.

Penelitian yang dilakukan oleh Arief Murtiono (2012). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dan struktur mikro pada baja karbon sedang sebagai mata pisau pemanen sawit pengaruhnya terhadap *quenching* media air es dan udara bebas dengan temperatur 830°C selama 45 menit. Kemudian di-*temper* pada temperatur 550°C, 600°C, dan 650°C dengan lama waktu penahanan 1 jam dan 2 jam. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa nilai kekerasan optimum adalah 825,6 BHN setelah *quenching* pada suhu 830°C dan 333 BHN setelah di-*temper* selama 1 jam pada suhu 550°C. Hasil pengujian tarik diperoleh tegangan luluh (*yield strength*) 607,72MPa dan tegangan batas (*ultimate strength*) 939 MPa. Besarnya kenaikan butiran dari *raw material* 5,6  $\mu\text{m}$  menjadi 5,9  $\mu\text{m}$  setelah *quenching*, dan setelah *tempering* naik menjadi 6,12  $\mu\text{m}$ , 6,93  $\mu\text{m}$ , dan 7,15  $\mu\text{m}$ . Dari penelitian ini disimpulkan bahwa proses *tempering* dapat menurunkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik. Sementara hasil mikro struktur memperlihatkan

bahwa diameter butiran bahan menunjukkan kenaikan diameter butiran selama proses *heat treatment*.

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Jordi dkk (2017). Penelitian ini dilakukan untuk membahas sejauh mana variasi media pendingin berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan baja karbon rendah ST 36. Suatu keputusan untuk menggunakan proses *quenching* pada media yang tepat diambil untuk mengetahui tingkat perbandingan kekuatan tariknya dan kesesuaiannya terhadap aplikasi dan kegunaannya, agar menghemat waktu dan biaya produksi. Pada pengujian tersebut, spesimen yang telah dilakukan proses *quenching* akan diuji dengan pengujian bahan. Adapun pengujian bahan yang dilakukan adalah pengujian kekuatan tarik dan kekerasan. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil kekuatan tarik sebesar 341,79 Mpa pada spesimen tanpa proses *quenching*, kekuatan rata-rata beban tarik yang paling tinggi terdapat pada spesimen yang diuji dengan perlakuan *quenching* media air yaitu sebesar 503,61 Mpa. Adapun kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen yang diberi perlakuan *quenching* media air garam yaitu sebesar 472,75 Mpa. Sedangkan pengujian kekerasan spesimen hasil proses *quenching* nilai rata-rata tertinggi di hasilkan oleh media pendingin air dengan nilai kekerasan di tengah las yaitu 105,12 VHN, 1 cm kiri las 89,07 VHN, dan 1 cm kanan las 88,47 VHN. Sedangkan untuk nilai terendah berturut-turut yaitu garam dengan nilai kekerasan di tengah las 103,86 VHN, 1 cm kiri las 84,77 VHN, 1 cm kanan las 85,43 VHN, dan oli dengan nilai di tengah las 93,51 VHN, 1 cm kiri las 80,87 VHN, dan 1 cm kanan las 82,25 VHN. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa peningkatan kekuatan dan kekerasan setelah proses *quenching* tidak begitu signifikan pada baja ST 36.

Penelitian yang dilakukan oleh Gito Purnomo dkk (2020). Melakukan penelitian Pengaruh *Quenching* Terhadap Kekerasan Material Baja JIS SUP 9. Penelitian ini dilakukan terhadap baja JIS SUP 9 yang merupakan baja karbon sedang dengan proses perlakuan panas *hardening* dan media pendingin dengan temperatur 750°C, 800°C, 900°C dan *holding time* selama 30 menit. Setelah dilakukan proses *hardening*, spesimen akan di *quenching* menggunakan media air

garam, oli, dan minyak sayur. Data yang didapat dari pengujian akan dianalisa menggunakan metode ANOVA dengan desain level *full factorial*, desain *model main effect*, dan 3 replikasi dibantu dengan perangkat lunak *design expert*. Nilai kekerasan maksimum yang didapat yaitu sebesar 59,2 HRC pada spesimen dengan perlakuan *quenching* media oli dan temperatur 800°C. Sedangkan nilai kekerasan minimum yang didapat yaitu sebesar 16,5 HRC pada spesimen dengan media pendingin air garam dan temperatur 750°C. Dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa faktor utama yang paling berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan spesimen adalah media pendingin air garam dengan persentase kontribusi 96,93%, diikuti oli sebesar 98,02% dan minyak sayur sebesar 98,80%.

Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Mursal dkk (2021). Melakukan penelitian Investigasi Proses Pembuatan Dan Sifat Mekanik Pisau Pandai Besi Di Desa Tanjung Pinang Kabupaten Ogan Ilir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pembuatan, sifat mekanik, dan kekerasan material dari pisau pandai besi ciri khas desa tanjung pinang kabupaten ogan ilir. Pada penelitian ini memilih pisau cap garpu *made in solngen germany* sebagai perbandingan sifat mekanik dan kekerasan material dari pisau pandai besi. Berdasarkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan *vickers* dari jenis spesimen pisau pandai besi memiliki *Vickers Hardness Number* (VHN) 392,52 kg/mm<sup>2</sup> pada titik A, 394,46 kg/mm<sup>2</sup> pada titik B, 391,69 kg/mm<sup>2</sup> pada titik C dengan *Vickers Hardness Numbers Rata-rata* (VHNr) sebesar 392,88 kg/mm<sup>2</sup>. Spesimen cap garpu memiliki *Vickers Hardness Number* (VHN) 373,28 kg/mm<sup>2</sup> pada titik A, 375,81 kg/mm<sup>2</sup> pada titik B, 371,54 kg/mm<sup>2</sup> pada titik C dengan (VHNr) sebesar 373,54 kg/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa tingkat kekerasan pisau pandai besi ciri khas desa tanjung pinang kabupaten ogan ilir lebih besar dari pada tingkat kekerasan yang dimiliki oleh pisau cap garpu.

Penelitian yang dilakukan oleh Dioni Yoga Pratama dkk (2020). Melakukan penelitian Peningkatan Kekerasan Pisau Sadap Karet Produk Pandai Besi Dengan Proses *Hardening* Dan *Quenching* (Variasi Temperatur Dan Media Pendingin). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses *hardening* dan

*quenching* terhadap kekerasan pisau sadap karet produk buatan pandai besi. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan analysis of varians (ANOVA) dengan desain *level full factorial*, desain *model main effect*, dan 3 replikasi dibantukan dengan perangkat lunak *Design Expert*. Pada temperatur 800°C nilai kekerasan maksimum sebesar 62,8 HRC yang didapat dari hasil *quenching* dengan menggunakan media pendingin air, sementara nilai kekerasan minimum sebesar 62,2 HRC diperoleh dari media pendingin oli. Pada temperatur 850°C nilai kekerasan maksimum sebesar 60,4 HRC diperoleh dari hasil *quenching* menggunakan media air, dan nilai kekerassan minimum diperoleh dari media pendingin oli sebesar 59,1 HRC.

Penelitian yang dilakukan oleh Gunawan Dwi Haryadi dkk (2021) terhadap baja AISI 1045. Pada penelitian ini, baja AISI 1045 akan dikenakan perlakuan panas dengan temperatur 800°C, 850°C, 900°C dan akan di *quenching* dengan media pendingin air dan oli serta dengan *holding time* selama 25 menit. Pada baja AISI 1045 tanpa perlakuan didapat nilai rata-rata kekerasan sebesar 202,78 HV. Selanjutnya nilai rata-rata kekerasan dengan media pendingin air pada temperatur 800°C sebesar 398,48 HV, 850°C sebesar 457,02 HV, dan 900°C sebesar 496,42 HV. Nilai kekerasan optimal pada baja AISI 1045 terdapat pada suhu 900°C dengan media pendingin jenis air sedangkan nilai kekerasan paling rendah terdapat pada baja tanpa perlakuan. Kemudian, nilai rata-rata kekerasan dengan media pendingin oli SAE 20W-50 pada temperatur 800°C sebesar 252,87 HV, diikuti 850°C sebesar 402,55 HV, dan 900°C sebesar 476,92 HV.

Penelitian yang dilakukan oleh Rabiatul Adawiyah dkk (2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan media pendingin terhadap struktur mikro pegas daun dalam proses *hardening*. Pegas daun akan dipanaskan dengan beberapa suhu dan kemudian dicelupkan pada beberapa jenis media pendingin untuk mengetahui perbedaan nilai kekerasan dan struktur mikro pada setiap variasinya. Setelah pengujian kekerasan dan mikrostruktur dilakukan maka didapatkan hasil kekerasan dari berbagai variasi media pendingin yaitu media oli HRC 97,2 kg/mm<sup>2</sup>, media air garam HRC 99,13 kg/mm<sup>2</sup>, media air biasa HRC 96,5 kg/mm<sup>2</sup>, dan pembanding HRC 94,7 kg/mm<sup>2</sup>, jadi dapat disimpulkan bahwa

media air garam lebih tinggi harga kekerasannya di bandingkan dengan media lainnya. Kekerasan baja tersebut akan bertambah setelah melalui proses perlakuan panas dan dengan pendinginan yang cepat.

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fadel Gumay dkk (2021). Pada penelitian ini, material yang digunakan yaitu S45C dan diberikan perlakuan permukaan dengan cara *pack carburizing* dengan temperatur 870°C dengan variasi media pendingin cepat (*quenching*) yaitu oli bekas, oli baru, dan minyak goreng bekas. Selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan alat kekerasan *rockwell hardness tester* dan dilakukan analisa hasil uji menggunakan *analysis of varians* (ANOVA). Hasil nilai kekerasan yang didapat untuk material S45C dengan pendingin oli bekas, oli baru, dan minyak goreng bekas yaitu 101,9 HRC, 88,4 HRC, dan 102,8 HRC.

Penelitian yang dilakukan oleh Prihanto Trihutomo (2015). 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 eksperimental. Bahan pisau yang terbuat dari baja karbon menengah, diberikan perlakuan *hardening* pada temperatur 800°C dengan lama waktu pemanasan selama 30 menit. Kemudian dilakukan pendinginan dengan menggunakan media pendingin yang berbeda yaitu air, air garam, dan udara. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan alat uji *micro vickers*. Hasil analisa data menunjukkan bahwa pisau yang menggunakan media pendingin air memiliki rata-rata kekerasan 652,64 HV, media pendingin air garam rata-rata nilai kekerasannya 836,56 HV, media pendingin oli rata-rata nilai kekerasannya 600 HV dan 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 cukup tinggi disertai dengan tingkat keuletan yang baik sehingga tidak getas.

Penelitian yang dilakukan Karmin (2009). Pada penelitian ini bertujuan memberikan pengetahuan untuk dijadikan pertimbangan dalam merancang produk baja yang akan dilakukan pengerasan metoda *quenching* sehingga prosesnya

menjadi efektif dan efisien dengan hasil maksimal. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam logam baja dan unsur lainnya dalam baja, temperatur pemanasan, *holding time* dan laju pendinginan yang dilakukan saat proses perlakuan panas. Perlu dipahami pada proses pengerasan baja, bahan yang di proses rentan akan kejadian yang tidak kita inginkan, seperti distorsi, retakan ataupun tidak tercapainya kekerasan yang kita inginkan. Untuk menanggulangi hal ini perlu dilakukan perencanaan dan pengendalian yang benar, baik dari segi teoritis maupun pelaksanaan praktek dalam proses pengerasan.

Penelitian yang dilakukan Muhammad Irham Hawari dkk (2020). Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan baja JIS S45C menggunakan media pendingin air kelapa tua dengan temperatur 780°C, 820°C, 860°C dan *holding time* 20 menit, 25 menit, dan 30 menit. Mengidentifikasi dan membandingkan hasil percobaan untuk dianalisis. Melihat pengaruh perbedaan temperatur dan *holding time* pada proses *hardening* dengan metode ANOVA. Kesimpulan dari penelitian ini temperatur dan *holding time* berpengaruh terhadap kekerasan baja JIS S45C setelah proses *hardening*.

Penelitian yang dilakukan Ervan Agustian dkk (2021). Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan optimum dan bagaimana pengaruh media pendingin (air garam, air, dan oli) dengan kombinasi waktu penahanan pendingin (5, 10 dan 15 menit) yang mendapatkan perlakuan panas *quenching* terhadap kekerasan baja karbon AISI-1045. Proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan oven listrik pada suhu 900°C dengan *holding time* 45 menit. Nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu media air garam dengan waktu penahanan pendingin 15 menit dengan nilai rata-rata 53.283 HRC dan yang paling rendah yaitu media oli dengan waktu penahanan pendingin 5 menit dan nilai rata-rata 21,583 HRC. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu penahanan pendingin, maka akan semakin baik perubahan kekerasannya. Karena spesimen diangkat sebelum mendingin dapat memungkinkan udara memberikan kesempatan bagi logam untuk membentuk kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara.

## 2.2 Pengertian 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*) (Murtiono, A. 2012).

Sifat baja karbon tergantung pada besarnya kadar karbon, semakin tinggi kadar karbonnya maka kekuatan dan kekerasannya akan semakin tinggi. Sehingga berdasarkan kandungan karbon, baja karbon diklasifikasikan sebagai berikut (Jordi dkk, 2017):

a. Baja karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Mengandung kadar karbon antara 0,10-0,30 % C, baja karbon ini digunakan sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulang beton, mur baut, pelat baja, pipa dan lain-lain. Baja ini kekuatannya relatif rendah, tetapi keuletannya tinggi. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

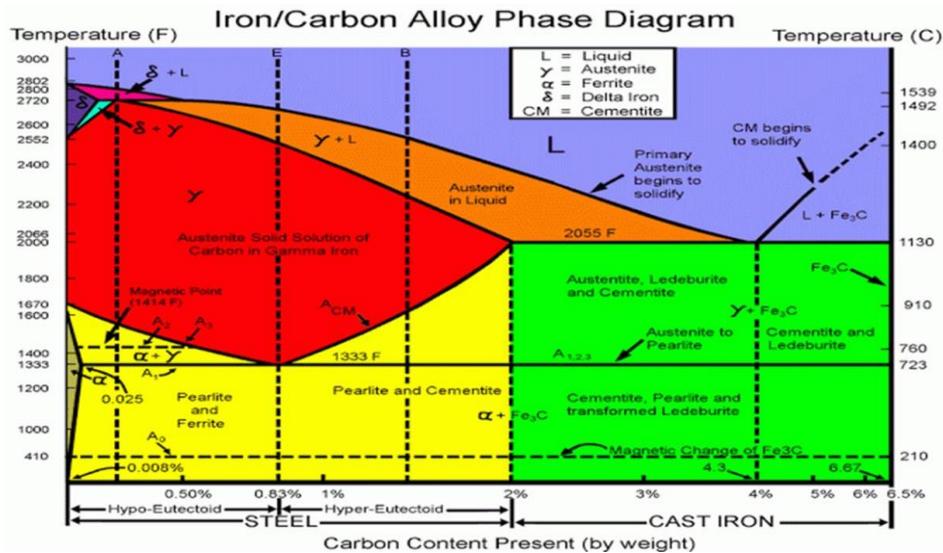
b. Baja karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Mengandung kadar karbon 0,30-0,60 % C lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah, digunakan untuk alat-alat yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Juga banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, rantai, pegas, dan sebagainya. Baja ini dapat ditingkatkan kekerasannya dengan cara dilakukan perlakuan panas.

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Mengandung kadar karbon lebih dari 0,60-1,7 % C dengan sifat mekanik lebih kuat dan keras dari baja karbon rendah dan menengah tetapi keuletan dan ketangguhan lebih rendah. Baja jenis ini digunakan terutama untuk baja perkakas dan biasanya memerlukan sifat tahan aus misalnya untuk mata bor,

tap, gergaji dan mesin perkakas tangan. Perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil optimal dikarenakan terlalu banyak martensit sehingga baja menjadi getas.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-C (Umartono dkk, 2015)

### 2.2.1 Penjelasan dari Garis-garis pada Diagram Fasa Fe-C

- Garis *Liquidus* ialah garis yang menunjukkan awal dari proses pendinginan (pembekuan);
- Garis *Solidus* ialah garis yang menunjukkan akhir dari proses pembekuan (pendinginan);
- Garis *Solvus* ialah garis yang menunjukkan batas antara fasa padat dengan fasa padat atau *solid solution* dengan *solid solution*;
- Garis  $A_{CM}$  ialah garis kelarutan carbon pada besi gamma (*Austenite*);
- Garis  $A_3$  ialah garis temperatur dimana terjadi perubahan *ferrite* menjadi *autenite* (*Gamma*) pada pemanasan;
- Garis  $A_1$  ialah garis temperatur dimana terjadi perubahan *austenite* (*Gamma*) menjadi *ferrite* pada pendinginan;
- Garis  $A_0$  ialah garis temperatur dimana terjadi transformasi *magnetic* pada *cementid*;
- Garis  $A_2$  ialah garis temperatur dimana terjadi transformasi *magnetic* pada *ferrite*.

### 2.2.2 Struktur Mikro

Diagram fasa Fe-C sangat penting di bidang metalurgi karena sangat bermanfaat. Di dalam menjelaskan perubahan-perubahan fasa baja (paduan logam Fe-C). Baja adalah logam paduan Fe-C dengan kadar C <2% sedangkan untuk paduan dengan C >2% dinamakan besi tuang (*cast iron*). Sifat-sifat baja sangat dipengaruhi oleh kadar C. Struktur yang terdapat pada baja antara lain sebagai berikut (Yogantoro, 2010):

a. *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 per1000 atom besi. Pada suhu ruang, kadar karbonnya 0,008 %, sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025 % pada suhu 723°C, struktur kristalnya BBC (*Body Center Cubic*). *Ferrite* bersifat magnetik sampai suhu 768°C. *Ferrite* lunak dan liat.

b. *Pearlite*

Fasa ini adalah campuran eutectoid yang terdiri dari dua fasa, yaitu *ferrite* dan *cementite* yang dibentuk pada temperatur 723°C dengan kandungan carbon 0,83%C.

c. *Austenite*

*Austenite* adalah campuran besi dan karbon yang terbentuk pada pembekuan, pada proses pendinginan selanjutnya austenit berubah menjadi ferit dan perlit atau perlit dan sementit. Sifat *austenite* adalah lunak, lentur dengan keliatan tinggi. Kadar karbon maksimum sebesar 2%C pada temperatur 1130°C, dan struktur kristalnya FCC (*Face Center Cubic*).

d. *Martensite*

*Martensite* adalah fasa dimana *ferrite* dan *cementite* bercampur, tetapi bukan dalam *lamellar*, melainkan jarum-jarum *cementite*. Fasa ini terbentuk dari *austenite* meta stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadinya hanya presipitasi Fe<sub>3</sub>C unsur paduan lainnya tetapi larut

transformasi isothermal pada 260°C untuk membentuk dispersi karbida yang halus dalam matriks *ferrite*.

e. *Cementite* (karbida besi)

Pada paduan besi melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi (*cementite*). Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe<sub>3</sub>C. Dibandingkan dengan *ferrite*, *cementite* sangat keras. Karbida besi dalam *ferrite* dapat meningkatkan kekerasan baja. Namun, karbida besi murni tidak ulet, dan karbida ini tidak dapat beradaptasi dengan konsentrasi tegangan, sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih rendah.

f. *Lediburite* adalah suatu campuran eutectic antara besi gamma dengan *cementite* yang terbentuk pada temperatur 1130°C dan mengandung 4,3%C.

g. *Bainite*

*Bainite* merupakan fasa hasil fasa *austenite* yang mengalami konversi pendinginan yang sangat cepat antara suhu 250°C-550°C dan dipertahankan pada suhu tersebut (isothermal). *Bainit* adalah struktur mikro dari reaksi eutektoid ( $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) *non lamellar* (tidak berupa lapisan). *Bainite* merupakan struktur mikro campuran fasa *ferrite* dan *cementite* (Fe<sub>3</sub>C).

### 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. Sifat-sifat mekanik yang terpenting antara lain (Murtiono, A, 2012):

- a. Kekuatan (*strength*) menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menerima tegangan tanpa merusaknya. Kekuatan ini ada beberapa jenis, tergantung pada beban yang bekerja. Secara khusus dapat dilihat dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.
- b. Kekerasan (*hardness*) ini dapat didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menahan goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dengan demikian kekerasan ini berkorelasi dengan kekuatan.

- c. Kekenyalan (*elasticity*) setelah tegangan dihilangkan, ini menunjukkan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan deformasi permanen. Elastisitas juga menunjukkan seberapa besar deformasi permanen yang akan terjadi. Dengan kata lain, elastisitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami tegangan yang menyebabkan deformasi.
- d. Kekakuan (*stiffness*) menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menahan tegangan/beban tanpa menimbulkan deformasi atau defleksi. Dengan arti tertentu, kekakuannya lebih penting dari pada kekuatannya.
- e. Plastisitas (*plasticity*) menunjukkan kemampuan suatu material untuk mengalami deformasi plastis permanen tanpa menyebabkan kerusakan. Sifat-sifat ini sangat penting untuk bahan yang di proses dalam berbagai proses pembentukan seperti, *forging*, *rolling*, *extruding* dan sebagainya. Sifat ini sering disebut sebagai keuletan/kenyalan.
- f. Ketangguhan (*toughness*) menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa menyebabkan kerusakan. Ini juga dapat digambarkan sebagai ukuran jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghancurkan benda kerja dalam kondisi tertentu. Karakteristik ini dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga sulit untuk diukur.
- g. Kelelahan (*fatigue*) logam cenderung patah dibawah tekanan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang jumlahnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Oleh karena itu kelelahan merupakan karakteristik yang sangat penting, tetapi juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.
- h. Keretakan (*creep*) adalah kecenderungan logam untuk berubah bentuk secara plastis ketika bahan dikenai beban yang relatif konstan, yang besarnya merupakan fungsi waktu.

## 2.4 Egrek

Egrek adalah pisau berbentuk sabit yang digunakan untuk memotong pelepah maupun tandan dengan cara ditarik, dengan ini biasanya petani memanen kebunnya sendiri. Egrek merupakan alat pertanian yang digunakan pada panen kelapa sawit saat usia pohon kelapa sawit sudah berusia lebih dari 6 tahun dengan ketinggian rata-rata 3 meter (suherman, dkk, 2012). Perkakas tersebut berfungsi untuk memotong kelapa sawit dari batang pohon kelapa sawit sehingga egrek perlu memiliki kekerasan yang tinggi pada sisi potong agar tajam untuk memotong batang kelapa sawit tanpa menyebabkan egrek mudah aus. Suherman, dkk (2012) mengatakan bahwa komposisi bahan yang digunakan untuk egrek lokal maupun produk import hampir sama yaitu baja karbon sedang. Indonesia merupakan salah satu penghasil (produsen) minyak kelapa sawit terbesar di dunia sehingga peralatan panen ini sangat vital dalam hal penggunaannya sehingga keberadaannya menunjang proses kegiatan pemanenan buah kelapa sawit. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) syarat mutu pisau egrek sebagai alat pemotong kelapa sawit memiliki kekerasan sisi potong minimal 45.3 HRC sehingga pisau egrek tahan terhadap aus (Nurmalasari, S. R, 2017).

Berikut gambar egrek sawit hasil produk di Desa Tanjung Pinang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Egrek

## 2.5 Pandai Besi di Desa Tanjung Pinang

Tanjung Pinang merupakan salah satu desa yang berada di kecamatan Tanjung Batu, Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Indonesia. Daerah ini terkenal dengan kerajinan pandai besi yang masih berkembang sampai sekarang. Kerajinan pandai besi di Tanjung Pinang dilakukan secara tradisional dan turun temurun. Biasanya para pengerajin mendapatkan pesanan dari daerah lain seperti Palembang, Indralaya, OKI dan daerah tingkat II lainnya di Sumatera Selatan. Suryani, Ida, (2018) mengatakan bahwa Kerajinan Pandai Besi di Desa Tanjung Pinang ini telah membuat berbagai macam produk yang merupakan pencerminan identitas suatu daerah pengerajin pandai besi. Pandai besi adalah tukang (orang) yang bekerja menempa besi dengan menggunakan api untuk membentuk besi yang ditempatnya menjadi suatu benda yang diinginkan, seperti egrek, belati, pedang, pisau, dan lain-lain.

Berikut gambar pandai besi di Desa Tanjung Pinang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pandai Besi

## 2.6 Heat Treatment

Untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis logam, perlu adanya suatu perlakuan. Perlakuan yang dimaksud adalah perlakuan panas (*Heat Treatment*). Proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang dapat membentuk (mengubah) sifat besi atau baja dari yang mudah patah menjadi kuat atau juga dapat merubah sifat baja yang lunak menjadi sangat keras dan sebagainya (Yogantoro, A, 2010).

Langkah pertama dalam setiap proses perlakuan panas adalah memanaskan logam/paduan itu sampai ke suatu temperatur tertentu, lalu menahan beberapa saat pada temperatur tersebut, kemudian mendinginkannya dengan laju pendinginan tertentu pada media pendingin tertentu (Amalia, A.N, 2018). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. Perlakuan panas adalah kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu (Murtiono, A, 2012). Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan.

### **2.6.1. Hardening**

Pengerasan adalah salah satu perlakuan panas dengan kondisi *non equilibrium* yaitu laku panas yang pendinginannya berlangsung pada kondisi *non equilibrium* (pendinginan yang sangat cepat) sehingga struktur mikro yang diperoleh adalah struktur mikro yang tidak *ekuilibrium* (Nurmalasari, S. R, 2017). Kekerasan baja tergantung pada komposisi kimianya, terutama kandungan karbonnya. Semakin tinggi kandungan karbonnya maka semakin keras. Namun, kekerasan baja masih dapat diubah lagi dengan mengubah struktur mikronya.

Kekerasan yang sangat tinggi dapat diperoleh dengan melakukan proses laku panas untuk memperoleh struktur *martensite*. *Hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenit, dipertahankan beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat, sehingga akan diperoleh *martensite* yang keras (Jordi, dkk. 2017).

### **2.6.2. Tempering**

*Tempering* adalah proses pemanasan logam setelah dikeraskan (*quenching*) pada temperatur di bawah suhu kritis, kemudian memanaskan logam untuk memperoleh keuletan, diikuti dengan proses pendinginan. Proses ini terdiri dari pemanasan ulang berkisar antara suhu 150°C – 650°C dan pendinginan lambat tergantung sifat akhir baja tersebut (Murtiono, A, 2012).

### **2.6.3. Annealing**

*Annealing* adalah proses memanaskan material hingga suhu diatas suhu austenit kemudian menahan untuk jangka waktu tertentu. Proses *annealing* mendinginkan secara perlahan di dalam tungku. Fungsi dari perlakuan panas *annealing* adalah untuk melunakkan material, memperbaiki sifat mekanik logam dan menghilangkan tegangan sisa.

### **2.6.4. Holding Time**

*Holding time* adalah waktu tahan pada suatu proses mempertahankan suhu pada waktu tertentu sehingga temperaturnya merata dan perubahan strukturnya terjadi secara merata. *Holding time* dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya (Pramono, Agus, 2011). Baja perlu ditahan pada suhu *austenite* untuk memberikan kesempatan larutnya karbida dan lebih homogen *austenite*.

### **2.6.5. Quenching**

*Quenching* adalah perlakuan panas terhadap baja untuk meningkatkan kekerasan alami baja. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan. Media pendingin yang sering digunakan seperti air, oli, air garam, minyak ataupun media pendingin lainnya. *Quenching* itu sendiri adalah bagian dari proses *hardening*. *Quenching* dilakukan untuk mendapatkan ketahanan aus yang tinggi, ketangguhan, dan kekuatan yang lebih baik. Pengerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di-*quench* hampir seluruhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon, pemanasan, *holding time* dan laju pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan laju pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Untuk mendapatkan kekerasan yang baik maka hanya austenit yang dapat berubah menjadi martensit, sehingga perlu diwujudkan struktur austenit selama pemanasan (Pratowo B & Fernando A, 2018). Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah

air, oli bekas, dan minyak goreng, karena untuk melihat perbedaan kekerasan pada setiap media pendingin berdasarkan kekentalan dan massa jenis.

#### **2.6.6. Media Pendingin**

Untuk mencapai struktur martensit maka austenit yang terjadi harus didinginkan cukup cepat, setidaknya dapat mencapai laju pendinginan kritis dari baja tersebut. Media pendingin air, oli dan minyak goreng memiliki densitas dan viskositas yang berbeda. Media pendingin air memiliki densitas sebesar  $998 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas  $1,01 \text{ Pa.s}$ , media pendingin oli mempunyai nilai densitas sebesar  $981 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas  $4,01 \text{ Pa.s}$  (Haryadi, dkk, 2021). Sedangkan, untuk media pendingin minyak goreng memiliki densitas sebesar  $877 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas  $4,71 \text{ Pa.s}$  (Firdausi, dkk 2008). Semakin tinggi nilai viskositas dari media pendingin maka menyebabkan laju pendinginan menjadi sedang hal ini akan mempengaruhi tingkat kekerasan baja, sedangkan apabila nilai densitas dari suatu media pendingin semakin tinggi maka mengakibatkan laju pendinginan menjadi cepat hal ini mempengaruhi tingkat kekerasan baja menjadi naik (Haryadi, dkk, 2021). Ada banyak media pendingin yang sering dipakai dalam proses perlakuan panas diantaranya air, minyak, dan udara:

##### **a. Air**

Air merupakan senyawa yang dapat berwujud padat, cair dan gas. Air murni adalah suatu persenyawaan kimia yang paling sederhana, komposisi kimianya terdiri dari dua atom hidrogen (H) dan satu atom oksigen (O) yang saling berikatan (Susana, 2003). Unsur hidrogen dan oksigen memiliki sifat yang berlawanan. hidrogen adalah unsur yang tidak dibutuhkan dalam pembakaran, sedangkan oksigen adalah unsur yang dibutuhkan dalam pembakaran. Dalam senyawanya kedua unsur ini memiliki sifat-sifat baru yaitu tidak bisa terbakar. Air memiliki laju pendingin yang cukup baik sehingga banyak digunakan untuk media pendingin dalam perlakuan panas (Huda, A. T. N, 2019).

##### **b. Minyak**

Media pendingin minyak akan lebih lambat dibanding dengan air. Sehingga kecenderungan terjadi kerusakan minimum. Minyak memiliki kapasitas pendinginan tertinggi pada temperatur sekitar  $600^\circ\text{C}$  dan sedikit rendah pada

sekitar temperatur pembentukan martensit. Untuk menaikkan kapasitas pendinginannya dapat dilakukan dengan menaikkan temperaturnya 50°-80°C. Ada banyak macam minyak yang dipakai untuk pendingin, dari yang paling murah dan sederhana. Satu kesamaan yang dimiliki semua minyak, terlepas dari sumbernya, adalah bahwa karbon adalah komponen utamanya, biasanya antara 82 dan 85 persen, menurut beratnya (Gordon, 2012). Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan sebagai bahan pendingin pada proses perlakuan panas, dapat juga digunakan oli, minyak bakar atau solar dan lain-lain (Karmin, 2009). Penelitian ini menggunakan media pendingin minyak sebagai berikut:

- Oli Bekas

Oli mempunyai nilai viskositas yang tinggi dibanding media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginnya lambat. Oli biasanya digunakan untuk mengurangi keausan pada mesin kendaraan bermotor. Minyak oli bekas kendaraan mengandung senyawa hidrokarbon yang merupakan suatu limbah buangan berbahaya. Umumnya oli terdiri dari 90% minyak dasar (*base oil*) dan 10% zat tambahan. Oli mesin bekas juga memiliki kandungan logam lebih tinggi dari oli mesin baru, kandungan tersebut antara lain aluminium (Al), besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn) dan seng (Zn) (Dahlan dkk, 2014).

- Minyak Goreng

Minyak goreng adalah bahan makanan yang komponen utamanya adalah trigliserida yang berasal dari bahan nabati, tanpa adanya perubahan kimiawi, seperti hidrogenasi, pendinginan, dan telah mengalami proses rafinasi atau pemurnian yang digunakan untuk menggoreng (SNI, 2013). Minyak goreng kebanyakan didapatkan dari tumbuhan seperti kelapa, kelapa sawit dan lain-lain. Minyak sawit mengandung 41% lemak jenuh, minyak inti sawit 81%, dan minyak kelapa 86%. Berdasarkan parameter aliran panas, *palm oil* termasuk media pendingin yang lambat karena koefisien perpindahan panas dan laju pendinginannya yang lambat.

Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen berbeda sehingga akan disesuaikan dengan tujuan dari material yang dipakai (Huda, A. T. N, 2019). Umumnya, komposisi asam lemak minyak goreng seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Asam Lemak dalam Minyak goreng (Hariyadi, P, 2014).

Asam Lemak	% Terhadap Asam Lemak Total	
	Kisaran	Rata-rata
Asam laurat (C12:0)	0,1 - 1,0	0,2
Asam miristat (C14:0)	0,90 - 1,5	1,1
Asam palmitat (C16:0)	41,8 - 45,8	44,0
Asam palmioleat (C16:1)	0,1 - 0,3	0,1
Asam stearate (C18:0)	4,2 - 5,1	4,5
Asam oleat (C18:1)	37,3 - 40,8	39,2
Asam linoleiat (C18:2)	9,1 - 11,0	10,1
Asam linolenat (C18:3)	0,0 - 0,6	0,4
Asam arakidonat (C20:0)	0,2 - 0,7	0,4

### c. Udara

Udara memiliki kapasitas pendinginan yang rendah, tetapi dalam hal baja paduan justru hal ini menguntungkan karena dengan laju pendinginan yang rendah, *thermal stress* juga akan rendah sehingga benda kerja akan bebas distorsi maupun retak. Udara digunakan untuk pendinginan baja paduan tinggi dan baja paduan rendah dengan penampang kecil (Karmin, 2009).

## 2.7 Uji Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan suatu benda terhadap penetrasi atau penekanan benda lain yang lebih keras dan nilai kekerasannya tidak mutlak. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: uji kekerasan *Brinell*, uji kekerasan *Vickers*, uji kekerasan *Rockwell*.

### 2.7.1. Uji Kekerasan *Brinell*

Metode ini digunakan dengan cara menekankan penetrator dengan indentor bola baja kepermukaan material dengan beban penekanan sesuai dengan indentor dan jenis material yang akan diuji. Alat penetrasi yang digunakan adalah indentor bola baja yang dikeraskan dengan ukuran  $\varnothing$  10 mm,  $\varnothing$  5 mm dan  $\varnothing$  2,5 mm. Metode ini digunakan untuk mengetes/ menguji kekerasan logam yang belum dilakukan proses perlakuan panas.

Material yang diuji adalah material yang lunak saja dan harga kekerasannya hanya sampai 450 HB ( $\text{Kg/mm}^2$ ), jika hasil pengujiannya didapat harga kekerasannya diatas 450 HB, maka hasil pengujiannya kurang teliti. Angka kekerasan *brinell* (BHN) dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan lekukan (Romli,2018).

Keuntungan Metode *Brinnell* : Sangat baik untuk memeriksa logam-logam tuang yang tidak rata kekerasannya.

Kerugiannya :

- a. Bekas tekanannya besar, sehingga merusak permukaan material
- b. Logam/material yang akan diuji kekerasannya harus lebih rendah dari kekerasan indentor bola baja
- c. Mengukur diameter bekas penekanan agak sulit, sehingga memerlukan ketelitian.

### 2.7.2. Uji Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan *vickers* menggunakan indentor piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Angka kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Karena jejak yang dibuat dengan penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji *vickers* berkisar antara 1 hingga 100 kg, tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji (Romli,2018).

Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode *vickers* adalah:

- a. Uji ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian ini sangat lambat.
- b. Memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati.
- c. Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal.

Kelebihan metoda *Vickers*:

- a. Dianjurkan untuk pengujian material yang sudah di proses *case hardening*, dan proses pelapisan dengan logam lain yang lebih keras.
- b. tidak merusak karena hasil indentasi sangat kecil, dan biasanya bahan uji bisa dipakai kembali.

Kekurangan metoda *Vickers*:

- a. Butuh ketelitian saat mengukur diameter lekukan hasil indentasi
- b. Lama, sekali pengujian bisa menyita waktu hingga 5 menit, belum termasuk persiapan dan perhitungannya.

### **2.7.3. Uji Kekerasan *Rockwell***

Metode uji kekerasan ini adalah kumpulan dari metode *brinnell* dan *vickers*, sehingga mempunyai hasil yang cukup tepat dan cepat. Pengujian *rockwell* dengan pengujian *brinell* cukup mirip, dimana angka kekerasan yang didapat merupakan fungsi dari derajat indentasi. Beban dan indenter yang dipakai bermacam-macam dilihat pada kondisi pengujian yang ada. Sedangkan pengujian *brinell* indenter beserta beban yang dipakai sangat kecil Sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak industri yang menggunakan prosedur ini dikarenakan lebih cepat.

Indenter atau “penetrator” dapat berupa bola baja atau kerucut intan dengan sudut 120°. Diameter bola baja umumnya 1/16 inchi, tetapi terdapat juga indenter dengan diameter lebih besar, yaitu 1/8, 1/4, atau 1/2 inchi untuk bahan-bahan yang lunak.

Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu memberikan beban minor 10 kg, dan kemudian beban mayor diaplikasikan. Beban mayor biasanya 60 atau 100 kg untuk indenter bola baja dan 150 kg untuk indenter intan. Meskipun demikian,

dapat digunakan beban dan indentor sesuai kondisi pengujian. Karena pada pengujian *rockwell*, angka kekerasan yang ditunjukkan merupakan kombinasi antara beban dan indentor yang dipakai, maka perlu diberikan awalan huruf pada angka kekerasan yang menunjukkan kombinasi beban dan penumbuk tertentu untuk skala beban yang digunakan.

Dial pada mesin terdiri atas warna merah dan hitam yang didesain untuk mengakomodir pengujian skala B dan C yang seringkali dipakai. Skala kekerasan B digunakan untuk pengujian dengan kekerasan *medium* seperti baja karbon rendah dan baja karbon *medium* dalam kondisi telah dianil (dilunakkan). *Range* kekerasannya dari 0-100. Bila indentor bola baja dipakai untuk menguji bahan yang kekerasannya melebihi B 100, indentor dapat terdefomasi dan berubah bentuk. Tetapi jika indentor bola baja dipakai untuk menguji bahan yang lebih lunak dari B 0, dapat mengakibatkan pemegang indentor mengenai benda uji, sehingga hasil pengujian tidak benar dan pemegang indentor dapat rusak.

Cara mengetahui dalamnya penetrasi dapat dihitung berdasarkan petunjuk angka kekerasan, misalnya 32 HRC maka dalamnya penetrasi ( $t_b$ ) =  $(100-32) \times 0,002 = 0,136$  mm dan HRB dalamnya penetrasi ( $t_b$ ) =  $(130-32) \times 0,002 = 0,196$  mm. Jadi rumus ini hanya untuk mengetahui tingkat kekerasan *rockwell*, dapat dihitung dengan rumus:

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

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

Metode ini digunakan dengan cara menekankan penetrator dengan indentor bola baja Ø 1/16" dan intan yang berbentuk kerucut dengan sudut puncak 120° ke permukaan material yang diuji dengan beban penekanan sesuai dengan indentor yang dipakai.

Indentor yang dipakai dalam pengujian Metode *Rockwell*:

- a. Untuk logam-logam yang lunak digunakan bola baja Ø1/16" dengan beban 100 Kg.
- b. Untuk baja-baja yang keras digunakan intan dengan sudut 120° dengan beban 150 Kg. Metode *Rockwell* digunakan untuk menguji material dari yang lunak sampai yang keras.

Keuntungan Metode *Rockwell*, yaitu:

- a. Proses pengujiannya yang cepat dan tepat sehingga dapat digunakan untuk pengujian/pengetesan kekerasan bahan secara massal.
- b. Bekas tekanannya kecil sehingga tidak merusak permukaan material.

Jika mengukur/menguji dengan bola baja  $\varnothing 1/16''$  dan bebannya 100 Kg, maka kekerasannya disebut HRB (*Hardness Rockwell Ball*). Jika mengukur/menguji dengan intan  $120^\circ$  dan bebannya 150 Kg, maka kekerasannya disebut HRC (*Hardness Rockwell Cone*). Pengukuran/pengujian HRB hanya sampai dengan 100 HRB, diatas 100 HRB harus dengan HRC.

Kerugian Metode *Rockwell* adalah tidak dapat digunakan pada bahan/material yang tipis yang tebalnya dibawah 1 mm.

Tabel 2.2 Hubungan Penetrator dan Beban untuk Metode *Rockwell* (Romli, 2018)

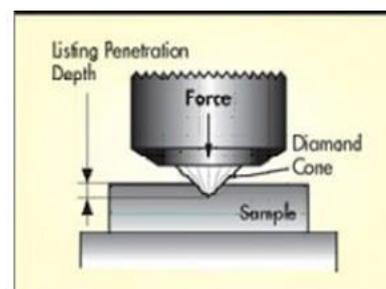
GROUP	METHOD	PENETRATOR	MAJOR LOAD		MINOR LOAD	
			N	Kg	N	Kg
1	HRB	1/16 " ball	980,7	(100)	98,07	(10)
	HRC	120° diamond	1471	(150)	98,07	(10)
2	HRA	120° diamond	588,6	(60)	98,07	(10)
	HRD	120° diamond	980,7	(100)	98,07	(10)
	HRE	1/8 " ball	980,7	(100)	98,07	(10)
	HRF	1/16 " ball	588,6	(60)	98,07	(10)
	HRG	1/16 " ball	1471	(150)	98,07	(10)
	HRH	1/8 " ball	588,6	(60)	98,07	(10)
	HRK	1/8 " ball	1471	(150)	98,07	(10)
3	HRL	¼ " ball	588,6	(60)	98,07	(10)
	HRM	¼ " ball	980,7	(100)	98,07	(10)
	HRP	¼ " ball	1471	(150)	98,07	(10)
	HRR	½ " ball	588,6	(60)	98,07	(10)
	HRS	½ " ball	980,7	(100)	98,07	(10)
	HRV	½ " ball	1471	(150)	98,07	(10)
4	25 N	120° diamond	147,1	(15)	29,42	(3)
	30 N	120° diamond	294,2	(30)	29,42	(3)
	45 N	120° diamond	441,3	(45)	29,42	(3)
5	15 T	1/16 " ball	147,1	(15)	29,42	(3)
	30 T	1/16 " ball	294,2	(30)	29,42	(3)
	45 T	1/16 " ball	441,3	(45)	29,42	(3)

Tabel 2.3 Skala Kekerasan dan Pemakaiannya (Romli, 2018)

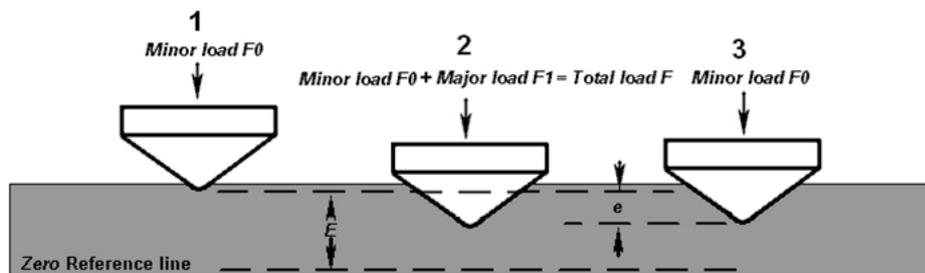
SKALA	PEMAKAIANNYA
A	Untuk <i>carbide cementite</i> , baja tipis, dan baja dengan lapisan keras yang tipis
B	Untuk paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium, dan besi tempa
C	Untuk baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja dengan lapisan keras yang dalam, dan bahan-bahan lain yang lebih keras dari pada skala B-100
D	Untuk baja tipis, baja dengan lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik
E	Untuk besi tuang, paduan aluminium, magnesium, dan logam-logam bantalan
F	Untuk paduan tembaga yang dilunakkan dan pelat lunak yang tipis
G	Untuk besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel
H	Untuk aluminium, seng, dan timbal
K	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
L	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
M	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
P	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
R	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
S	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
V	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis



Gambar 2.4 Rockwell Hardness Tester Model HR-150A (Romli,2018)



Gambar 2.5 Proses Penekanan Indentor (Romli, 2018)



Gambar 2.6 Langkah Proses Penekanan Indentor (Romli, 2018)

## 2.7 Uji Komposisi

Pengujian komposisi mempunyai tujuan dalam mengetahui kadar unsur yang terkandung di dalam suatu bahan. Unsur yang berpengaruh dalam kekuatan baja adalah unsur karbon. Dari hasil pengujian komposisi kita dapat menentukan jenis bahan yang digunakan dengan melihat berapa persentase unsur yang terkandung didalamnya (Amalia, A.N, 2018).

## 2.9 Uji ANOVA

*Analysis of variance* (ANOVA) adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk menganalisis perbedaan lebih dari 2 populasi kelompok yang *independent*. Anova pertama kali diperkenalkan oleh seorang ahli statistika yang bernama Ronald Fisher. Metode ini banyak digunakan untuk penelitian terutama pada rancangan penelitian yang memiliki implikasi pengambilan keputusan untuk menggunakan teknologi baru, ataupun kebijakan baru. Tujuan analisis varian adalah untuk menempatkan variabel-variabel bebas penting didalam studi dan untuk menentukan bagaimana mereka berinteraksi dan saling mempengaruhi. Peneliti sering menggunakan *analysis of variance* (ANOVA), ketika peneliti ingin mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata lebih dari dua kelompok. Dalam variasi dan di antara masing-masing kelompok dianalisis secara statistik, menghasilkan apa yang dikenal sebagai nilai F. Seperti dalam t-test, nilai F kemudian diperiksa dalam tabel statistik untuk melihat apakah signifikan secara statistik (Rahmawati, 2020). Anova satu jalur hanya ada satu variabel independen, sedangkan pada anova dua jalur ada dua atau lebih variabel independen. Anova dua arah merupakan sebuah uji statistik yang digunakan untuk

menentukan pengaruh dua variabel prediktor nominal pada variabel hasil yang berkelanjutan. Uji anova dua arah menunjukkan hasil dua variabel bebas untuk satu variabel terikat. Tujuan dari uji anova dua arah ini adalah untuk melihat apakah berhasil dan berbagai kriteria yang diuji untuk mendapatkan hasil yang diinginkan (Ismail, 2018). Adapun langkah-langkah menghitung ANOVA, yaitu: (Sudjana, 1994 dan Philip J. Ross, 1989)

a) Asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak.

b) Asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal.

c) Menentukan hipotesis:

$$\bullet H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = \dots = \mu_a \quad (\text{tidak ada efek terhadap perlakuan}) \quad (2.1)$$

$$\bullet H_1 : b_1 \neq b_j \quad (\text{terdapat efek terhadap perlakuan})$$

d) Menentukan jumlah kuadrat total:

$$SS_T = [\sum_{i=1}^N y_i^2] - \frac{T^2}{N} \quad (2.2)$$

e) Menentukan jumlah kuadrat faktor A:

$$SS_A = [\sum_{i=1}^{k_A} (A_i^2)] - \frac{T^2}{N} \quad (2.3)$$

f) Menentukan Jumlah kuadrat faktor B:

$$SS_B = [\sum_{i=1}^{k_B} (B_i^2)] - \frac{T^2}{N} \quad (2.4)$$

g) Menentukan jumlah kuadrat interaksi faktor A dan B:

$$SS_{AxB} = \left[ \sum_{i=1}^b \left( \frac{(AxB)_i^2}{n_{AxBi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B \quad (2.5)$$

h) Menentukan jumlah kuadrat kemungkinan kesalahan (*error*):

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB} \quad (2.6)$$

i) Menentukan derajat kebebasan total:

$$v_T = N - 1 \quad (2.7)$$

j) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) A:

$$v_A = k_A - 1 \quad (2.8)$$

k) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) B:

$$v_B = k_B - 1 \quad (2.9)$$

l) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan B:

$$v_{AxB} = (v_A)(v_B) \quad (2.10)$$

m) Menentukan derajat kebebasan kemungkinan kesalahan (*pure error*):

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_{AxB} \quad (2.11)$$

n) Melengkapi tabel hasil uji kekerasan untuk *analysis of variance* dari data yang didapat.

o) Menentukan taraf signifikan ( $\alpha$ ).

p) Menentukan nilai distribusi  $F_{TABEL}$ .

$$F_{TABEL} = F_{(1-\alpha)(v,v_T)} \quad (2.12)$$

q) Jika  $F_{HITUNG} (F_0) < F_{TABEL}$ , maka hipotesis ( $H_0$ ) dapat diterima.

r) Menentukan persentase kontribusi faktor terhadap respon:

$$\% \text{ Kontribusi faktor} = \frac{(SS - SS_e)}{SS_T} \quad (2.13)$$

Tabel 2.4 ANOVA Table For Select Factorial Model

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Degrees of Freedom</i>	<i>Mean Square</i>	$F_0$
<i>Overall model</i>	$SS_{model}$	$(k_A, k_B) - 1$	$SS_{model} / (k_A, k_B) - 1$	$MS_{model} / MS_E$
<i>Main Effect of A</i>	$SS_A$	$v_A$	$SS_A / v_A$	$MS_A / MS_E$
<i>Main Effect of B</i>	$SS_B$	$v_B$	$SS_B / v_B$	$MS_B / MS_E$
<i>A x B interaction</i>	$SS_{AB}$	$v_{AxB}$	$SS_{AB} / v_{AxB}$	$MS_{AB} / MS_E$
<i>Error</i>	$SS_E$	$v_e$	$SS_E / v_e$	
<b>Total</b>	$SS_{Total}$	$v_T$		

## 2.10 Hipotesis

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

$H_0$  = Tidak ada pengaruh perlakuan *quenching* dengan variasi media pendingin air, oli bekas, dan minyak goreng terhadap kekerasan pisau egrek sawit.

Jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$  maka  $H_1$  ditolak.

$H_1$  = Ada pengaruh perlakuan *quenching* dengan variasi media pendingin air, oli bekas, dan minyak goreng terhadap kekerasan pisau egrek sawit. Jika

$F_{hitung} > F_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak.