

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Baja Karbon

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penambahan kandungan unsur kimia lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn) dan unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2% hingga 2,14%, dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja [15].

Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin, struktur bangunan, dan lain sebagainya. Menurut pendefinisian *ASM handbook* vol.1:148 (1993), baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase komposisi kimia karbon dalam baja yakni sebagai berikut [15]:

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Pada umumnya baja jenis ini digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, bodi mobil, dan lain-lainnya [15].

2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan

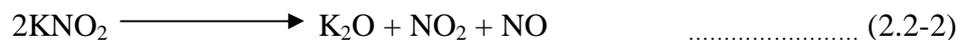
memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang biasanya digunakan untuk pembuatan poros, rel kereta api, roda gigi, baut, pegas, dan komponen mesin lainnya^[15].

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

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,6% C – 1,4% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Dalam pengaplikasiannya baja karbon tinggi banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, pembuatan kikir, pisau cukur, dan sebagainya^[15].

2.2 Kalium Nitrat (KNO₃)

Kalium nitrat merupakan senyawa kimia penghasil unsur nitrogen murni. Senyawa ini tergolong kedalam senyawa nitrat dengan rumus kimia KNO₃. Pada saat kalium nitrat dipanaskan diatas titik lebur, senyawa kalium nitrat akan terurai menjadi beberapa reaksi yaitu sebagai berikut:



Dari penguraian reaksi senyawa kalium nitrat diatas, kalium nitrat dapat melepaskan unsur nitrogen dan berdifusi membentuk larutan padat yang terintertisi kedalam atom baja dan membentuk tebal lapisan nitrit. Unsur oksigen akan bereaksi terhadap permukaan baja dan membentuk lapisan tipis oksida, dalam hal ini ketebalan lapisan oksida jauh lebih kecil dibandingkan dengan ketebalan lapisan

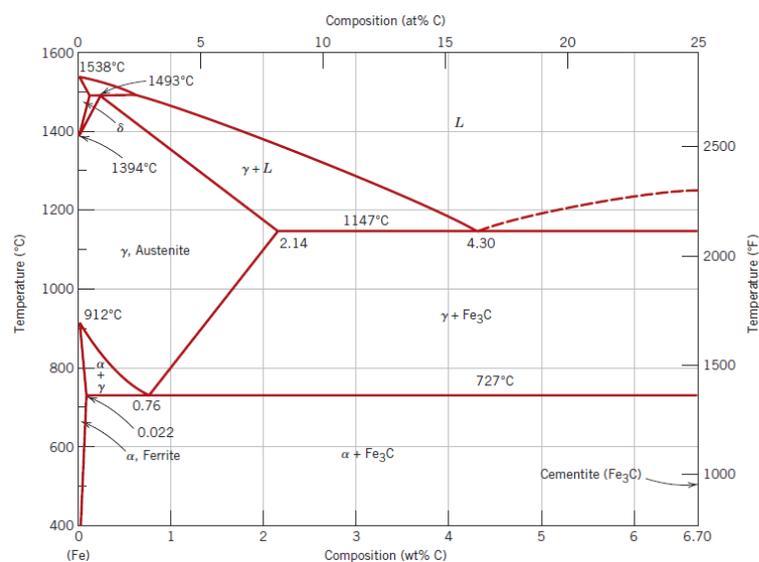
nitrit. Kedua lapisan ini berfungsi sebagai pelindung dan meningkatkan ketahanan pada permukaan spesimen uji terhadap korosi [22].

Larutan kalium nitrat ini berfungsi untuk meningkatkan nilai kekerasan pada baja, sehingga menghasilkan baja dengan permukaan yang keras dan kuat. Hal ini dikarenakan pada saat baja diberikan perlakuan panas, baja akan mengalami peregangan atom-atom sehingga mengakibatkan kekosongan dalam struktur atom. Melalui proses nitridasi, atom-atom nitrogen yang terbentuk akibat pendekomposisi larutan KNO_3 akan terintertisi masuk kedalam atom-atom baja dan membentuk larutan padat (*solid solution*) yang kemudian akan memunculkan ikatan atom baru yaitu baja nitrid (Fe-N) [22].

2.3 Struktur Mikro Baja

2.3.1 Diagram Fasa Fe-C

Diagram fasa adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dengan kadar karbon, dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan [29]. Diagram fasa Fe-C merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi didalam baja, serta untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang terjadi di dalam baja paduan dengan berbagai jenis perlakuan [9].



Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-C [8].

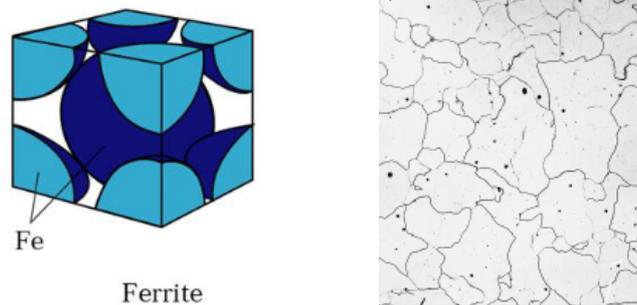
Berdasarkan gambar diagram fasa Fe-C 2.1 dapat terlihat bahwa pada temperatur 727 °C terjadi transformasi fasa austenite menjadi fasa perlit. Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi eutectoid, dimana fase ini merupakan fase dasar dari proses perlakuan panas pada baja. Kemudian pada temperatur 912 °C hingga 1394 °C merupakan daerah besi gamma (γ -Fe) atau austenite, pada kondisi ini biasanya austenite memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) bersifat stabil, lunak, ulet, dan mudah dibentuk. Besi gamma ini dapat melarutkan unsur karbon maksimum hingga mencapai 2,14% C pada temperatur 1147 °C. Untuk temperatur dibawah 727 °C besi murni berada pada fase ferit (α -Fe) dengan struktur kristal BCC (*Body Centered Cubic*), besi murni BCC mampu melarutkan karbon maksimum sekitar 0,02% C pada temperatur 727 °C. Sedangkan besi delta (δ -Fe) terbentuk dari besi gamma yang mengalami perubahan struktur dari FCC ke struktur BCC akibat peningkatan temperatur dari temperatur 1394 °C sampai 1538 °C, pada fase ini besi delta hanya mampu menyerap karbon sebesar 0,05% C^[9].

2.3.2 Perubahan Fasa Fe-C

Dalam diagram fasa Fe-C terjadi beberapa perubahan fasa yaitu perubahan fasa ferit (α -Fe), austenite (γ -Fe), sementit, perlit, dan marennsit.

1. Ferrite atau Besi Alpha (α -Fe)

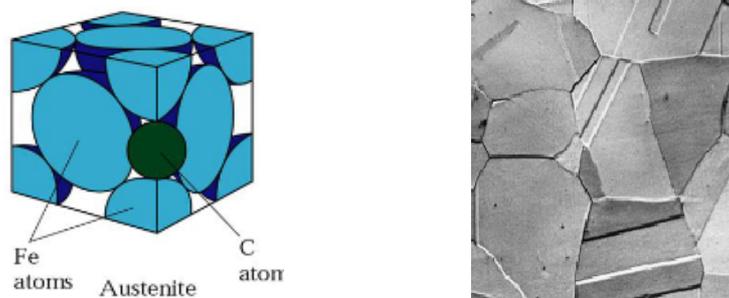
Ferit merupakan suatu larutan padat karbon dalam struktur besi murni yang memiliki struktur BCC dengan sifat lunak dan ulet^[15]. Fasa ferit mulai terbentuk pada temperatur antara 300 °C hingga mencapai temperatur 727 °C. Kelarutan karbon pada fasa ini relatif kecil dibandingkan dengan kelarutan pada fasa larutan padat lainnya. Saat fasa ferit terbentuk, kelarutan karbon dalam besi alpha hanyalah sekitar 0,02% C.



Gambar 2.2 Struktur mikro baja atau besi pada fasa ferit ^[24,7].

2. Austenit atau Besi Gamma (γ -Fe)

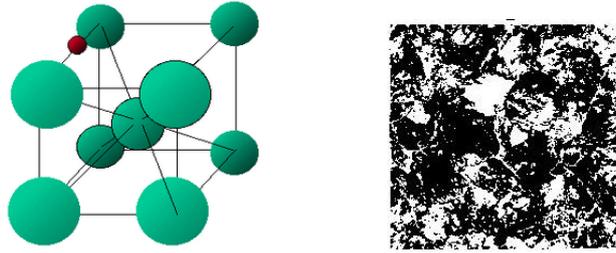
Fase austenite merupakan larutan padat intertisi antara karbon dan besi yang memiliki struktur FCC. Fase austenite terbentuk antara temperatur 912 °C sampai dengan temperatur 1394 °C. Kelarutan karbon pada saat berada pada fasa austenite lebih besar hingga mencapai kelarutan karbon sekitar 2,14% C ^[26].



Gambar 2.3 Struktur mikro baja atau besi pada fasa austenite ^[24,7].

3. Besi Karbida atau Sementit

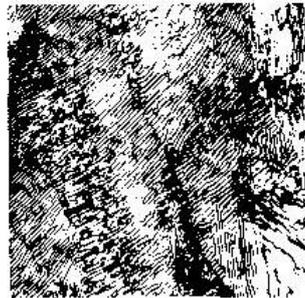
Karbida besi adalah paduan besi karbon dimana pada kondisi ini karbon melebihi batas larutan sehingga membentuk fasa kedua atau karbida besi yang memiliki komposisi Fe_3C dan memiliki struktur kristal BCT. Karbida pada ferit akan meningkatkan kekerasan pada baja, hal ini dikarenakan sementit memiliki sifat dasar yang sangat keras. Difasa ini kelarutan karbon bisa mencapai 6,70% C pada temperatur dibawah 1400⁰ C, akan tetapi baja ini bersifat getas ^[15].



Gambar 2.4 Struktur mikro baja atau besi pada fasa sementit ^[24].

4. Perlit

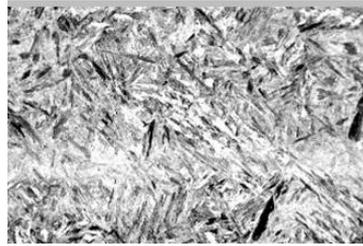
Perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit yang berbentuk seperti pelat-pelat yang disusun secara bergantian antara sementit dan ferit. Fase perlit ini terbentuk pada saat kandungan karbon mencapai 0,76% C, besi pada fase perlit akan memiliki sifat yang keras, ulet dan kuat ^[15].



Gambar 2.5 Struktur mikro besi pada fasa perlit ^[24].

5. Martensit

Martensit adalah suatu fasa yang terjadi karena pendinginan yang sangat cepat sekali. Jenis fasa martensit tergolong kedalam bentuk struktur kristal BCT. Pada fase ini tidak terjadi proses difusi hal ini dikarenakan terjadinya pergerakan atom secara serentak dalam waktu yang sangat cepat sehingga atom yang tertinggal pada saat terjadi pergeseran akan tetap berada pada larutan padat. Besi yang berada pada fase martensit akan memiliki sifat yang kuat dan keras, akan tetapi besi ini juga bersifat getas dan rapuh ^[15].



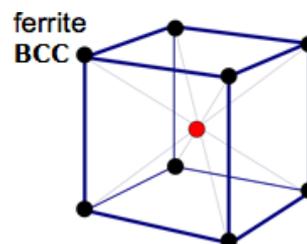
Gambar 2.6 Struktur mikro besi pada fasa martensit ^[2]

2.3.3 Struktur Kristal Logam atau Baja

Struktur kristal merupakan susunan atom-atom teratur yang terdapat dalam ruang tiga dimensi. Keteraturan susunan tersebut terjadi karena kondisi geometris yang harus memenuhi adanya ikatan atom yang terarah dengan posisi susunan yang tepat ^[21]. Struktur kristal pada logam terbagi atas:

1. Struktur Kristal Body Centered Cubic (BCC)

Pada umumnya struktur kristal ini banyak ditemukan pada besi alpha, chrom (Cr), molebdenum (Mo), dan lain sebagainya. Dengan atom yang saling bersentuhan satu sama lainnya sepanjang diagonal sisi. Struktur kristal BCC memiliki atom-atom disetiap sudut kubus, tiap atom dalam sel satuan BCC ini dikelilingi oleh delapan atom tetangga seperti yang terlihat pada gambar 2.7 ^[30].

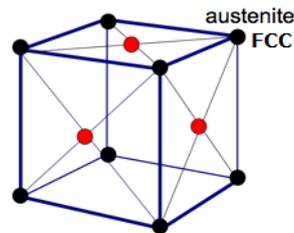


Gambar 2.7 Struktur kristal BCC ^[24].

2. Struktur Kristal Face Centered Cubic (FCC)

Struktur kristal FCC mempunyai sebuah atom pada semua pusat sisi kubus dengan sebuah atom pada setiap titik pada sudut kubus. Tiap atom dalam sel satuan FCC dikelilingi oleh dua belas atom tetangga, hal ini

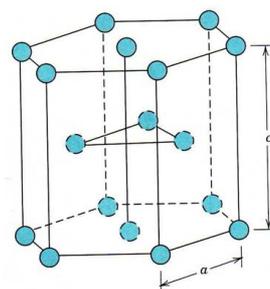
berlaku untuk setiap atom baik yang terletak pada titik sudut, maupun atom dipusat sel satuan. Struktur kristal ini umumnya bersifat stabil, ulet dan mudah dibentuk. Struktur FCC dapat ditemukan pada besi gamma, aluminium, timbale, platina, dan lain sebagainya ^[30].



Gambar 2.8 Struktur kristal FCC ^[24].

3. Struktur Kristal Hexagonal Close Packed (HCP)

Struktur kristal HCP merupakan struktur kristal dengan bentuk hexagonal persegi enam yang memiliki tiga struktur lapisan atom. Pada setiap lapisan atas dan lapisan bawah terdapat enam buah atom yang tersusun pada setiap sudutnya serta satu atom tambahan yang terletak ditengah-tengah sisi lapisan. Struktur kristal HCP ini dapat ditemukan pada magnesium, titanium, seng, cadmium dan zirconium ^[30].

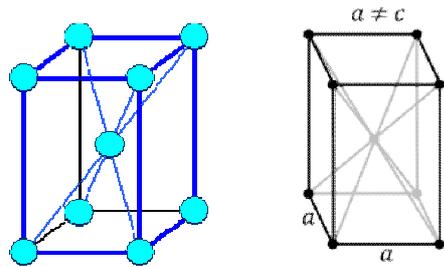


Gambar 2.9 Struktur kristal HCP ^[10].

4. Struktur Kristal Body Centered Tetragonal (BCT)

Struktur kristal BCT merupakan struktur kristal pada atom bersifat magnetis dan dapat diberi perlakuan panas. Jenis struktur BCT ini memiliki tingkat kekerasan yang sangat tinggi, hal ini dikarenakan pada

struktur kristal ini terdapat fasa martensit yang bersifat kuat dan keras. Sel satuan pada kristal BCT terletak pada pusat kubus yang dikelilingi oleh tiga sumbu yang saling tegak lurus akan tetapi memiliki panjang sumbu yang tidak sama (sumbu $a \neq$ sumbu c)^[10].



Gambar 2.10 Struktur kristal BCT^[30].

2.4 Difusi

Difusi adalah suatu peristiwa mengalir atau berpindahnya suatu zat dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Proses difusi dapat terjadi dalam keadaan gas, cair, maupun padat sehingga proses pendifusian ini dapat terjadi pada baja dan logam lainnya. Pendifusian atom pada logam umumnya berdifusi dalam bentuk atom tunggal bukan sebagai molekul, hal ini dikarenakan mobilitas atom tunggal jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan molekul^[19].

Secara garis besar proses difusi pada baja terjadi karena adanya perpindahan struktur atom akibat pergerakan energi pada baja, dalam hal ini pergerakan atom-atom tersebut dipercepat pada saat baja berada dalam temperatur tinggi. Baja pada temperatur tinggi akan mengakibatkan terjadinya peregangan dan pergerakan pada struktur atom sehingga mengakibatkan terjadinya kekosongan antara atom induk dengan atom-atom tetangga. Dengan bantuan proses perlakuan permukaan, kekosongan yang terjadi antara atom induk dan atom tetangga akan terisi oleh atom-atom lainnya akibat dari proses perlakuan permukaan, baik itu secara difusi interstisi maupun difusi vacancy. Kecepatan dari proses difusi ini tergantung pada:

1. Ukuran partikel atom. Semakin kecil ukuran partikel atom yang terdapat pada suatu baja, maka semakin cepat terjadinya proses difusi pada atom.

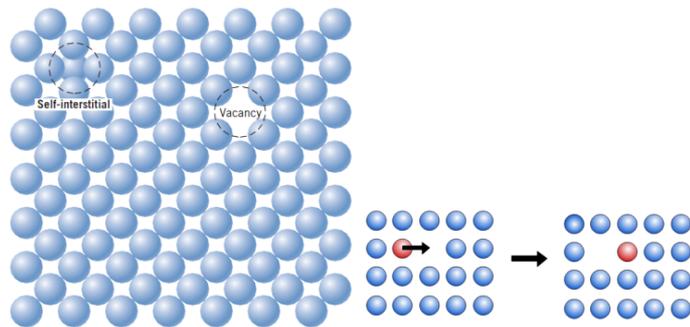
2. Temperatur. Semakin tinggi temperatur pada saat baja diberi perlakuan panas, maka energi yang bergerak pada partikel juga akan semakin cepat sehingga kecepatan pada saat terjadinya difusi juga akan semakin tinggi.
3. Luas area antar partikel atom. Semakin besar luas area yang memisahkan antara satu atom dengan atom lainnya, maka akan semakin cepat terjadinya pergerakan atom sehingga akan menyebabkan kecepatan proses difusi meningkat ^[19].

2.4.1 Mekanisme Difusi

Mekanisme pendifusian atom dapat diklasifikasikan berdasarkan cara perpindahan atom-atom terhadap posisi dari pendifusian atom tersebut. Pengklasifikasian difusi atom dibagi menjadi dua mekanisme difusi yakni sebagai berikut::

1. Difusi Vacancy

Difusi vacancy adalah mekanisme perpindahan atom karena adanya kekosongan tempat dalam struktur atom. Kekosongan tersebut akan diisi oleh atom-atom yang mengalami pergerakan akibat adanya pergerakan energi dalam temperatur tinggi ^[12].

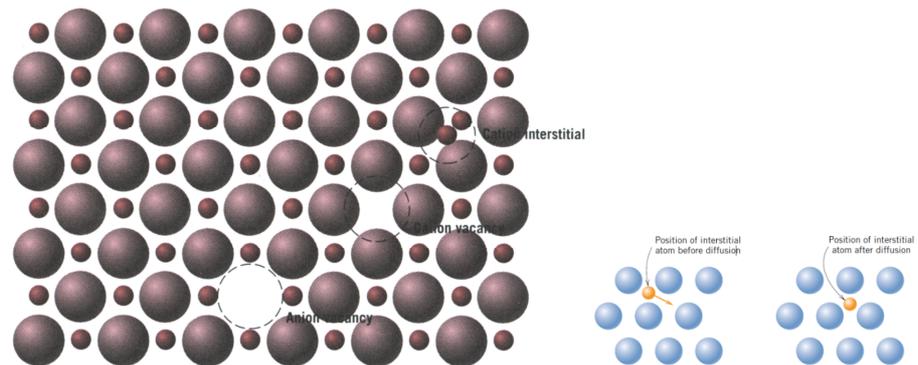


Gambar 2.11 Difusi vacancy ^[7]

2. Difusi Interstisi

Difusi interstisi merupakan mekanisme perpindahan atom akibat adanya gerakan atom dalam rongga atom. Difusi interstisi ini terjadi apabila atom yang mengalami pergerakan memiliki ukuran jari-jari atom yang

jauh lebih kecil dari atom induk. Atom-atom yang terinterstisi tersebut akan bergerak masuk kedalam rongga atom yang tercipta oleh atom besar seperti yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini ^[12].



Gambar 2.12 Difusi interstisi ^[7].

2.5 Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Perlakuan panas adalah suatu metoda yang digunakan untuk mengubah sifat fisik atau struktur mikro suatu logam melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia material tersebut ^[1].

Proses perlakuan panas dapat diklasifikasikan beberapa metode yaitu:

2.5.1 Normalizing

Normalizing merupakan suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fasa austenite yang kemudian didinginkan secara perlahan dalam media pendingin udara (temperatur ruang). Hasil proses normalizing akan membentuk struktur perlit dan ferit. Tujuan dari proses normalizing ini adalah untuk memperkecil dan menyamakan butiran atom yang terdapat pada baja sehingga dapat meningkatkan sifat mekaniknya ^[20].

2.5.2 Anneling

Anneling adalah suatu proses untuk melunakkan baja pada temperatur tertentu dan dilanjutkan dengan pendinginan secara perlahan menggunakan media udara dalam waktu yang ditentukan. Tujuan dari proses anneling ini

adalah untuk mendapatkan material baja yang lunak, menghilangkan tegangan sisa akibat proses pemanasan, serta untuk memperbaiki butiran-butiran atom pada baja ^[20].

2.5.3 Tempering

Tempering merupakan suatu proses pemanasan baja hingga mencapai temperatur dibawah temperatur kritis dan menahannya pada temperatur tersebut untuk jangka waktu tertentu. Kemudian baja tersebut didinginkan dengan menggunakan media udara. Proses tempering ini bertujuan untuk memperoleh keuletan dan ketangguhan pada sifat baja ^[20].

2.5.4 Quenching

Quenching adalah suatu proses pengerasan baja dengan cara baja dipanaskan hingga mencapai batas austenite dan kemudian diikuti dengan proses pendinginan cepat melalui media pendingin air, oli, atau air garam, sehingga fasa autenit bertransformasi secara parsial membentuk struktur martensit. Tujuan utama dari proses *quenching* ini adalah untuk menghasilkan baja dengan sifat kekerasan tinggi ^[20].

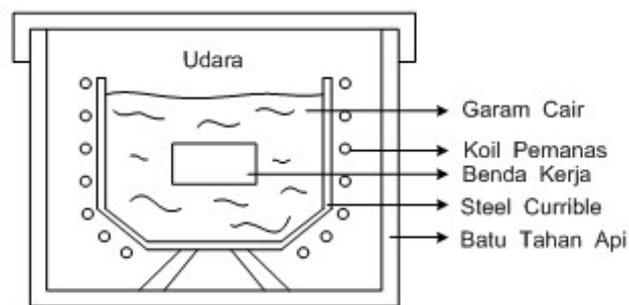
2.6 Perlakuan Permukaan (*Surface Treatment*)

Perlakuan permukaan adalah suatu perlakuan untuk menghasilkan terbentuknya kulit lapisan pada permukaan baja, dimana lapisan tersebut memiliki sifat-sifat lebih baik dibandingkan dengan bagian dalam pada baja. Perlakuan permukaan ini bertujuan untuk meningkatkan sifat kekerasan pada permukaan baja. Metode perlakuan permukaan yang sering dilakukan adalah sebagai berikut:

2.6.1 Metode Karburasi (*Carburizing*)

Karburasi adalah merupakan suatu perlakuan permukaan dengan cara penambahan unsur karbon pada bagian permukaan baja melalui pemanasan diatas temperatur kritis yaitu berkisar antara 900 °C-950 °C dan menahannya dalam jangka waktu tertentu untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang tinggi pada permukaan baja. Baja yang berada pada temperatur kritis

mempunyai afinitas atau kecenderungan untuk membentuk ikatan kimia terhadap karbon. Karbon yang diabsorpsi kedalam baja membentuk larutan padat (*solid solution*) baja-karbon, hal ini dikarenakan atom-atom karbon pada saat berada ditemperatur kritis mempunyai ukuran (jari-jari) atom yang jauh lebih kecil dari pada ukuran atom besi sehingga atom-atom karbon akan masuk terintitisi kedalam ruang-ruang diantara atom besi yang menyebabkan peningkatan kekerasan pada baja. Pengaturan waktu yang tepat dapat menghasilkan atom karbon berdifusi kebagian dalam struktur atom dan membentuk tebal lapisan sesuai dengan waktu dan temperatur yang digunakan. Proses karburasi ini dapat dilakukan dengan tiga metode karburasi yaitu karburasi padat, karburasi gas, dan karburasi cair ^[23].



Gambar 2.13 Proses karburisasi cair ^[23]

2.6.2 Metode Nitridasi

Nitridasi merupakan suatu proses pengerasan permukaan benda kerja melalui pemanasan dengan pendifusian unsur nitrogen pada bagian permukaan benda kerja, sehingga menyebabkan baja menjadi lebih keras, tahan aus, dan lebih tahan lelah ^[27]. Proses ini telah banyak dikembangkan dalam bidang industri untuk mendapatkan besi atau baja dengan sifat mekanik yang diinginkan. Adapun metode-metode yang dilakukan dalam proses nitridasi adalah sebagai berikut:

1) Metode Nitridasi Plasma

Nitridasi plasma adalah pelapisan permukaan baja dengan menggunakan gas nitrogen berbentuk plasma dalam tabung hampa untuk membentuk fase nitrid yang keras pada permukaan baja. Keuntungan dari

penggunaan metode plasma nitrid ini adalah temperatur dan waktu pengoperasian proses nitridasi lebih singkat, dapat digunakan untuk segala jenis bahan baja, tingkat kekerasan tinggi, dan tidak menghasilkan limbah berbahaya, sedangkan kelemahan dari penggunaan metode nitridasi ini adalah biaya yang digunakan cukup tinggi dan memerlukan pengetahuan serta persyaratan keterampilan yang tinggi untuk melakukan pengujian dengan menggunakan metode ini ^[5].

2) Metode Nitridasi Laser

Metode nitridasi laser dilakukan dengan cara memasukkan unsur nitrogen ke dalam lapisan permukaan besi atau logam dengan menggunakan sinar laser logam melalui perantara larutan nitrogen atau ammonia, akan tetapi penggunaan metode sinar laser ini tidaklah berhasil sepenuhnya hal ini dikarenakan tidak terdeteksi sejumlah unsur nitrogen yang terdapat dalam logam atau baja pada saat dilakukan pengujian dengan menggunakan gas ambient pada tekanan 1atm ^[22].

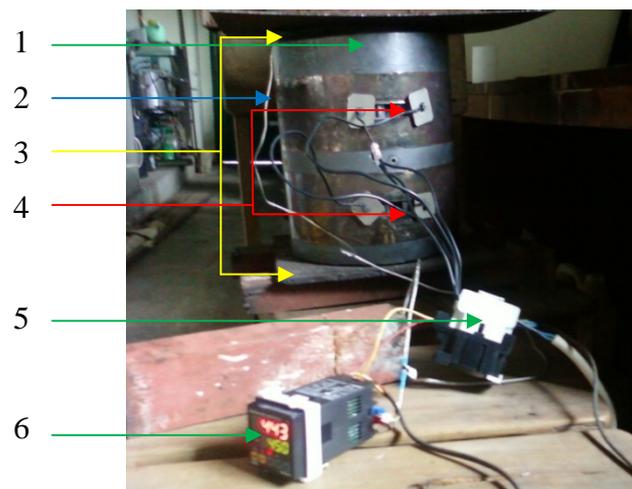
3) Metode Gas Nitridasi

Penggunaan metode gas nitridasi secara konvensional biasanya dilakukan dengan menggunakan senyawa NH_3 pada temperatur 450 °C sampai 650 °C selama puluhan jam dengan cara disemprotkan pada baja yang sedang membara. Dengan menyemprotkan atom nitrogen secara langsung, baja yang sedang diberi perlakuan panas akan mengalami pergeseran atom-atom yang menyebabkan terjadinya kekosongan dalam struktur atom baja, sehingga atom-atom yang disemprotkan melalui gas akan terintitisi kedalam struktur baja dan membentuk struktur baja baru dengan kekerasan yang lebih baik dibandingkan baja sebelum dilakukan proses nitridasi. Akan tetapi penggunaan metode ini hanya mampu menghasilkan tebal lapisan nitrid kurang dari 0,5 mm, sehingga metode ini jarang digunakan dalam dunia industri ^[22].

4) Metode Nitridasi Dalam Larutan Garam

Metode nitridasi ini merupakan suatu proses nitridasi dalam larutan garam-garam kimia sebagai penghasil unsur nitrogen. Pada umumnya

senyawa kimia yang sering diterapkan dalam metode nitridasi ini adalah natrium nitrat (NaNO_3), kalium nitrat (KNO_3) dan larutan-larutan pereaktif lainnya. Pada saat proses nitridasi pada temperatur tinggi, garam akan terurai menjadi unsur nitrogen dan oksigen yang kemudian akan terdifusi langsung kedalam atom baja yang telah dipanaskan sehingga akan membentuk larutan padat (*solid solution*) pada permukaan baja saat baja didinginkan. Metode nitridasi dengan menggunakan larutan garam ini mampu memberikan reaksi kedalaman nitridasi yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode nitriding lainnya dengan pengaturan waktu dan temperatur yang sama sehingga bisa meningkatkan kekuatan tarik dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi [22].



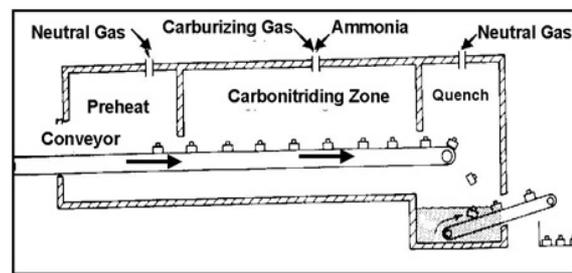
Keterangan :

1. Asbes
2. Input sensor (Termokopel)
3. Tabung nitridasi
4. Band heater
5. Kontaktor
6. Thermostat

Gambar 2.14 Peralatan nitridasi

2.6.3 Metode Karbonitridasi

Karbonitridasi merupakan suatu proses pengerasan permukaan baja dengan cara pemanasan baja diatas temperatur kritis menggunakan metode penyemprotan gas. Selama proses karbonitridasi berlangsung, atom karbon dan nitrogen terintitisi secara bersamaan kedalam baja melalui penyemprotan media gas ke permukaan baja saat baja mengalami pemanasan. Proses karbonitridasi ini sering juga disebut dengan istilah “Sianida kering” [14].



Gambar 2.15 Proses karbonitrasi conveyor [11].

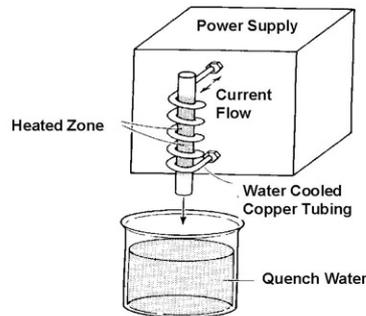
2.6.4 Metode Sianida (Karbonitridasi Cair)

Sianida merupakan proses penyerapan unsur karbon dan nitrogen pada baja karbon rendah untuk memperoleh tingkat kekerasan yang tinggi pada permukaan baja dalam jangka waktu tertentu. Metode sianida ini dilakukan dengan menggunakan rendaman larutan garam yang terdiri dari senyawa natrium bikarbonat (NaHCO_3) dan natrium sianida (NaCN) dengan pencampuran senyawa natrium klorida (NaCl) dan barium klorida (BaCl_2) sebagai unsur pereaksi pada saat proses sianida berlangsung. Metode sianida biasanya dilakukan dengan temperatur pemanasan pada baja sekitar 760°C - 870°C [14].

2.6.5 Metode Pengerasan Induksi (*Induction Hardening*)

Merupakan suatu metode pengerasan permukaan menggunakan arus induksi bolak-balik dengan frekuensi tinggi. Arus yang mengalir akan menimbulkan induksi pada permukaan baja, sehingga menimbulkan reaksi panas. Panas yang ditimbulkan oleh tegangan induksi kemudian diquencing

menggunakan air dingin untuk membuang kerak-kerak yang terbentuk akibat adanya tegangan induksi pada permukaan baja ^[13].



Gambar 2.16 Metode pengerasan induksi ^[11].

2.6.6 Metode Pengerasan Nyala (*Flame Hardening*)

Metode pengerasan nyala pada dasarnya hampir sama dengan metode pengerasan induksi, yaitu pemanasan yang diteruskan dengan proses pencelupan cepat (*quenching*). Yang membedakan dengan metode pengerasan induksi adalah metode pengerasan nyala menggunakan nyala oksi asetilen untuk memanasi permukaan baja hingga mencapai temperatur austenit ^[13].



Gambar 2.17 Pengerasan nyala ^[13].

2.7 Mekanisme Penguatan Baja

Penguatan baja akan berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik yang dapat terjadi dengan beberapa cara, antara lain dengan mekanisme pengerasan

regangan (*strain hardening*), larutan padat (*solid solution*), fasa kedua, presipitasi, dan dispersi ^[4].

2.7.1 Pengerasan Regangan (*Strain Hardening*)

Penguatan melalui mekanisme pengerasan regangan dapat terjadi terhadap semua logam atau baja akibat proses deformasi plastis yang menyebabkan terjadinya peningkatan kerapatan dislokasi. Dislokasi yang semakin rapat mengakibatkan dislokasi itu sendiri semakin sukar bergerak sehingga baja atau logam menjadi semakin kuat dan keras. Pengerasan regangan ini dapat dilakukan dengan proses hot working dan cold working (pengerolan, coining, bending dll) ^[4].

2.7.2 Larutan-Padat (*Solid- Solution*)

Penguatan baja melalui mekanisme larutan-padat terjadi akibat adanya atom-atom asing yang terlarut-padat, baik secara intertisi maupun substitusi. Atom asing yang larut padat tersebut dapat berupa unsur-unsur dalam bentuk paduan. Kelarutan atom-atom asing ini dalam bentuk larut padat mengakibatkan timbulnya medan tegangan yang berdampak terhadap pergerakan dislokasi sehingga mengakibatkan logam menjadi keras dan kuat contoh karburising, nitriding, dll ^[4].

2.7.3 Fasa Kedua

Penguatan atau pengerasan dapat juga dilakukan melalui mekanisme fasa kedua akibat timbulnya senyawa fasa paduan. Pembentukan senyawa fasa kedua dalam paduan terjadi karena penambahan unsur paduan melebihi batas larut-padat. Senyawa fasa yang terbentuk bersifat relatif keras yang menyebabkan pergerakan dislokasi cenderung akan terhambat sehingga akan memperkuat baja atau logam ^[4].

2.7.4 Presipitasi (*Precipitate Strengthening*)

Pengerasan baja melalui metode presipitasi dapat terjadi pada saat pengendapan partikel fasa kedua, distribusi presipitasi ini dapat

menimbulkan tegangan dalam (*internal stress*) yang mana apabila tegangan yang dihasilkan semakin besar maka akan mengakibatkan semakin meningkatnya kekuatan dan kekerasan. Penguatan melalui metode presipitasi ini terjadi melalui proses perlakuan panas dan, *quenching* ^[4].

2.7.5 Dispersi (*Dispersion Strengthening*)

Pengerasan dispersi merupakan pengerasan melalui proses memasukkan partikel-partikel dispersi dalam bentuk serbuk yang tercampur secara homogen. Campuran serbuk tersebut akan melalui proses kompaksi dan *sintering* dengan suhu pemanasan sampai mendekati titik cair baja sehingga mengakibatkan terjadinya ikatan yang kuat. Partikel disperse ini berfungsi untuk menghambat terjadinya pergerakan dislokasi pada baja sehingga akan meningkatkan kekerasan baja ^[4].

2.8 Pengujian Material

2.8.1 Uji Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical of properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material merupakan ketahanan material terhadap gaya penekanan atau deformasi dari material lain yang lebih keras. Yang menjadi prinsip dalam suatu uji kekerasan adalah terletak pada permukaan material pada saat permukaan material tersebut diberi perlakuan penekanan sesuai dengan parameter (diameter, beban, dan waktu). Berdasarkan mekanisme penekanan yang dilakukan pada saat proses pengujian, uji kekerasan dapat dibedakan menjadi tiga jenis metode pengujian dalam menentukan kekerasan suatu material, yaitu ^[25]:

1. Uji Kekerasan Metode Brinell (HB/BHN)

Metode pertama kali dilakukan oleh Brinell pada tahun 1900, metode ini merupakan pengidentifikasian sejumlah beban terhadap permukaan material dengan penekanan menggunakan bola baja yang telah dikeraskan. Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Brinell bertujuan untuk menentukan tingkat kekerasan suatu material (baja)

dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor yang ditekan pada permukaan material uji. Idealnya metode ini digunakan untuk material dengan tingkat kekerasan brinell 400 HB. HB merupakan simbol dari nilai kekerasan Brinell, nilai kekerasan tersebut merupakan hasil dari pembagian beban penekanan dengan luas permukaan lekukan bekas penekanan dari bola baja yang dapat dirumuskan dalam persamaan berikut ini:

$$HB = \frac{F}{\frac{\pi}{2} D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Keterangan:

HB = nilai kekerasan Brinell (HB)

D = diameter bola (mm)

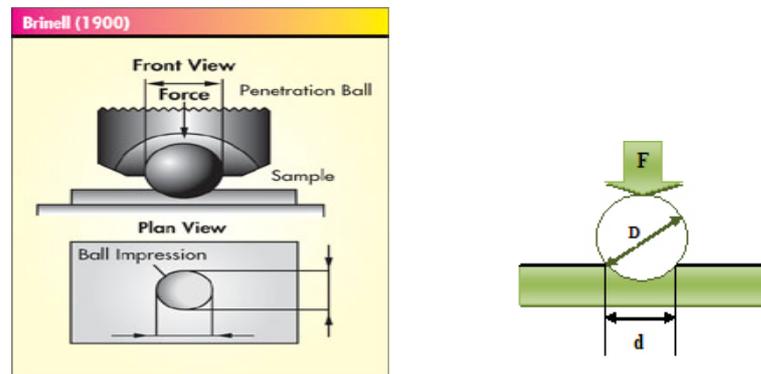
d = diameter lekukan (mm)

F = beban yang digunakan (kg)

Uji kekerasan metode Brinell menggunakan pembebanan standar antara 500 kg sampai dengan 3000 kg. Pemilihan beban tergantung dari nilai kekerasan material, semakin tinggi nilai kekerasan material maka beban yang digunakan juga semakin besar ^[25].

Tabel 2.1 Standar uji Brinell ^[6]

Diameter bola (mm)	Beban (kg)	Angka kekerasan (HB)
10	3000	96 - 600
10	1500	48 - 300
10	500	16 - 100



Gambar 2.18 Metode pengujian kekerasan Brinell [28].

2. Uji Kekerasan Metode Rockwell (HR/HRN)

Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan terhadap penekan atau indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji. Nilai kekerasan diperoleh berdasarkan perbedaan kedalaman dari beban mayor dan beban minor.

Beban mayor adalah beban yang diberikan pada material uji sampai mencapai kedalaman tertentu setelah diberi penekanan pada material uji. Sedangkan beban minor merupakan beban pertama yang diberikan oleh penekan kepada material uji saat mencapai permukaan yang berfungsi sebagai landasan untuk beban mayor. Nilai kekerasan dari metode Rockwell diperoleh berdasarkan bekas kedalaman penekan atau indenter. Makin keras material yang diuji maka semakin dangkal kedalaman yang terbentuk, sebaliknya semakin dalam masuknya penekan pada material menunjukkan material yang diuji memiliki nilai kekerasan yang rendah. Untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut^[25]:

$$HR = E - e$$

Keterangan:

HR = nilai kekerasan Rockwell (HR)

E = jarak antara penekan saat diberi beban minor dengan garis

acuan nol (*zero reference line*) untuk tiap jenis penekan.

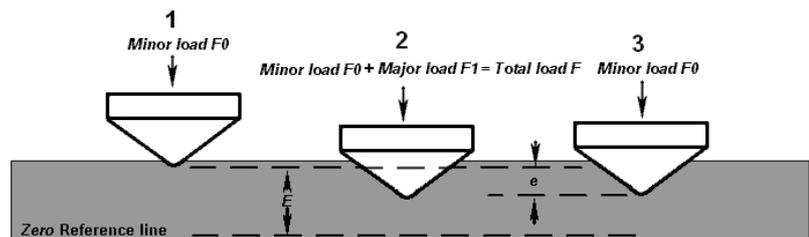
- e = perbedaan kedalaman penembusan pada permukaan material uji sebelum dan sesudah penambahan beban utama dan beban awal
- F0 = beban minor (kg)
- F1 = beban mayor (kg)
- F = total beban (Kg)

Dalam pengujian kekerasan Rockwell diperlukan keterangan mengenai kombinasi huruf pada angka kekerasan yang digunakan. Hal ini untuk menunjukkan kombinasi beban, jenis material uji, jarak penekan serta skala beban pada saat melakukan uji kekerasan metode Rockwell. Uji kekerasan Rockwell mampu melakukan uji pembebanan tekan hingga 150 kg ^[25].

Tabel 2.2 Skala kekerasan Rockwell ^[8]

Skala	Indentor	F0 (kg)	F1 (kg)	F (kg)	E	Jenis material uji
A	Intan	10	50	60	100	Material yang sangat keras seperti tungsten karbida
B	1/16" bola besi	10	90	100	130	Baja karbon sedang, baja karbon rendah.
C	Intan	10	140	150	100	Baja paduan
D	Intan	10	90	100	100	Kuningan anil, tembaga
E	1/8" bola besi	10	90	100	130	Tembaga berilium, perunggu fosfor,dll.
F	1/16" bola besi	10	50	60	130	Lembaran alumunium
G	1/16" bola	10	140	150	130	Paduan alumunium,

	besi					besi cor
H	1/8" bola	10	50	60	130	Pelat alumunium, timah
	besi					
K	1/8" bola	10	140	150	130	Besi cor, paduan alumunium
	besi					



Gambar 2.19 Prinsip kerja metode kekerasan Rockwell [28].

3. Uji Kekerasan Metode Vickers (HV/VHN)

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers merupakan pengujian kekerasan dengan pembebanan yang relatif kecil. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap penekanan intan berbentuk piramida sebagai indenter dengan sudut puncak 136° yang ditekan pada permukaan material uji. Beban yang digunakan pada uji kekerasan Vickers berkisar antara 1 kg sampai dengan 120 kg [25].

Perhitungan kekerasan pada metode ini didasarkan pada panjang diagonal segi empat indenter dan beban yang digunakan. Nilai dari hasil kekerasan pengujian Vickers disebut dengan nilai kekerasan HV, untuk menentukan nilai angka kekerasan tersebut, maka dapat menggunakan persamaan berikut ini [28]:

$$HV = \frac{F}{A} \times \sin \frac{\theta^2}{2} \dots \dots \dots (2.8.1 - 1)$$

$$HV = \frac{F \sin \frac{136^2}{2}}{\frac{d^2}{2}} \dots \dots \dots (2.8.1 - 2)$$

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \dots \dots \dots (2.8.1 - 3)$$

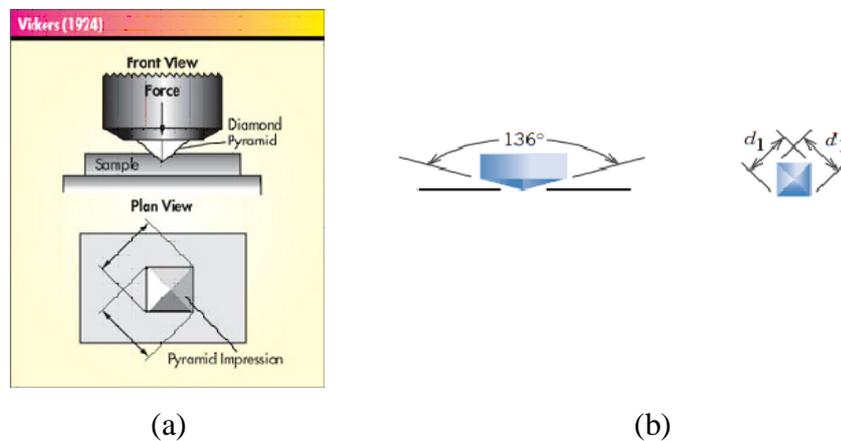
Keterangan:

HV = angka kekerasan Vickers (HV)

F = beban (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan (136°)



Gambar 2.20 (a) Pengujian Vickers (b) Bentuk indenter Vickers ^[8].

2.8.2 Mikrografi

Pengujian Mikrografi merupakan suatu pengujian untuk mendapatkan sifat dan karakteristik bentuk suatu material (baja). Pengujian mikrografi ini bertujuan untuk mengetahui bentuk struktur mikro yang terbentuk akibat proses perlakuan permukaan pada spesimen uji, dimana hasil dari pengujian struktur mikro ini digunakan untuk mendukung hasil dari analisa pengujian kekerasan. Pengujian mikrografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik OLYPUS BX41M untuk menghasilkan gambaran pencitraan struktur kristal dari sebuah logam atau baja.

Sebelum melakukan pengamatan struktur mikro, material uji (baja) harus melalui beberapa proses persiapan yang harus dilakukan yakni:

1. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses pemotongan material merupakan suatu proses untuk mendapatkan material uji dengan cara mengurangi dimensi awal material uji menjadi dimensi yang lebih kecil. Pemotongan material uji ini bertujuan untuk mempermudah pengamatan struktur mikro material uji pada alat scanning. Proses pemotongan material uji dapat dilakukan dengan cara pematahan, penggergajian, pengguntingan, dan lain-lain ^[25].

2. Pembinkaian (*Mounting*)

Proses pembinkaian sering digunakan untuk material uji yang mempunyai dimensi yang lebih kecil. Dalam pemilihan media pembinkaian haruslah sesuai dengan jenis material yang akan digunakan. Pembinkaian haruslah memiliki kekarasan yang cukup dan tahan terhadap distorsi fisik akibat panas yang dihasilkan pada saat proses pengamplasan. Proses pembinkaian ini bertujuan untuk mempermudah pengamplasan dan pemolesan ^[17].

3. Pengamplasan (*Grinding*)

Pengamplasan bertujuan untuk meratakan permukaan material uji setelah proses pemotongan material uji. Proses pengamplasan dibedakan atas pengamplasan kasar dan pengamplasan sedang. Pengamplasan kasar dilakukan sampai permukaan material uji benar-benar rata, sedangkan pengamplasan sedang dilakukan untuk mendapatkan permukaan material uji yang lebih halus. Pada saat melakukan proses pengamplasan material uji harus diberi cairan pendingin guna menghindari terjadinya overheating akibat panas yang ditimbulkan pada saat proses pengamplasan ^[16].

4. Pemolesan (*Polishing*)

Proses pemolesan bertujuan untuk menghasilkan permukaan material uji yang benar-benar rata dan sangat halus permukaannya hingga tampak mengkilap tanpa ada goresan sedikitpun pada material uji. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan serat kain yang diolesi larutan autosol metal polish ^[25].

5. Pengetsaan (*Etching*)

Pengetsaan bertujuan untuk memperlihatkan struktur mikro dari material uji dengan menggunakan mikroskop. Material uji yang akan di etsa harus bebas dari perubahan struktur akibat deformasi serta dipoles secara teliti dan merata pada seluruh permukaan material uji yang akan diuji struktur mikronya^[25].

Setelah semua proses persiapan dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran yang telah ditentukan. dari hasil pengamatan mikroskopis akan diperoleh informasi dan analisa data tentang struktur mikro yang terbentuk pada material uji.