

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Chirtian Sepriansyah (2018) Melakukan penelitian pengaruh temperatur cetakan logam (die casting) terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik pada alumunium piston bekas dengan penambahan Titanium-Boron (Ti-B). Paduan dengan unsur titanium boron 0,5% dan piston bekas 4000 gr dilebur pada tungku peleburan pada temperatur 700 °C dan dituang dengan variasi temperatur cetakan logam (dies casting) dengan variasi suhu 450 °C dan 500 °C. Hasil pengujian tarik dengan suhu 450 °C menunjukkan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 774, 74 N/mm<sup>2</sup> dan hasil pengujian tarik dengan suhu 500 °C menunjukkan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 516,55 N/mm<sup>2</sup>.

Budi Arto dan Kimar Turnip (2015) Melakukan penelitian tentang pengaruh quenching dan media pendingin terhadap sifat fisis dan mekanik baja paduan FE<sub>97,99</sub>MN<sub>1,60</sub>C<sub>0,41</sub>. Hasil uji kekerasan dengan metode Brinell pada baja paduan yang diperlakukan celup cepat dan dimedia pendingin air garam, air, dan oli. Kekerasan mencapai tertinggi pada pendinginan air garam sebesar 375 HB, nilai kekerasan terendah pada media pendingin oli sebesar 231 HB dan nilai kekerasan air 257 HB. Struktur martensit tampak seperti jarum atau pelat-pelat halus. Halus kasarnya pelat atau jarum tergantung pada ukuran butir dari austenit. Jika butir austenitnya besar maka martensit yang akan diperoleh menjadi lebih kasar. Pembentukan martensit diiringi juga kenaikan volume spesifik sekitar 3%.

K. Roziqin, H. Purwanto, dan I. Syafa'at (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh model sistem saluran pada proses pengecoran alumunium daur ulang terhadap struktur mikro dan kekerasan coran pulli diameter 76 mm dengan cetakan pasir. Dari penelitian tersebut pola yang dipilih pada pembuatan pulli dari bahan kayu jati dengan jenis pola pejal. Pola kayu dipilih karena cepat pembuatannya, pengolahannya mudah dan biayanya murah. Berdasarkan hasil penelitian, pengujian dan analisa dapat disimpulkan dari ketiga model sistem saluran tersebut hasil coran dapat dikatakan bahwa pola saluran A dan pola saluran C tidak terdapat cacat penyusutan, sedangkan hasil coran pada pola saluran B masih terdapat cacat penyusutan yang terletak ditengah coran. Cacat penyusutan terjadi akibat gas dan uap air terjebak didalam rongga cetakan yang tidak dapat keluar. Dari hasil pengamatan struktur mikro pada ketiga sistem saluran tersebut adalah cacat porositas terjadi akibat gas yang terbawa dalam logam cair selama pencairan terjebak didalam rongga cetakan. Hasil struktur mikro pada pola saluran C lebih sedikit cacat porositasnya dibandingkan dengan pola saluran A dan paling banyak cacat porositasnya terdapat pada pola saluran B. Hasil pengujian kekerasan terlihat bahwa spesimen A1 dan A3 mempunyai kekerasan yang paling tinggi diantara spesimen yang lain yaitu sebesar 77,4 BHN. Sedangkan kekerasan terendah terdapat pada spesimen C2 yaitu sebesar 74,4 BHN. Hal ini dikarenakan laju pembekuan terakhir terletak pada sumbu tengah coran. Jadi semakin lama laju pembekuannya semakin rendah kekerasannya.

Penelitian Supriyanto (2009) mempublikasikan tentang “analisis hasil pengecoran alumunium dengan variasi media pendingin” menunjukkan bahwa dari hasil pengujian ketangguhan, benda uji dengan media pendingin udara suhu

kamar mempunyai nilai ketangguhan yang lebih baik dibanding dengan media pendingin air sumur dan oli SAE 40. Pada pengujian kekerasan benda uji dengan media pendingin air sumur mempunyai nilai kekerasan lebih baik dibandingkan dengan media pendingin udara suhu kamar dan oli SAE 40.

## 2.2 Teori Dasar Besi Cor

QS : Al-Hadid Ayat 25

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ بِالْقِسْطِ ۚ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ

بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنْفَعٌ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ ۗ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ

Artinya : Sesungguhnya Kami telah mengutus rasul-rasul Kami dengan membawa bukti-bukti yang nyata dan telah Kami turunkan bersama mereka Al Kitab dan neraca (keadilan) supaya manusia dapat melaksanakan keadilan. Dan Kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu) dan supaya Allah mengetahui siapa yang menolong (agama)Nya dan rasul-rasul-Nya padahal Allah tidak dilihatnya. Sesungguhnya Allah Maha Kuat lagi Maha Perkasa.

Besi cor paduan merupakan campuran besi, karbon, silsilium, mangan, fosfor dan belerang. Besi cor mempunyai ketahanan kekerasan, aus, keuletan yang cukup baik. Unsur pada besi cor antara lain carbon (C), silicon (Si), mangan (Mg), phosphor (P), dan sulfur (S). Selain itu juga terdapat unsur-unsur lainnya untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu.

Besi tuang (cast iron) digolongkan menjadi lima jenis, yaitu :

1. Besi Tuang Putih (*White Cast Iron*)
2. Besi Tuang Kelabu (*Gray Cast Iron*)
3. Besi Tuang Bercorak (*Mottled Cast Iron*)
4. Besi Tuang Nodular (BTN) atau *Ferro Casting Ductile Iron* (FCDI)
5. Besi Tuang Malebel (*Malleable Cast Iron*)

Struktur mikro dari besi cor yaitu ferit atau perlit dan karbon. Ketebalan dan laju pendinginan mempengaruhi struktur mikro besi cor. Pada setiap macam-macam besi cor brebeda- beda nilai kekerasannya.

### **2.3 Besi Tuang Nodular**

Besi tuang nodular atau *ferro casting ductile* (FCD) merupakan material dasar untuk pembuatan paron besi. Besi cor merupakan paduan Besi-Karbon dengan kandungan C diatas 2% (pada umumnya sampai dengan 4%). Paduan ini memiliki sifat mampu cor yang sangat baik namun memiliki elongasi (kemampuan bahan logam untuk bertambah panjang ketika diberi beban atau gaya tarik) yang relatif rendah. Oleh karenanya proses pengerjaan bahan ini tidak dapat dilakukan melalui proses pembentukan, melainkan melalui proses pemotongan (pemesinan) maupun pengecoran.

Besi cor ini mempunyai kekuatan tarikannya kurang lebih 30-50 kgf/mm. Besi cor nodular banyak digunakan pada komponen-komponen otomotif untuk pembuatan spare part. Besi cor nodular ini mempunyai sifat mampu las yang rendah, dan ketahanan aus yang rendah. Tetapi besi cor ini memiliki sifat mampu mesin yang tinggi dan ketahanan kejut sedang.

#### **2.3.1 Komposisi Kimia**

Penambahan unsur kimia pada besi cor nodular dapat mempengaruhi kekersan pada besi tersebut. Beberapa elemen yang ditambahkan pada besi cor nodular antara lain :

- Karbon (C)

Karbon merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C. Karbon mempunyai kandungan yang dapat mengurangi deformasi plastic yang dibutuhkan untuk *void* tumbuh dan bergabung. Komposisinya 2%-4% untuk campuran.

- Silikon (Si)

Silikon atau Si merupakan campuran dari pembuatan besi cor ini. Sumber silikon berasal dari raw material yang meliputi scrap besi cor, pig iron, paduan besi. Komposisi campurannya 1%-3%.

- Mangan (Mn)

Sumber dari mangan ini adalah scap baja. Mangan yaitu elemen yang dapat menyebabkan segregasi mikro, biasanya terjadi pada bagian tebal. Komposisi campurannya 0,2%-1%.

- Sulfur (S)

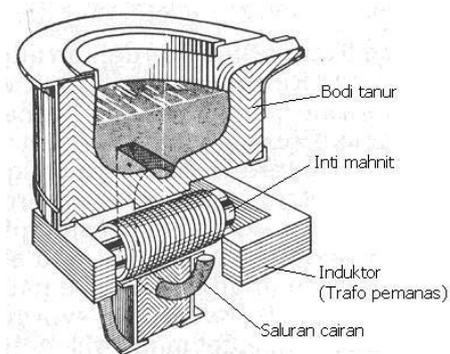
Sulfur besumber dari muatan material bahan baku. Kandungan didalam sulfur pada besi nodular yaitu di bawah 0,015% akan tetapi ketika cerium ditambahkan, kadarnya akan meningkat karena terbentuk serium sulfida.

- Fosfor (P)

Fosfor atau phosphorus merupakan senyawa langka yang sulit dicari. Fosfor ini mempunyai titik lebur 317.3 K. Komposisi campurannya 0,02%-0,75%.

#### 2.4 Dapur Tanur Induksi

Tanur induksi adalah kemajuan sebuah teknologi pada bidang pengecoran. Bahan bakar dari tanur induksi yaitu berupa daya listrik. Prinsip kerja tanur induksi ini dengan menggunakan transformator. Keuntungan dari tungku induksi adalah, proses peleburan hemat energi dan baik-dikendalikan bersih dibandingkan dengan kebanyakan cara lain peleburan logam. Secara umum tanur induksi digolongkan sebagai tanur peleburan (melting furnace).



**Gambar 2.1** Dapur tanur induksi jenis saluran

(Anonim, 2019)

#### 2.5 Proses Heat Treatment

Heat Treatment adalah proses mengubah struktur logam dengan cara memanaskan pada temperatur selama periode tertentu kemudian di dinginkan dengan menggunakan media air, udara, oli yang masing-masing mempunyai

kerapatan pendinginan berbeda-beda. Proses ini tanpa merubah komposisi kimiannya.

Pada perlakuan panas ada dua kategori yaitu :

1. *Softening* (pelunakan) adalah usaha untuk menurunkan sifat mekanik agar menjadi lunak dengan cara mendinginkan material yang sudah dipanaskan didalam tungku (*annealing*) atau mendinginkan dalam udara terbuka (*normalizing*).
2. *Hardening* (pengerasan) adalah usaha untuk meningkatkan sifat material terutama kekerasan dengan cara celup cepat (*quenching*) material yang sudah dipanaskan ke dalam suatu media quenching berupa air, air garam, maupun oli.

Timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam disebut juga sifat alotropik. *Alotropik* merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain. Berikut merupakan macam-macam proses *heat treatment* yang biasanya dilakukan :

#### 1. Hardening

Hardening adalah perlakuan panas terhadap logam untuk meningkatkan kekerasan alami logam. Akibat pengejukan dingin pada suhu daerah pengerasan ini, tercapailah keadaan struktur baja untuk merangsang kekerasan, oleh karena ini proses ini disebut pengerasan kejut.

#### 2. Tempering

Tempering adalah proses perlakuan penghilangan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan. Baja yang sudah dikeraaskan bersifat rapuh

dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses ini sifat rapuh dapat diturunkan.

### 3. Annealing

Perlakuan panas logam dengan pendinginan lambat berfungsi untuk memindahkan tekanan internal dan menyuling struktur kristal (melibatkan pemanasan di atas temperatur kritis bagian atas). Untuk menghilangkan *internal stress* pada logam, pendinginan logam diatur kembali di dalam sama benar untuk menurunkan energi bentuk wujud, tegangan yang baru dibebaskan dibentuk dan pertumbuhan butir dukung.

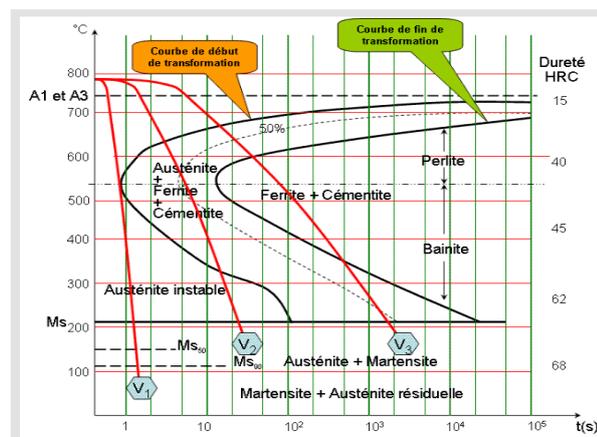
### 4. Normalizing

Normalizing adalah perlakuan panas pada suhu sekitar 40° C. Proses pendinginan ini temperatur logam terjaga sementara waktu sekitar 2 menit per mm dari ketebalan-nya hingga temperatur spesimen sama dengan temperatur ruangan, dan struktur yang diperoleh dalam proses ini diantaranya *perlit (eutectoid)*, *perlit brown ferrite (hypoeutectoid)* atau *perlit brown cementite (hypereutectoid)*.

## 2.6 Diagram TTT Dan CCT

Ada dua jenis utama transformasi diagram yang membantu dalam memilih optimal pengolahan baja dan rute untuk mencapai himpunan properti. Ini adalah waktu-suhu transformasi (TTT) dan pendinginan kontinu transformasi (CCT) diagram.

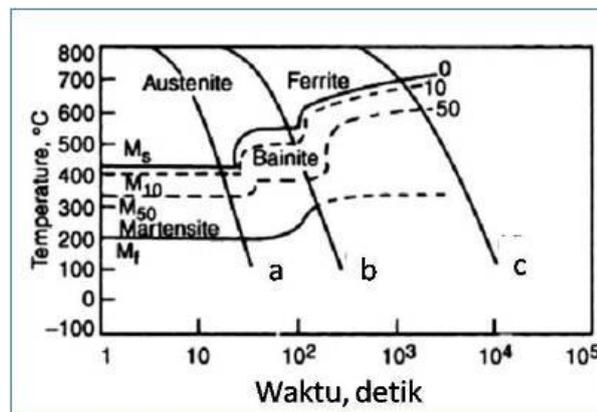
Diagram TTT adalah suatu diagram yang menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperature. Jika dilihat dari bentuk grafiknya diagram ini mempunyai nama lain yaitu diagram S atau diagram C. Proses perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur baja yang diinginkan agar cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi awal. Proses transformasi ini dapat dibaca dengan menggunakan diagram fasa namun untuk kondisi tidak setimbang diagram fasa tidak dapat digunakan, untuk kondisi seperti ini maka digunakan diagram TTT. Melalui diagram ini dapat dipelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas, diagram ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik dari baja yang diquench dari temperatur austenitisasinya ke suatu temperatur dibawah A1. Diagram ini menunjukkan dekomposisi austenit dan berlaku untuk macam baja tertentu. Baja yang mempunyai komposisi berlainan akan mempunyai diagram yang berlainan, selain itu besar butir austenit, adanya inklusi atau elemen lain yang terkandung juga mempunyai pengaruh yang sama.



**Gambar 2.2** Diagram TTT

(Anonim, 2019)

Diagram Continuous Cooling Transformation, atau biasa disebut CCT Diagram, merupakan diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan kontinyu dengan fasa atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi fasa. Saat kondisi perlakuan panas sebenarnya, transformasi umumnya tidak terjadi saat kondisi isothermal tetapi terjadi saat kondisi pendinginan yang terus menerus (Continuous Cooling). Proses ini dapat kita lihat pada diagram CCT (Continuous Cooling Transformation) berikut:



**Gambar 2.3** Diagram CTT

(Anonim, 2019)

## 2.7 Jenis-jenis Cetakan Pasir

Pada proses pengecoran pemilihan cetakan juga akan mempengaruhi hasil. Kebanyakan menggunakan pasir silica yang berasal dari batu-batuan yang hancur dalam jangka waktu yang lama. Pasir cetak harus mampu mengalirkan gas yang baik, bila udara yang terdapat dalam coran tidak bisa keluar akan menyebabkan korosi. Selain itu pemilihan pasir sebagai cetakan karena bisa digunakan berulang-ulang.

Tidak semua pasir dapat digunakan sebagai cetakan. Pasir cetak harus memenuhi sifat-sifat yang dibutuhkan dalam proses pengecoran agar menghindari cacat. Persyaratan pasir cetak adalah sebagai berikut

1. Mempunyai sifat yang mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok. Cetakan yang dihasilkan harus kuat karena pada saat proses pengecoran agar tidak rusak saat dipindah-pindahkan.
2. Pasir cetak harus mempunyai permeabilitas yang cocok, agar hasil pengecoran tidak terjadi cacat gelembung gas atau kekasaran permukaan. Pada prinsipnya permeabilitas akan menentukan seberapa besar gas-gas dari cetakan atau logam cair mampu melepaskan diri selama penuangan logam cair.
3. Tahan terhadap temperatur yang tinggi, sehingga pada saat penuangan logam dinding didalam cetakan tidak rontok.
4. Pasir harus mempunyai kemampuan hancur yang baik karena pada saat pembongkaran cetakan mudah pasir tersebut hancur agar memper mudah proses selanjutnya. Selain itu pasir harus dapat dipakai berulang-ulang.

Pada pengecoran pemilihan cetakan akan mempengaruhi kekuatan dari logam hasil dari coran. Cetakan pasir dapat diklarifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Cetakan pasir basah

Cetakan pasir basah atau disebut juga *green sand casting* merupakan cetakan yang paling banyak digunakan karena murah. Pada cetakan pasir basah kadar

air juga akan mempengaruhi proses pengecoran. Cetakan pasir basah biasanya terbuat dari pasir silika.

## 2. Cetakan pasir kering

Jenis pasir ini juga disebut cetakan pasir kering karena kadar air yang sedikit yang terdapat dalam cetakan tersebut. Pasir yang digunakan adalah pasir silika yang mempunyai kadar lempung yang rendah. Pasir cetakan kering juga bisa disebut juga pasir cetak CO<sub>2</sub>.

## 3. Cetakan kulit kering

Cetakan ini didapat dengan cara mengeringkan cetakan pasir basah dengan kedalaman pada permukaan rongga. Bahan campuran perekat khusus harus di tambahkan agar memperkuat rongga cetak.

## 2.8 Media Pendinginan Cepat

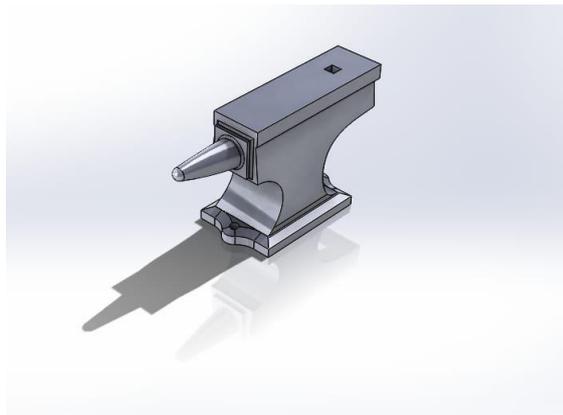
Pada penelitian ini media yang digunakan yaitu oli dan air. Masa jenis atau kerapatan fluida merupakan karakteristik mendasar yang dimiliki zat. Kerapatan zat cair dapat ditentukan dengan mengukur massa dan volumennya dalam gelas ukur.

Minyak pelumas mesin atau yang disebut oli berfungsi untuk mengurangi gesekan logam dengan logam pada komponen mesin. jenis oli ada dua yaitu oli mineral dan oli sintetis. Oli mineral biasanya diambil dari minyak bumi yang telah diolah dan disempurnakan, berbeda dengan oli sintetis oli ini biasanya terdiri atas polyalphaolifins yang berasal dari bagian terbersih dari pemilahan dari oli

mineral. Pada berbagai macam merk oli terdapat perbedaan pada kekentalannya karena tergantung pemakaian pada cuaca atau kondisi suatu negara.

## 2.9 Teori Dasar Paron

Paron adalah suatu alat yang digunakan untuk tumpuan besi yang akan di tempa biasanya digunakan di industri pandai besi. Paron biasanya memiliki nilai kekerasan yang sangat tinggi, karena pada saat di pukul agar tidak patah. Bentuk dari paron ini biasanya atasnya melebar digunakan untuk menempa dan ujungnya mempunyai tanduk.



**Gambar 2.4** Paron besi

## 2.10 Pengujian Kekerasan

Pengujian pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan brinell. Dalam pengujian ini, sebuah bola baja berdiameter diletakkan diatas bahan yang akan diuji, lalu akan dikenakan suatu beban. Prinsip dari pengujian brinell ini dengan menekan indentor selama 30 detik. Kemudian diameter hasil diukur dengan menggunakan mikroskop optik.

Ada beberapa jenis mesin pengujian brinell seperti mesin brinell manual, digital, semi otomatis, dan otomatis penuh. Angka kekerasan brinell (BHN = brinell hardness number) atau HB saja. Nilai kekerasan brinell dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$H_B = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana, P = gaya atau beban uji dalam kilogram gaya (kgf)

D = diameter indentor bola dalam mm

d = diameter jejak dalam mm



**Gambar 2.5** Brinell Hardness Tester

(Laboraturium Bahan Teknik UGM. 16 Juni 2019)

Cara pengujian *Brinell* dilakukan dengan penekanan sebuah bola baja yang terbuat dari baja krom yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu oleh suatu gaya tekan secara statis ke dalam permukaan logam yang diuji tanpa sentakan.

Permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan ditiadakan dan bola baja dikeluarkan dari bekas lekukan, maka diameter paling atas dari lekukan tersebut diukur secara teliti. Kekerasan ini disebut kekerasan *Brinell*, yang biasa disingkat dengan HB atau BHN (*Brinell Hardness Number*). Semakin keras logam yang diuji, maka semakin tinggi nilai HB. (Gusti Rusydi Furqon S, Muhammad Firman, Moch. Andi Sugeng .P, 2016)

### 2.11 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro yang menggunakan mikroskop dengan pembesaran foto diperoleh dari perkalian lensa obyektif dan okuler. Lensa obyektif yang dipakai 10x, lensa okuler 10x sehingga perbesaran bisa mencapai 100x. Pada jarak 10 setrip pada foto untuk perbesaran 100x adalah 100  $\mu\text{m}$ .

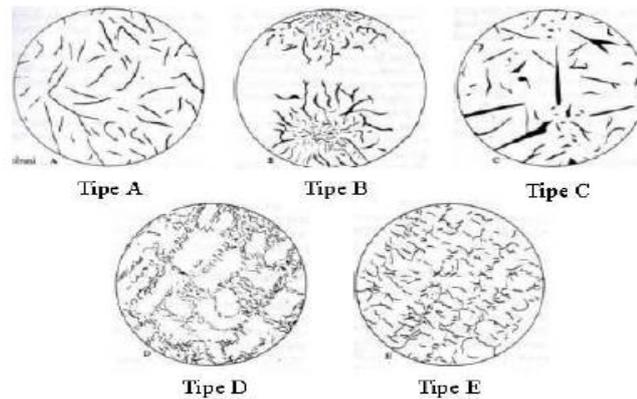


**Gambar 2.6** Mikroskop

(Laboratorium Bahan Teknik UGM. 16 Juli 2019)

Tipe grafit besi cor kelabu dapat dikelompokkan menjadi lima tipe, yaitu Grafit tipe A memiliki serpih-serpih grafit yang terbagi rata dan orientasinya sebarang. Grafit tipe B memiliki bentuk seperti bunga ros (rosette) dengan

orientasi sebarang. Grafit tipe C mempunyai grafit serpih yang saling menumpuk dengan orientasi sebarang. Grafit tipe D mempunyai potongan grafit eutektik halus yang mengkristal di antara dendrit kristal austenit. Grafit tipe E muncul apabila kandungan karbon agak rendah. (Lilik Dwi Setyana, 2015)



**Gambar 2.7** Struktur grafit

(Lilik Dwi Setyana, 2015)

## 2.12 Pengujian Impak

Pengujian impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh beban dampak terhadap sifat mekanik material selain itu juga dapat mengetahui kemampuan material terhadap beban dampak dari berbagai temperatur yang diukur.

Tenaga yang diserap atau yang dibutuhkan untuk mematahkan benda uji =  $E_{ch}$  (Joule).

$$E_{ch} = E_{P1} - E_{P2} = mg(h - h') = GR(\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dimana :  $G$  = berat hammer (Newton)

$R$  = jarak titik putar ke titik berat hammer (m)

$\alpha$  = sudut ayunan tanpa benda uji ( $^{\circ}$ )

$\beta$  = sudut ayunan setelah membentur benda uji ( $^{\circ}$ )

m= massa hammer (kg)

g= percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

h= tinggi jatuh (m)

h<sup>1</sup>= tinggi ayun (m)

$$\text{Nilai Keuletan} = \text{ketangguhan impact} = \frac{\text{Tenaga patah}}{\text{Luas penampang patahan}} \text{ (J/m}^2\text{)}$$

Penggunaan pengujian impak metode charpy memiliki dimensi 10 x 10 x 55 mm dan memiliki takik (*notch*) berbentuk V dengan sudut 45<sup>o</sup> dengan kedalaman 2mm ditengah. Pengujian ini didasarkan pada “*standard method of tention testing metalic materials*” dari ASTM Designation E23 “*Annual Book Of ASTM Standars*” American Society For Testing And Materials. (I GN Liladipta Pinatih, I Ketut Gede Sugita dan DNK Putra Negara, 2017)



**Gambar 2.8** Alat pengujian impack

(Laboraturium Bahan Teknik UMY. 4 Juli 2019)