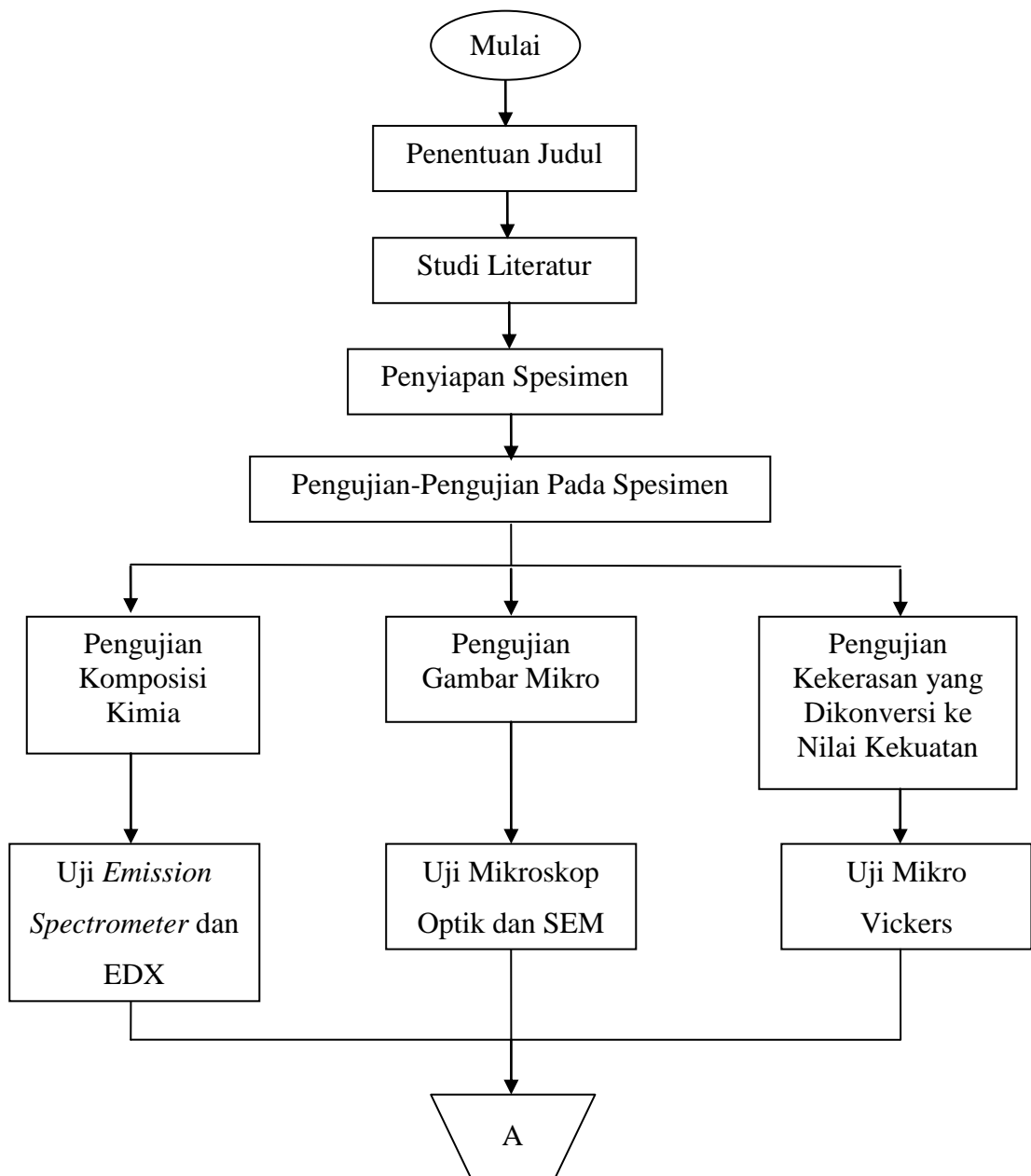
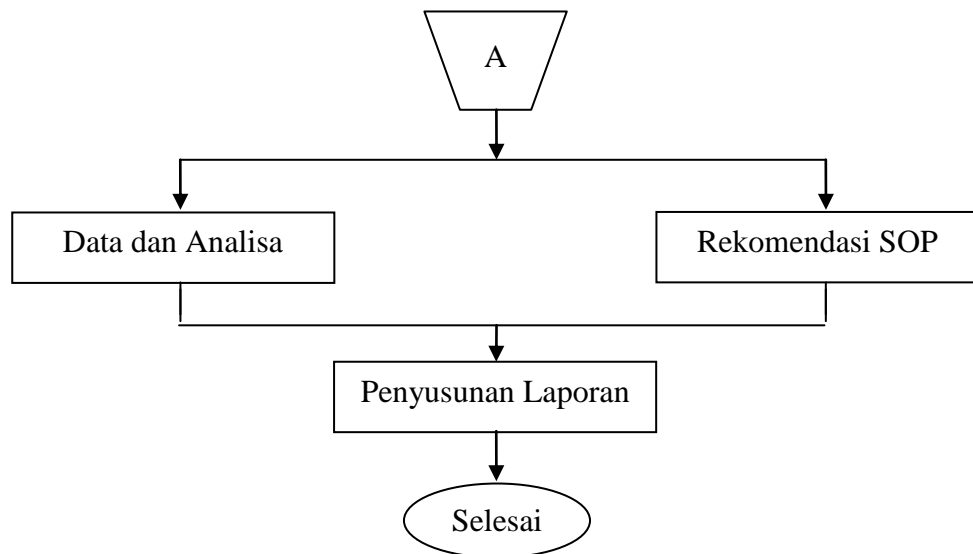


## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini langkah-langkah penelitian mengacu pada diagram alir pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

Keterangan:

1. Penentuan judul

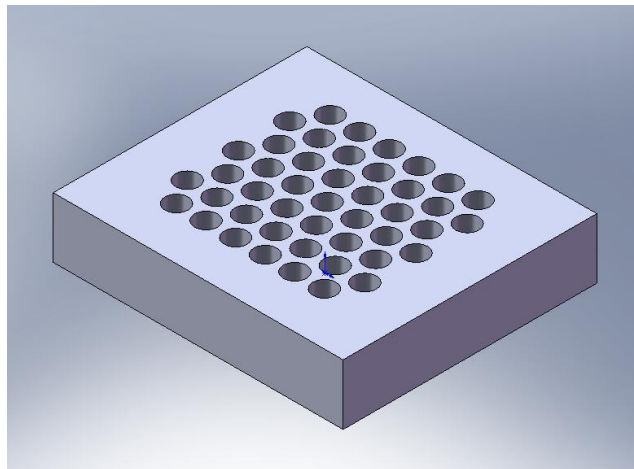
Penentuan judul dilakukan untuk menentukan topik dan materi apa yang akan dibahas dalam penelitian ini.

2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari materi dan teori yang berhubungan dengan penelitian ini dan memudahkan dalam menentukan proses yang akan dilakukan selama penelitian. Materi yang dibutuhkan antara lain uji komposisi kimia *emission spectrometer*, uji gambar mikro mikroskop optik dan SEM, dan pengujian nilai kekerasan *Micro Vickers*.

3. Penyiapan spesimen

Penyiapan spesimen disini adalah mengambil material hasil pengelasan yang sering mengalami retak (*crack*) di PT. Siemens Indonesia melalui CV. CMS selaku perusahaan yang menangani *overhaul* di PT. Siemens Indonesia. Material hasil pengelasan yang didapat adalah berupa sambungan plat dengan pipa yang sudah di las. Gambar plat ditunjukkan pada Gambar 3.2. Ukuran plat dan lubang ditampilkan pada Lampiran.



Gambar 3.2 Plat

Material yang didapat kemudian dipotong menjadi beberapa bagian kecil spesimen guna mempermudah keperluan penelitian.

4. Pengujian-pengujian pada spesimen

Ada tiga macam pengujian untuk memperoleh data yang dibutuhkan penelitian tugas akhir ini, yaitu pengujian komposisi kimia, gambar mikro, dan nilai kekerasan yang akan dikonversi menjadi nilai kekuatan.

5. Uji *emission spectrometer* dan EDX

Uji *emission spectrometer* dan EDX pada spesimen merupakan pengujian untuk mengetahui senyawa kimia yang terkandung pada spesimen.

6. Uji mikroskop optik dan SEM

Uji mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) digunakan untuk mengetahui gambar struktur mikro spesimen.

7. Uji mikro Vickers

Uji mikro Vickers berguna untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen.

8. Data dan analisa

Mengolah data-data yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi dan menampilkan data-data tersebut dalam bentuk grafik dan tabel yang dibuat dalam penulisan laporan.

## 9. Kesimpulan dan saran

Menarik kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisa. Dan memberi saran untuk lanjutan dari penelitian ini.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2011 sampai Januari 2012, dan untuk tempatnya:

1. Untuk penyiapan spesimen berupa pemotongan material hasil pengelasan menjadi beberapa bagian kecil yang dilakukan di LIK (Lingkungan Industri Kecil) Semarang.
2. Untuk pengujian *emission spectrometer* dan pengujian mikroskop optik dilakukan di Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Ceper.
3. Untuk pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDX dilakukan di Laboratorium Sentral Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Universitas Negeri Malang.
4. Untuk pengujian nilai kekerasan mikro Vickers dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada.

### 3.3 Alat dan Bahan

#### *Alat*

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

#### a. Cetakan

Cetakan yang digunakan adalah cetakan dari pipa paralon untuk keperluan *mounting* (pemegangan) spesimen.

#### b. Mesin *Polish*

Mesin *polish* digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen yang telah di *mounting* agar menghasilkan gambar yang bagus di mikroskop optik.

### ***Bahan***

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

a. Spesimen

Spesimen disini adalah logam hasil pengelasan yang sering mengalami retak (*crack*) di PT. Siemens Indonesia yang didapat melalui CV. CMS selaku perusahaan yang menangani *overhaul* di PT. Siemens Indonesia.

b. Cobalt, Resin, dan Katalis

Cobalt, resin, dan katalis digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat *mounting*. Bahan-bahan ini diperoleh dari Multi Kimia Raya Semarang.

c. HNO<sub>3</sub>, HCl, *Acetic Acid*

HNO<sub>3</sub>, HCl, *Acetic Acid* adalah cairan kimia yang digunakan sebagai campuran pengetsaan untuk keperluan pengambilan gambar struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Bahan-bahan ini diperoleh dari Multi Kimia Raya Semarang.

d. Amplas

Amplas digunakan untuk memperhalus dan meratakan permukaan spesimen setelah di *mounting* agar pantulan cahayanya rata ketika dilihat struktur mikronya di mikroskop optik. Adapun amplas yang digunakan dari beberapa jenis nomor, yaitu 400, 600, 800, 1000, dan 1200.

e. Kain Beludru dan Autosol

Kain beludru dan autosol digunakan pada saat proses *polish* agar permukaan spesimen mengkilap.

### **3.4 Pengujian *Emission Spectrometer***

Cahaya terdiri dari radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang yang berbeda. Karena itu, ketika elemen atau senyawa dipanaskan, baik pada api atau dengan busur listrik, akan memancarkan energi dalam bentuk cahaya. Analisis cahaya ini, dengan bantuan dari spektroskop dapat memberikan spektrum yang terputus. Sebuah spektroskop atau spektrometer adalah alat yang digunakan untuk memisahkan komponen cahaya yang memiliki panjang gelombang yang berbeda. Spektrum muncul

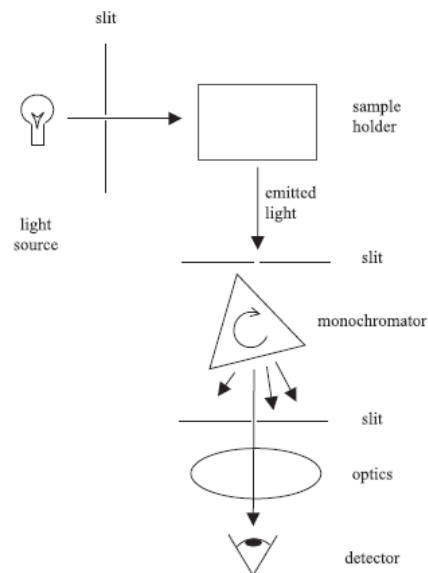
dalam serangkaian garis yang disebut garis spektrum. Garis spektrum ini juga disebut spektrum atom karena berasal dari elemen. Setiap elemen memiliki spektrum atom yang berbeda. Produksi garis spektra oleh atom-atom suatu unsur menunjukkan bahwa atom hanya dapat memancarkan sejumlah energi. Hal ini mengarah pada kesimpulan bahwa elektron tidak memiliki banyak jumlah energi tetapi hanya sejumlah energi.

Pancaran spektrum dapat digunakan untuk menentukan komposisi suatu material, karena setiap elemen berbeda jenis, seperti yang tercantum pada tabel periodik. Salah satu contoh adalah spektroskopi astronomi yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi bintang dengan menganalisis cahaya yang diterima. Karakteristik pancaran spektrum dari beberapa elemen dapat jelas terlihat dengan mata telanjang ketika dipanaskan. Misalnya, ketika kawat platina dicelupkan ke dalam larutan strontium nitrat dan kemudian dimasukkan ke dalam nyala api, atom strontium memancarkan warna merah, atau contoh lain, ketika tembaga dimasukkan ke dalam api, nyala api menjadi hijau. Karakteristik ini memungkinkan elemen-elemen pasti dapat teridentifikasi oleh spektrum emisi atomnya. Tidak semua cahaya yang dipancarkan oleh spektrum dapat dilihat dengan mata telanjang, contohnya sinar ultra violet dan sinar infra merah. Sebuah pancaran terbentuk ketika sebuah gas dapat dilihat langsung melalui suatu spektroskop.

*Emission spectrometer* adalah salah satu teknik spektroskopi yang meneliti panjang gelombang foton yang dipancarkan oleh atom atau molekul selama masa transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan energi yang lebih rendah. Setiap elemen memancarkan karakteristik panjang gelombangnya tersendiri sesuai dengan struktur elektronnya. Dengan mengamati panjang gelombang tersebut, komposisi unsur dari spesimen dapat ditentukan. *Emission spectrometer* dikembangkan di akhir abad 19 [12].

Cahaya yang terdapat pada proses kerja *emission spectrometer* bukan cahaya yang menyangkut di spesimen, tapi cahaya yang berasal dari spesimen. Di banyak kasus, foton berinteraksi dengan senyawa dan kemudian dipancarkan kembali dengan panjang gelombang yang berbeda. Karena panjang gelombang dari pancaran tersebut harus ditentukan, sebuah monokromator biasanya ditempatkan setelah spesimen untuk membedakan pancaran cahaya tersebut. Energi pancaran cahaya tersebut akan diubah menjadi energi listrik dalam detektor. Energi listrik dari detektor kemudian diteruskan

untuk menggerakkan jarum dan mengeluarkan grafik. Dari grafik inilah akan diketahui unsur-unsur pada spesimen [13]. Berikut adalah skema *emission spectrometer*:



Gambar 3.3 Skema *emission spectrometer* [13].

Karena memerlukan ukuran spesimen yang kecil dengan permukaan yang rata, maka sebelum pengujian *emission spectrometer* diperlukan langkah-langkah persiapan sebagai berikut:

- Pemotongan (*sectioning*)

Spesimen dipotong ukurannya menjadi kecil sekitar 1x1 cm agar sesuai dengan *frame* ketika ditembak spektrum. Pemotongan ini dilakukan di LIK (Lingkungan Industri Kecil), Semarang.

- Pemegangan (*mounting*)

Karena spesimennya berukuran kecil, maka diperlukan pembuatan pemegangan (*mounting*) agar mempermudah proses pengamplasan. Adapun bahan untuk pemegangan ini adalah resin, katalis dan kobalt. Untuk proses pengeringannya diperlukan waktu sekitar satu hari.

- Pengamplasan (*grinding*)

Karena diperlukan permukaan yang halus dan rata untuk keperluan pengujian, maka dilakukan pengamplasan. Adapun ukuran amplas yang digunakan yaitu 400, 600, 800, 1000, 1200.

- Polishing

Setelah proses pengamplasan sampai ukuran 1200, maka dilanjutkan proses polishing untuk mengkilapkan permukaan spesimen. Prosesen *polishing* ini dilakukan di mesin *grinding*. Bahan yang digunakan adalah kain beludru yang diletakkan di mesin grinding, kemudian diberikan autosol untuk mengkilapkan spesimen dan setelah itu dilakukan seperti proses pengamplasan sampai permukaan spesimen mengkilap tidak ada goresan (*scratch*).

Setelah empat langkah persiapan di atas, spesimen kemudian diuji *emission spectrometer* di Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Ceper.

### **3.5 EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)**

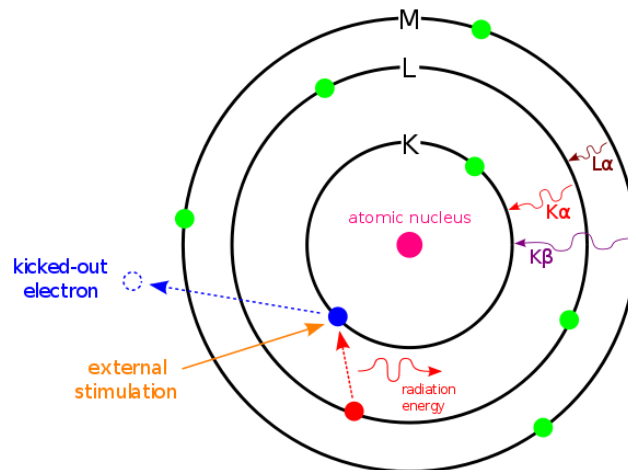
Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS atau EDX atau EDAX) adalah salah satu teknik analisis untuk menganalisis unsur atau karakteristik kimia dari spesimen. Karakterisasi ini bergantung pada penelitian dari interaksi beberapa eksitasi sinar X dengan spesimen. Kemampuan untuk mengkarakterisasi sejalan dengan sebagian besar prinsip dasar yang menyatakan bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik, dan merupakan ciri khas dari struktur atom suatu unsur, sehingga memungkinkan sinar-X untuk mengidentifikasinya.

Untuk merangsang emisi karakteristik sinar-X dari sebuah spesimen, sinar energi tinggi yang bermuatan partikel seperti elektron atau proton, atau berkas sinar X, difokuskan ke spesimen yang akan diteliti. Selanjutnya sebuah atom dalam spesimen yang mengandung elektron dasar di masing-masing tingkat energi atau kulit elektron terikat pada inti. Sinar yang dihasilkan dapat mengeksitasi elektron di kulit dalam dan mengeluarkannya dari kulit, sehingga terdapat lubang elektron di mana elektron itu berada sebelumnya. Sebuah elektron dari luar kulit yang berenergi lebih tinggi kemudian mengisi lubang, dan perbedaan energi antara kulit yang berenergi lebih tinggi dengan kulit yang berenergi lebih rendah dapat dirilis dalam bentuk sinar-X. Jumlah dan energi dari sinar-X yang dipancarkan dari spesimen dapat diukur oleh spektrometer energi-dispersif. Energi dari sinar X yang dihasilkan merupakan karakteristik dari perbedaan energi antara dua kulit, dan juga karakteristik struktur



atom dari unsur yang terpancar, sehingga memungkinkan komposisi unsur dari spesimen dapat diukur [16].

Pengujian EDX ini dilakukan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan plat.



Gambar 3.4 Skema EDX.

### 3.6 Mikroskop Optik

Mikroskop optik, atau yang sering disebut juga sebagai "mikroskop cahaya", adalah salah satu jenis mikroskop yang menggunakan cahaya tampak dan sebuah sistem lensa untuk memperbesar gambar spesimen yang kecil. Mikroskop optik ditemukan pada abad ke-17. Mikroskop optik dasar sangat sederhana, meskipun ada banyak desain lain yang kompleks yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi dan kontras dari spesimen. Mikroskop optik mudah untuk dikembangkan dan populer karena menggunakan cahaya tampak sehingga sampel dapat langsung diamati oleh mata. Pada saat ini, gambar dari mikroskop optik dapat ditangkap oleh kamera normal yang peka cahaya untuk menghasilkan mikrograf dan langsung disambungkan ke layar monitor komputer. Perbesaran mikroskop ini mencapai 1000 x.

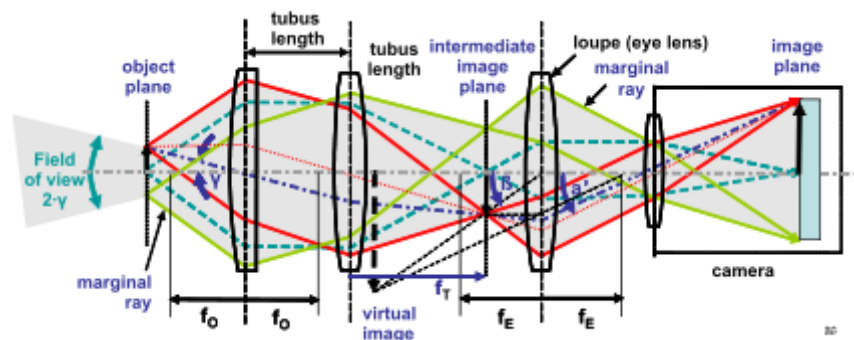


Keterangan:

1. Lensa okuler
2. Putaran untuk memutar lensa objektif
3. Lensa objektif
4. Pemutar fokus (untuk kasar)
5. Pemutar fokus (untuk halus)
6. *Frame*
7. Sumber cahaya atau cermin
8. Diafragma atau lensa kondensor
9. Tempat untuk menaruh sampel

Gambar 3.5 Bagian-bagian mikroskop optik.

Komponen mikroskop optik modern sangat kompleks. Agar mikroskop dapat bekerja dengan baik, seluruh jalur optik harus diatur dan dikendalikan sangat akurat. Meskipun demikian, prinsip-prinsip operasi dasar dari mikroskop cukup sederhana. Prinsip penting dari mikroskop adalah bahwa lensa objektif dengan panjang fokus yang sangat pendek (sering hanya beberapa mm saja) digunakan untuk membentuk perbesaran bayangan nyata dari objek.



Gambar 3.6 Skema mikroskop optik.

Lensa objektif adalah sebuah kaca pembesar bertenaga sangat tinggi dengan panjang fokus yang sangat pendek. Lensa ini diletakkan sangat dekat dengan spesimen yang akan diteliti sehingga cahaya dari spesimen jatuh ke fokus sekitar 160 mm di dalam tabung mikroskop sehingga menciptakan perbesaran sebuah gambar dari subjek.

Gambar yang dihasilkan terbalik dan dapat dilihat dengan menghapus lensa okuler dan menempatkan secarik kertas kalkir di ujung tabung. Dengan hati-hati memfokuskan spesimen yang sangat terang, pencitraan yang sangat besar bisa dilihat. Pencitraan yang dihasilkan adalah gambaran nyata yang dilihat oleh lensa okuler dengan menambahkan pembesaran lebih lanjut.

Di kebanyakan mikroskop, lensa okuler merupakan lensa majemuk, dengan satu lensa komponen di dekat bagian depan dan satu di dekat bagian belakang tabung lensa okuler. Dalam beberapa desain, gambar virtual menuju ke sebuah fokus antara dua lensa okuler. Lensa pertama membawa gambar nyata dan lensa kedua memungkinkan mata untuk fokus pada gambar virtual.

Pada semua mikroskop, gambar dimaksudkan untuk dilihat dengan mata terfokus tak terhingga (diingat bahwa posisi mata pada gambar di atas ditentukan oleh fokus mata peneliti). Sakit kepala dan mata lelah setelah menggunakan mikroskop biasanya tanda-tanda bahwa mata dipaksa untuk fokus pada jarak dekat dari pada jarak tak terhingga [17].

Untuk pengujian mikroskop optik ini diperlukan juga permukaan spesimen yang rata dan halus. Sehingga pengujian ini dilakukan setelah pengujian *emission spectrometer* yang juga memerlukan permukaan yang halus. Tetapi dilakukan satu langkah persiapan tambahan lagi yaitu proses pengetsaan. Proses pengetsaan ini diperlukan untuk memberikan warna pada struktur atom sehingga dapat diidentifikasi. Adapun pengetsaan ini menggunakan cairan kimia  $\text{HNO}_3$ , Acetic acid, dan juga HCl dengan perbandingan 2 : 2 : 1.

### **3.7 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)**

*Scanning Electron Microscope* (SEM) 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 electron-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.

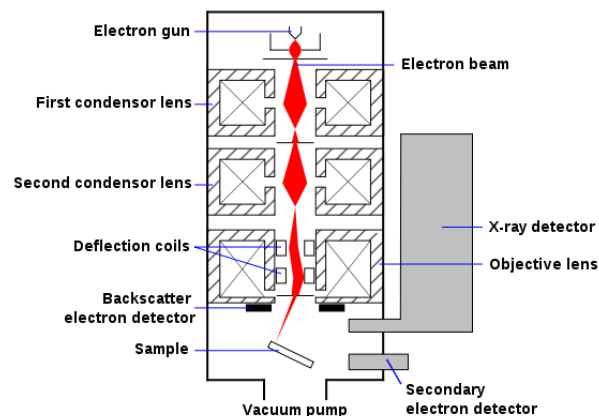
Tabel 3.1 Penjelasan jenis sinyal, detector, dan resolusi lateral serta kedalaman sinyal untuk menggambar dan menganalisa material di SEM [15]

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 $\mu\text{m}$	0,1-1 $\mu\text{m}$
<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  $\mu\text{M}$  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.

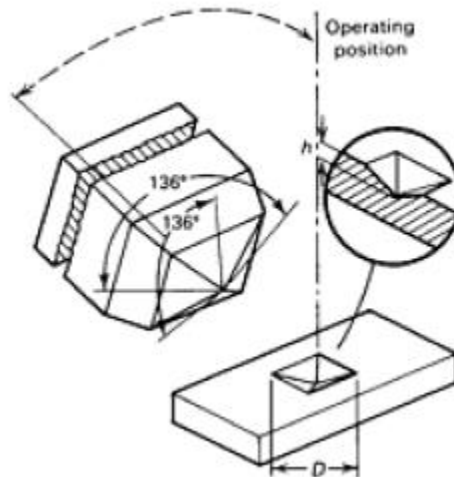
Pengujian SEM memerlukan permukaan spesimen yang tidak rata, sehingga spesimen yang sudah halus dan rata dari pengujian mikroskop optik dan *emission spectrometer* dititik menggunakan palu agar permukaannya tidak menjadi rata. Karena pada percobaan pertama tidak terlihat di layar, maka spesimen kemudian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



Gambar 3.7 Skema SEM [14].

### 3.7 Uji Kekerasan Mikro Vickers

Pada tahun 1925, Smith dan Sandland dari Inggris mengembangkan tes kekerasan dengan metode lekukan menggunakan indenter segi empat berbentuk piramida yang terbuat dari berlian, seperti pada Gambar 3.8. Tes ini dikembangkan karena tes Brinell, yang menggunakan indenter bola baja, tidak bisa menguji baja keras. Mereka memilih bentuk piramida dengan sudut  $136^\circ$  dengan menggunakan diagonal yang berhadapan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang memungkinkan hasilnya mendekati nilai kekerasan Brinell untuk spesimen yang sama. Oleh karena alasan itu uji Vickers mudah untuk diadopsi, dan cepat diterima. Tidak seperti tes Rockwell, uji Vickers memiliki kelebihan karena menggunakan satu skala kekerasan untuk menguji semua bahan.



Gambar 3.8 Skema indenter piramida berlian uji Vickers dan hasil lekukannya.

Pada uji vickers, gaya diberikan dengan perlahan, tanpa tubrukan, dan ditahan selama lima sampai dengan lima belas detik. Sesuai dengan ASTM E384, gaya yang diberikan berkisar 1-1000 gf. Setelah gaya dilepas, kedua diagonal diukur dan rata-ratanya digunakan untuk menghitung HV sesuai dengan rumus:

$$HV = \frac{2000P \sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1854,4P}{d^2} \quad (3.1)$$

Dimana  $d$  adalah rata-rata diagonal dalam satuan  $\mu\text{m}$ ,  $P$  adalah beban yang diberikan dengan satuan gf, dan  $\alpha$  adalah sudut permukaan ( $136^\circ$ ). Kekerasan dapat

dihitung dengan rumus di atas atau dengan mengkonversikannya diagonal rata-ratanya pada buku tabel konversi HV [18].

Pengujian Vickers ini juga memerlukan permukaan spesimen yang rata, sehingga persiapan pengujian ini telah dilakukan ketika persiapan untuk pengujian *emission spectrometer* dan pengujian mikroskop optik.

Hasil dari pengujian kekerasan mikro ini akan dikonversikan untuk mengetahui nilai kekuatan dari sambungan las.

Tabel 3.2 Konversi nilai kekerasan ke kekuatan [21]

Nilai Vickers	Tensile Strength (MPa)
200	650
195	635
190	620
185	615
180	605
176	590
172	580
169	570
165	565
162	560
159	550
156	530
153	505
150	495
147	485
144	475
141	470
139	460
137	455
135	450
132	440



Nilai Vickers	Tensile Strength (MPa)
130	435
127	425
125	420
123	415
121	405
119	400
117	395
116	385