

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Pengertian *squeeze casting*

Squeeze casting adalah kombinasi proses pengecoran dan penempaan yang dilakukan dengan bantuan tekanan pada logam semi padat. Penerapan tekanan yang cukup untuk mencegah munculnya porositas gas atau porositas penyusutan dari semua proses pengecoran lainnya (M. Dhanashekara, dkk, 2014). Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound-cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan yaitu :

a) Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)

Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6–55°C di atas temperatur *liquidus*. Dalam proses penuangan diperlukan pengaturan temperatur penuangan, hal ini karena temperatur penuangan banyak sekali mempengaruhi kualitas coran, temperatur penuangan yang terlalu rendah menyebabkan pembekuan pendek, kecairan yang buruk dan menyebabkan kegagalan pengecoran. Selain itu dalam penuangan penting sekali dilakukan dengan cepat. Waktu penuangan yang cocok perlu ditentukan dengan mempertimbangkan berat dan tebal coran, sifat cetakan, dll.

b) Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)

Temperatur normal adalah 190–315°C. Untuk produk cor yang mempunyai penampang relatif tebal, rentang temperatur ini dapat diturunkan. Biasanya temperatur *punch* diatur 15-30°C dibawah temperatur *die* terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai diantara keduanya. Kelonggaran yang berlebihan antara *punch* dan *die* mengakibatkan erosi pada permukaan keduanya.

c) Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)

Diperlukan kontrol yang kuat akurat ketika logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak (*die cavity*).

d) Waktu Tunggu (*Time Delay*)

Adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair. Bentuk penampang yang kompleks memerlukan waktu yang cukup bagi logam cair mengisi keseluruhan rongga cetakan. Untuk itu perlu adanya tenggang waktu yang



cukup sebelum *punch* menyentuh dan menekan logam cair. Hal ini untuk menghindari terjadinya porositas akibat penyusutan (*shrinkage porosity*).

e) Batas Tekanan (*Pressure Level*)

Rentang tekanan normal adalah 50-140 Mpa, tergantung pada bentuk geometri komponen serta sifat mekanis yang dibutuhkan. Tetapi dimungkinkan tekanan minimum adalah 40 Mpa. Tekanan yang sering digunakan 70 Mpa.

f) Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)

Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* dititik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepas). Untuk benda cor dengan berat hingga 9 kg, durasi penekanan yang sering dipakai bervariasi antara 30-120 detik.

g) Pelumasan (*Lubrication*)

Proses *squeeze casting* membutuhkan pelumas pada permukaan *dies* untuk memudahkan proses pengambilan produk cor dari cetakkannya.

h) Kecepatan Pengisian (*Filling rate*)

Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tinggi kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar.

2.2. Pengaruh temperatur tuang (*Casting Temperature*).

Temperatur tuang adalah salah satu unsur penting yang harus di perhatikan dalam memproduksi produk pengecoran yang berkualitas tinggi, karena faktor ini sangat berpengaruh terhadap kualitas coran yang meliputi mikrostruktur dan sifat mekanis sehingga didapatkan hasil coran yang mempunyai sifat fisik yang baik. Temperatur tuang merupakan salah satu variabel dari sekian banyak variabel yang terdapat pada proses pengecoran. Variabel ini penting karena faktor jika temperatur tuang terlalu rendah maka rongga cetakan tidak terisi penuh dimana logam cair akan membeku terlebih dahulu pada saluran masuk, dan jika temperatur tuang terlalu tinggi maka hal ini akan mengakibatkan penyusutan dan kehilangan akan keakuratan dimensi coran (Mohammad Tofa Wijaya dkk,2017).

Variasi temperatur tuang akan mempengaruhi karakteristik dari benda hasil coran. Kekerasan secara umum menurun dengan meningkatnya suhu tuang. Suhu tuang maksimal adalah 700°C menghasilkan nilai kekerasan 97.86VHN (Vignesh R,2016).



Penelitiannya tentang pengaruh temperatur dan waktu peleburan terhadap komposisi Al dan Mg dalam paduan. Metode pengecoran yang digunakan adalah pengecoran tuang dimana suatu logam cair dituang ke dalam cetakan tanpa adanya

tekanan, selanjutnya dibiarkan membeku dalam cetakan dengan pendinginan temperatur ruang. Tungku untuk peleburan menggunakan tungku jenis krusibel dan cetakan dari logam Material untuk pengecoran digunakan paduan aluminium magnesium (Al-17%Mg) sekrap. Paduan Al-Mg dilebur dalam tungku pada variasi temperatur 650°C, 700°C, dan 750°C dengan waktu peleburan 5, 10 dan 15 menit, kemudian dituang dalam cetakan logam (temperatur 200°C), dan selanjutnya dibiarkan membeku dan dingin dalam cetakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur peleburan komposisi Al dalam paduan cenderung semakin meningkat, sedangkan komposisi Mg semakin menurun. Semakin lama waktu peleburan komposisi Al dalam paduan cenderung semakin meningkat, komposisi Mg semakin menurun. Temperatur dan waktu peleburan optimum adalah 650°C waktu 5-10 menit, 700°C waktu 5 menit (**Rudi Siswanto, 2014**).

Beberapa peneliti menyatakan mampu alir meningkat dengan meningkatnya temperatur tuang. Perbedaan temperatur penuangan memberikan waktu lebih lama logam cair mencapai temperatur beku sehingga berpengaruh pada mampu alir logam. Semakin besar ketebalan pola cetakan semakin baik mampu alir. Semakin tebal pola cetakan volume logam cair yang masuk semakin banyak, sebaliknya semakin tipis pola cetakan volume logam cair yang masuk semakin sedikit, hal ini menyebabkan panjang mampu alir semakin pendek.

melakukan penelitian tentang pengaruh variasi temperatur tuang terhadap kekerasan dan struktur mikro pada hasil remelting aluminium paduan dengan cetakan logam. Dimana variasi temperatur tuangnya sebesar 700°C, 725°C, dan 750°C, didapat temperatur tuang pengecoran yang paling optimal untuk menghasilkan kualitas pengecoran yang terbaik terhadap kekerasan hasil remelting aluminium tromol Supra X dengan cetakan logam adalah temperatur tuang 700°C memperoleh rata-rata kekerasan sebesar 86,17 HBN, pada temperatur tuang 725°C diperoleh rata-rata kekerasan sebesar 84,57 HBN, pada temperatur tuang 750°C diperoleh rata-rata kekerasan 83,03 HBN, dan pada aluminium paduan yang tidak mengalami pengecoran diperoleh kekerasan sebesar 90,36 HBN.



2.3. Pengaruh beban penekan (*pressure load*).

Komposit hibrida alumunium LM6 memiliki sifat yang bagus seperti koefisien ekspansi panas yang rendah, ketahanan aus yang lebih baik dan sifat mekanik yang tinggi. Penerapan tekanan dapat meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik dan ketangguhan seiring dengan bertambahnya tekanan yang diberikan. Proses pengecoran dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan melalui jalan yang menghubungkan tungku peleburan dengan cetakan. Jalan

setapaknya dipanaskan untuk mempertahankan fluiditas logam cair kemudian ditekan dengan pers hidrolis. Dengan divariasikannya beban penekanan dan durasi penekanan didapatkan kesimpulan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan luluh dan kekuatan tarik akhir komposit meningkat dengan meningkatnya tekanan maksimum dengan beban sebesar 120 MPa dengan durasi penekanan selama 60 detik. Sehingga kepadatan dan kekerasan produk coran dapat meningkat dengan meningkatnya tekanan yang diberikan perlakuan panas T6 Menurut (M. Kamaraj, 2015)

Proses pengecoran *squeeze casting* akan menghasilkan produk akhir yang lebih akurat dengan kualitas yang baik dibandingkan dengan pengecoran dengan metode lainnya. Hasil pengecoran terlihat lebih padat dan lebih homogen serta memiliki sifat mekanik yang baik. dengan menggunakan bahan daur ulang 25 kg piston dan 25 kg roda dalam bentuk campuran (rem, penutup mesin dan perabot rumah tangga) yang telah di lebur di unit pengolahan. Proses pengecoran dilakukan dengan ditungkannya cairan ke dalam sebuah cetakan pada suhu 750° C kemudian diberi tekanan selama 60 hingga 70 detik. Proses tekanan diulang pada beban 50, 70, 90, 110, 130 dan 150 MPa. Kemudian bahan tersebut dikeluarkan dari cetakan. Hasil uji kekerasan permukaan alumunium daur ulang sebesar 84,75% Al dan 8,985% Si dengan kekerasan permukaan 130 MPa pada tekanan 89,75 HBN. Meningkatnya tingkat tekanan pada paduan aluminium di permukaan telah memberikan tekanan yang signifikan pada proses, ini dikarenakan karena kepadatan paduan elemen selama proses pembekuan. Semakin besar tekanan, kekerasan akan semakin meningkat. Namun, jumlah tekanan memiliki batas-batasnya untuk proses solidifikasi logam dan sifat dari logam cair. Dalam proses ini kekerasan meningkatkan hingga 22% yang dipengaruhi waktu penekanan, suhu dan beban penekan. Teknik *squeeze casting* berpengaruh besar pada sifat mekanik bahan, terutama kekerasan permukaan (M. Dhanashekara dkk, 2014).



2.4. Perlakuan panas T6 (*heat treatment*)

Heat treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan cara memanaskan specimen pada *electric trance* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu, kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda beda. Dengan adanya pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu, maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Perlakuan panas memiliki pengaruh yang besar pada karakteristik komposit seperti kekerasan dan ketahanan aus yang lebih baik.

Perlakuan panas pada aluminium paduan dilakukan dengan memanaskan sampai terjadi fase tunggal kemudian ditahan beberapa saat dan diteruskan dengan pendinginan cepat hingga tidak sempat berubah ke fase lain. Jika bahan tadi dibiarkan untuk jangka waktu tertentu maka terjadilah proses penuaan (*aging*). Perubahan akan terjadi berupa presipitasi (pengendapan) fase kedua yang dimulai dengan proses nukleasi dan timbulnya klaster atom yang menjadi awal dari presipitat. Presipitat ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Proses ini merupakan proses *age hardening* yang disebut *natural aging*. Jika setelah dilakukan pendinginan cepat kemudian dipanaskan lagi hingga di bawah temperatur solvus (*solvus line*) kemudian ditahan dalam jangka waktu yang lama dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat di udara disebut proses penuaan buatan (*artificial aging*).

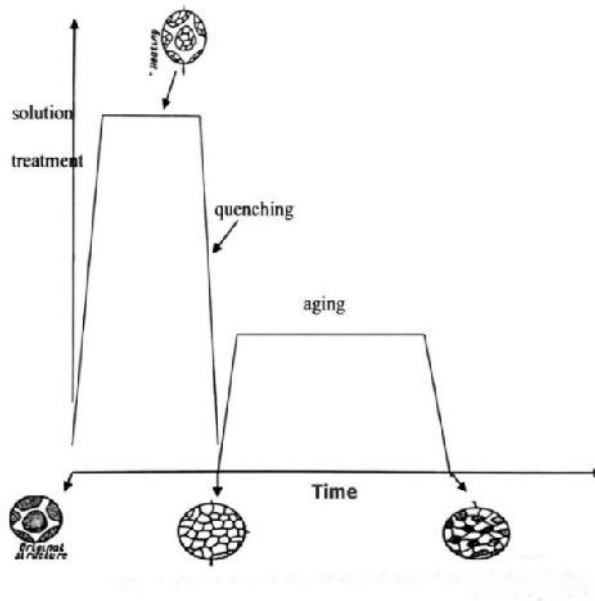
Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan penuaan keras (*age hardening*). Melalui penuaan keras, logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Dahulu orang menyebut penuaan keras dengan sebutan pemuliaan atau penemperan keras. Penamaan tersebut kemudian dibakukan menjadi penuaan keras karena penemperan keras pada logam paduan aluminium berbeda dengan penemperan keras yang berlangsung pada penemperan keras baja.

Paduan aluminium yang dapat ditua keraskan atau di *age hardening* dibedakan atas paduan aluminium yang dapat ditua keraskan dalam keadaan dingin dan paduan aluminium yang dapat ditua keraskan dalam keadaan panas. Penuaan keras berlangsung dalam tiga tahap.

Tahapan perlakuan panas T6 (*Age Hardening*) adalah :

1. *Solution treatment*
2. *Quenching*

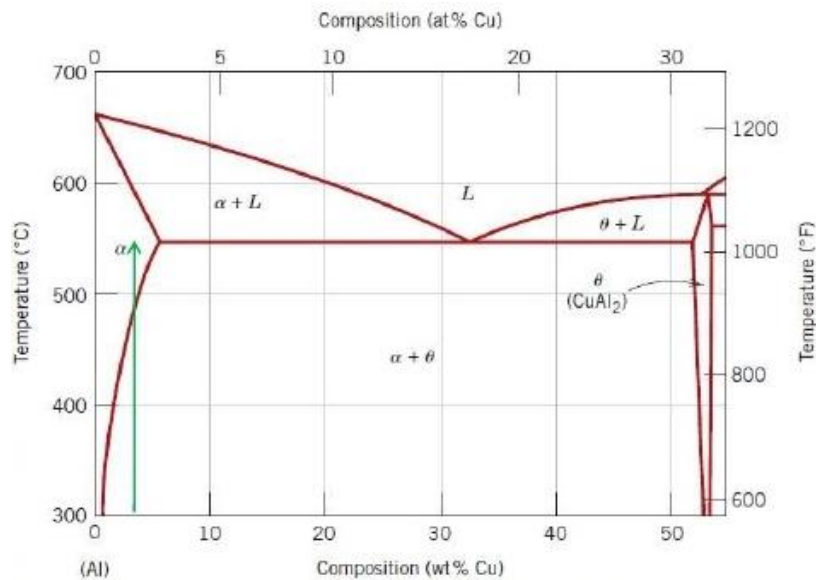
3. Aging



Gambar 2. 1 Siklus Perlakuan Panas T6

2.2.1. *Solution heat treatment* (perlakuan panas pelarutan).

Tahap pertama dalam proses age hardening yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 550°C - 560°C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja. Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen.

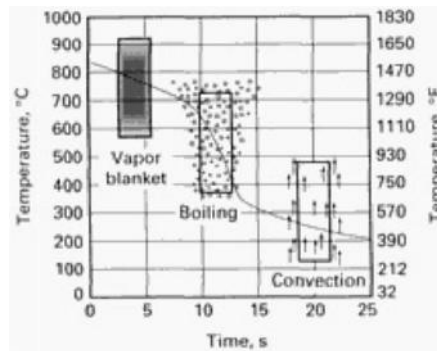


Gambar 2. 2 Diagram fasa perlakuan panas Al-Cu

2.2.2. *Quenching* (pendinginan cepat)

Quenching (pendinginan cepat) dengan mencelupkan ke dalam air atau media pendingin lainnya yang dilakukan pada temperatur rendah untuk memperoleh larutan padat jenuh dalam.

Quenching atau pendinginan cepat, bertujuan mempertahankan larutan padat yang telah terbentuk, dapat pula dikatakan bahwa proses ini berguna untuk menahan atom-atom yang larut dalam atom pelarut. Jadi ketika paduan didinginkan dari temperatur pelarut dalam keadaan cepat. Proses pembentukan presipitat dalam aluminium terjadi dengan cepat pada temperatur 260-400 . Walaupun pendinginan cepat akan menciptakan tegangan sisa dan distorsi tetapi ini juga menjadi suatu pertimbangan tersendiri pada setiap proses desain paduan. Pendinginan cepat juga memperbaiki ketahanan terhadap korosi.



Gambar 2. 3. Tiga tahap pendinginan.

a) *In the vapor blanket stage*

Suhu permukaan sangat tinggi sehingga media pendingin diuapkan dan uap tipis terbentuk di sekitar bagian tersebut. Perpindahan panas terjadi melalui radiasi melalui selimut uap, yang karenanya bertindak sebagai lapisan isolasi. Tingkat pendinginan rendah. Durasi waktu dari lapisan selimut uap dapat sangat bervariasi di antara cairan pendinginan yang berbeda dan juga dipengaruhi oleh kondisi permukaan (misalnya, adanya skala oksida) dan seberapa padat benda kerja yang dimuat pada nampan tungku.

b) *The boiling stage*

Dimulai saat suhu permukaan turun ke titik di mana panas radiasi tidak menopang selimut uap yang stabil. Cairan yang dibawa ke dalam kontak dengan permukaan panas langsung mendidih dan gelembung uap meninggalkan permukaan logam dan memberikan perpindahan panas yang efisien. Hal ini memberikan tingkat ekstraksi panas yang tinggi.

c) *The convection stage*

Dimulai saat suhu permukaan turun ke titik didih media pendinginan. Perpindahan panas terjadi dengan kontak langsung antara permukaan dan cairan. Tingkat pendinginan rendah dan dipengaruhi terutama oleh viskositas dan tingkat konveksi.

2.2.3. Aging (tahap penuaan).

Aging dapat dilakukan dengan membiarkan larutan lewat jenuh itu pada temperatur kamar selama beberapa waktu. Dinamakan *natural aging* atau dengan



memanaskan kembali larutan lewat jenuh itu ke temperatur di bawah garis solvus dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama beberapa saat. Dinamakan *artificial aging*. Bila *aging* temperatur terlalu tinggi dan atau *aging time* terlalu panjang maka partikel

yang terjadi akan terlalu besar (sudah mikroskopik) sehingga efek penguatannya akan menurun bahkan menghilang sama sekali, dan ini dinamakan *over aged*.

Setelah dilakukan pendinginan cepat kemudian dipanaskan lagi hingga dibawah temperatur solvus (*solvus line*) kemudian ditahan dalam jangka waktu yang lama dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat di udara. Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada logam paduan dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*).

Aging (perlakuan penuaan) yaitu perlakuan panas dengan menahannya pada suatu temperatur tertentu (temperatur kamar atau temperatur dibawah *solvus line*/batas pelarut) untuk jangka waktu tertentu. Penuaan dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- 1) Penuaan yang dilakukan dengan membiarkan larutan padat jenuh itu pada temperatur kamar selama beberapa waktu, dinamakan *natural aging* yaitu penuaan yang terjadi secara alamiah.
- 2) Penuaan dengan memanaskan kembali larutan padat jenuh itu kesuatu temperatur di bawah garis *solvus* dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama beberapa saat, dinamakan *artificial aging* (*aging* buatan/*aging treatment*).

2.5. Pengujian struktur mikro SEM – EDS (*scanning elektron M\microscope & energy dispersive x-ray spectroscopy*)

Dasar teori SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar spesimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam scan pola raster. Elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik. Jenis sinyal yang dihasilkan oleh SEM meliputi elektron sekunder, elektron yang berhamburan-balik/*back-scattered electron* (BSE), karakteristik sinar-X, cahaya (*cathodoluminescence*), arus spesimen dan pancaran elektron-elektron. Detektor elektron sekunder biasanya terdapat di semua SEM, tetapi jarang di sebuah mesin memiliki detektor yang dapat membaca



semua sinyal. Sinyal ini adalah hasil interaksi dari sinar elektron dengan atom yang dekat permukaan spesimen. Mode deteksi yang paling umum atau standar, pencitraan elektron sekunder atau *secondary electron imaging* (SEI), SEM dapat menghasilkan gambar resolusi sangat tinggi dari permukaan spesimen,

menghasilkan ukuran yang detailnya kurang dari 1 nm. Karena berkas elektron sangat sempit, gambar SEM memiliki kedalaman yang dapat menghasilkan tampilan karakteristik tiga-dimensi yang berguna untuk mengetahui struktur permukaan spesimen. SEM memungkinkan beberapa perbesaran, dari sekitar 10 kali (sekitar setara dengan lensa tangan) sampai lebih dari 500.000 kali perbesaran, atau sekitar 250 kali kemampuan perbesaran mikroskop optik. Elektron yang menyebar kembali (BSE) merupakan sinar elektron yang tercermin dari spesimen dengan hamburan elastis. BSE sering digunakan dalam analisis SEM bersama dengan spektrum yang terbuat dari karakteristik sinar-X. Karena intensitas sinyal BSE sangat terkait dengan nomor atom (Z) dari spesimen, gambar BSE dapat memberikan informasi tentang distribusi unsur yang berbeda dalam spesimen. Untuk alasan yang sama, pencitraan BSE dapat menggambarkan label koloid emas immuno yang berdiameter 5 atau 10 nm, sehingga sulit atau mustahil untuk mendeteksi elektron sekunder pada gambar spesimen biologis. Karakteristik sinar-X dipancarkan ketika sinar elektron menghilangkan elektron kulit bagian dalam dari spesimen, menyebabkan elektron yang energinya lebih tinggi untuk mengisi kulit dan melepaskan energi. Karakteristik sinar-X ini digunakan untuk mengidentifikasi komposisi dan mengukur kelimpahan unsur-unsur dalam spesimen.

Tabel 2. 1. Penjelasan jenis sinyal, detector, dan resolusi lateral serta kedalaman sinyal untuk menggambar dan menganalisa material di SEM

Sinyal Deteksi	Informasi yang Didapat	Resolusi Lateral	Kedalaman dari Informasi
<i>Secondary electrons</i>	Topografi permukaan, kontras komposisi	5-100 nm	5-50 nm



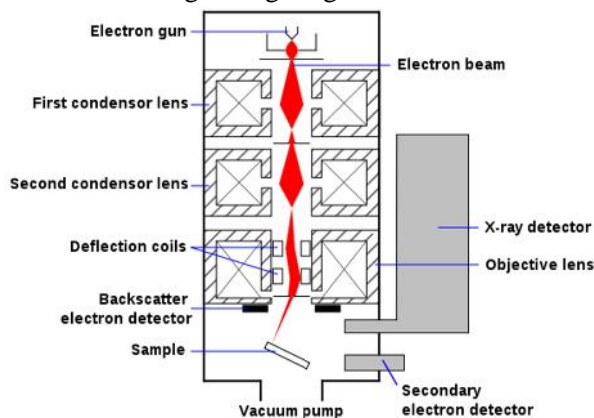
<i>Backscattered electrons</i>	Kontras komposisi, topografi permukaan, orientasi kristal, domain magnet	50-100 nm	30-1000 nm
<i>Specimen current</i>	Kontras yang lengkap ke <i>backscattered</i> dan sinyal <i>secondary electron</i>	50-100 nm	30-1000 nm
<i>Characteristic x-rays (primary fluorescence)</i>	Komposisi elemen, distribusi elemen	0,5-2 μm	0,1-1 μm
<i>Cathodoluminescence</i>	Deteksi fasa nonmetal dan semikonduksi

Cara kerja SEM, dimulai dengan suatu sinar elektron dipancarkan dari *electron gun* yang dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Tungsten biasanya digunakan pada *electron gun* karena memiliki titik lebur tertinggi dan tekanan uap terendah dari semua logam, sehingga memungkinkan dipanaskan untuk emisi elektron, serta harganya juga murah. Sinar elektron difokuskan oleh satu atau dua lensa kondensor ke titik yang diameternya sekitar 0,4 nm sampai 5 nm. Sinar kemudian melewati sepasang gulungan pemindai (*scanning coil*) atau sepasang pelat deflektor di kolom elektron, biasanya terdapat di lensa akhir, yang membelokkan sinar di sumbu x dan y sehingga dapat dipindai dalam mode raster di area persegi permukaan spesimen. Ketika sinar elektron primer berinteraksi dengan spesimen, elektron kehilangan energi karena berhamburan acak yang berulang dan penyerapan dari spesimen atau disebut volume interaksi, yang membentang dari kurang dari 100 nm sampai sekitar 5 μm ke permukaan. Ukuran volume interaksi tergantung pada energi elektron untuk mendarat, nomor atom dan kepadatan dari spesimen tersebut. Pertukaran energi antara sinar

elektron dan spesimen dapat diketahui di refleksi energi tinggi elektron pada hamburan elastis (*elastic scattering*), emisi elektron sekunder pada hamburan inelastik (*inelastic scattering*), dan emisi radiasi elektromagnetik, yang masing-masing dapat dideteksi oleh detektor khusus. Arus dari sinar yang diserap oleh spesimen juga dapat dideteksi dan digunakan untuk membuat gambar dari penyebaran arus spesimen. Amplifier elektronik digunakan untuk memperkuat sinyal, yang ditampilkan sebagai variasi terang (*brightness*) pada tabung sinar katoda. Raster pemindaian layar CRT disinkronkan dengan sinar pada spesimen di mikroskop, dan

gambar yang dihasilkan berasal dari peta distribusi intensitas sinyal yang dipancarkan dari daerah spesimen yang dipindai. Gambar dapat diambil dari fotografi tabung sinar katoda beresolusi tinggi, tetapi pada mesin modern digital, gambar diambil dan ditampilkan pada monitor komputer serta disimpan ke *hard disk* komputer

Pengujian SEM memerlukan permukaan spesimen yang tidak rata, sehingga spesimen yang sudah halus dan rata dari pengujian mikroskop optik dan *emission spectrometer* dititik menggunakan palu agar permukaannya tidak menjadi rata. Karena pada percobaan pertama tidak terlihat di layar, maka spesimen kemudian dilapisi oleh emas (*aurum*) yang bertujuan untuk memperbesar kontras antara spesimen yang akan diamati dengan lingkungan sekitar.



Gambar 2. 4. Skema SEM

1. Sinar -X.

Sinar -X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 0,5 – 2,5 Å. Sinar -X dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi



dengan logam sasaran. Oleh karena itu, suatu tabung sinar $-X$ harus mempunyai suatu sumber elektron, voltase tinggi dan logam sasaran. Selanjutnya elektron-elektron yang ditumbukan ini mengalami pengurangan kecepatan dengan cepat dan energinya diubah menjadi foton.

➤ Dengan :

E = Energi kinetik (joule) k

M = Massa elektron (kg) 10×10^{-31}

e = Muatan elektron (coloumb) 10×10^{-19}

v = Kecepatan elektron m/s

V = Voltase lewat elektroda (volt)

C = Laju cahaya (s/m) 10×10^8

V = Voltase yang diberikan dari luar (volt) maks

2. Difraksi sinar $-X$.

Apabila suatu bahan dikenai sinar $-X$ maka intensitas sinar $-X$ Yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama. Berkas sinar $-X$ yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi. Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar $-X$ yang dihamburkan merupakan berkas difraksi, yang dikenal sebagai Hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas sinar $-X$ harus merupakan kelipatan panjang gelombang, secara matematis dirumuskan :

$$n \lambda = d \sin \theta \quad (2.1)$$

Dengan n bilangan bulat 1, 2, 3.....adalah panjang gelombang sinar $-X$ adalah jarak antar bidang, dan θ adalah sudut difraksi.

3. Komponen dasar X-RD.

a) Sinar $-X$.

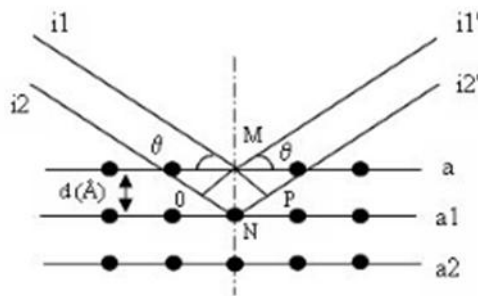
- Prinsip kerja sinar $-X$.

Sinar $-X$ merupakan salah satu radiasi electromagnetic yang mempunyai energy antara 200 eV-1 MeV dengan panjang gelombang antara 0,5-2,5 A. Panjang gelombangnya hampir sama dengan jarak antara atom dalam kristal, menyebabkan sinar-X menjadi salah satu teknik dalam analisa mineral. Elektron-elektron pada atom akan membiaskan berkas bidang yang tersusun secara periodik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14. Difraksi sinar sinar-X oleh atom-atom pada bidang

atom paralel a dan a_1 yang terpisah oleh jarak d . Dianggap bahwa dua berkas sinar-X i_1 dan i_2 yang bersifat paralel, monokromatik dan koheren dengan panjang gelombang datang pada bidang dengan sudut θ . Jika kedua berkas sinar tersebut berturut-turut terdifraksi oleh M dan N menjadi i_1' dan i_2' yang masing-masing membentuk sudut terhadap bidang dan bersifat paralel, monokromatik dan koheren, perbedaan panjang antara $i_1 - M - i_1'$ dengan $i_2 - N - i_2'$ adalah sama dengan n kali panjang gelombang, maka persamaan difraksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n \lambda = ON + NP \text{ atau}$$

$$n \lambda = d \sin \theta + d \sin \theta = 2 d \sin \theta \quad (1)$$



Gambar 2. 5. Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang.

Persamaan (1) dikenal sebagai Hukum Bragg, dengan n adalah bilangan refleksi yang bernilai bulat (1, 2, 3, 4,...). Karena nilai $\sin \theta$ tidak melebihi 1, maka pengamatan berada pada interval $0 < \theta < \pi/2$, sehingga: $\sin \theta < 1$

(2) Difraksi untuk nilai n terkecil ($n = 1$), persamaan tersebut dapat diubah menjadi:

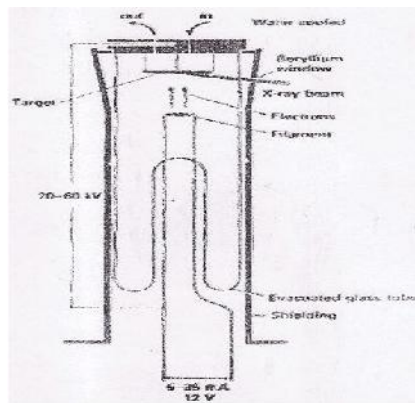
$$\lambda < 2d$$

Persamaan (3) menjelaskan bahwa panjang gelombang sinar-X yang digunakan untuk menentukan struktur kristal harus lebih dari jarak antara atom. Difraksi sinar-X yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti stress, ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal dan cacat kristal) dari tiap fasa. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut.

Dengan berbagai sudut timbul, pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya dengan sebuah data base internasional.

- Pembangkitan Sinar-X

Sinar-X dihasilkan dari penembakan target (logam *anoda*) oleh elektron berenergi tinggi yang berasal dari hasil pemanasan filamen dari tabung sinar-X (*Rontgen*). Tabung sinar-X tersebut terdiri atas empat komponen utama, yakni filamen (*katoda*) yang berperan sebagai sumber elektron, ruang vakum sebagai pembebasan hambatan, target sebagai *anoda*, sumber tegangan listrik.

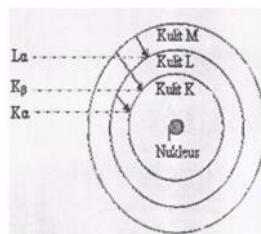


Gambar 2. 6. Skema tabung sinar-X

Untuk dapat menghasilkan sinar-X dengan baik, maka logam yang digunakan sebagai target harus memiliki titik leleh tinggi dengan nomor atom (Z) yang tinggi agar tumbukan lebih efektif. Logam yang biasa digunakan sebagai target (*anoda*) adalah Cr, Cu, Fe, Co, Mo dan Ag.

- Karakteristik Sinar-X

Sinar -X dapat pula terbentuk melalui proses perpindahan elektron suatu atom dari tingkat energi yang energi yang lebih rendah. energi dalam atom dapat menerangkan terjadinya atom (gambar 2.8).Sinar-x proses ini mempunyai selisih energi antara



lebih tinggi ke tingkat Adanya tingkat-tingkat digunakan untuk spektrum sinar-X dari suatu yang terbentuk melalui energi yang sama dengan kedua tingkat energi



elektron yang berbeda-beda maka sinar-X yang terbentuk dari proses ini disebut karakteristik sinar-X.

Gambar 2. 7. Ilustrasi transisi elektron dalam sebuah atom

Karakteristik sinar-X terjadi karena elektron yang berada pada kulit K terionisasi sehingga terpelempar keluar. Kekosongan kulit ini segera diisi oleh elektron dari kulit diluarnya. Jika kekosongan pada kulit K diisi oleh elektron dari kulit L, maka akan

dipancarkan karakteristik sinar-X K . Jika kekosongan itu diisi oleh elektron dari kulit M, maka akan dipancarkan karakteristik sinar-X K dan seterusnya.

b) Detector.

Sebelum sinar-X sampai ke detektor melalui proses optik. Sinar-X yang panjang gelombangnya dengan intensitas I mengalami refleksi dan menghasilkan sudut difraksi 2θ . Jalan sinar-X diperlihatkan oleh gambar 2.14 berturut-turut sebagai berikut :

- 1) Sumber sinar-X
- 2) Celah *soller*
- 3) Celah penyebar
- 4) Spesimen
- 5) Celah anti menyebar
- 6) Celah penerima
- 7) Celah *soller*
- 8) Detektor