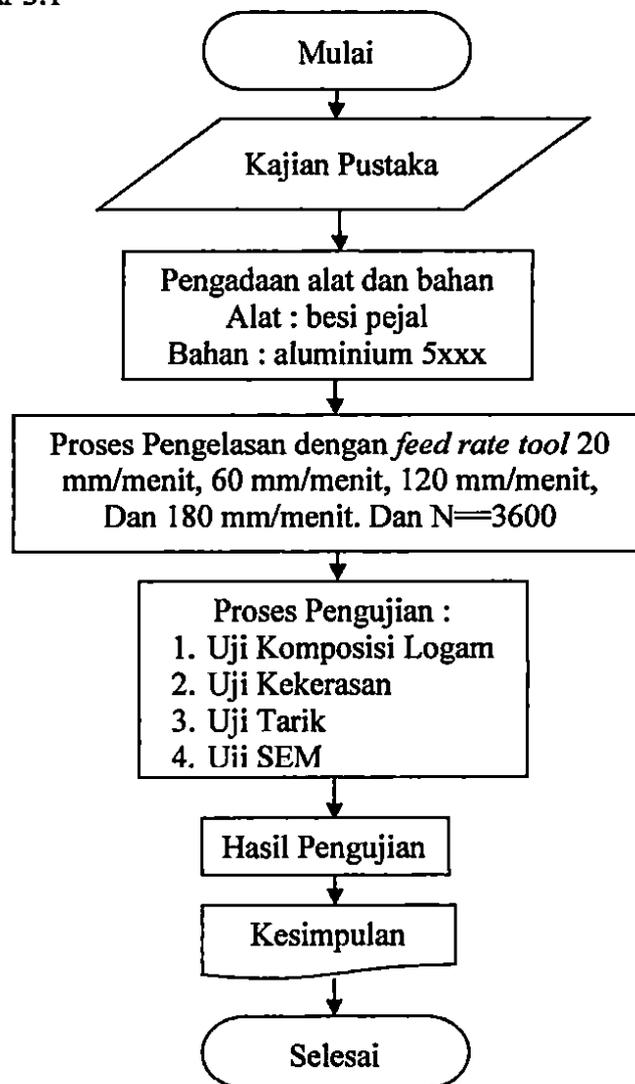


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah utama dalam proses pengelasan dengan metode FSW dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan FSW Pada Plat Aluminium

3.2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat adalah sebagai berikut:

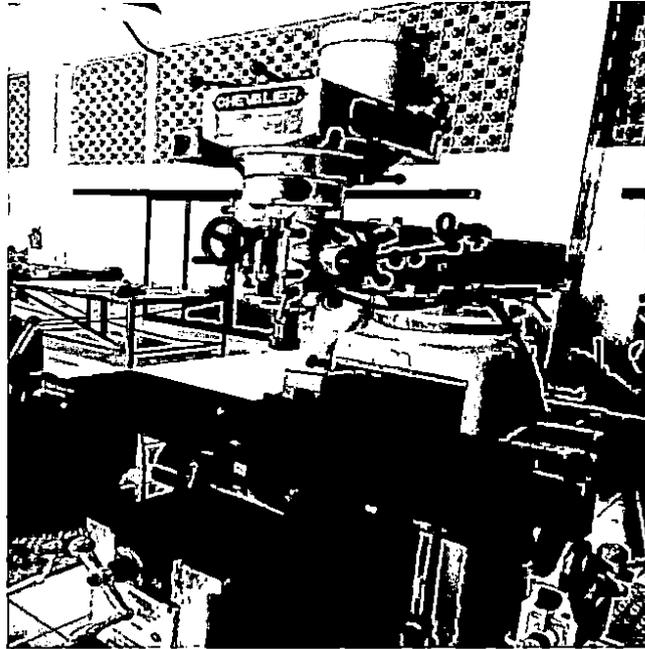
1. Pembuatan specimen dan proses pengelasan FSW dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Pengujian komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam politeknik Manufaktur Ceper.
3. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada.
4. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Negeri Surakarta.
5. Pengujian struktur mikro dan makro dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin D3 Universitas Gadjah Mada.
6. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian

1. Mesin Milling

Prinsip kerja dari mesin milling berasal dari energi listrik yang diubah menjadi energi gerak oleh motor listrik, selanjutnya energi gerak tersebut akan diteruskan melalui suatu transmisi untuk menghasilkan gerakan putar pada spindel mesin milling. Spindel mesin milling adalah bagian utama dari mesin milling yang berfungsi untuk memegang dan memutar *tool*. Gerakan putar pada *tool* jika dikenakan pada benda kerja yang telah dicekam maka akan terjadi gesekan/tabrakan sehingga akan menghasilkan pengelasan pada bagian benda kerja.

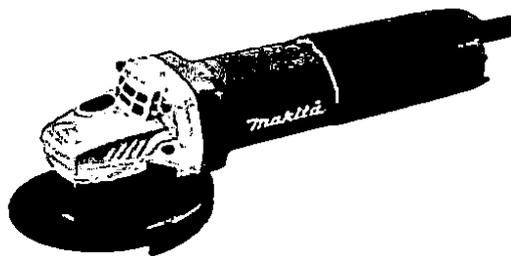


Gambar 3.2. Mesin milling

Mesin milling yang digunakan pada percobaan FSW adalah mesin milling jenis 3-phase induction motor (Gambar 3.2), dengan spesifikasi dibawah ini:

- 1). Berat motor 26 kg
- 2). Tegangan minimum 220 volt dan tegangan maksimum 380 volt
- 3). Arus minimum 3,64 Ampere dan arus maksimum 6,3 Ampere
- 4). Putaran minimum 980 rpm dan putaran maksimum 3600 rpm

2. Gerinda



Gambar 3.3 Gerinda (depoktoolsshop.indonetwork.co.id)

Mesin gerinda (Gambar 3.3) adalah salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda kerja dengan tujuan tertentu. Prinsip kerja mesin gerinda adalah batu gerinda berputar bersentuhan dengan benda kerja sehingga terjadi pengikisan, penajaman, pengasahan, atau pemotongan.

3. Tachometer



Gambar 3.4. tachometer (www.meterdigital.com)

Tachometer (Gambar 3.4) berfungsi untuk mengukur putaran *tool* pada mesin milling yang akan digunakan pada FSW.

4. Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan benda uji sebelum penelitian (khususnya untuk pengujian struktur mikro).

5. Gergaji

Gergaji digunakan untuk memotong plat (benda kerja) sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

6. Tabung gas

Tabung gas digunakan untuk tempat penyimpanan gas argon dan gas karbondioksida.

7. Dial indikator

Dial indikator digunakan untuk mengukur seberapa besar tekanan dan laju aliran gas.

8. Alat uji tarik

Fungsi alat ini untuk menguji kekuatan tarik spesimen yang akan diuji

9. Alat uji kekerasan

Fungsi alat ini untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen

10. Alat uji struktur mikro

Fungsi alat ini untuk melihat struktur mikro pada specimen.

3.3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian**1. Aluminium**

Aluminium (Gambar 3.5) yang digunakan adalah aluminium 5052 yang memiliki ketebalan 5 mm, lebar 11 mm, dan panjangnya 17 mm. aluminium seri ini banyak digunakan pada bagian-bagian pesawat, kapal dan lain-lain, karena aluminium 5052 ini memiliki komposisi dan kekuatan mekanik yang cocok untuk dijadikan kompone-kompone bagian pesawat dan kapal laut. Adapun komposisi dan kekuatan mekanik dari aluminium 5052 dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini



Gambar 3.5. Plat Aluminium (www.productsdb.com)

Tabel 3.1 Sifat mekanik aluminium 5052 (ASM aluminium 5052-H34 tahun 2015)

Uji	Satuan	
	Metrik	British
Hardness Brinell	68	68
Hardness Knoop	91	91
Hardness Vickers	78	78
Ultimate Tensile Strength	262 MPa	38000 psi
Tensile Yeild Strength	214 MPa	31000 psi
Elongation at break	14 %	14 %
Modulus of Elasticity	70,3 MPa	10200 ksi
Ultimate Bearing Strebgth	469 MPa	68000 psi
Bearing Yeild Strength	303 MPa	43900 psi
Fatigue Strength	124 MPa	18000 psi
Shear Modulus	25,9 GPa	3760 ksi
Shear Strength	145 MPa	21000 psi

Table 3.2 kandungan unsur aluminium 5052 pada ASM aluminium 5052-H34(2015)

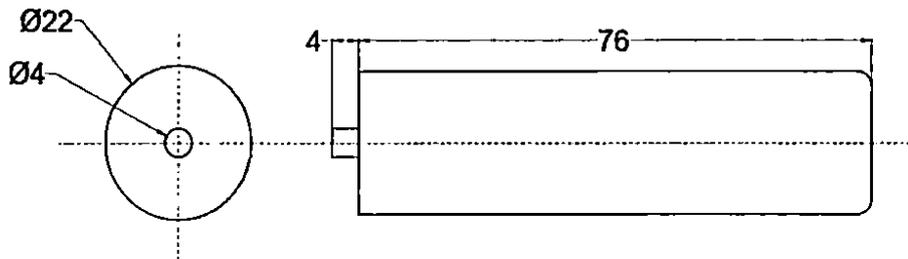
Unsur	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
Jumlah	95,7 –	0,15 -	Max	Max	2,2 -	Max	Max	Max
(%)	97,7	0,35	0,1	0,4	2,8	0,1	0,25	0,1

2. Besi

Besi yang digunakan ialah besi pejal dengan diameter 22 mm dan panjang 500 mm. Fungsinya sebagai bahan baku pembuatan *tool* pada pengelasan FSW. Pembuatan *tool* ini dilakukan di laboratorium Teknim Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

3.4. Proses Penelitian

3.4.1. Proses Pembuatan *Tool*



Gambar 3.6 Desain *Tool*

Tool ini dibuat besi pejal dan pembuatan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menggunakan mesin bubut manual yang pengerjaannya dilakukan sendiri, kecuali *Elektroplating* (penyepuhan) yang dilakukan oleh pandai besi. Proses pembuatan *tool* mulai dari pengurangan diameter *tool* dari 22 mm ke 20 mm, pembuatan pin dengan cara memperkecil diameter *tool* dari 20 mm menjadi 4 mm dan panjang 4 mm, dengan panjang keseluruhan *tool* 80 mm (Gambar 3.6)

Setelah pembentukan *tool* tersebut selesai, maka *tool* tersebut di *Elektroplating* (penyepuhan) pada pandai besi. Apa bila melakukan *Elektroplating* (penyepuhan) sendiri di khawatirkan tidak mendapat kan hasil yang maksimal karena panas yang diinginkan tidak tercapai.

3.4.2. Proses Pengelasan

Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan metode FSW, dengan menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan.

1. Bahan menggunakan alumunium 5052 dengan tebal 5 mm.
2. Mempersiapkan mesin las

3. Mempersiapkan benda kerja pada mesin las
4. Menghidupkan mesin, sehingga pin memutar dan menekan material lalu sholter terkena benda kerja sampai probe berada di dalam permukaan benda kerja dengan *feed rate* 20 mm/menit dan kecepatan putar *tool* 3600.
5. Probe berada di dalam benda kerja (benda kerja berada pada kondisi plastis karena pemanasan akibat dari sentuhan gesekan antara shoulder dengan permukaan benda kerja)
6. Tool bergerak ke samping dan terjadi proses penyatuan material aluminium 5052 (*joining process*).
7. Proses selesai, tool diangkat dan specimen dipindahkan dari mesin.
8. Proses 1-7 diulang dengan *feed rate* 60 mm/menit, *feed rate* 120 mm/menit dan *feed rate* 180 mm/menit dengan kecepatan putar *tool* yang sama.

3.4.3. Proses Pengujian

Setelah specimen, tool dan pengelasan dan mesin milling siap makan langkah selanjutnya adalah persiapan proses pengujian. Persiapan proses pengujian meliputi:

1. Pengujian Komposisi logam

Pengujian uji komposisi logam dilakukan di Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Logam Ceper. Proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan struktur karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsure-unsur yang terdapat di dalamnya. Proses pengujian logam dikelompokkan ke dalam tiga kelompok metode pengujian, yaitu:

1. Distructive test (DT), yaitu proses pengujian logam yang bisa menimbulkan kerusakan logam yang di uji
2. Non Distructive test (NDT), yaitu proses pengujian logam yang tidak bisa menimbulkan kerusakan logam atau benda yang di uji.

3. Metallografhy, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat didalamnya, dan bentuk struktur.

Persyaratan sampel uji :

1. Sampel uji dapat dipotong langsung dari benda yang akan diuji (bentuk sampel uji bebas dan ada posisi sampel yang permukaannya rata)
2. Ukuran sampel uji :
 - Diameter : minimal 2 cm, maksimal 10 cm
 - Tebal : min 1 mm, maksimal 70 mm



Gambar 3.7 Alat uji Komposisi

Spesifikasi alat uji (Gambar 3.7) :

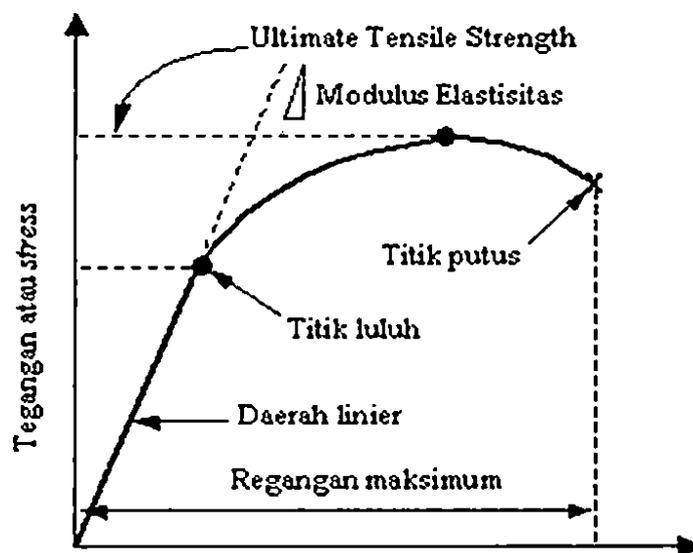
- Merk : Arun Metal Scan
- Pembuat : Inggris
- No. Seri : 00203351

2. Pengujian Tarik

Kekuatan tarik (*tensile strength*) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut

patah. Kekuatan tarik adalah kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Beberapa bahan dapat patah begitu saja tanpa mengalami deformasi, yang berarti benda tersebut bersifat rapuh atau getas (*brittle*). Bahan lainnya akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda *elastis (ductile)*.

Kekuatan tarik umumnya dapat dicari dengan melakukan uji tarik dan mencatat perubahan regangan dan tegangan. Titik tertinggi dari kurva tegangan-regangan (Gambar 3.8) disebut dengan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Nilainya tidak bergantung pada ukuran bahan, melainkan karena faktor jenis bahan. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi seperti keberadaan zat pengotor dalam bahan, temperatur dan kelembaban lingkungan pengujian, dan penyiapan spesimen.



Gambar 3.8 Kurva Tegangan Tarik (Endartyana, 2013)

Dimensi dari kekuatan tarik adalah gaya per satuan luas. Dalam satuan SI, digunakan pascal (Pa) dan kelipatannya (seperti MPa, megapascal). Pascal ekuivalen dengan Newton per meter persegi (N/m^2). Satuan imperial diantaranya pound-gaya per inci persegi (lbf/in^2 atau psi), atau kilo-pound per inci persegi (ksi, kpsi).

Kekuatan tarik umumnya digunakan dalam mendesain bagian dari suatu struktur yang bersifat ductile dan brittle yang bersifat tidak statis, dalam arti selalu menerima gaya dalam jumlah besar, meski benda tersebut tidak bergerak. Kekuatan tarik juga digunakan dalam mengetahui jenis bahan yang belum diketahui, misal dalam forensik dan paleontologi. Kekerasan bahan memiliki hubungan dengan kekuatan tarik. Pengujian kekerasan bahan salah satunya adalah metode Rockwell yang bersifat non-destruktif, yang dapat digunakan ketika uji kekuatan tarik tidak dapat dilakukan karena bersifat destruktif.

Dalam pengujian tarik, spesimen uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga uji specimen tersebut patah, kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Tegangan: } \sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: F = beban (kgf)

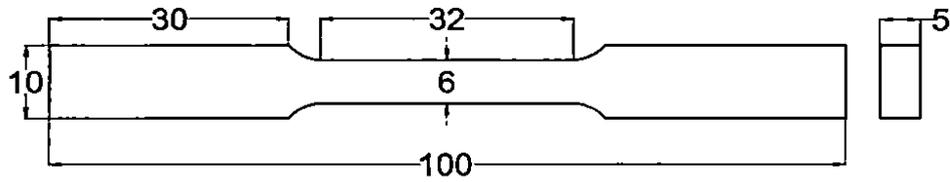
A₀ = luas mula dari penampang batang uji (mm²)

$$\text{Regangan: } \varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana: L₀ = panjang mula dari batang uji (mm)

L = panjang batang uji yang dibebani (mm)

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan. Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standard ASTM E8/E8M-09 (*Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)*). Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Negeri Surakarta. Skema pengujian tarik diperlihatkan pada Gambar 3.9. Sedangkan rancangan perhitungan uji tarik dapat dilihat pada Tabel 3.3.



Gambar 3.9 Skema uji tarik menurut ASTM E8

Tabel 3.3 Rancangan Perhitungan Data Uji Tarik

ΔL (mm)	P_i (kg)	D_i (mm)	A_i (mm ²)	$\sigma = P_i/A_0$ (kg/mm ²)	$e = \Delta L/L_0$ (mm)	$E = \sigma/e$ (kg/mm ²)	$\sigma_s = P_i/A_i$ (kg/mm ²)	$\epsilon_s = \ln(A_0/A_i)$ (%)

Keterangan :

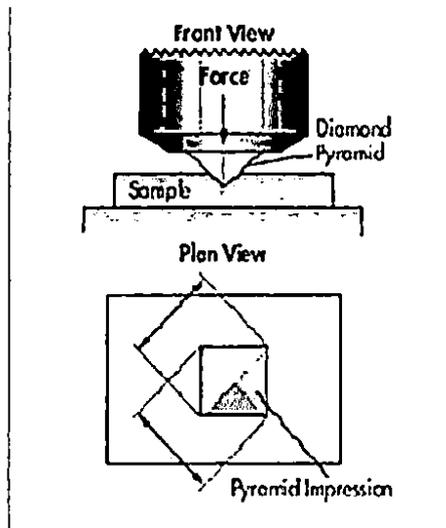
- L : panjang mula-mula (mm)
 ΔL : panjang spesimen setelah uji tarik (mm)
 P : gaya tarik (kg)
 E : modulus elastisitas (kg/mm²)
 e : regangan (tanpa satuan)
 σ : tegangan (N/m)

3. Pengujian Kekerasan

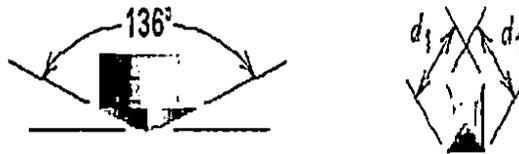
Kekerasan (Hardness) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramid seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11. Beban yang dikenakan juga jauh lebih kecil dibanding dengan pengujian rockwell dan brinell yaitu antara 1 sampai 1000 gram.

Angka kekerasan Vickers (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dengan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) dari indentor(diagonalnya) (A) yang dikalikan dengan $\sin(136^\circ/2)$. Rumus untuk menentukan besarnya nilai kekerasan dengan metode vickers yaitu :



Gambar 3.10 Pengujian Vickers
(Callister, 2001)



Gambar 3.11 Bentuk Indentor
Vickers (Callister, 2001)

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

HV = Angka kekerasan Vickers

F = Beban (kgf)

d = diagonal (mm)

4. Pengujian SEM

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada. *Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambar specimen dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam scan pola raster. Elektron berinteraksi dengan atom – atom sehingga specimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan spesimen, komposisi, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik.

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.