BMP.UKI:NM-01-SEM-PFis-I-2020



BUKU MATERI PEMBELAJARAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

Penulis:

NGIA MASTA, S.Pd., M.Si.

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2020

Kata Pengantar

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa karena telah memberikan kesempatan pada penulis untuk menyelesaikan Buku Materi Pembelajaran (BMP) Scanning Electron Microscopy ini. BMP ini disusun guna membantu kelancaran proses pembelajaran mata kuliah *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Selain itu, penulis juga berharap agar makalah ini dapat menambah wawasan dan berguna bagi mahasiswa yang mengambil mata kuliah ini.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak Taat Guswantoro, M.Si selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk mengampu dan menulis BMP ini, Penulis juga mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu proses penyusunan BMP ini.

Penulis menyadari makalah ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan penulis terima demi kesempurnaan BMP ini.

Jakarta, 2020

Ngia Masta, S.Pd., M.Si.

Daftar Isi

	Kata Pengantar	i
	Daftar Isi	ii
	Daftar Gambar	viii
	Daftar Tabel	. xii
	Petunjuk Penggunaan BMP	1
	RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS)	4
	Pendahuluan	. 31
	1. Capaian Pembelajaran Lulusan	. 32
	2. Kemampuan Akhir	. 32
	3. Prasyarat kompetensi	. 33
	4. Kegunaan Modul	. 33
	5. Materi Pokok dan Sub Materi Pokok	. 34
K	egiatan Pembelajaran 1 Nanomaterial dan Nanoteknologi	. 35
	Uraian Materi	
	A. Nanomaterial	. 35
	Tugas 1 (Part 1)	. 40
	Tugas 1 (Part 2)	. 41
	B.Nanoteknologi	. 43
	Tugas 1 (Part 3)	. 46
	Rangkuman	. 47
	Evaluasi Formatif 1	. 49
	Umpan Balik	. 50
K	egiatan pembelajaran 2 SEM dan Komponennya	. 51
	Uraian Materi	. 51
	A. Komponen Penyusun SEM dan Elektron Gun	. 51
	1. Sejarah Singkat dan Teori Dasar	. 51
	2. Komponen-komponen Scanning Electron Microscope (SEM)	. 53
	Tugas 2 (Part 1)	. 57
	B. Electron Gun	. 59
	1. Emisi Termal	. 59
	2. Emisi Medan Listrik	. 61
	C. Susunan Lensa Magnetik	. 63
	1. Lensa Elektromagnetik	
	2. Susunan Lensa Kondensator	
	3. Aperture	. 66

4. Lensa Objektif	67
Tugas 2 (part 2)	68
D.Detektor SE dan BSE	69
1. Detektor SE	69
2. Detektor BSE	70
Tugas 2 (Part 3)	72
E.Specimen Stage, Image Display dan Perekaman Da	nta 73
1. Specimen Stage	
2. Image Display dan Perekaman Data	73
Tugas 2 (Part 4)	74
Rangkuman	75
Evaluasi Formatif 2	77
Umpan Balik	81
Kegiatan pembelajaran 3 SEM dan Mikroskop lainnya	83
Uraian Materi	83
A. SEM dan Mikroskop Optik	83
1. SEM dalam nanoteknologi	83
2. SEM dan Mikroskop Optik	86
Tugas 3 (Part 1)	88
B. SEM dan TEM	90
1. TEM	90
2. SEM dan TEM	90
Tugas 3 (Part 2)	95
C. SEM dan FESEM	96
1. FESEM	96
2. SEM dan FESEM	96
Tugas 3 (Part 3)	97
D. SEM yang dilengkapi dengan EDS / EDAX	98
Rangkuman	100
Evaluasi Formatif 3	
Umpan Balik	
Kegiatan Pembelajaran 4 <i>Electron Gun</i>	108
Uraian Materi	
A. Komponen – komponen pada Electron gun	
1. Emitor	110
2. Elektroda Wehnelt	110
3. Anoda	111

B. Electron gun berdasarkan Jenis Emitor	111
1. Thermal Emission (TE Gun)	112
2. Schottky Emission gun (SE Gun)	115
3. Field Emission (FE gun)	116
Tugas 4 (Part 1)	118
C. Perbandingan tiga tipe <i>Electron gun</i>	119
Tugas 4 (Part 2)	121
D. Akselarasi elektron pada Electron Gun	122
TUGAS 4 (Part 3)	123
Rangkuman	124
Evaluasi Formatif 4	124
Umpan Balik	129
Kegiatan Pembelajaran 5 Interaksi Berkas Elektron-Materi	130
Uraian Materi	130
A. Volume Interaksi Elektron-Sampel	130
Tugas 5 (Part 1)	133
B. Spektrum Sinyal Hasil Interaksi Elektron-Sampel	
Tugas 5 (Part 2)	137
Rangkuman	139
Evaluasi Formatif 5	140
UMPAN BALIK	144
Kegiatan Pembelajaran 6 Secondary Electron (SE)	145
Uraian Materi	146
A. Terjadinya Secondary Electron (SE)	146
Tugas 6 (Part 1)	148
B. Pengelompokan Secondary Electron (SE)	149
Tugas 6 (Part 2)	151
C. Image Secondary Electron (SE) pada SEM	152
Tugas 6 (Part 3)	154
Rangkuman	155
Evaluasi Formatif 6	157
UMPAN BALIK	160
Kegiatan Pembelajaran 7 Backscattered Electron (BSE)	163
Uraian Materi	
A. Definisi dan Proses Terjadinya Backscattered Electron (BSI	E) 163
Tugas 7 (Part 1)	167
B. Image Backscattered Electron Pada SEM	168

Tugas 7 (Part 2)	172
Rangkuman	173
Evaluasi Formatif 7	174
UMPAN BALIK	179
Kegiatan Pembelajaran 8 Sistem Vakum dan Perbesaran pada SEM	181
Uraian Materi	181
A. Sistem Vakum pada SEM	181
1. Pompa Vakum pada SEM	182
2. Variable Pressure Scanning Electron Microscope (VP SEM)	187
Tugas 8 (Part 1)	189
B. Perbesaran (magnification)	190
1. Pembentukan bayangan pada SEM	191
2. Perbesaran, Dimensi Image, dan Garis Skala (Scale Bars)	192
Tugas 8 (Part 2)	193
Rangkuman	194
Evaluasi Formatif 8	195
Umpan Balik	198
Kegiatan Pembelajaran 9 Kedalaman Fokus dan Pengaruh Tegangan P	emercepat
	199
Uraian Materi	199
A. Kedalaman Fokus SEM	199
1. Depth of View	201
Tugas 9 (Part 1)	203
B. Pengaruh Tegangan Pemercepat	204
1. Pengaruh tegangan pemercepat pada Image Elektron	Sekunder
(Secondary Electron)	204
2. Pengaruh tegangan pemercepat pada Image Backscattered Elect	tron (BSE)
	206
Tugas 9 (Part 2)	208
Rangkuman	208
Evaluasi Formatif 9	209
Umpan Balik	213
Kegiatan Pembelajaran 10 Karakterisasi Mikrostruktur	215
Uraian Materi	
A.Karakterisasi mikrostruktur dari Image SEM	215
Tugas 10 (Part 1)	217
B. Analisis kualitatif	218

1. Topografi	218
2. Morfologi	220
3. Homogenitas	224
Tugas 10 (Part 2)	225
C. Analisis Semi Kuantitatif	226
Tugas 10 (Part 3)	227
Rangkuman	227
Evaluasi Formatif 10	228
Umpan Balik	228
Kegiatan Pembelajaran 11 Preparasi Sampel SEM	230
Uraian Materi	230
A. Efek Charging	230
1. Apa yang dimaksud dengan efek chargiung	230
2. Dampak efek Charging pada image SEM	
Tugas 11 (Part 1)	
B. Pencegahan terjadinya efek charging	233
1. Coating	
2. Karakterisasi menggunakan tegangan pemercepat rendah	234
3. Observasi dengan vakum rendah	
Tugas 11 (Part 2)	
C. Preparasi dasar dari spesimen / sampel	238
a. Exposing Surface to Observe and Contrast Enhancement	
Tugas 11 (Part 3)	
Rangkuman	240
Evaluasi Formatif 11	241
Umpan Balik	242
Kegiatan Pembelajaran 12 Software ImageJ	243
Uraian Materi	243
A. Pengantar ImageJ	243
B. Menginstal ImageJ	244
C. Bagaimana Menggunakan ImageJ dan Contoh	244
Tugas 12	246
Umpan Balik	247
Kegiatan Pembelajaran 13 Observasi SEM	
Observasi SEM	
Umpan Balik	250
Kegiatan Pembelajaran 14 Review Paper	251

Review Paper	251
Umpan Balik	
Penutup	
1. Rangkuman	
2. Daftar Istilah	
3. Referensi	256

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Gambar 1.1 Teknik Top Down dan Bottom Up pada Sintesis	
Nanomaterial	
Gambar 1. 2Diagram untuk Baterai Silinder Nikel-Hidrida (Baterai NiMH)	. 44
Gambar 1. 3Diagram Sederhana LCD	. 45
Gambar 2. 1Gambar Set Perangkat Scanning Elektron Microscopy (SEM)	. 53
Gambar 2. 2 Skema SEM (kolom SEM dan display image)	
Gambar 2. 3 Fitur-fitur karakterisasi pada sebuah SEM	
Gambar 2. 4 Electron Gun dengan filamen tungsten	
Gambar 2. 5 Filamen Lanthanum Hexaborite	. 61
Gambar 2. 6 Skema Field Emission Gun pada FESEM	. 62
Gambar 2. 7 Skema Lensa Elektromagnetik	
Gambar 2. 8 Susunan dua lensa kondenser pada keadaaan overfocused, focuse	ed,
dan underfocused	
Gambar 2. 9 Skema Lensa kondensator, aperture, lensa objektif dan specimen	ı 67
Gambar 2. 10 Posisi Detektor SE pada tipe E-T, diposisikan agak miring	
terhadap electron probe	. 69
Gambar 2. 11 Skema Secondary Electron pada Detektor SE	. 70
Gambar 2. 12 Diagram penampang samping photomultiplier tube (PMT	. 70
Gambar 2. 13 Skema SE dan BSE	. 71
Gambar 2. 14 Skema detektor BSE	. 71
Gambar 2. 15 Susunan Specimen Stage	
Gambar 2. 16 Set electron probe dengan unit display	. 74
Gambar 3. 1 Set Instrumen SEM di LIPI kawasan Puspiptek-Serpong	. 84
Gambar 3. 2 Bagian kolom SEM	. 85
Gambar 3. 3 Bagian display SEM	. 86
Gambar 3. 4 Diagram Mikroskop Optik	. 87
Gambar 3. 5 a) Image sampel Trochodiscus longispinus dari SEM; b) Image	
sampel dari Mikroskop Optik	. 87
Gambar 3. 6 Instrumen Transmission Electron Microscope (TEM)	. 90
Gambar 3. 7 Diagram analogi TEM dan Proyektor Slide	. 91
Gambar 3. 8 a) diagram interaksi berkas elektron- sampel pada TEM; b)	
interaksi berkas elektron- sampel pada TEM skala atomik	. 91
Gambar 3. 9 Image SEM (kiri) dan TEM (Kanan) dari sebuah bakteri. Gamba	ır
SEM menunjukkan beberapa bakteri pada permukaan (hijau),	
sedangkan TEM menujukkan struktur bagian dalam (organel)	
dari sebuah bakteri	. 92

Gambar 3. 10 Diagram Skema Kolom TEM
Gambar 3. 11 Perbandingan image SEM dan FESEM Perovskite SFTO 97
Gambar 3. 12 SEM dengan unit EDS
Gambar 3. 13 Solder Joint dari beberapa material
•
Gambar 4. 1 Image SEM dari partikel emas yang berevaporasi di atas pelat
karbon
Gambar 4. 2 Skema Electron Gun
Gambar 4. 3 Skema TE Gun
Gambar 4. 4 Diagram pita energi elektron dari sebuah logam ketika diberi
medan listrik luar di permukaannya
Gambar 4. 5 Diagram energi elektron pada sebuah katoda SE Gun dan FE Gun
Gambar 4. 6 Sudut ruang dan sudut bidang
Gambar 4. 7 Skema generator tegangan tinggi pada TEM
Gambar 5. 1 Volume interaksi elektron
Gambar 5. 2 2 Interaksi elektron-materi berdasarkan Simulasi Monte Carlo,
menunjukkan terjadinya hamburan elektron terhadap spesimen,
disertai pemodelan SE dan BSE
Gambar 5. 3 Diagram interaksi elektron-sampel dan spektrum sinyal yang
dihasilkan
Gambar 5. 4 Distribusi energi dan emisi elektron pada SE dan BSE 136
Gambar 6. 1 Perbandingan image sebuah sekrup menggunakan mikroskop optik
(kiri) dan SEM (Kanan)147
Gambar 6. 2 Diagram interaksi elektron-atom sampel pada Secondary Electron
yang merupakan tumbukan inelastik
Gambar 6. 3 Skema SE dalam empat golongan berdasarkan cara terjadinya 149
Gambar 6. 4 Diagram Secondary Electron I
Gambar 6. 5 Diagram Secondary Electron II
Gambar 6. 6 Ilustrasi edge effect
Gambar 6. 7 Image dari Secondary Image kristal Oksida Tungsten
Gambar 6. 8 Edge effect pada image SE menghasilkan image pseudo 3D pada
SEM
DDM113
Gambar 7. 1 Perbandingan image BSE dan SE
Gambar 7. 2 Diagram interaksi elektron-Material pada BSE terjadi pada
kedalaman yang lebih besar dibandingkan dengan SE
Gambar 7. 3 Diagram terjadinya BSE-Tumbukan Elastis
Gambar 7. 4 Diagram hubungan kedalaman penetrasi elektron terhadap sampel
yang dipindai terhadap energi mula mula elektron primer dan
nomor atom

Gambar 7. 5 Hubungan nomor atom dengan intensitas BSE 16	59
Gambar 7. 6 Gambar 7.6 Perbandingan Gambar SE dan BSE pada komposit Al2O3/Ni	5 9
Gambar 7. 7 Image SEM dengan mode BSE pada sebuah lapisan magnet homogen pada hard disk	
Gambar 7. 8 Diagram Hubungan antara sudut datang elektron primer dengan	U
intensitas BSE	71
Gambar 7. 9 Image SEM pada mode BSE pada spesimen penampang lintang papan fleksibel	71
Gambar 8. 1 Perbandingan Berkas Elektron pada keadaan Vakum dan non Vakum	22
Gambar 8. 2 SEM dan Sistem Vakum	
Gambar 8. 3 Diagram skema pompa rotasi dalam satu siklus	
Gambar 8. 4 Skema Diffusion Pump (DP)	
Gambar 8. 5 Image SEM pada sampel non konduktif pada keadaan high	
Vacuum dan low vacuum	0
memindai area tertentu dari spesimen	ıΛ
Gambar 8. 7 Ilustrasi Pemindaian Sampel dalam dua dimensi	
Gambar 8. 8 Image SE dari kristal perak yang menunjukkan perbesaran SEm	' 1
dan garis skala)2
Gambar 9. 1 Perbandingan kedalaman fokus oleh SEM dan mikroskop optik 20	
Gambar 9. 2 Perbandingan kedalaman fokus oleh SEM dan mikroskop optik 20 Gambar 9. 3 Perbandingan image SEM dan OM dengan medan penglihatan)1
yang)1
Gambar 9. 4 Perbandingan Depth of Field (DOF) dengan keadaan overfocused, underfocused, dan focused	,
Gambar 9. 5 Skema berkas elektron pada keadaan underfocused, focused dan	_
overfocused)2
Gambar 9. 6 Inteaksi elektron-sampel	
Gambar 9. 7 Variasi tegangan pemercepat pada image SEM	
Gambar 9. 8 rbandingan kedalaman fokus pada variasi tegangan pemercepat da	
nomor atom menggunakan simulasi Monte Carlo	
Gambar 10. 1 Skema skala pemindaian oleh SEM jika dibandingkan dengan OM, TEM dan XRD	6
Gambar 10. 2 Pemindaian titik patah (fracture) dari dua sampel BaTiO3 21	9
Gambar 10. 3 Orientasi setiap grain pada material kristalin	20
Gambar 10. 4 Grain boundary menunjukkan adanya disturbansi (gangguan) pada susunan atom	21
Gambar 10. 5 Low Angle Grain Boundary	
· j ··············· ==	

Gambar 10. 6 Skema pembentukan low angle grain boundary (a) Dua grain	
saling terpisah; (b) dua grain sudah saling tergabung dan	
menghasilkan low angle grain boundary	222
Gambar 10. 7 Grain boundary pada Polikristalin Tantalum	224
• •	
Gambar 11. 1 Aliran listrik pada spesimen non konduksi	231
Gambar 11. 2 Distorsi Image SEM akibat efek Charging	232
Gambar 11. 3 Skema Sputtering ion	234
Gambar 11. 4 Karakterisasi dengan tegangan pemercepat rendah	235
Gambar 11. 5 Pemindaian dengan vakum rendah	236
Gambar 11. 6 LVSEM yang diambil dari potongan beton dengan banyak gas	S
keluar	237

Daftar Tabel

Tabel 1 Contoh nanoscale dan microscale	36
Tabel 2 Golongan nanomaterial berdasarkan dimensinya	38
Tabel 3 Perbandingan perbesaran, kedalaman medan dan resolusi SEM dan	
Mikroskop Optik	88
Tabel 4 Parameter pengoperasian dari emitor electrton Gun	119

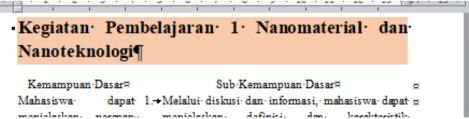
Petunjuk Penggunaan BMP

Sebelum mempelajari Buku Materi Pembelajaran (BMP) ini, sebaiknya anda membaca terlebih dahulu petunjuk penggunaan berikut.

- 1) Berdoalah sebelum memulai pembelajaran.
- 2) BMP ini memiliki 13 Kegiatan Pembelajaran, yang sudah disesuaikan dengan jumlah minggu pertemuan tatap muka. Pembagian kegiatan pembelajaran sudah disesuaikan dengan alur implementasi, sehingga pamahaman satu materi akan memudahkan pemahaman di materi berikutnya.
- 3) Di setiap akhir kegiatan pembelajaran diberikan Uji Formatif, dengan tujuan menguji tingkat pemahaman Anda setelah menyelesaikan kegiatan pembelajaran. Jawablah setiap pertanyaan dan nilai yang diperoleh dapat dijadikan umpan balik untuk menilai apakah Anda sudah menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran tersebu dengan baik atau belum.
- 4) BMP ini didesain sesuai dengan KKNI, sehingga perkuliahan akan berlangsung dengan pendekatan Student Centered Learning (Berpusat pada mahasiswa). Setiap kegiatan pembelajaran akan dipresentasikan oleh mahasiswa secara berkelompok, sesuai kesepakatan pada awal perkuliahan
- 5) Untuk memudahkan Anda dalam memahami materi dalam modul, dosen (fasilitator) juga akan melakukan koreksi, penguatan konsep, simulasi, dan pembahasan contoh soal selama perkuliahan berlangsung.
- 6) Berdoalah setelah kamu selesai belajar.

Petunjuk penggunaan modul ini juga berguna untuk memandu pembaca mengetahui isi / komponen dalam ini. Penjelasan singkat tentang komponen tersebut akan membantu mempermudah pemahaman kalian tentang materi yang tersaji dalam BMP ini. Komponen- komponen yang ada pada Buku Materi pembelajaran (BMP) ini antara lain:

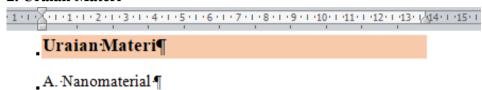
1. Judul Kegiatan Pembelajaran



Berfungsi sebagai judul atau topik yag akan kamu pelajari per pertemuan . di bawah fitur judul terdapat tabel yang menunjukkan kemampuan dasar dan sub

kemampuan dasar untuk memandumu tentang keterampilan apa saja yang harus kamu kuasai melalui modul ini.

2. Uraian Materi



Manamatarial adalah matarial uma mamilili dimanti neniana haribala. Berisi sejumlah uraian materi yang menjelaskan materi pembelajaran dalam

setiap pertemuan. Pada uraian materi ini berisi urain, contoh, ilustrasi , persamaaan yang fungsinya untuk memperjelas materi pembelajaran.

3. Tugas / Latihan/ lembar kerja Praktek

Fungsinya untuk menguji dan memperdalam pengetahuan, serta salah satu bentuk penerapan pengetahuanmu.



4. Rangkuman

Rangkuman¶



1.→ Nanomaterial· adalah· material· vang· memiliki· dimensi· panjang· berskala-

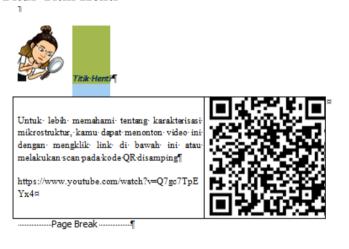
Jika kamu tersesat, bacalah mulai dari rangkuman. Rangkuman menyajikan versi singkat dari uraian materi.

5. Fitur Evaluasi Pembelajaran



Fitur ini berfungsi sebagai evaluasi pembelajaran pada setiap pertemuan. Jangan khawatir, jika skor mu masih dibawah 80, kamu bisa mengulang, hingga skormu mencapai 80.

6. Fitur Titik Henti



Hai, kita bisa berselancar di internet, menonton video pembelajaran yang bisa membantumu memahami materi.

RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS)

STE KRISTEN INO	UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA												
NESIA	Fakultas	: Fa			Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan								
ARTA 193	Jurusan / Pro	Jurusan / Prodi			Pendidikan Fisika								
			F	RENC	ANA PE	MBELAJAF	MBELAJARAN SEMESTER						
MATA KULIAH	KODE	E Rumpun M		ROROT					TGL Penyusunan				
Scanning Electron Microscopy (SEM)	14116132	2 MKPD									GANJIL		02 SEPTEMBER 2020
OTORISIASI	Pengembang	ng RPS			Koordinator RMK			Ka. PRODI					
OTORISIASI	NGIA MAST	TA, S.Pd.,M.Si.			,			TAAT GUSWANTORO, M.Si,					
Sikap 1) Bekerja sama dan mem dan lingkungan (S-6). 1) Menginternalisasi nilai 2) Menunjukkan sikap ber mandiri (S-9). Keterampilan Umum 1) Mampu melakukan pro					a (S-6). asi nilai, n sikap berta um ukan pros	norma, dan et anggungjawal es evaluasi d	ika akad b atas pel	emik (S-8). kerjaan di b dap kelomp	idang keahliannya secara				

	 Mampu mendokumentasikan, memyimpan, mengamankan, dan menemukan kembali data untuk menjamin kesahihan dan mencegah plagiasi (KU-9). Mampu mengungkapkan ide, opini, dan simpulan yang diperoleh dari berbagai sumber ke dalam karya ilmiah untuk menunjang dan mengembangkan kegiatan belajar dan pembelajaran Fisika (KU-10). Mampu menerapkan teknologi informasi dan komunikasi sebagai media atau sumber pembelajaran, mendukung proses dan pengembangan pembelajaran Fisika (KU-11).
	 Keterampilan Khusus 1) Mampu mengaplikasikan keilmuan fisika dalam melaksanakan pembelajaran inovatif (KK-2) 2) Mampu memecahkan solusi persamaan fisika (KK 7)
	Pengetahuan 1) Mengetahui dan memahami konsep dan prinsip keilmuan fisika (PG-3) 2) Mengetahui dan memahami konsep dan prinsip terapan fisika (PG-4) 3) Mampu menguasai konsep perkembangan fisika secara mikroskopik (PG-6) 4) Mengetahui dan memahami konsep dan prinsip fisika berbasis IPTEKS (PG-7)
СРМК	 Mahasiswa mampu merumuskan, mengaplikasikan dan menganalisis teori, hukum, dan azas yang terdapat dalam metode <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM), serta mempresentasikannya dalam pembelajaran dengan sikap disiplin, menunjukkan kinerja mandiri, sistematis dan bertanggung jawab. Mahasiswa mampu melakukan simulasi / praktikum dan melakukan analisis terhadap hasil simulasi / praktikum menggunakan Software ImageJ untuk

	melakukan analisis semi kuantitatif dari image yang dihasilkan dari metode					
	Scanning Electron Microscopy (SEM).					
	Mata kuliah ini menjabarkan metode SEM, peranan, prinsip kerja dan cara menganalisis <i>image</i> yang dihasilkan oleh SEM untuk keperluan riset bidang fisika murni. Mata kuliah ini terdiri dari 6 (enam)					
	bagian, yaitu:					
	1) Peran Metode SEM Bagi Nanoteknologi;					
DESKRIPSI	2) Prinsip Kerja Komponen- Komponen pada instrumen dan pembentukan image pada <i>Scanning Electron Microscope</i> ;					
SINGKAT MK	3) Deskripsi Image Elektron Sekunder (SE) dan Elektron Hamburan Balik (BSE) pada metode					
	Scanning Electron Microscopy (SEM);					
	4) Sistem yang mempengeruhi Perbesaran dan Ketajaman <i>Image</i> SEM					
	5) Karakterisasi Morfologi Material Menggunakan Metode SEM					
	6) Studi lapangan dan Review Paper					
	Kegiatan Pembelajaran 1 Teknologi nano / nanomaterial					
	Kegiatan Pembelajaran 2 SEM dan komponennya					
	Kegiatan Pembelajaran 3 SEM, OM, TEM dan FESEM, EDS dan SEM					
	Kegiatan Pembelajaran 4 Electron Gun					
	Kegiatan Pembelajaran 5 Interaksi berkas elektron-materi					
	Kegiatan Pembelajaran 6 Secondary Electron (SE)					
BAHAN KAJIAN	Kegiatan Pembelajaran 7 Backscattered Electron (BSE)					
	Kegiatan Pembelajaran 8 Sistem vakum dan perbesaran pada SEM					
	Kegiatan Pembelajaran 9 Kedalaman Fokus dan pengaruh percepatan tegangan					
	Kegiatan Pembelajaran 10 Karakterisasi Morfologi material					
	Kegiatan Pembelajaran 11 Preparasi Sampel SEM					
	Kegiatan Pembelajaran 12 Analisis gambar SEM (Software Imagej)					
	Kegiatan Pembelajaran 13 Observasi SEM					
	Kegiatan Pembelajaran 14 Review Paper					

	UTAMA
	1. Diktat / buku ajar
	2. Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C.
	(2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.
PUSTAKA	3. Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York:
IUSIANA	Springer.
	PENDUKUNG
	1. Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray
	microanalysis. Springer Science & Business Media.
	2. Sumber sumber lain yang sesuai
	PERANGKAT LUNAK
	1. Ms. Teams
MEDIA	2. Ms. Office
PEMBELAJARA	3. Internet browser
N PENIBELAJAKA	4. ImageJ
	PERANGKAT KERAS
	Laptop
	Handphone / gadget
DOSEN	NGIA MASTA,S.Pd.,M.Si.
PENGAMPU	
MATA KULIAH	Fisika Modern
SYARAT	TISIKA IVIOUCIII

Mg	Sub CPMK (Kemampuan	Bahan kajian	Bentuk dan metode pembelajaran	Estimasi	Pengalaman Belajar		Penilaian	
u ke	Akhir yang direncanakan)	(Materi Pembelajaran)	(Media dan SUmber Belajar)	waktu	Mahasiswa	Kriteria	Indikator	Bob ot
1		RPS			Mahasiswa mendengarkan penjelasan dosen, dan mengajukan pertanyaan			
2	Mahasiswa mampu menjelaskan peran metode SEM bagi nanoteknologi	Kegiatan Pembelajaran 1 Teknologi nano / nanomaterial	Bentuk : Kuliah Daring Metode: Presentasi dosen, diskusi kelompok dan penugasan Media : Ms. Teams , Power point / Sway Sumber belajar : Buku Ajar , handout , Video	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa mendengarkan penjelasan dosen, mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan.	Kriteria: Nanoteknolo gi dan nanomaterial Bentuk Non test: presentasi dan tanya jawab	Ketepatan menjelaskan peran metode SEM bagi nenoteknologi	5
3		Kegiatan Pembelajaran 2 SEM dan komponennya	Bentuk : Kuliah Daring Metode: Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan presentasi , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan	Kriteria: SEM dan komponenny a Bentuk Test Tertulis	Ketepatan menjelaskan SEM dan komponennya	5

Mg	Sub CPMK (Kemampuan	Bahan kajian (Materi	Bentuk dan metode pembelajaran	Estimasi	Pengalaman Belajar	Penilaian		
u ke	Akhir yang direncanakan)	Pembelajaran)	(Media dan SUmber Belajar)	waktu Mahasiswa	Kriteria	Indikator	Bob ot	
4		Kegiatan Pembelajaran 3 SEM, OM, TEM dan FESEM, EDS dan SEM	Media: Ms. Teams, Power point / Sway Sumber belajar: Buku Ajar, handout, Video Bentuk: Kuliah Daring Metode: Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media: Ms. Teams, Power point / Sway Sumber belajar: Buku Ajar, handout, Video	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan .	Rentuk Non test : presentasi dan tanya jawab Kriteria: Perbandinga n SEM dengan mikroskop lainnya, EDS dan SEM Bentuk Test Tertulis Bentuk Non test : presentasi dan tanya	Ketepatan menjelaskan Perbandingan SEM dengan mikroskop lainnya, EDS dan SEM	5
5	Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip Dasar	Kegiatan Pembelajaran 4 Electron Gun	Bentuk : Kuliah Daring Metode:	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan presentasi , mendengarkan	jawab Kriteria: Prinsip dasar electron gun	Ketepatan menjelaskan Prinsip dasar electron gun	5

Mg	Sub CPMK (Kemampuan	Bahan kajian	Bentuk dan metode pembelajaran	Estimasi	Pengalaman Belajar	Penilaian		
u ke	Akhir yang direncanakan)	(Materi Pembelajaran)	(Media dan SUmber Belajar)	waktu	Mahasiswa	Kriteria	Indikator	Bob ot
6	Pembentukan Image Pada Scanning Electron Microscopy (SEM)	Kegiatan Pembelajaran 5 Interaksi berkas elektron-materi	Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media: Ms. Teams, Power point / Sway Sumber belajar: Buku Ajar, handout, Video Bentuk: Kuliah Daring Metode: Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media: Ms. Teams, Power point / Sway Sumber belajar: Buku Ajar, handout, Video	BM: 2 x 2 x 60" TM: 2 x 50" TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan . Mahasiswa melakukan presentasi mendengarkan penjelasan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan .	Bentuk Test Tertulis Bentuk Non test Presentasi, tanya jawab Kriteria: Interaksi berkas elektron- materi Bentuk Test Tertulis Bentuk Non test Presentasi, tanya jawab	Ketepatan menjelaskan Interaksi berkas elektron- materi	5
7		Kegiatan Pembelajaran 6	Bentuk : Kuliah Daring	TM: 2 x 50 "	Mahasiswa melakukan	Kriteria :	Ketepatan menjelaskan	5

Mg	Sub CPMK (Kemampuan	Bahan kajian (Materi	Bentuk dan metode pembelajaran	Estimasi	Pengalaman Belajar		Penilaian	
u ke	Akhir yang direncanakan)	Pembelajaran)	(Media dan SUmber Belajar)	waktu	Mahasiswa	Kriteria	Indikator	Bob ot
		Secondary Electron (SE)	Metode: Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media: Ms. Teams, Power point / Sway Sumber belajar: Buku Ajar, handout, Video	TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	presentasi , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan .	Secondary Electron Bentuk Test Tertulis Bentuk Non test Presentasi, tanya jawab	Secondary Electron	
8		Kegiatan Pembelajaran 7 Backscattered Electron (BSE)	Bentuk : Kuliah Daring Metode: Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media : Ms. Teams , Power point / Sway Sumber belajar : Buku Ajar , handout , Video	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan presentasi , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan .	Kriteria: Backscattere d Electron (BSE) Bentuk Test Tertulis Bentuk Non test Presentasi, tanya jawab	Ketepatan menjelaskan Backscattered Electron (BSE)	5

Mg	Sub CPMK (Kemampuan	Bahan kajian	Bentuk dan metode pembelajaran	Estimasi	Pengalaman Belajar		Penilaian	
u ke	Akhir yang direncanakan)	(Materi Pembelajaran)	(Media dan SUmber Belajar)	waktu	Mahasiswa	Kriteria	Indikator	Bob ot
9		UTS						10%
10	Mahasiswa mampu menjelaskan Perbesaran Dan Ketajaman Image SEM	Kegiatan Pembelajaran 8 Sistem vakum dan perbesaran pada SEM	Bentuk : Kuliah Daring Metode: Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media : Ms. Teams , Power point / Sway Sumber belajar : Buku Ajar , handout , Video	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan presentasi , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan.	Kriteria: Perbesaran dan ketajaman SEM Bentuk Test Tertulis Bentuk Non test Presentasi, tanya jawab	Ketepatan menjelaskan Perbesaran dan ketajaman SEM	5
11		Kegiatan Pembelajaran 9 Kedalaman Fokus dan pengaruh percepatan tegangan	Bentuk: Kuliah Daring Metode: Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media: Ms. Teams, Power point / Sway	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan presentasi , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan .	Kriteria: Kedalaman Fokus dan pengaruh percepatan tegangan Bentuk Test Tertulis Kriteria:	Ketepatan menjelaskan Kedalaman Fokus dan pengaruh percepatan tegangan	5

Mg	Sub CPMK (Kemampuan	Bahan kajian (Materi	Bentuk dan metode pembelajaran	Estimasi	Pengalaman Belajar		Penilaian	
u ke	Akhir yang direncanakan)	Pembelajaran)	(Media dan SUmber Belajar)	waktu	Mahasiswa	Kriteria	Indikator	Bob ot
			Sumber belajar : Buku Ajar , handout , Video			Bentuk Non test		
12	Mahasiswa mampu menjelaskan Karakterisasi Morfologi Menggunakan Metode SEM	Kegiatan Pembelajaran 10 Karakterisasi Morfologi material	Bentuk : Kuliah Daring Metode: Presentasi mahasiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media : Ms. Teams , Power point / Sway Sumber belajar : Buku Ajar , handout , Video	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan presentasi , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan .	Kriteria: Karakterisasi morfologi menggunaka n metode SEM Bentuk Test Tertulis Bentuk Non test Presentasi, tanya jawab	Ketepatan menjelaskan Karakterisasi Morfologi Menggunakan Metode SEM	5
13		Kegiatan Pembelajaran 11 Preparasi Sampel sesuai jenisnya	Bentuk : Kuliah Daring Metode: Presentasi mahsiswa, diskusi kelompok dan penugasan Media : Ms. Teams , Power point / Sway	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan presentasi , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompom mengajukan pertanyaan, dan mengerjakan tugas mingguan .	Kriteria: Preparasi Sampel pada metode SEM Bentuk Test Tertulis Bentuk Non test	Ketepatan menjelaskan Preparasi Sampel Menggunakan Metode SEM	10%

Mg	Sub CPMK (Kemampuan	Bahan kajian	Bentuk dan metode pembelajaran	Estimasi	Pengalaman Belajar	Penilaian		
u ke	Akhir yang direncanakan)	(Materi Pembelajaran)	(Media dan SUmber Belajar)	waktu	Mahasiswa	Kriteria	Indikator	Bob ot
			Sumber belajar : Buku Ajar , handout , Video			Presentasi, tanya jawab		
14		Pembelajaran 12 Analisis gambar SEM (Software Imagej)	Daring	TT: 2 x 2 x 60'' BM: 2 x 2 x 60''	melakukan presentasi , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompok mengajukan pertanyaan, dan menganalisis image SEM menggunakan software IMAGEJ	gambar SEM (Software Imagej) Bentuk Test Tertulis	Ketepatan menganalisis gambar SEM menggunakan Software Imagej dan menyajikannya dalam bentuk laporan .	5
15		Kegiatan Pembelajaran 13 UJI SEM LIPI (kuliah lapangan daring) / review paper	Bentuk : Kuliah Daring Metode: Kuliah lapangan daring / studi literatur	TM: 2 x 50 " TT: 2 x 2 x 60" BM: 2 x 2 x 60"	Mahasiswa melakukan kuliah lapangan / review paper , mendengarkan penjelasan presentasi kel ompok mengajukan	Kriteria: Kunjungan Ilmiah / review paper Bentuk Test	Ketepatan menjelaskan kuliah lapangan / review paper dalam bentuk yang sistematis	5%

Mg	Sub CPMK (Kemampuan	Bahan kajian (Materi	Bentuk dan metode pembelajaran	Estimasi	Pengalaman Belajar		Penilaian	
u ke	Akhir yang direncanakan)	Pembelajaran)	(Media dan SUmber Belajar)	waktu	Mahasiswa	Kriteria	Indikator	Bob ot
			Media: Ms. Teams, Power point / Sway Sumber belajar		pertanyaan, dan melaporkan hasil kuliah lapangan / review paper	Tertulis Bentuk Non test		
			LIPI/ Artikel Ilmiah		r v v v r r v r	Kunjungan ilmiah / review paper		
16	JAS							0%

SISTEM PENILAIAN

I.PERSYARATAN UMUM

A. Kehadiran:

- 1. Jumlah kuliah tatap muka per semester yang harus dihadiri oleh mahasiswa/i adalah 16 pertemuan.
- 2. Batas toleransi kehadiran mahasiswa/i 75 % dari total jumlah pertemuan.
- 3. Kriteria ketidakhadiran mahasiswa/i adalah: S (sakit) ditandai dengan surat keterangan dokter, I (Ijin) ditandai dengan surat ijin resmi, dan A (Alpa), maksimal 4x pertemuan kelas.
- 4. Toleransi keterlambatan perkuliahan (dosen + mahasiswa/i) setiap tatap muka adalah 15 menit. Jika setelah 15 menit dosen + mahasiswa/i tidak hadir maka perkuliahan dibatalkan. (kecuali ada persetujuan atau ada masalah tertentu).

B. Perkuliahan:

- 1. Mata kuliah yang dilaksanakan mahasiswa berbasis KKNI.
- 2. Mata kuliah berbasis KKNI dinilai/dievaluasi per topik yang telah tuntas
- 3. Persentase penilaian/evaluasi ditentukan oleh dosen yang bersangkutan sesuai kompetensi MK dan capaian pembelajaran.
- 4. Tidak diperkenankan meninggalkan kelas selama perkuliahan tanpa ijin oleh dosen.
- 5. Mahasiswa memakai busana yang sopan.
- 6. Tidak membuat kegaduhan selama proses pembelajaran berlangsung.
- C. Kejahatan akademik: plagiarisme Menurut Peraturan Menteri Pendidikan RI Nomor 17 Tahun 2010:

"Plagiat adalah perbuatan **sengaja** atau **tidak sengaja** dalam memperoleh atau mencoba memperoleh kredit atau nilai untuk suatu karya ilmiah, dengan mengutip sebagian atau seluruh karya dan atau karya ilmiah pihak lain yang diakui sebagai karya ilmiahnya, tanpa menyatakan sumber secara tepat dan memadai." (Permendik No 17 Tahun 2010 dan Panduan Anti Plagiasime terlampir).

Sanksi sesuai Permendik No 17 Tahun 2010 Pasal 12:

- 1. teguran;
- 2. peringatan tertulis;
- 3. penundaan pemberian sebagian hak mahasiswa;

- 4. pembatalan nilai satu atau beberapa mata kuliah yang diperoleh mahasiswa;
- 5. pemberhentian dengan hormat dari status sebagai mahasiswa;
- 6. pemberhentian tidak dengan hormat dari status sebagai mahasiswa; atau
- 7. pembatalan ijazah apabila mahasiswa telah lulus dari suatu program.

II.PERSYARATAN KHUSUS

A. Tugas dan Tanggung jawab mahasiswa/i

Pada setiap tatap muka mahasiswa/i diwajibkan berpartisipasi aktif dalam proses perkuliahan melalui hal-hal berikut

- 1. Presentasi: mahasiswa/i wajib berpartisipasi aktif dalam diskusi yang diadakan dalam setiap tatap muka sesuai kebutuhan materi perkuliahan (lihat RPS).
- 2. Studi lapangan: mahasiswa/I wajib berpartisipasi aktif dalam studi lapangan yang diadakan di luar kampus sesuai topik materi perkuliahaan yang sudah ditentukan dalam RPS.
- 3. Tugas Mandiri: mahasiswa/i wajib mengerjakan tugas mandiri dalam bentuk review materi kuliah yang telah diberi tanda bintang pada referensi yang digunakan di RPS.
- 4. Tugas terstruktur: mahasiswa/i wajib membentuk kelompok untuk mendiskusikan berbagai fenomena sosiologis yang berhubungan dengan media dengan menerapkan konsep, teori dan metode analisis sosiologis media untuk menganisis dan menjelaskannya.

B. Gaya Selingkung Pengerjaan Tugas

- 1. Untuk mengerjakan tugas review, mahasiswa/i wajib mematuhi ketentuan berikut:
 - a. Artikel mahasiswa/i harus ditulis dengan komposisi: Pendahuluan (1 hal), Pembahasan (2 hal), Kesimpulan (½ hal).
 - b. Daftar referensi minimal menggunakan 3 buku dan 2 jurnal ilmiah.
 - c. Pengutipan dan penulisan daftar pustaka sesuai .
 - d. Ketentuan kertas A4, huruf Cambria, ukuran jenis 12, spasi 1½.
- 2. Untuk mengerjakan tugas makalah kelompok, mahasiswa/i wajib mematuhi ketentuan berikut:
 - a. Artikel mahasiswa/i harus ditulis dengan komposisi: Pendahuluan berisi permasalahan dan pentingnya isu/fenomena tersebut dibahas (2

- hal), Tinjauan Teoritis berisi teori apa yang hendak digunakan sebagai pisau analisis (2 hal), Pembahasan (5 hal), Kesimpulan (1 hal).
- b. Daftar referensi minimal menggunakan 5 buku dan 10 jurnal ilmiah.
- c. Pengutipan dan penulisan daftar pustaka menggunakan "APA (American Psychological Association).
- d. Ketentuan kertas A4, jenis huruf calibri, ukuran 12, spasi 1½.

III. PENILAIAN (*point-point penilaian rubrick dapat diisi sesuai dengan kebutuhan)

1. Rubrik penilaian presentasi

No	Indikator Penilaian Presentasi	Bobot (B)	Nilai (N)	BxN				
1.	Penguasaan materi	30%						
2.	Slide	20%						
3.	Komunikatif	20%						
4.	Kemampuan menjawab pertanyaan dari audience							
	Jumlah							

2. Rubrik penilaian kognitif (kuis, review dan makalah, hasil praktik imagej)

		0 0
No	Kualitas Jawaban	
1.	Tugas mingguan	40%
2.	Makalah (presentasi)	30%
3.	Laporan praktikum	
4.	Contoh: mahasiswa tidak melakukan plagiasi.	

3. Rubrik penilaian Studi Lapangan

No	Indikator	Bobot (B)	Nilai (N)	BxN
1	Studi lapangan daring ke LIPI / review paper	10 %		
2				
	Jumlah			

4. Rubrik penilaian sikap

No	Pernyataan	Selalu	Sering	Kadang – Kadang	Tidak	Pernah
		(SL)	(SR)	(KK)	(TP)	
1	Aktif dalam diskusi					
	kelas					
2	Jujur tidak melakukan					
	plagiasi					
3	Bekerja sama					
4	Bertanggung jawab					
5						

5. Skala nilai akhir dalam huruf dan angka:

Nilai Akhir (NA)	Nilai Huruf (NH)	Nilai Mutu (NM)
80,0-100,0	A	4,0
75,0-79,0	A-	3,7
70,0-74,9	B+	3,3
65,0-69,9	В	3,0
60,0-64,9	B-	2,7
55,0-59,9	С	2,3
50,0-54,9	C-	2,0
45,0-49,9	D	1,0
<44,9	E	0

6. Prosentase Tahap Penilaian Tugas dan kewajiban mahasiswa

Tahap1: Presentasi Kelompok	sebesar	20%
Tahap2: Penilaian kognitif	sebesar	20%
Tahap3: UTS	sebesar	20%
Tahap3: Penilaian sikap	sebesar	10%
Tahap5: Observasi SEM	sebesar	10%
Tahap 6: UAS	sebesar	20%

Terima kasih atas kerja sama dan kerja keras mahasiswa sekalian. Shalom.

Jakarta, 02 September 2020

Mengetahui, Disusun Oleh Ketua Program Studi, Dosen Pengampu,

Taat Guswantoro, M.Si.

Ngia Masta, S.Pd., M.Si.

fareles

....

Modul Pembelajaran Scanning Electron Microscope (SEM)

Pendahuluan

Hai Physics Learners! Selamat datang di Modul *Scanning Electron Microscopy*. Pada modul ini kita akan mempelajari tentang: 1) Nanomaterial dan Nanoteknologi; 2) SEM dan Komponennya; 3) SEM dengan Mikroskop lainnya; 4) Electron Gun; 5) Interaksi Berkas Elektron-Materi; 6) Secondary Electron; 7) Backscattered Electron; 8) Sistem Vakum dan Perbesaran Bayangan; 9) Kedalaman Fokus dan Pengaruh Tegangan Pemercepat; 10) Karakterisasi Mikrostruktur; 11) Preparasi Sampel SEM; 12) Software ImageJ; 13) Observasi SEM / Review Paper.

Kegiatan Pembelajaran 1 dan 2 menjelaskan tentang peranan SEM dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang kamu rasakan dalam kehidupa sehari-hari terutama pada teknologi nano. Kegiatan Pembelajaran 4 hingga 5 menjelaskan tentang Prinsip Kerja Komponen- Komponen pada instrumen dan pembentukan image pada Scanning Electron Microscope, terutama pada electron gun, susunan lensa elektromagnetik, tempat specimen, detector dan pengolah sinyal. Kegiatan Pembelajaran 6 dan 7 menjelaskan Deskripsi Image Elektron Sekunder (SE) dan Elektron Hamburan Balik (BSE) pada metode Scanning Electron Microscopy (SEM), SE dan BSE adalah image yang paling umum dianalisis. Kegiatan Pembelajaran 8 dan 9 mempelajari tentang sistem yang mempengeruhi Perbesaran dan Ketajaman Image SEM, diantaranya sistem vakum, perbesaran, pemercepat tegangan dan kedalaman focus. Kegiatan Pembelajaran 10 hingga 12 kita akan mempelajari tentang salah satu tujuan metode SEM, yaitu untuk melakukan Karakterisasi Morfologi Material, mulai dari pengantar apa itu karakterisasi morfologi, software imageJ, dan praktek menganalisis image Sem secara kualitatif dan semi kuantitatif. Kegiatan Pembelajaran 13 adalah kegiatan akhir yang dilakukan dengan Studi lapangan dan/atau Review Pape.r

Dengan mendalami metode Scanning Electron Microscopy maka kita akan dapat menyelami dunia nanomaterial dan nanoteknologi. Setelah

menyelesaikan Modul ini kamu diharapkan dapat menerapkan prinsip-prinsip dan teknik yang telah dipelajari untuk keperluan penelitian dan pembelajaran Fisika ya! Mari pelajari dengan antusias!

1. Capaian Pembelajaran Lulusan

Setiap lulusan Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Kristen Indonesia, wajib memiliki:

Ranah	Capaian Pembelajaran Lulusan		
Sikap (S)	1. Bekerja sama dan memiliki kepekaan sosial serta		
	kepedulian terhadap masyarakat dan lingkungan (S-6)		
	2. Menginternalisasi nilai, norma, dan etika akademik (S-8)		
Keterampilan	1. Mampu menerapkan pemikiran logis, kritis, sistematis,		
Umum (KU)	dan inovatif dalam konteks pengembangan atau		
	implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang		
	memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora yang		
	sesuai dengan bidang keahliannya; (KU-1)		
	2. Mampu mendokumentasikan, menyimpan,		
	mengamankan, dan menemukan kembali data untuk		
	menjamin kesahihan dan mencegah plagiasi; (KU-9)		
Keterampilan	Mampu Mendayagunakan IPTEKS dalam Kegiatan		
Khusus (KK)	Pembelajaran Fisika; (KK-3)		
	Mampu Mendayagunakan IPTEKS yang Berorientasi		
	dalam Kehidupan Sehari-Hari; (KK-4)		
Pengetahuan	1. Mengetahui dan Memahami Konsep dan Prinsip		
(PG)	Keilmuan Fisika; (P-3)		
	2. Mengetahui dan Memahami Konsep dan Prinsip		
	Terapan Fisika (P-4)		
	3. Mampu Menguasasi Konsep Perkembangan Fisika		
	secara Mikroskopik; (P-6)		

2. Kemampuan Akhir

Ranah	Kemampuan Akhir (KA)	
Pengetahuan	1. Mahasiswa mampu menganalisis preparasi sampel SEM	

Ranah	Kemampuan Akhir (KA)		
	2. Mahasiwa mampu menganalisis image SEM secara		
	kualitatif dan semikuantitatif		
Sikap	1. Mahasiswa mampu mendiskusikan ide, opini, dan		
	simpulan yang diperoleh dari berbagai sumber selama		
	perkuliahan secara aktif.		
	2. Mahasiswa mampu menaati nilai, norma, dan etika		
	akademik dengan baik.		
	3. Mahasiswa mampu bekerja sama dalam kelompoknya		
	dengan baik.		
Psikomotor	Mahasiswa mampu melakukan percobaan berikut presentasi		
	percobaan elektrostatik dan manfaatnya dalam kehidupan		
	sehari-hari		

3. Prasyarat Kompetensi

Prasyarat untuk mata kuliah ini antara lain:

- a. Mahasiswa mampu menganalisis dualisme gelombang energi (fisika modern)
- b. Mahasiswa mampu menjelaskan tereksitasinya elektron dari atom (fisika modern)

4. Kegunaan Modul

Modul Scanning Electron Microscope berguna bagi mahasiswa calon pendidik untuk memperkuat dasar pengetahuannya dalam kajian nanomaterial dan nanoteknologi Prinsip kerja elektron gun, terbentuknya elektron sekunder dan elektron hambusan balik (SE dan BSE) dapat dijadikan contoh efek hamburan elektron saat diberi energi luar (fisika modern) yang menjadi bahan kajian di XII SMA. Prinsip kerja lensa elektromagnet dapat digunakan untuk menjelaskan gaya lorentz pada bahan kajian listrik magnet di kelas XII SMA. Semua kegiatan pembelajaran, terutama karakteristik mikrostruktur akan sangat berguna pada kajian nanomaterial yang akan berguna jika mahasiswa menjadi peneliti pada bidang sifat listrik bahan atau melanjutkan pendidikannya pada bidang fisika murni dan terapan.

5. Materi Pokok dan Sub Materi Pokok

Materi Pokok	Sub Materi Pokok
A. Peran Metode SEM Bagi	1.Nanomaterial dan
Nanoteknologi;	Nanoteknologi
	2.SEM dan komponennya
B. Prinsip Kerja Komponen-	3. SEM dan Mikroskop lain
Komponen pada instrumen dan	4. Elektron Gun
pembentukan image pada Scanning	5. Interaksi Elektron-Materi
Electron Microscope;	
C. Deskripsi Image Elektron Sekunder	6. Secondary Electron
(SE) dan Elektron Hamburan Balik	7. Backscattered Electron
(BSE) pada metode Scanning	
Electron Microscopy (SEM);	
D. Sistem yang mempengaruhi 8. SIstem Vakum dan Perbesa	
Perbesaran dan Ketajaman Image	9. Kedalaman Fokus dan Pengaruh
SEM	Tegangan pemercepat
E. Karakterisasi Morfologi Material	10. Karakterisasi Morfologi
Menggunakan Metode SEM	11. Preparasi SAmpel
	12. Software ImageJ
F. Studi lapangan dan Review Paper	13 Observasi SEM
	14. Review Paper

Kegiatan Pembelajaran 1 Nanomaterial dan Nanoteknologi

Kemampuan		Sub Kemampuan Dasar
Dasa	r	
Mahasiswa	dapat	Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat
menjelaskan	peranan	menjelaskan definisi dan karakteristik nanomaterial
nanomaterial	dan	Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat
nanoteknologi		menjelaskan perbedaan nanomaterial dan
		nanoteknologi
		Melaui diskusi dan informasi mahasiswa dapat
		mempresentasikan dan contoh-contoh nanoteknologi
		dalam berbagai bidang kehidupan

Uraian Materi

A. Nanomaterial

Nanomaterial adalah material yang memiliki dimensi panjang berskala nanometer (1-100 nm), sehingga seringkali disebut material nanoscale. Material nanoscale memiliki ukuran yang lebih kecil daripada microscale (Tabel 1.1). Teknologi nano memanfaatkan sifat nanomaterial yang lebih reaktif daripada ukuran besarnya. Untuk meningkatkan keunggulan sifat nanomaterial, maka dilakukan rekayasa untuk mensintesis nano material yang dapat dimodifikasi ukuran, bentuk, dan morfologinya

Nanomaterial bisa memiliki sifat yang berbeda dengan sifat material secara makro. Misalnya platina pada skal makro bersifat *inert*, namun pada skala nano berubah menjadi *katalitik*. Emas pada skala makro berfase padat, sedangkan pada skala nano berupa cair. Tembaga pada skala makro berwarna *opaque*, sedangkan pada skala nano menjadi transparan. Ini disebabkan oleh tiga hal, yaitu efek *surface area*, efek ukuran dan efek kuantum.

Tabel 1 Contoh Nanoscale dan Microscale

Skala (meter)		Contoh	
Shara (meter)		Alamiah Sintesis	
	10 ⁻² hingga 10 ⁻³	Diameter rambut manusia $(10 - 50 \ \mu m)$	Perangkat Microelectromechanical Systems (MEMS) (20 \(\mu m - 1mm\)
Mikro	10 ⁻³ hingga 10 ⁻⁴	Keping darah merah (6 – 8 μm)	Ukuran partikel $Gd_{0,95}La_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ (~ 10 µm)
(μ)	10 ⁻⁴ hingga 10 ⁻⁵	diameter pembuluh darah kapiler (5 – 10 µm)	Large grain size $CH_3NH_3PbI_3$ based Perrovskite film (1,8 μ m)
	10 ⁻⁵ hingga 10 ⁻⁶	Abu/partikulat udara (0,5 μm)	Coffee particle size (~ 100 nm)
	10 ⁻⁶ hingga 10 ⁻⁷	Virus (20- 300 nm)	Diameter zone <i>plates X-ray</i> 15 nm
Nano	10 ⁻⁷ hingga 10 ⁻⁸	Diameter DNA (~ 2nm)	IC CHIP ($\sim 10 \text{ nm}$), $\alpha - Fe_2O_3$ quantum dots (3 nm)
(n)	10 ⁻⁸ hingga 10 ⁻⁹	Diameter molekul air (~ 0,275 nm)	Diameter nanotube karbon (0,4-40 nm)
	10 ⁻⁹ hingga 10 ⁻¹⁰	Jari-jari atom hidrogen (5 pm)	Parameter kisi kristal (orde dalam angstrom (Å))

1) Efek permukaan sentuh (surface area)

Permukaan sentuh (surface area) nanomaterial lebih besar daripada material awal. Pada kimia dasar kita telah mempelajari bahwa partikel dengan ukuran diameter lebih kecil akan memiliki permukaan surface area yang lebih besar, sehingga lebih reaktif. Sifat yang lebih reakftif akan meningkatkan reaktifitas kimiawi dan sifat elektrik.

2) Efek ukuran

Material berskala nano akan menjadi kompatibel (cocok/ sesuai) dengan banyak parameter fisis, misalnya ukuran gelombang kuantum, koherensi, dan *mean free*

path. Parameter ini akan menentukan sifat sifat material, misalnya temperatur lebur akan mengalami penurunan seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel. Emas pada ukuran makro (bulk) memiliki temperatur lebur $\sim 1300K$, sedangkan nanomaterial emas memiliki temperatur lebur $\sim 500K$.

3) Efek kuantum

Efek kuantum merupakan efek yang mendominasi sifat-sifat nanomaterial yang dipengaruhi oleh celah pita energi (*band gap*), misalnya titik lebur, konduktivitas listriknya permeabilitas warna, reaktivitas kimia, dan terutama sifat magnetik dan optik. Efek kuantum adalah fenomena tergantikanya pita energi yang kontinu oleh tingkat energi yang terpisah (diskontinu/ kuantum) jika ukuran partikel mendekati radius Bohr dari elektron dalam padatan (solid). Untuk nanomaterial, efek kuantum (pita energinya) sangat bergantung pada morfologinya (ukuran, bentuk, defek) dan distribusi komposisinya.

Menurut dimensinya, nanomaterial terbagi menjadi empat (4) golongan, yaitu golongan 0 (nol), 1 (satu), 2(dua) dan 3 (tiga) dimensi (Tabel 1.2).Penggolongan berdasarkan dimensi dapat diketahui dari morfologinya, dengan penjelasan sebagai berikut:

- 1) Pada golongan nol dimensi, morfologi material dilihat sebagai benda titik, contohnya adalah nanopartikel oksida logam (misalnya perovskite), bahan semikonduktor (misalnya silikon oksida), dan fullerenes.
- 2) Pada golongan satu dimensi, morfologi material berupa garis lurus, contohnya adalah material dengan morfologi nanowire (seperti kabel), nanorod (seperti akar), dan nanotubes (seberti tabung).
- 3) Pada golongan dua dimensi, morfologi material dipandang sebagai bidang/ luasan/ bidang, contohnya adalah pada thin film. Thin film adalah material yang sangat tipis (ketebalannya dalam orde Angstrom). Thin film dapat berupa material organik, inorganik, maupun organometallic dan dapat memiliki sifat yang sangat luas, tergantung penyusunnya (konduktor, isolator, semikonduktor, maupun superkonduktor.
- 4) Pada golongan tiga dimensi dipandang sebagai benda tiga dimensi yang memiliki volume dan geometri tertentu yang dapat diukur. Pada golongan tida dimensi meliputi nanokomposit, nanograined, mikroporous, interkalasi, dan organikanorganik hybrids.

Tabel 2 Golongan nanomaterial berdasarkan dimensinya

Tabel 2 Golongan nanomaterial berdasarkan dimensinya		
Dimensi	Uraian	Contoh SEM Image
Nol	Nanopartikel (oksida logam, semikonduktor, fullerenes)	Malonodiserinolamide-derivatized [60]fullerene (C60-ser) Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Malonodise rinolamide-derivatized-60fullerene-c-60-ser-molecular-structure-and_fig1_321104878
Satu	Nanotubes, nanorods, nanowires	Nanorods tungsten oxide (WO ₃) Sumber: https://blogs.rsc.org/ce/files/2014/05/Nanorods. png

Dimensi	Uraian	Contoh SEM Image
Dua	Thin films (multilayer, monolayer, self- assembled, mesoporous)	temp 8/2/2017 humidiymag s pressure 20 µm 20 µm 24/01 x 3.50e 4 Pa 20 µm 26/01 x 3.50e 4 Pa 20 µ
Tiga	Nanokomposit, nanograined, mikroporous, interkalasi, organik-anorganik hybrids	Nanokomposit CoFe ₂ O ₄ Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Typical- SEM-image-of-CoFe ₂ O ₄ -Co ₀ 6Zn ₀ 4Fe ₂ O ₄ -B-and-ZnFe ₂ O ₄ -C-ferrites- sintered_fig1_318180744

Tugas 1 (Part 1)

1. Apakah yang dimaksud dengan nanomaterial? Jelaskan dan berikan contohnya
minimal 2!
Jawab
2. Apakah yang dimaksud dengan thin film? Jelaskan dan berikan contohnya
minimal 2
Jawab
3. Apakah yang dimaksud dengan <i>nanocomposite</i> ? Jelaskan dan berikan
1 , 5
contohnya minimal 2!
Jawab
4. Efek apa sajakah yang membuat nanomaterial memiki sifat yang bisa sangat
berbeda dengan material pada skala makro (bulk)?
Jawab
5. Apa yang dimaksud dengan <i>bulk</i> ?
Jawab
Jawau

Tugas 1 (Part 2)

Lengkapilah tabel berikut dengan memberikan definisi, nama contoh material, fungsi material dan gambar pada masing-masing kategori nanomaterial berdasarkan dimensinya!

A. Satu Dimensi

Kategori	Deskripsi	Gambar SEM (dan sumber)
1. Nanotubes	Definisi:	
	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
2. Nanorods	Definisi:	
	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
3. Nanowires	Definisi:	
	Nama contoh material:	
	Fungsi:	

B. Dua Dimensi

Kategori	Deskripsi	Gambar SEM (dan sumber)
1. Multilayer thin	Definisi:	
films	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
2. Monolayer thin films	Definisi:	
	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
3. Self-assemble thin	Definisi:	
films	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
4. Mesoporous thin	Definisi:	
films	Nama contoh material:	
	Fungsi:	

C. Tiga Dimensi

Kategori	Deskripsi	Gambar SEM
		(dan sumber)
1. Nanokomposit	Definisi:	
	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
2. Nanograined	Definisi:	
	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
3. Mikroporous	Definisi:	
	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
4. Interkalasi	Definisi:	
	Nama contoh material:	
	Fungsi:	
5. Organik-anorganik	Definisi:	
hybrids	Nama contoh material:	
	Fungsi:	

B.Nanoteknologi

Nanoteknologi atau nanoscience adalah teknologi yang dilakukan untuk memproduksi (mensintesis) dan menggunakan nanomaterial, meliputi pencitraan, pemodelan, pengukuran, sintesis, dan modifikasi. Nanoteknologi dimulai oleh Profesor Nario Taniguchi tahun 1940 melalui sintesis nanoteknologi melalui kristal kuarts, silikon, dan alumina menggunakan mesin ultrasonik. Sintesis nanomaterial dilakukan dengan dua pendekatan , yaitu top-down dan bottom-up (Gambar 1.1)

Bulk Powder Nanoparticles Clusters Atoms

Top-down approach

Bottom-up approach

Gambar 1. 1 Teknik Top Down dan Bottom Up pada Sintesis Nanomaterial

 $Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Top-down-and-bottom-up-approaches-for-the-synthesis-of-nanoparticles_fig1_319986392$

Adapun penjelasan diagram pendekatan top down dan bottom up yaitu:

1) Pendekatan top down

Pendekatan *top down* adalah proses sintesis nanomaterial dengan cara membuat struktur yang lebih kecil dari sebuah material yang berukuran besar. Pendekatan *top down* dapat dilakukan melalui metode *ball miling*, *mechanical grinding*, *erosion* dan sonikasi.

Contoh: sintesa nanomaterial baja yang dilakukan melalui penghalusan bubuk besi dan karbon hingga berukuran 30 nm, kemudian disinter pada temperatur 1000 K dan tekanan 41 Mpa pada keadaan gas nitrogen.

2) Pendekatan bottom up

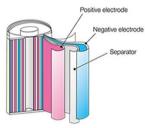
Pendekatan *bottom up* adalah proses sintesis nanomaterial yang menghasilkan sebuah struktur dengan cara menggabungkan atom-atom atau molekulmolekul penyusunnya. Teknik *bottom up* dilakukan melalui metode: evaporasi, *sputtering*, *sol* –*gel*, *Chemical Vapour Deposition* (CVD), MOCVD, *aerosol*, *chemical presipitation*, dan *gas phase agglomeration*.

Kombinasi 3 (tiga) efek pada Kegiatan Pembelajaran 1 (*surface area*, ukuran, dan efek kuantum) menyebabkan nanomaterial memiliki sifat-sifat yang lebih baik daripada material *bulk*-nya. Sifat-sifat unggulan tersebut diantaranya:

1) Sifat Elektrik

Nanomaterial dapat menghasilkan energi listrik yang lebih besar dari pada material yang memiliki ukuran lebih besar. *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) dari nanomaterial dapat menurunkan biaya 10-100 kali lipat dari teknologi konvensional. Baterai dan superkapasitor dari nanomaterial memiliki kemampuan 10-100 kali lipat teknologi konvensional. Fenomena elektrik pada material logam dengan ukuran makro akan mengikuti hukum Ohm E=VIt dengan $I=\frac{q}{t}$. Sifat dielektrik pada nanomaterial bisa dimanfaatkan sebagai katalis, sensor gas dan SOFC, misalnya pada perovskite Lanthanum Orthoferrite (Masta, 2019).

Gambar 1. 2 Diagram untuk Baterai Silinder Nikel-Hidrida (Baterai NiMH)



Sumber:

http://global.kawasaki.com/en/energy/solutions/battery_energy/about_gigacell/imag es/archi_il004.jpg

Sedangkan logam pada ukuran nano akan memiliki masukan elektrostatik (jumlah energi elektron) sebesar $\frac{e^2}{2C}$. Sebaliknya, resistivitas elektrik akan mengalami kenaikan seiring dengan penurunan ukuran partikel. Baterai logam nikel-hidrida atau Nickel Metal Hydride (NiMH) (Gambar 1.2) merupakan salah satu contoh penerapan pemanfaatan keunggulan sifat elektrik nanomaterial.

1) Sifat Magnetik

Sifat magnetik diukur menggunakan besar kekuatan magnetik. Semakin besar kekuatan magnetik, maka akan semakin besar tingkat kemagnetannya. Tingkat kemagnetan akan meningkat seiring dengan penurunan ukuran partikel, hal ini diakibatkan oleh kenaikan nilai *surface area* per satuan volume. Dengan demikian nanomaterial akan memiliki tingkat kemagnetan yang tinggi. Magnet nanokristalin yttrium-samarium-cobalt merupakan nanomaterial feromagnetik.

2) Sifat Mekanik

Nanomaterial disintesis untuk menghasilkan sebuah bahan yang memiliki sifat mekanis yang kuat / kokoh (tahan terhadap tegangan atau regangan) dan tahan gores. Pada uji kelenturan sebagian besar material akan mengalami patah karena banyaknya *defect* yang terjadi. Namun pada nanomaterial hanya terjadi sedikit *defect* saja. Cat yang menggunakan nanomaterial akan membuat bangunan atau kendaraan tetap sejuk, walaupun terpapar panas yang tinggi.

3) Sifat Optik

Nanomaterial memiliki sifat optik yang unik, yang disebabkan oleh efek kuantum. *Electrochromism* pada *Liquid Crystal Display* (LCD) (Gambar 1.3) merupakan salah satu contoh perubahan sifat optik pada nanomaterial. *Electrochromic* adalah fenomena berubahnya warna pada sebuah material jika diberikan tegangan yang berbeda. Contohnya perubahan warna pada material *electrochromic* pada LCD.

4) Sifat Kimia

Nanomaterial akan menjadi lebih reaktif secara kimiawi, sehingga aktivitas kimiawi akan meningkat. Sifat ini diaplikasikan pada teknologi SOFC yang menggunakan logam platina (Pt) dan rubidium (Ru). Nanomaterial juga mengalami peningkatan pada sifat katalisnya. Hal ini disebabkan oleh peningkatan *surface area* dan jumlah atom-atom pada ujung permukaan. Nanomaterial emas menjadi katalis oksidasi karbon monoksida (CO)

Liquid crystal DispLay

Electrodes

Color filter

Polarizing
filter

Display surface

Electrodes

Taplif care in a color filter

Gambar 1. 3Diagram Sederhana LCD

Sumber: https://cdn.techterms.com/img/lg/lcd_81-2.png

Tugas 1 (Part 3)

1. Apa perbedaan nanoteknologi dengan nanometerial?
Jawab
2. Apa saja teknik sintesis nanomaterial? Jelaskan juga masing-masin
metodenya dengan lengkap!
Jawab
3. Sifat- sifat unggul apa saja yang dimiliki oleh nanomaterial jik
dibandingkan dengan skala makro (bulk) ? Jelaskan masing-masing denga
lengkap!
Jawab

Rangkuman

- 1. Nanomaterial adalah material yang memiliki dimensi panjang berskala nanometer (1-100 nm), yang dapat memiliki sifat yang berbeda dengan ukuran *bulk*-nya. Perbedaan sifat ini disebabkan oleh:
 - a. Efek permukaan sentuh (surface area)

Permukaan sentuh (surface area) nanomaterial lebih besar daripada material awal. Partikel dengan ukuran diameter lebih kecil akan memiliki permukaan surface area yang lebih besar, sehingga lebih reaktif. Sifat yang lebih reaktif akan meningkatkan reaktifitas kimiawi dan sifat elektrik.

b. Efek ukuran

Material berskala nano akan menjadi kompatibel (cocok/ sesuai) dengan banyak parameter fisis, misalnya ukuran gelombang kuantum, koherensi, dan *mean free path*.

c. Efek kuantum

Efek kuantum adalah fenomena tergantikanya pita energi yang kontinu oleh tingkat energi yang terpisah (diskontinu/ kuantum) jika ukuran partikel mendekati radius Bohr dari elektron dalam padatan (solid). Untuk nanomaterial, efek kuantum (pita energinya) sangat bergantung pada morfologinya (ukuran, bentuk, defek) dan distribusi komposisinya.

- 2. Menurut dimensinya, nanomaterial terbagi menjadi empat (4) golongan, yaitu:
 - a. nol dimensi
 yaitu nanomaterial berupa titik, diantaranya: Nanopartikel (oksida logam,
 semikonduktor, *fullerenes*)
 - b. satu dimensi yaitu nanomaterial berupa objek yang memiliki panjang, diantaranya: nanotubes. nanorods. nanowires
 - c. dua dimensi yaitu nanometerial berupa bidang luasan, diantaranya: *Thin films* (multilayer, monolayer, self-assembled, mesoporous)
 - d. tiga dimensi
 yaitu nanomaterial berupa objek yang memiliki volume), diantaranya:
 Nanokomposit, nanograined, mikroporous, interkalasi, organikanorganik hybrids.

- 3. Nanoteknologi atau *nanoscience* adalah teknologi yang dilakukan untuk memproduksi (mensintesis) dan menggunakan nanomaterial, meliputi pencitraan, pemodelan, pengukuran, sintesis, dan modifikasi.
- 4. Sintesis nanometerial dilakukan dengan dua pendekatan , yaitu *top-down* dan *bottom-up*:
 - a. Pendekatan *top down* adalah proses sintesis nanomaterial dengan cara membuat struktur yang lebih kecil dari sebuah material yang berukuran besar. Pendekatan *top down* dapat dilakukan melalui metode *ball miling*, *mechanical grinding*, *erosion* dan sonikasi.
 - b. Pendekatan *bottom up* adalah proses sintesis nanomaterial yang menghasilkan sebuah struktur dengan cara menggabungkan atom-atom atau molekul-molekul penyusunnya. Teknik *bottom up* dilakukan melalui metode: evaporasi, *sputtering*, *sol* –*gel*, *Chemical Vapour Deposition* (CVD), MOCVD, *aerosol*, *chemical presipitation*, dan *gas phase agglomeration*.
- 5. Sifat-sifat nanomaterial yang lebih unggul dibandingkan *bulk*-nya, diantaranya:
 - a. Sifat Elektrik

Nanomaterial dapat menghasilkan energi listrik yang lebih besar dari pada material yang memiliki ukuran lebih besar. Sebaliknya, resistivitas elektrik akan mengalami kenaikan seiring dengan penurunan ukuran partikel.

- b. Sifat Magnetik nanomaterial akan memiliki tingkat kemagnetan yang tinggi.
- c. Sifat Mekanik

Nanomaterial disintesis untuk menghasilkan sebuah bahan yang memiliki sifat mekanis yang kuat / kokoh (tahan terhadap tegangan atau regangan) dan tahan gores.

d. Sifat Optik

Nanomaterial memiliki sifat optik yang unik, yang disebabkan oleh efek kuantum.

e. Sifat Kimia

Nanomaterial akan menjadi lebih reaktif secara kimiawi, sehingga aktivitas kimiawi akan meningkat.

Evaluasi Formatif 1

Melengkapi Tabel

Dari uraian diatas telah dibahas fenomena-fenomena tentang nanoteknologi. Buatlah inventaris aplikasi nanomaterial pada tabel berikut:

Bidang		Aplikasi nanomaterial
	Elektronika	
2.	Kosmetik	
3.	Kesehatan	
4.	Cat	
5.	Katalis	
6.	Pangan (produk makanan, kemasan)	
7.	Konstruksi	
8.	Keramik	
9.	Tekstil	
10	. Energi alternatif	
•••		

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 1

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Masta, N., Rafsanjani, R.A., Triyono, D. (2019). Structural, optical, and room temperature dielectric properties of La_{1-x}A_xFeO₃ (A= Mg, Sr, and Ba) perovskite nanomaterials.(Vol. 4) Journal Of Physics: Conference Series, Hal 044067. IOP Publishing.

Kegiatan pembelajaran 2 SEM dan Komponennya

Kemampuan Akhir		Sub Kemampuan Akhir	
Mahasiswa dapat	1.	Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat	
menjelaskan		menjelaskan prinsip kerja electron gun pada SEM.	
fungsi	2.	Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat	
komponen-		menjelaskan komponen-komponen, prinsip kerja dan	
komponen pada	kegunaan rangkaian lensa magnetik pada kolom SEM.		
SEM dengan	3.	Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat	
benar.		menjelaskan fungsi detektor SE dan BSE pada SEM	
		dengan benar.	
	4.	Melalui diskusi dan informasi mahasiswa dapat	
		menjelaskan image display dan perekaman data pada	
		SEM dengan benar	

Uraian Materi

A. Komponen Penyusun SEM dan Elektron Gun

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah instrumen yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek sehingga menghasilkan citra (*image*) dari objek itu. Image yang paling sering dihasilkan oleh SEM ada du jenis, yaitu permukaan sampel dan pemetaan komposisi sampel.

1. Sejarah Singkat dan Teori Dasar

Penemu SEM adalah seoreang fisikawan asal jerman yang bernama Max Knoll. Max Knoll memperkenalkan konsep SEM pada tahun 1935. Ia mengajukan gagasan bahwa sebuah image (citra) dapat dihasilkan dengan melakukan pemindaian pada permukaan sampel dengan memfokuskan berkas elektron sehalus mungkin (dengan diameter berkas elektron sangat kecil). Kemudian pada tahun 1937, seorang fisikawan jerman lainnya yang bernama Manfred von Ardenne pertama kali memproduksi SEM.

SEM dikembangkan dari teori panjang gelombang De Broglie, yaitu partikel yang bergerak memiliki sifat sebagai gelombang. Panjang gelombang dari partikel yang bergerak ini berbanding terbalik dengan momentumnya. Secara matematis persamaan panjang gelombang de Broglie diberikan oleh

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$
 2.1

Dengan λ adalah panjang gelombang (m), h adalah tetapan Planck, dan p adalah momentum partikel, m adalah massa partikel dan v adalah kecepatan partikel.

Elektron memiliki muatan dan dapat bergerak dipercepat dalam sebuah medan listrik. Medan potensial listrik pada SEM dihasilkan dari perbedaan tegangan yang sangat besar. Jika sebuah elektron bergerak dipercepat melalui sebuah potensial sebesar *eV*, maka besar energi kinetik akhirnya adalah

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV 2.2$$

Dengan e adalah muatan elementer = 1.6×10^{-19} C dan V adalah besar potensial listrik (volt). Dari persamaan 2.2, maka diperoleh besar momentum elektron sebagai fungsi potensial adalah

$$p = \sqrt{2meV}$$
 2.3

Persamaan 2.3 menunjukkan besar momentum elektron yang dipercepat dari keadaaan awal diam dengan beda potensial V. Saat elektron memiliki momentum,maka panjang gelombang yang dihasilkannya adalah sebesar

$$\lambda = \sqrt{\frac{h^2}{2meV}}$$

Subtitusikan nilai konstanta Planck $h=6.6\times 10^{-34}$, massa elektron $m_e=9.1\times 10^{-31}$ kg dan muatan elektron sebesar 1.6×10^{-19} C, maka akan diperoleh

$$\lambda = \frac{12,2}{\sqrt{V}} \text{Å}$$
 2.5

Dengan radius berkas elektron r_{airy} sebesar

$$r_{airy} = \frac{0.61\lambda}{n\sin\alpha}$$
 2.6

Gabungkan persamaan 2.5 dan 2.6 sehingga diperoleh $r_{airy} = \frac{0.61}{n \sin \alpha} \frac{12.2}{\sqrt{V}}$

$$r_{airy} = \frac{0.61}{n\sin\alpha} \frac{12.2}{\sqrt{V}}$$
 2.7

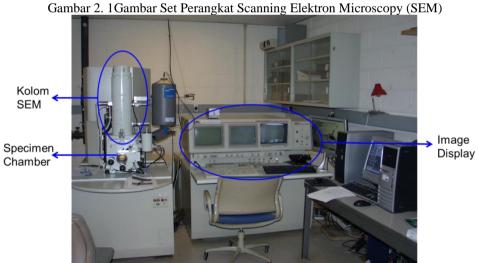
Kerana sudut *aperture* (bukaan) dari SEM sangat kecil, sehingga $\sin \alpha \approx \alpha$ dan karena objek dan bayangan berada pada ruang bebas medan listrik, maka indeks biasnya n=1, sehingga jari-jari berkas elektron SEM adalah sebesar

$$r_{airy} = \frac{7.5}{\alpha \sqrt{V}}$$
 2.8

Umumnya digunakan $\alpha=10^{-2}$ radian, $V=10^5$ volt, sehingga diperoleh jari-jari berkas elektron pada SEM adalah sebesar r=2,4 Å. Dengan jari-jari berkas sinar elektron yang sangat kecil inilah, maka SEM dapat memindai permukaan sampel pada skala nano. Mikroskop elektron dapat menghasilkan perbesaran hingga dua juta kali, mikroskop elektron memiliki resolusi yang lebih besar dibanding mikroskop cahaya atau mikroskop optik.

2. Komponen-komponen Scanning Electron Microscope (SEM)

Telah disebutkan sebelumnya, Scanning Electron Microscope (SEM) (Gambar 2.1) adalah instrumen mikroskop elektron yang menggunakan elektron untuk memindai sebuah objek. SEM umunya digunakan untuk melihat objek yang sangat kecil (skala nano). SEM digunakan oleh seluruh teknologi yang berskala nano, diantaranya untuk mengidentifikasi material,pada bidang material science, forensik, analisis kegagalan metalurgi dan elektronik, ilmu korosi, batuan mineral, perangkat nano, polimer, katalis, desain semikonduktor, dan pertambangan minyak dan gas.



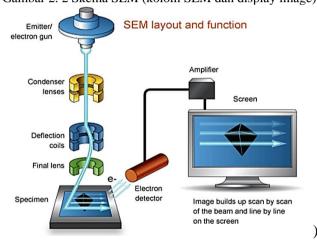
Sumber: http://prism.mit.edu/reu07/Tony%20SEM%20summer%202007.ppt

Industri yang menggunakan SEM diantaranya akademik dan riset, minyak dan gas, penghasil daya, metal dan alloy, otomotif, aerospace, petrokimia, semikonduktor, komputer, dan industri pengolahan bahan kimia.

Image (citra) yang dihasilkan dari SEM berupa gambar hitam putih (tanpa warna), hal ini disebabkan karena panjang gelombang yang dihasilkan oleh

elektron probe (elektron pemindai) tidak berada pada spektrum cahaya tampak. Berkas sinar elektron dengan jari-jari yang kecil yang telah kita temukan pada persamaan 2.8 inilah ditembakkan ke sampel. Elektron kemudian berinteraksi dengan atom- atom pada sampel. Elektron hasil interaksi kemudian menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi, morfologi, dan informasi lainnya yang ditangkap oleh detektor.

Instrumen SEM terdiri dari beberapa perangkat aecara garis besar, perangkat –perangkat tersebut dapat dikategorikan dalam tiga komponen, yaitu komponen pemindai, komponen penyajian gambar dan data (*image display*) dan komponen pendukung. Komponen pemindai sampel dan komponen *image display* telah diberikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Skema SEM (kolom SEM dan display image)

Sumber: https://nanohub.org/resources/25495/download/Nano Characterization Lecture4.pptx

Komponen pemindai (Gambar 2.2 sebelah kiri) adalah komponen yang menghasilkan input berupa sinyal elektron hasil interaksi dengan atom-atom sampel. Interaksi elektron-atom sampel ada dua macam, yaitu secondary electron dan backscattered electron. Kedua interaksi ini akan dipelajari pada modul berikutnya. Komponen pemindai sampel terdiri dari electron gun, rangkaian lensa magnetik, tempat spesimen, scanning coils (deflection coils), dan detektor. Komponen pemindai sampel berada pada kolom sem (lihat Gambar 2.1).

Kolom SEM berbentuk tabung dan menjadi tempat dihasilkannya berkas elektron (electron beam) hingga menjadi elektron pemindai (*electron probe*). Elektrorn pemindai inilah yang ditembakkan ke sampel dan akhirnya menghasilkan sinyal elektron setelah berinteraksi dengan sampel. Di dalam kolom SEM elektron dihasilkan oleh elektron gun, dipercepat oleh anoda, diarahkan melalui seperangkat lenda magnetik, difokuskan melalui scanning coil dan akhirnya ditembakkan ke sampel. Setelah elektron ditembakkan, elektron

berinteraksi dengan tom-atom sampel dalam bentuk tumbukan. Hasil dari interaksi ini adalah foton dan beberapa spektrum elektron yang kemudian ditangkap oleh detektor.

Komponen penyaji gambar dan data adalah serangkaian perangkat pengolah input sinyal kemudian mengolahnya menjadi bentuk image (citra) dan data kuantitatif. Komponen penyaji gambar dan data terdiri atas komponen keras (hard ware) berupa amplifier, processor dan layar. Amplifier berfungsi sebagai penguat data, processor sebagai perangkat untuk mengolah data dan layar digunakan untuk menampilkan gambar dan data. Biasanya minimal terdapat dua layar yang digunakan sebagai hasil SEM. Layar pertama digunakan untuk melakukan pengaturan, sementara layar kedua digunakan untuk melihat hasil berupa gambar dan data. Untuk melakukan pengatrturan tersedia konsol kontroil berupa tombol – tombol putar yang bisa digunakan untuk melalukan tune sehingga kualitas gambar yang dihasilkan bisa maksimal.

Prosedur kerja SEM berdasarkan komponen-komponen penyusunnya (Gambar 2.2) dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1. Electron beam dari electron gun difokuskan oleh serangkaian lensa elektromagnetik, sehingga menghasilkan electron primer / elektron probe. Elektron probe adalah elektron yang memiliki jari-jari sekita 2,4 Å (Sesuai persamaan 2.8)
- 2. Elektron primer keluar dari lensa akhir (*final lens*) kemudoan menumbuk *specimen* (sampel)
- 3. Elektron primer melakukan penetrasi kedalam permukaan sampel dan kemudian terjadi interaksi antara elektron primer dengan atom-atom penyusun sampel
- 4. Hasil interaksi elektron-sampel (ada dua jenis interaksi yaitu tumbukan elastis dan nonelastis, yang akan dibahas pada modul selanjutnya) menghasilkan beberapa spektrum elektron dan foton
- 5. Elektron dan foton yang teremisi kemudian dideteksi oleh detektor dan selanjutnya diteruskan ke amplifier untuk dikuatkan.
- 6. Detektor mengolah sinyal yang diterima dan mengubahnya menjadi *image* dan data kuantitatif.
- 7. Image dan data ditampilkan di *display*
- 8. Data hasil pemindaian disimpan dalam bentuk digital.

Komponen pendukung SEM diantaranya *power supply*, sistem vakum dan sistem pendingin. SEM adalah sebuah instrumen pemindai objek yang menggunakan sistem vakum. Tegangan yang tinggi dalam pengoperasian SEM seringkali mengakibatkan kenaikan suhu pada alat, sehingga diperlukan sebuah sistem pendingin digunakan untuk menjaga agar suhu bisa terjaga pada suhu optimum kerja. Peranan sistem vakum akan dibahas pada modul berikutnya. Dalam pengoperasiannya, instrumen SEM juga harus diletakkan pada lantai non vibrasi dan ruangan yang bebas dari medan magnet dan medan listrik.

Sebuah komponen SEM memiliki minimal sebuah detektor secondary electron. Detektor tambahan dari sebuah SEM bisa berupa detektor backscattered electron, sinar X, dan EDAX. Semakin banyak fitur detektor sebuah SEM, maka semakin lengkap karakterisasi material yang dapat dilakukan. Karakterisasi material adalah sebuah studi yang dilakukan untuk menganalisis sifat fisis dari sebuah material, misalnya bentuk permukaan, struktur kristal, elemen penyusun, kerapatan, besar butir dan kecacatan (defek). Instrumen SEM yang dilengkapi banyak fitur diberikan pada Gambar 2.3.

Gambar 2. 3 Fitur-fitur karakterisasi pada sebuah SEM

Ket:

1 = Electron Column
2 = Energy Dispersive
Spectometer
3 = Wavelength-Dispersive
Spectometers
4 = Visible-light Microscope
5 = Secondary Electron

Sumber: https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/EPMA.html

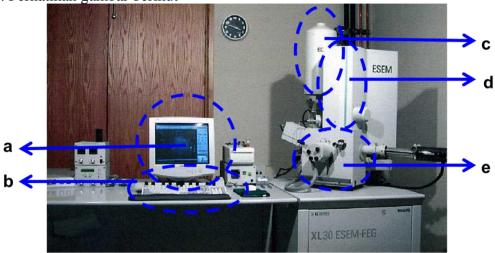
Detector
6 = Backscattered Electron
Detector

Gambar 2.3 menunjukkan sebuah SEM yang dilengkapi oleh Energy Dispersive Spectometer (EDS), Wavelength Dispersive Spectometers (WDS), Mikroskop optik, detektor secondary electron (SE) dan detektor backscattered electron (BSE). Mikroskop optik ditambahkan pada SEM untuk membantu mengatur posisi sampel di dalam *specimen chamber*.

Fitur EDS digunakan untuk menganalisis elemen penyusun sampel. Fitur WDS digunakan untuk melengkapi EDS, EDS digunakan untuk memindai elemen penyusun sampel secara cepat, sedangkan WDS digunakan untuk menganalisis struktur kimia secara akurat dari sampel dan juga untuk memetakan komposisi elemen sinar X dari sebuah titik (spot) atau pun pada area yang lebih luas pada sampel.Detektor SE dan BSE adalah fitur standar pada SEM. Dari detektor SE dan BSE inilah image SEM dihasilkan.

Tugas 2 (Part 1)

1. Perhatikan gambar berikut



Jodohkanlah kolom sebelah kiri dengan kolom di sebelah kanan, dengan keterangan gambar yang sesuai komponen penyusun SEM.

J	6
Gambar	Keterangan
a	①EDAX
b	②Kolom SEM
c	3 Specimen chamber
d	4 Layar
e	(5) Konsol kontrol

Apa yang	; dimaksuo	dengan S	Scanning	Electron	Microsco	pe (SEM	?)
Jawab:							
		,					

3. Berapa besar kelajuan elektron keluar dari jika berada pda sebuah kolom yang ujung-ujungnya diberi beda tegangan 3000 kV ?

Jawab:			

4. Sebutkan minimal 15 bidang riset dan industri yang menggunakan SEM!
Jawab:
5. Sebutkan minimal 10 jenis sampel yang dapat dipindai oleh SEM!
Jawab:
6. Sebutkan dan jelaskan peranan ilmuwan- ilmuwan yang berjasa dala
penemuan SEM!
Jawab:
7. Dapatkah SEM menghasilkan gambar (image) yang berwarna? Jelaska
alasannya!
Jawab:

B. Electron Gun

Electron Gun adalah komponen elektrik SEM yang memproduksi sinar elektron (*electron beam*) yang memiliki energi kinetik tertentu dari sebuah katoda. Katoda adalah bahan yang mudah melepas elektron (bermuatan negatif). Prinsip kerja elektron gun adalah mengemisikan elektron dari sebuah katoda, baik melalui pemanasan (emisi termal) atau memberi medan listrik luar (emisi medan). Elektron yang dihasilkan dari katoda disebut sebagai berkas elektron (electron beam). Electron beam kemudian bergerak dipercepat menuju pelat anoda yang telah diberi potensial positif sebesar 1 hingga 30 kV. Gerak elektron dari katoda menuju anoda sesuai dengan gaya listrik, yaitu

$$F = qE = q(-\nabla V)$$
 2.9

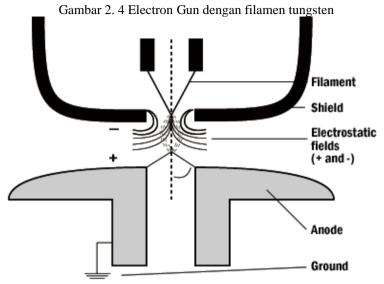
Besar aliran elektron dari katoda menuju anoda dapat diukur menggunakan Elektroda Wehnelt. Elektroda Wehnelt adalah sebuah elektroda yang bersifat sebagai pemberi tegangan negatif dan ditempatkan diantara anoda dan katoda. Dengan mengempatkan elektroda Wehnlet, maka elektron juga dapat lebih mudah untuk difokuskan. Diameter terbaik dari elektron yang dihasilkan oleh elektroda Wehnlet disebut sebagai elektron penyintas atau "*The Crossover*", besar diameter lubang yang dilalui adalah 15 hingga 20 µm. Dari pelat anoda kemudian berkas elektron mengalami pemampatan dan difokuskan (condensed) oleh serangkaian lensa magnetik.

1. Emisi Termal

Electron gun dengan jenis emisi termal kebanyakan digunakan pada SEM konvensional, jenis ini bekerja dengan cara memanaskan filamen (katoda) pada suhu tinggi (~2800K). Pemanasan dilakukan dengan memberikan potensial positif kepada filamen. Saat energi panas yang diberikan lebih besar dari energi ambang bahan, maka akan terjadi eksitasi elektron (emisi elektron). Pada electron gun dengan jenis emisi termal biasanya menggunakan filamen berbahan tungsten atau lanthanum hexaborite (LaB₆). Elektron yang teremisi dari katoda kemudian bergerak dipercepat menuju anoda. Jumlah elektron yang diemisikan dari electron gun mempengaruhi tingkat kecerahan dan resolusi gambar.

a. Filamen Tungsten

Katoda berbahan tungsten adalah sebuah kawat dengan kekuatan mekanis besar. Kawat tungsten dibengkokkan sehingga membentuk huruf V, seperti penjepit rambut (hair pin) (Gambar 2.4). Dengan bentuk seperti ini, maka katoda memiliki ujung yang lancip (runcing). Ujung yang runcing akan memudahkan peloncatan elektron dari bahan tersebut.



Sumber: https://cmrf.research.uiowa.edu/scanning-electron-microscopy

Filamen tungsten dipanaskan pada temperatur 2400°C. Pada temperatur ini, diperkirakan densitas muatan pada kawat tungsten adalah 1,75 A/cm². Elektron akan mengalami besar potensial distribusi sebesar 0 sampai 2 volt. Dengan bias potensial antara 0 hingga 500 volt, maka elektron yang dihasilkan dapat mengalami percepatan menuju anoda. Elektron yang dihasilkan dari electron gun ini dapat melalui sebuah *hole* yang sangat kecil (kurang dari 1 mm) untuk menuju kolom SEM (dalam keadaan vakum) untuk menghasilkan pemindaian. Saat sebuah hole tercipta di pusat anoda, maka elektron akan bergerak melalui hole ini.

b. Filamen LaB₆

Filamen Lanthanum hexaborite (LaB_6) menghasilkan berkas elektron yang lebih terang dibandingkan tungste, hal ini disebabkan karena fungsi kerja bahan LaB_6 lebih rendah (sekitar 2,70 eV) dibandingkan tungsten. Fungsi kerja yang lebih rendah mengakibatkan elektron yang terimisi akan lebih banyak pada temperatur yang sama dengan tungsten. Umur pemakaian filamen LaB_6 juga lebih panjang daripada tungsten (4,5 eV). Intensitas elektron yang lebih besar akan menghasilkan kecerahan dan resolusi gambar lebih tinggi. Filamen LaB_6 dioperasikan pada suhu $2125^{\circ}C$, lebih rendah beberapa ratus derajat celsius dibandingkan tungsten.

Gambar 2. 5 Filamen Lanthanum Hexaborite



Sumber: https://www.cae.tntech.edu/~jbiernacki/electronmicroscopy.ppt

Skema filamen LaB₆ diberikan oleh Gambar 2.5. Tidak seperti filamen tungsten yang berbentuk seperti *hairpin*, filamen LaB₆ berupa sebuah kristal kecil berwarna merah keunguan yang ditopang oleh dua elektroda. Bagian ujung filamen LaB₆ harus sangat runcing, agar mengurangi potensial halangan dan memudahkan elektron teremisi dari ujungnya.

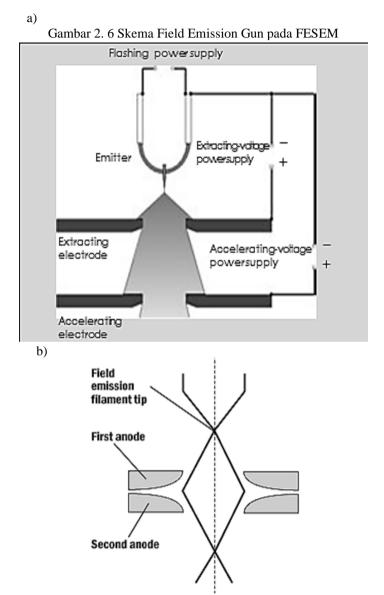
Kelebihan dari filamen LaB_6 adalah menghasilkan gambar dari filamen LaB_6 memiliki resolusi gambar yang lebih tinggi. Kecerahan gambar yang dihasilkan dapat mencapai sepuluh kali lebih besar dibanding tungsten pada keadaan yang sama dan umur pakainya juga bisa sepuluh kali lebih lama. Kecerahan dan tingginya resolusi gambar ini disebabkan karena ada lebih banyak berkas elektron yang ditembakkan pada semua titik (spot) kecil pada sampel. Kelemahan dari filamen LaB_6 adalah memiliki harga yang lebih mahal dari tungsten dan memerlukan kondisi vakum yang sangat tinggi dalam pengoperasiannya, hal ini disebabkan LaB_6 lebih mudah terkontaminasi oleh carbon.

2. Emisi Medan Listrik

Jenis *electron gun* lainnya yang umum dipakai adalah emitor *Field Emission* (Gambar 2.6a). Pada modul ini hanya membahas *Field-Emission Electron Gun* (FE Gun) saja. FE Gun dipakai untuk menghasilkan SEM yang memiliki daya resolusi tinggi. FE Gun bekerja dengan memanfaatkan efek emisi bidang (Field-emission effect) saat berada pada medan listrik tinggi yang dikenakan pada permukaan logam (Gambar 2.6b). FE Gun menggunakan katoda tungsten dengan ujung berbentuk lancip (diameter ujung sekitar 100 nm). Ujung lancip inilah yang disebut emiter. Ketika sebuah tegangan positif diaplikasikan pada anoda (sekitar beberapa kV), timbul efek *tunneling* dan elektron akan teremisi dari emitor.

Efek tunneling adalah efek yang terjadi jika sebuah elektron dapat menembus hole yang terdapat pda potensial penghalang. Jika terdapat sebuah hole pada pusat elektroda, maka elektron yang teremisi akan mengalir melalui *hole* ini.

Kemudian, jika elektroda diberi tegangan lebih rendah dari tegangan katoda, maka sinar elektron akan memiliki energi tertentu. Untuk menghasilkan emisi medan, maka ujung lancip dari emitor harus dalam keadaan sangat bersih. Maka FE Gun harus ditempatkan pada keadaan ultra vakum (sekitar 10⁻⁸ Pa).



Sumber:a) https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf b) https://cmrf.research.uiowa.edu/scanning-electron-microscopy

Berkas elektron yang teremisi dari emitor bertindak sebagai berkas sinar dari sebuah partikel elektron yang sangat kecil (berdiameter sekitar 5-10 nm), sementara ada Thermionic Electron Gun (TE Gun), sumber elektronnya

berdiameter 10 -20 µm. Hal ini menunjukkan bahwa FE Gun menghasilkan elektron yang berukuran lebih kecil daripada TE Gun. Oleh sebab itu FESEM menghasilkan resolusi yang lebih tinggi daripada SEM. Kelebihan lainnya dari FESEM adalah pancaran energi dari elektron FE Gun lebih kecil dari pada TE Gun, karena FE Gun tidak menggunakan pemanasan pada emitor.

C. Susunan Lensa Magnetik

Lensa elektromagnetik pada mikroskop elektron berfungsi untuk mengatur fokus berkas elektron pemindai (elektron probe). Dalam mengatur fokus berkas elektron ini, lensa kondenser akan memampatkan berkas sinar elektrron yang keluar dari anoda sehingga berkas elektron yang semula tersebar kemudian menjadi lebih terfokus. Lensa kondenser berperan dalam mengatur diameter berkas elektron sebelum menuju scanning coils, dengan mengatur fokus berkas sinar maka diameter elektron probe juga dapat diatur besarnya.

Lensa kondenser juga berperan dalam mengatur besar intensitas berkas elektron sebelum menuju scaning coils. Di bagian ujung lensa kondenser terdapat *aperture* (bukaan) di bagian ujungnya, yang fungsinya mengatur besar arus listrik pada lensa. Jika arus listrik pada lensa kondenser meningkat, maka berkas sinar akan terpancar jauh diatas *aperture*. Aperture kemudian memblok kelebihan berkas sinar ini sehingga arus listrik pada lensa kondenser dapat tetap dijaga besarnya.

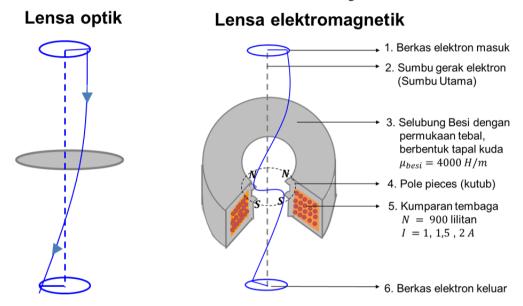
1. Lensa Elektromagnetik

Hans busch menemukan bahwa medan magnet dapat bertindak seperti sebuah lensa, yaitu memfokuskan berkas sinar elektron di satu titik. Medan magnet ini adalah medan magnet induksi yang dihasilkan dari kumparan berarus searah (DC). Medan magnet induksi berperan seperti lensa positif yang mengumpulkan berkas sinar hanya saja dengan fokus yang lebih besar. Titik fokus dari lensa magnetik dapat divariasikan dengan mengubah besar arus yang mengaliri kumparan.

Beberapa tahun kemudian, Max Knoll dan Enst Ruska membuat prototipe mikroskop elektron modern. Hingga kini, mikroskop elektron umumnya menggunakan lensa elektromagnetik untuk mengatur berkas elektron pada mikroskop yang kemudian disebut sebagai lensa kondenser. Skema lensa elektromagnetik diberikan pada Gambar 2.7, lensa elektromagnetik berbentuk tapal kuda yang didalamnya terdiri dari banyak kumparan kawat tembaga. Kumparan -kumparan kawat tembaga yang berbentuk kecil-kecil inilah yang dialiri listrik de sehingga menghasilkan medan magnet induksi.

Untuk memfokuskan fluks medan yang keluar dari lensa magnet, maka kumparan-kumparan tembaga ini diberi penutup (selubung) berupa lapisan besi yang tebal. Pada permukaan lingkaran dalam diberi dua lubang, dengan masing-masing ujung berbentuk runcing. Ujung-ujung lubang iki adalah tempat fluks medan magnet keluar dari kumparan dengan arah yang terfokus dan kemudian disebut sebagai *pole pieces*.

Gambar 2. 7 Skema Lensa Elektromagnetik



Medan magnet yang keluar dari pole pieces kemudian berinteraksi dengan elektron yang bergerak, sesuai dengan hukum lorentz:

$$F = -e(E + v \times B)$$

$$|F| = ev B \sin(v, B)$$
2.10

Dengan E adalah medan listrik dan B adalah medan magnet induksi. e/v adalah muatan/ kecepatan gerak dari elektron. Dengan menggunakan hukum Lorentz, maka selanjutnya berkas elektron dapat diatur arahnya hingga fokus dan menembak sampel. Dari Gambar 2.6 juga terlihat bahwa berkas elektron yang keluar dari lensa kondenser adalah nyata, terbalik dan mengalami rotasi dari orientasi berkas sebelumnya. Rotasi berkas elektron ini analog dengan bentuk bayangan yang dihasilkan oleh lensa positif pada optik. Lensa positif optik akan menghasilkan bayangan nyata dan terbalik diperbesar jika benda diletakkan pada ruang dua.

Salah satu kelebihan dari lensa elektromagnetik adalah fokus lensa dapat diatur. Fokus lensa dapat divariasikan dengan mengubah ubah kuat arus listrik yang mengalir pada kumparan. Kuat arus listrik yang diaplikasikan pada

kumparan berbanding lurus dengan medan magnet induksi yang dihasilkan $(I \sim B)$. Jika kuat arus listrik diperbesar, maka medan magnet induksi yang dihasilkan akan semakin besar juga dan sebaliknya. Jika ingin menghasilkan perbesaran yang rendah maka digunakan fokus lensa yang kecil, sedangkan jika ingin menghasilkan perbesaran yang besar maka yang fokus lensa kondenser diperbesar.

2. Susunan Lensa Kondensator

elektron penyintas

SEM memerlukan berkas elektron yang baik (runcing/fokus). Jika daya lensa kondensator diperbesar, maka *electron probe* akan menjadi lebih tajam dengan rasio bayangan yang kecil yang menghasilkan resolusi lebih tinggi. Sebaliknya, jika kuat lensa kondensator diperkecil, maka ketajaman *electron probe* akan berkurang dan menjadi lebih lebar dan resolusi menjadi lebih rendah. Untuk memudahkan pengaturan keruncingan elektron probe yang diinginkan, maka digunakan minimal dua lensa kondensator (lensa kondensator 1 (C1) dan lensa kondensator 2 (C2)) untuk memfokuskan berkas elektron. (Gambar 2,8).

a. Overfocused b. Focused c. Underfocused Gun crossover Gun crossover Gun crossover Lens C1 Lens C1 Lens C1 Lens C2 Lens C2 Lens C2 Aperture Aperture Diameter of illumination Specimen Specimen Specimen Diameter berkas elektron Diameter berkas elektron Diameter berkas elektron pemindai = diameter pemindai < diameter pemindai > diameter

Gambar 2. 8 Susunan dua lensa kondenser pada keadaaan overfocused, focused, dan underfocused

Gambar 2.8 menunjukkan skema berkas sinar yang terjadi pada susunan lensa kondensator, dengan titik hitam adalah titik fokus lensa. Lensa C1 lebih dekat

elektron penyintas

elektron penyintas

dengan elektron gun dan lensa C2 lebih dekat dengan aperture. Lensa C1 lebih banyak menerima elektron dibandingkan lensa C2. Efisiensi yang lebih tinggi dapat diperoleh jika pada susunan lensa dapat mengatur kecerahan berkas sinar dari electron gun sehingga meningkatkan umur filamen electron gun.

Lensa kondenser pertama (C1) berfungsi sebagai : 1) Penghasil bayangan maya yang telah mengalami perbesaran, dengan sumber dari berkas elektron penyintas; 2) Pengontrol ukuran spot berkas elektron yang diperlukan oleh SEM pada seluruh sistem kondenser. Jika berkas elektron dari lensa C1 masih belum cukup, maka operator akan memberi gaya (memaksa) electron gun agar meningkatkan kecerahannya. Kondisi ini dapat terjadi jika masing banyak berkas elektron yang berada diluar aperture, sehingga tidak diteruskan ke lensa objektif. Namun jika kondisi "pemaksaan" ini terjadi cukup sering, maka akan memperkecil umur filamen. Lensa kondenser kedua (C2) berfungsi sebagai: 1) Pengatur fokus berkas elektron sebelum menembank specimen; 2) Pengatur diameter area penyinaran dari specimen.

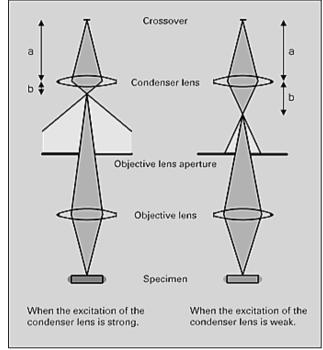
Keuntungan dari penggunaan susunan dua lensa kondensator adalah pemindaian pada spot kecil pada sampel bisa menjadi lebih fokus dan mengurangi radiasi sampel pada daerah yang tidak diinginkan. Tingkat kekontras-an gambar juga mengalami peningkatan, karena terjadi koherensi berkas sinar setelah melalui susunan dua lensa, sheingga dihasilkan berkas elektron dengan diameter lebih kecil. Berkas sinar yang terbentuk oleh susunan dua lensa kondensator dapat dijelaskan menggunakan skema pembentukan bayangan oleh dua lensa optik

3. Aperture

Bukaan atau *aperture* adalah sebuah komponen, dapat berupa pelat logam tebal, yang memiliki sebuah celah kecil di pusatnya. *Aperture* ditempatkan diantara lensa kondensator dan lensa objektif. Fungsi aperture mirip seperti pupil pada mata atau diafragma pada kamera, yaitu sebagai pengatur intensitas cahaya. *Aperture* berfungsi sebagai pengatur intensitas berkas elektron yang keluar dari susunan lensa kondensator. Prinsip kerja aperture (Gambar 2.9) adalah menghalangi berkas elektron yang tidak searah dengan sumbu utama agar tidak keluar dari aperture dan mengijinkan berkas elektron yang sudah searah sumbu utama untuk keluar dari aperture. Elektron dari lensa kondensator yang melalui apertur akan mengakibatkan iluminasi atau membuat *aperture* berpendar.

Fungsi *aperture* adalah mengatur jumlah berkas elektron yang akan masuk ke lensa objektif. Jika jumlah elektron yang tereksitasi pada lensa kondensator meningkat, maka berkas sinar elektron akan melebar, sehingga jumlah elektron yang masuk akan menurun. Sebaliknya, jika jumlah elektron dari lensa kondensator menurun, maka berkas sinar elektron akan menyempit, sehingga

elektron yang diteruskan ke lensa objektif akan semakin banyak. Demikianlah cara kerja apertur dalam mengatur besar dan diameter *electron probe* sehingga dapat berfungsi dalam menghasilkan penghalusan (*refine*) *image* yang dihasilkan.



Gambar 2. 9 Skema Lensa kondensator, aperture, lensa objektif dan specimen

Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem atoz all.pdf

4. Lensa Objektif

Berkas elektron dari *electron gun* difokuskan secara bertahap oleh dua lensa, yaitu lensa kondensator dan lensa objektif, yang diletakkan dibawah *electron gun*. Diagram berkas elektron terhadap susunan lensa elektromagnetik pada SEM diberikan pada Gambar (2.9). Setelah melalui susunan dua lensa ini, maka akan dihasilkan *electron probe* / elektron pemindai. Electron probe adalah elektron yang akan memindai sampel. Electron probe biasa juga disebut dengan elektron primer.

Lensa objektif berfungsi untuk memfokuskan dan mengatur diameter *electron probe*. Apabila lensa objektif tidak berfungsi dengan baik, maka electron probe tidak bisa dihasilkan dengan baik dan akan menghasilkan *image* yang tidak baik pula. Skema penyusun lensa objektif sama dengan lensa kondenser (Gambar 2.9), yaitu berisi kumparan kawat tembaga dan diselubungi oleh lapisan besi tebal berbentuk tapal kuda, serta memiliki pole pieces. Pole pieces adalah kompnen

lensa kondenser yang fungsinya seperti ujung magnet batang. Dengan keberadaan pole pieces, medan magnet yang keluar dari lensa kondenser akan menjadi lebih terarah.

Tugas 2 (pa	ırt	2)
-------------	-----	----

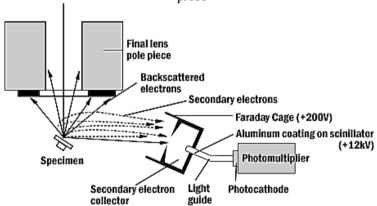
8. Jelaskan fungsi dari electron gun pada SEM dan sebutkan komponen komponen
penyusunnya.
Jawab:
Jawao.
9. Sebutkan dan jelaskan prinsip kerja dari setiap tipe elektron gun!
Jawab:
10. Gambarkan skema lensa elektromagnetik dan jelaskan cara kerjanya!
Jawab:
ouwas.
11. Jelaskan fungsi dari
a. susunan lensa kondenser
Jawab:
b. aperture
Jawab:

c lensa objektof		
c. lensa objektof Jawab:		
Jawau.		

D.Detektor SE dan BSE

Kebanyakan instrumen SEM menempatkan detektor pada tempat sampel (*specimen chamber*). Namun ketika SEM dilengkapi dengan lensa objektif yang kuat untuk menghasilkan resolusi yang tinggi, detektor SE ditempatkan diatas lensa objektif dan SE dideteksi dengan menggunakan lensa magnet. Tipe detektor SE seperti ini disebut tipe *Through The Lens* (TTL).

Gambar 2. 10 Posisi Detektor SE pada tipe E-T, diposisikan agak miring terhadap electron probe



Sumber: https://cmrf.research.uiowa.edu/scanning-electron-microscopy

1. Detektor SE

Detektor SE digunakan untuk mendeteksi *Secondary Electron* (SE) yang teremisi dari sampel. Detektor SE bekerja dengan menarik SE yang menumbuk *Scintilator* (Gambar 2.10.). Scintilator adalah lapisan tipis yang dilapisi bahan fluorescent dan diberi tegangan hingga 10 kV. Perbedaan tegangan akan membuat SE bergerak menuju Scintilator. Elektron ini menumbuk *Scintilator* dan

menghasilkan sinar. Sinar yang dihasilkan kemudian diarahkan ke Photo multiplier Tube (PMT) (Gambar 2.10. b) untuk kemudian dikonversi menjadi elektron. Elektron-elektron yang dihasilkan kemudian diamplikasi menjadi sinyal listrik.

Gambar 2. 11 Skema Secondary Electron pada Detektor SE

Secondary electrons

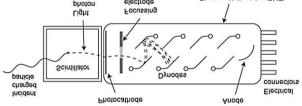
Light guida PMT

Light guida PMT

Sumber: a. https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Kolektor adalah sebuah elektroda pelengkap yang ditempatkan sebelum Scintillator. Kolektor berperan untuk membantu Scintilator mengumpulkan SE. Kolektor diberi tegangan listrik yang lebih besar daripada Scintilator (50 – 300 kV). Jumlah elektron yang ditangkap dapat diatur dengan mengubah tegangan yang diberikan. Karena tegangan yang dihasilkan oleh SE cenderung lemah, maka lintasan SE dapat dibengkokkan menuju detektor yang relatif miring terhadap *electron probe*. Tipe detektor yang umum digunakan dalam SEM dikembangkan oleh Everhart dan Thornley (Gambar 2.25), oleh sebab itu detektor SE biasa disebut detektor E-T.

Gambar 2. 12 Diagram penampang samping photomultiplier tube (PMT

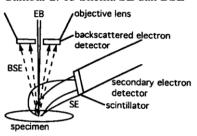


Sumber: Clarke, A., Eberhardt, C., & Eberhardt, C. N. (2002). *Microscopy techniques for materials science*. Woodhead Publishing.

2. Detektor BSE

BSE memiliki lintasan berupa garis lurus, maka BSE yang dapat dideteksi hanyalah yang memiliki lintasan menuju detektor. Dengan demikian, berbeda dengan detektor SE yang dapat ditempatkan menyimpang dari arah lintasan SE, detektor BSE diletakkan tepat dibawah lensa objektif (Gambar 2.12).

Gambar 2. 13 Skema SE dan BSE



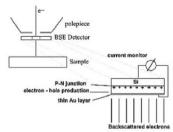
Sumber:

https://www.researchgate.net/profile/Kati_Valtonen/publication/327572674_CHARACTERI ZATION_OF_WATER...

Image BSE akan dihasilkan secara maksimum jika detektor BSE diletakkan tepat dibawah *polepieces*.

Sama dengan detektor SE, detektor BSE juga dirancang menggunakan *scintillator*, yang membedakannya adalah maka detektor BSE juga dirancang untuk mendeteksi elekton yang memiliki rentang energi diatas 50 kV, hal ini disebabkan karena BSE memiliki energi yang lebih tinggi daripada SE. *Scintillator* pada detektor BSE menggunakan bahan semikonduktor (Gambar 2.13), yang didesain untuk dapat menampung muatan dengan jumlah yang bisa disesuaikan dengan monitor arus. Sinyal BSE kemudian diproses dengan cara yang sama dengan detektor SE, dan kemudian ditampilkan pada display.

Gambar 2. 14 Skema detektor BSE



Sumber: https://www.semanticscholar.org/paper/Chapter-Two-Specimen-Interaction-and-Information-2./0d7a40fc9c96333aba67ebc577cb29f2d89ca144/figure/6

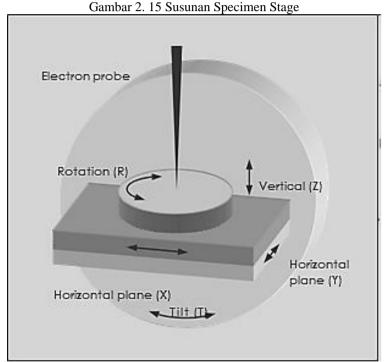
Tugas 2 (Part 3)

1. Jelaskan fungsi dan cara kerja dari detektor SE!
Jawab
2. Tuliskan komponen-komponen penyusun detektor SE dan jealaskan fungsinya
masing-masing
Jawab
3. Jelaskan fungsi dan cara kerja dari detektor BSE!
Jawab
4. Tuliskan komponen-komponen penyusun detektor BSE dan jealaskan
fungsinya masing-masing
Jawab

E.Specimen Stage, Image Display dan Perekaman Data

1. Specimen Stage

Secara umum mikroskopp elektron mampu mengobservasi sampel pada perbesaran yang sangat tinggi. Oleh sebab itu, tempat sampel (specimen stage) harus stabil dan mendukung agar sampel dapat digerakkan translasi 3 dimensi, rotasi, dan dimiringkan dengan halus (Gambar 2.28).



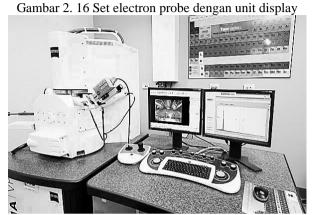
Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem atoz all.pdf

2. Image Display dan Perekaman Data

Sinyal output yang dihasilkan dari detektor SE akan diamplifikasi (diperkuat), kemudian dikirimkan ke unit display (Gambar 2.14). Unit display kemudian akan menampilkan *image* SEM. Variasi kecerahan pada *image* SEM menunjukkan dengan benar jumlah SE yang terdeteksi, selama pemindaian pada unit display sinkron dengan pemindaian *electron probe*.

Unit display SEM saat ini kebanyakan menggunakan Liquid Crystal Display (LCD). Secara umum, keccepatan pemindaian *electron probe* dapat dirubah dengan beberapa langkah. Pemindaian yang super cepat digunakan untuk

mengobservasi, sedangkan pemindaian lambat digunakan untuk mengaakuisisi atau untuk menyimpan *Image*.



Sumber: https://www.newcastle.edu.au/research-and-innovation/resources/central-scientific-services/emx/sem

Perekaman data Image Sem saat ini dilakukan dalam bentuk dile elektronik (format digital). Dalam format digital, data yang disimpan dapat memiliki resolusi tinggi dan banyak kemudahan lainnya, diantaranya mudah disimpan dan dipindahkan.

Tugas 2 (Part 4)

Jelaskan fungsi dan cara kerja dari:	
1. Specimen Stage	
Jawab	

2. Display Unit SEM dan perekeman data	
Jawab	

Rangkuman

- 1. Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah instrumen yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek sehingga menghasilkan citra (*image*) dari objek itu
- 2. Max Knoll memperkenalkan konsep SEM pada tahun 1935. Ia mengajukan gagasan bahwa sebuah image (citra) dapat dihasilkan dengan melakukan pemindaian pada permukaan sampel dengan memfokuskan berkas elektron sehalus Kemudian pada tahun 1937, seorang fisikawan jerman lainnya yang bernama Manfred von Ardenne pertama kali memproduksi SEM.
- 3. SEM dikembangkan dari teori panjang gelombang De Broglie, yaitu partikel yang bergerak memiliki sifat sebagai gelombang.
- 4. Instrumen SEM terdiri dari beberapa perangkat aecara garis besar, perangkat —perangkat tersebut dapat dikategorikan dalam tiga komponen, yaitu komponen pemindai, komponen penyajian gambar dan data (*image display*) dan komponen pendukung
- 5. Komponen pemindai adalah komponen yang menghasilkan input berupa sinyal elektron hasil interaksi dengan atom-atom sampel. Interaksi elektronatom sampel ada dua macam, yaitu secondary electron dan backscattered electron. Komponen pemindai sampel terdiri dari electron gun, rangkaian lensa magnetik, tempat spesimen, scanning coils (deflection coils), dan detektor. Komponen pemindai sampel berada pada kolom sem
- 6. Komponen penyaji gambar dan data adalah serangkaian perangkat pengolah input sinyal kemudian mengolahnya menjadi bentuk image (citra) dan data kuantitatif. Komponen penyaji gambar dan data terdiri atas komponen keras (hard ware) berupa amplifier, processor dan layar.
- 7. Komponen pendukung SEM diantaranya power supply, sistem vakum dan sistem pendingin. SEM adalah sebuah instrumen pemindai objek yang menggunakan sistem vakum.
- 8. Electron Gun adalah komponen elektrik SEM yang memproduksi sinar elektron (electron beam) yang memiliki energi kinetik tertentu dari sebuah katoda.
- 9. Electron gun dengan jenis emisi termal kebanyakan digunakan pada SEM konvensional, jenis ini bekerja dengan cara memanaskan filamen (katoda)

- pada suhu tinggi (~2800K), bahan yang digunakan sebagai filamen adalah tungsten dan lanthanum hexaborite.
- 10. Elektron gun dengan jenis field emision mengemisikan elektron menggunakan medan listrik eeksternal.
- 11. Lensa elektromagnetik pada mikroskop elektron berfungsi untuk mengatur fokus berkas elektron pemindai (elektron probe). Lensa elektromagnetik pada sem teridisi atas susunan lensa kondenser, aperture, dan lensa onbjektif.
- 12. Kebanyakan instrumen SEM menempatkan detektor pada tempat sampel (*specimen chamber*). Namun ketika SEM dilengkapi dengan lensa objektif yang kuat untuk menghasilkan resolusi yang tinggi, detektor SE ditempatkan diatas lensa objektif dan SE dideteksi dengan menggunakan lensa magnet.
- 13. Secara umum mikroskopp elektron mampu mengobservasi sampel pada perbesaran yang sangat tinggi., sehingga specimen stag eharus kokoh.
- 14. Unit display kemudian akan menampilkan *image* SEM. Variasi kecerahan pada *image* SEM menunjukkan dengan benar jumlah SE yang terdeteksi, selama pemindaian pada unit display sinkron dengan pemindaian *electron probe*

Evaluasi Formatif 2

Pilihan Ganda

- 1. Perhatikan pernyataan berikut
 - (1) Berkas elektron
 - (2) Medan magnet
 - (3) Listrik bertegangan tinggi
 - (4) Foton

Yang digunakan dalam menghasilkan image mikroskop elektron adalah

a. (1), (2), dan (3)

d. (4) saja

b. (1) dan (3)

e. Semua benar

c. (2) dan (4)

- 2. Intrumen yang membantu kita untuk melihat benda berskala nano dalam dimensi tiga adalah
 - a. Transmission Electron Microscope

d. Simple Microscope

- b. Scanning Electron Microscope
- e. Optical Microscope

- c. Compound Microscope
- 3. Sinyal Secondary Electron (SE) yang diradiasikankembali dari specimen ke SEM dikumpulkan oleh komponen
- a. Specimen

d. Katoda

b. Anoda

e. Lensa kondenser

- c. Ruang vakum
- 4. Komponen yang berfungsi untuk mengatur perbesaran *image* pada SEM adalah
- a. Susunan lensa elektromagnetik

d. Specimen chamber

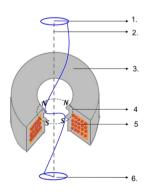
b. Electron gun

e. EDAX

- c. Detector SE
- 5. Perhatikan gambar berikut

Komponen yang berfungsi sebagai sumber medan magnet induksi adalah komponen yang bernomor

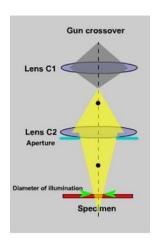
- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5



6. Perhatikan gambar berikut:

Keadaan yang tepat dalam mendeskripsikan *image* yang dihasilkan dari hasil pemindaian elektron seperti gambar disamping adalah

- a. Sangat fokus
- b. Fokus
- c. Tidak fokus
- d. sama besar
- e. tidak menghasilkan image



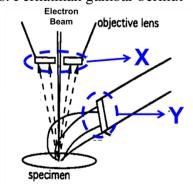
7. Perhatikan gambar berikut



Bagian yang memiliki fungsi untuk menghasilkan elektron berada pada komponen bernomor ...

- a. 1
- b.2
- c.3
- d.4
- e.5

8. Perhatikan gambar berikut



Pernyataan yang benar adalah

- a. X adalah detektor SE
- b. X bermuatan negatif
- c. Y adalah detektor BSE
- d. Y bermuatan negatif
- e. X adalah detektor BSE

- 9. Urutan berikut yang menunjukkan jenis electron gun yang menghasilkan image dengan resolusi paling rendah ke tinggi pada temperatur yang sama adalah
- a. tungsten LaB₆ –emisi medan
- d. LaB₆ -emisi medan-tungsten
- b. tungsten –emisi medan LaB₆
- e. emisi medan -LaB₆ -tungsten
- c. LaB₆ -tungsten –emisi medan
- 10. Pernyataan yang sesuai dengan gerak elektron di dalam kolom sem adalah
- a. dari electron gun menuju anoda, elektron bergerak akibat medan magnet
- b. gerak elektron di dalam lensa kondenser diakibatkan oleh medan listrik
- c. gerak elektron di dalam lensa kondenser diakibatkan oleh medan magnet, sementara pada elektron gun diakibatkan oleh medan listrik
- d. lintasan elektron di dalam lensa kondenser berupa garis lurus
- e. lintasan elektron di dalam elektron gun berupa gerak melingkar

Essay

1. Perhatikan gambar berikut
Source of electrons

Axis

Electron trajectory

Copper windings

Iron shroud

Magnetic lens field

a. Gambar diatas adalah lintasan elektron saat berada di bagian mana dari SEM?

Jawab		

b. Dari hasil pengamatanmu terhadap gambar, seperti apakah bentuk lintasan elektron pada komponen tersebut?

Jawab

saja kah yang mempengaruhi elektron pada komponen ini? Jawab	
ounus	
d. Sebutkan dan jelaskan fungsi masing-masing komponen yang tertulis pa	ada
gambar diatas!	
Jawab	
ou ii u	
2. Tuliskanlah kelebihan dan kelemahan dari:	
a. filamen tungsten	
Jawab	
b. filamen lanthanum hexaborite	
Jawab	
c. FE gun	
Jawab	
3. Gambarkanlah skema umum dari komponen-komponen SEM, dan jelask	zan
macina macina funacinya!	Lui

Jawab



Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 2

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 3 SEM dan Mikroskop lainnya

Kemampuan Akhir Sub Kemampuan Akhir	
Mahasiswa dapat	1. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat
melakukan	menjelaskan definisi dan fungsi SEM dalam
perbandingan SEM	nanoteknologi dengan benar.
dengan Mikroskop	2. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat
Optik, SEM dengan	membandingkan SEM dengan Mikroskop Optik
TEM , SEM dan FE	dengan benar.
SEM, serta menjelaskan	3. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat
karakteristik SEM yang	membandingkan SEM dengan TEM dengan
dilengkapi dengan	benar
EDAX	4. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat
	membandingkan SEM dengan FESEM dengan
	benar.

Uraian Materi

A. SEM dan Mikroskop Optik

1. SEM dalam nanoteknologi

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop yang melakukan pemfokusan pancaran tinggi elektron (electron beam) pada sebuah permukaan untuk melakukan pemindaian (scanning) terhadap permukaan material. SEM bekerja menggunakan berinteraksi dengan atom-atom pada sampel. Dari hasil interaksi akan dihasilkan elektron pantulan yang menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang topografi, morfologi, dan komposisi permukaan material. Hasil pemindaian SEM berupa gambar 3 dimensi dari permukaan sampel yang dipindai. Scanning dilakukan melalui Secondary Electron dan Backscattered Electron (BSE). Scanning dapat dilakukan melalui scanning point dan mapping. Set peralatan SEM dilengkapi dengan Energy Dispersive Spectometer (EDX), sehingga dapat mendeteksi komponen/ unsur yang terdapat pada sampel.

Penggunaan SEM banyak digunakan diberbagai bidang mulai dari biologi hingga teknik material, dengan resolusi hingga 1 nm dan perbesaran 1.000.000x. Adapun fungsi dari instrumen SEM, antara lain untuk memperoleh informasi tentang :

a. Topografi

Topografi adalah sebuah studi yang mempelajari relief permukaan berupa *image* tiga dimensi. Objek dari topografi adalah koordinat suatu bagian permukaan. Topograi material yang menjadi sampel pemindaian SEM dapat berupa bentuk permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, keberadaan *crack*). Dari informasi mengenai topografi ini, SEM dapat digunakan di berbagai terapan keilmuan, mulai dari mengamati permukaan sel hingga nanomaterial (dalam bentuk keramik ,logam dan komposit), mengukur ketebalan dan celah (*crack*) specimen skala nano.

b. Morfologi

Instrumen SEM memindai morfologi permukaan sampel, yaitu bentuk dan ukuran dari komponen penyusun objek (misalnya *grain*, *grain boundary*, pori dan *defect*)

c. Komposisi

Instrumen SEM dapat menganalisis komposisi spot atau keseluruhan sampel yang dipindai, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung dalam objek.

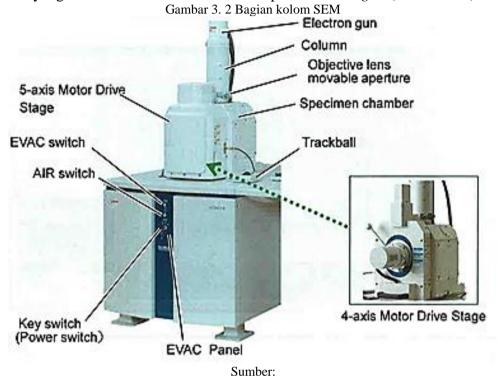
Salah satu instansi pemerintah yang menyediakan instrumen SEM adalah LIPI Serpong, dengan spesifikasi alat Hitachi SU 3500 (Gambar 3.1) yang dapat dioperasikan pada kondisi *low vacuum*. Pengoperasian pada keadaan *low vacuum* dilakukan untuk sampel-sampel yang non konduktif, untuk menghindari efek *charging* yang dapat merusak image yang dihasilkan (*damage*). Set peralatan SEM ini dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectometer* (EDX). Perbesaran maksimal dari peralatan SEM ini hingga 300.000x.



Gambar 3. 1 Set Instrumen SEM di LIPI kawasan Puspiptek-Serpong

Sumber: https://layanan.lipi.go.id/layanan/detail/1036006479FC80

Sebuah set instrumen SEM terbagi atas dua unit, yaitu kolom dan display. Kolom (Gambar 3.2) adalah tempat pemindaian sampel menggunakan berkas elektron. Energi yang digunakan untuk melakukan *scanning* berasal dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun* (Gambar 3.2).



http://labs.csb.utoronto.ca/hong/HITACHI/SU3500%20Easy%20Operation%20Guide%203rd %20Edt%20Feb 2014.pdf

Secara umum, *electron gun* yang digunakan adalah tungsten *hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.

Electron beam kemudian difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan dua buah condenser lens. Condenser lens kedua (atau biasa disebut dengan lensa objektif) memfokuskan beam dengan diameter yang sangat kecil (~10-20 nm). Pada perangkat SEM terdapat dua macam pemindaian berdasarkan jenis hamburan elektron, yaitu Secondary Electron (SE) atau Back Scattered Electron (BSE). SE untuk memindai struktur permukaan, BE untuk memindai struktur permukaan dan infornasi elemen rata-rata permukaan sampel kemudian dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar di bagian display (Gambar 3.3).

Manual operation panel

Reyboard

Mouse

PC (Inside the door)

Gambar 3. 3 Bagian display SEM

 $Sumber: \\ http://labs.csb.utoronto.ca/hong/HITACHI/SU3500\%20Easy\%20Operation\%20Guide\%203rd\\ \%20Edt\%20Feb_2014.pdf$

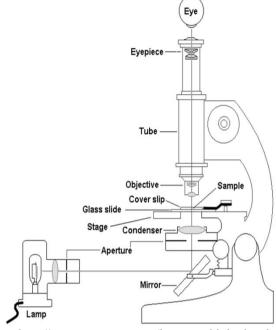
Resolusi yang dihasilkan dari gambar hasil pemindaian SEM adala 1 nm. Prinsip kerja bagian kolom SEM lebih lanjut diberikan pada Modul berikutnya.

2. SEM dan Mikroskop Optik

Penggunaan mikroskop optik dimulai melalui mikroskop cahaya, dengan memanfaatkan rangkaian lensa (minimal lensa objektif dan lensa okuler (Gambar 3.4). Upaya untuk menghasilkan bayangan yang lebih baik dengan perbesaran yang lebih tinggi kemudian dilakukan pada mikroskop optik, diantaranya pengembangan kualitas lensa, peng-imersi-an minyak dan penggunaan panjang gelombang yang pendek.

Namun upaya ini ternyata menemui kebuntuan, yaitu mikroskop optik hanya mampu menghasilkan bayangan pada skala $\sim 0.1~\mu$ m. Seiring dengan berkembangnya teori "Dualisme Gelombang-Partikel", maka ditemukanlah suatu instrumen yang dapat menghasilkan bayangan dengan perbesaran hingga ke skala nano yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Gambar 3. 4 Diagram Mikroskop Optik



Sumber: http://www.emu.uct.ac.za/intro-em-biologists-lecture-1

Prototipe SEM pertama kali dibuat oleh dua ilmuwan Jerman, Max Knoll dan Manfres von Ardenne pada tahun 1931. SEM menghasilkan gambar yang lebih tajam jika dibandingkan dengan mikroskop optik (Gambar 3.5). Gambar 1.8 adalah gambar sebuah sampel rangka dari mikro organisme laut *Trochodiscus longispinus*. Dengan perbesaran yang sama, *image* yang dihasilkan oleh SEM lebih detail jika dibandingkan dengan mikroskop optik.

Gambar 3. 5 a) Image sampel Trochodiscus longispinus dari SEM; b) Image sampel dari Mikroskop Optik



Sumber: http://www.physics.nus.edu.sg/~phygaoxy/8SEMSTMetc.ppt

Gambar yang lebih detail dan tajam tersebut dihasilkan karena SEM memiliki perbesaran, kedalaman medan yang lebih besar dan resolusi yang lebih

tinggi jika dibandingkan dengan mikroskop optik (Tabel 3). Kedalaman medan yang tinggi pada SEM membuat banyak bagian pada sampel yang dapat difokuskan pada satu waktu dan menghasilkan *image* tiga dimensi yang representatif. Resolusi yang tinggi pada SEM juga menunjukkan gambar yang nyaris mendekati aslinya pada perbesaran yang lebih tinggi.

Tabel 3Perbandingan perbesaran, kedalaman medan dan resolusi SEM dan Mikroskop Optik

Tuber of Croundingum	persesaran, kedalaman medan dan resolasi SEM dan Mikroskop Optik			
	Perbesaran	Kedalaman Medan	Resolusi	
		(Depth of View)		
SEM	10x -	4mm - 0.4mm	1-10nm	
	3.000.000x			
Mikroskop Optik	4x - 1.000x	15.5mm – 0.19mm	~ 0.2mm	

Kombinasi antara perbesaran dan kedalaman medan yang besar, tingginya resolusi, serta kemampuan SEM untuk mendeteksi komposisi kristal mengakibatkan menjadi instrumen yang sangat diperlukan dalam dunia nanoteknologi (riset dan industri).

Tugas 3 (Part 1)

1. Apa yang dimaksud dengan <i>electron gun</i> ?
Jawab:
2. Bagaimana cara kerja lensa elektromagnet pada lensa kondensator mikrosko
elektron?
Jawab:
3. Sebutkan kelemahan dan kelebihan dari :
a. Mikroskop optik
Jawab:
Jawau:

b. SEM
Jawab:
4. Jelaskan dengan lengkap, perbedaan SEM dan Mikroskop Optik!
Jawab:
5. Sebutkan dan jelaskan kelemahan dan kelebihan dari :
a. Mikroskop Optik
Jawab:
b. SEM
Jawab:

B. SEM dan TEM

1. TEM

instrumen yang penting dalam nanoteknologi, karena mikroskop ini memiliki perbesaran yang lebih tinggi daripada SEM. Baik SEM maupun TEM merupakan mikroskop elektron yang bekerja dengan menembakkan berkas elektron menggunakan *electron gun*. Berkas elektron kemudian dilewatkan pada dua atau tiga lensa kondensator yang terbuat dari elektromagnet.



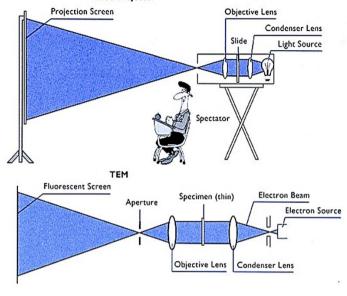
Gambar 3. 6 Instrumen Transmission Electron Microscope (TEM)

Sumber: https://www.ems.psu.edu/~ryba/coursework/zhong%20shan%20da%20xue%20-%20course%20materials/class%20slides/TEM.ppt

2. SEM dan TEM

Perbedaannya dengan SEM, TEM mengamati hasil elektron yang menembus sampel (electron transmission). TEM dapat memindai sampel hingga skala amstrong (ukuran atom). Karakteristik sampel yang dipindai menggunakan TEM adalah sampel yang tipis, agar elektron dapat menembus sampel. Sampel yang dikarakterisasi oleh TEM diantaranya thin film, slices, foil, serbuk (powder) dan fragmen. Prinsip kerja TEM dapat dianalogikan seperti sebuah proyektor slide (Gambar 3.7).

Gambar 3. 7 Diagram analogi TEM dan Proyektor Slide Slide Projector

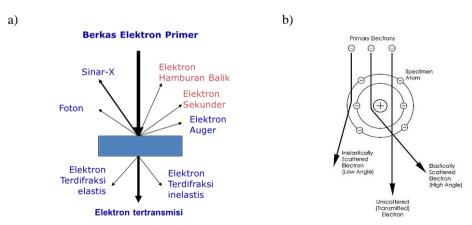


Sumber:

http://www.polymer.hacettepe.edu.tr/webim/msen/undergraduate/NNT602/SEM_TEM.ppt

Diagram interaksi berkas elektron dengan sampel diberikan pada Gambar 3.8. TEM menggunakan sinar elektron yang berakselarasi dari $40-100~\rm kV$ dan melalui sebuah medan magnetik kuat yang berfungsi sebagai lensa objektif dan lensa kondensator. Resolusi TEM saat ini adalah hingga 0,2 nm (jarak antara dua atom pada zat padat). Resolusinya lebih besar 1.000 kali daripada mikroskop cahaya dan 500.000 kali daripada mata manusia.

Gambar 3. 8 a) diagram interaksi berkas elektron- sampel pada TEM; b) interaksi berkas elektron- sampel pada TEM skala atomik



Sumber: http://agussetiabudi.staf.upi.edu/files/2011/03/Bab-6-Teknik-Mikroskopy-SEM.ppt

Beberapa kesamaan dari SEM dan TEM antara lain:

- a. Kedua alat ini menggunakan *electron beam* yang dihasilkan dari *electron gun* untuk memindai sampel
- b. Baik SEM maupun TEM menggunakan rangkaian lensa elektromagnetik dan elektrostatik yang sama (lensa kondensator dan lensa objektif). Rangkaian lensa ini berfungsi untuk mengendalikan bentuk lintasan berkas elektron.
- c. Menggunakan komponen *electron apertures*, yaitu komponen yang memiliki daya pisah elektron, sehingga dapat mengarahkan elektron tepat pada sasaran (sampel).

Adapun perbedaan SEM dan TEM antara lain:

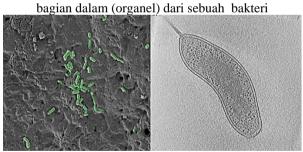
1. Berdasarkan prinsip kerja

SEM memindai sampel dengan memindai sinar dalam pola seperti raste dan mengumpulkan elektron yang terhambur, sehingga SEM hanya dapat memberikan informasi mengenai permukaan sampel dan komposisinya. Berbeda dengan SEM, TEM menggunakan elektron yang ditransmisikan. Elektron transmisi adalah elektron yang menembus sampel. Sehingga TEM memberikan informasi tentang struktur yang berada di dalam sampel, diantaranya struktur kristal, morfologi dan Informasi mengenai keadaan *stress* (tegangan).

2. Berdasarkan hasil image

Perbandingan *image* yang dihasilkan oleh SEM dan TEM diberikan pada Gambar 3.9

Gambar 3. 9 Image SEM (kiri) dan TEM (Kanan) dari sebuah bakteri. Gambar SEM menunjukkan beberapa bakteri pada permukaan (hijau), sedangkan TEM menujukkan struktur



Sumber: https://www.thermofisher.com/blog/microscopy/tem-vs-sem-whats-the-difference/

- 3. SEM menghasilkan resolusi hingga 0,5 nm, sedangkan TEM menghasilkan resolusi hingga 50 pm.
- 4. SEM dapat digunakan untuk mengetahui keadaan permukaan dan komposisi materia, sehingga dapat diketahui kekasaran permukaan atau kontaminasi. Sedangkan TEM dapat digunakan untuk mengetahui keadaan struktur kristal dari sampel, sehingga dapat diketahui keberadaan pengotor (impuritas) dan *defect* struktur.
 - a. SEM menghasilkan Image 3D, sedangkan TEM 2D.

- b. *Field Vow* (FOV) maksimum SEM sangat besar, sedangkan TEM terbatas.
- c. Depth of field SEM jauh lebih tinggi dari TEM
- 5. Berdasarkan teknik preparasi sampel
 - a. Kelemahan TEM adalah sampel yang digunakan harus sangat tipis (150 nm), agar elektron dapat ditransmisikan.
 - b. Preparasi sampel TEM memerlukan teknik yang lebih rumit daripada SEM.
- 6. Berdasarkan pengoperasian
 - a. SEM menggunakan tegangan akselarasi hingga 30 kV, sedangkan TEM pada kisaran 60 kV 300 kV
 - b. Perbesaran SEM pada kisaran 1 2 juta kali, sedangkan TEM hingga 50 juta kali
 - c. SEM lebih mudah dioperasikan sedangkan TEM memerlukan operator yang terlatih untuk mengoperasikan.
- 7. Berdasarkan penciptaan *Image*

Sampel SEM diposisikan di bagian bawah kolom elektron. Elektron pada sampel terpencar (SE dan BSE) kemudian ditangkap oleh detektor elektron. *Photomultipliers* kemudian mengubah sinyal ini menjadi sinyal voltase yang diperkuat dan memunculkan gambar pada PC. Sedangkan sampel pada TEM diletakkan pada tengah kolom (Gambar 3.10). Elektron yang ditransmisikan melewati sampel kemudian diteruskan melewati serangkaian lensa di bawah sampel (lensa antara dan proyektor). Gambar kemudian langsung ditampikan di layar neon atau melalui kamera perangkat coupled charge dan diteruskan ke layar PC.

Penggabungan teknologi SEM dan TEM (STEM)

Ada satu lagi teknik mikroskop elektron yang bisa disebutkan, yaitu kombinasi TEM dan SEM, yaitu *Scanning Transmission Electron Microscopy* (STEM). Hal ini dapat diterapkan pada kedua sistem, namun kemampuan penuhnya terungkap saat diterapkan pada alat TEM. Sebagian besar TEM modern dapat beralih ke "mode STEM" dan pengguna hanya perlu mengubah prosedur pelurusannya. Dalam mode STEM, balok difokuskan secara halus dan memindai area sampel (seperti SEM), sedangkan gambar dihasilkan oleh elektron yang ditransmisikan (seperti di TEM).

electron source first condenser lens second condenser lens condenser aperture objective condenser lens objective aperture minicondenser lens specimen (thin) selected objective imaging lens area aperture diffraction lens intermediate lens first projector lens second projector lens projection chamber

Gambar 3. 10 Diagram Skema Kolom TEM

Sumber: https://cfamm.ucr.edu/documents/tem-intro.pdf

fluorescent screen

Tugas 3 (Part 2)

6. Jelaskan dengan lei	ngkap kesamaan SEM dan TEM	1!
Jawab:		
_ ~		
	an dan kelebihan dari FESEM:	
a. Kelemahan		
Jawab:		
b. Kelebihan		
Jawab:		
Jawau.		
8. Apa vang dimaksu	d dengan teknologi STEM? Jel	askan!
Jawab:		
Melengkapi tabel		
9. Lengkapilah tabel l	berikut untuk menjelaskan perb	edaan SEM dan TEM!
Kemampuan/	SEM	TEM

Kema	ampuan/	SEM	TEM
spesi	fikasi		
1.	Berdasarkan		
a.			
b.	•••		
c.	dst		

Kemampuan/ spesifikasi		SEM	TEM	
2.	Berdasarkan			
a.	•••			
b.	•••			
c.	dst			
3.	Berdasarkan			
a.				
b.				
c.	dst			
4.	dst			

C. SEM dan FESEM

1. FESEM

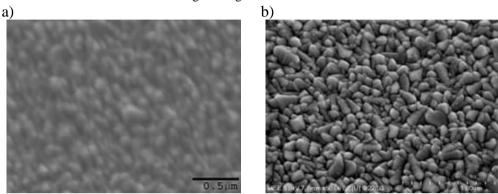
Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) adalah mikroskop elektron yang menggunakan emisi medan pada perangkat electron gun. Perbedaan SEM dan FESEM adalah pada jenis sumber yang digunaka; SEM menggunakan emiter termionik (thermionic emitter), sedangkan FESEM menggunakan emiter bidang (field emitter). Thermionic emitter menggunakan panas untuk memanaskan filamen, dua bahan yang umumnya dipakai sebagai filamen adalah tungsten (W) dan Lanthanum Hexaboride (LaB_6). Ketika panas tungsten sudah cukup untuk memenuhi energi ambang filamen (katoda), maka elektron dapat tereksitasi dari filamen tersebut. Sumber termionik memiliki beberapa kelemahan, diantaranya; (1) kecerahan yang relatif rendah, (2) terjadinya penguapan dari katoda dan (3) terjadinya konduksi panas selama pengoperasian.

2. SEM dan FESEM

Penggunaan emiter medan pada *electron gun* pada FESEM dapat mengatasi tiga kelemahan emitor termionik. Emitor medan (FE) tidak memanaskan filamen, sehingga disebut juga sebagai *Cold Electron Gun*. Emisi elektron dicapai dengan menempatkan filamen pada gradien potensial yang besar. Pada FESEM, material yang digunakan sebagai filamen adalah tungsten (*W*) yang

didesain dengan ujung lancip dengan radius nanoskala ($\sim 100~nm$). Ujung lancip ini dibuat agar medan listrik dapat dikonsentrasikan pada tingkat yang ekstrim, menjadi sangat besar sehingga mengatasi energi ambangnya, sehingga elektron dapat tereksitasi dari filamen (katoda).

Gambar 3. 11 Perbandingan image SEM dan FESEM Perovskite SFTO



Emisi bidang yang dihasilkan FESEM memiliki diameter penampang bidang yang lebih kecil daripada emitor termionik. Hal ini mengakibatkan sumber emisi medan yang dihasilkan menjadi lebih mudah difokuskan oleh lensa kondensator. Inilah yang mengakibatkan FESEM memiliki sedikit distorsi elektrostatik dan resolusi yang tajam (< 2nm), yang artinya lebih baik 3 hingga 6 kali daripada SEM. Dengan demikian FESEM menghasilkan *image* yang lebih jelas dari pada SEM (Gambar 3.11).

Tugas 3 (Part 3)

10. Jelaskan cara kerja <i>electron gun</i> !	
Jawab:	
11. Apa bedanya thermionic <i>emitter</i> dengan <i>field emitter</i> ?	
Jawab:	

12. Sebutkan kelemahan o a. Kelemahan	dan kelebihan dari FESEM:	
Jawab:		
b. Kelebihan		
Jawab:		
	rikut untuk menjelaskan perbec	
Kemampuan/ spesifikasi	SEM	FESEM
Berdasarkan		
•••••		
dst		
Berdasarkan		
•••••		
dst		
Berdasarkan		
 .l.a.t		
dst dst		
ust		

D. SEM yang dilengkapi dengan EDS / EDAX

Fitur Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) (Gambar 3.12) dapat digunakan jika pada instrumen SEM terdapat deterktor sinar X. EDS adalah sebiah teknik untuk menganalisis sampe secara kualitatif atau hampir semi kualitatif untuk menentukan komposisi elemen dari sebuah area yang ingin diidentifikasi dan diobservasi. Setelah elektron pemindai menumbuk permukaan sampel, elektron di dalam atom mengalami eksitasi. Ketika elektron-elektron pda

atom kemudkan kembali pada keadaan dasarnya, maka sinar x teremisi. Sinar X ini kemudian dikumpulkan oleh detektor X Ray dan dikonversi menjadi informasi yang bermanfaat.

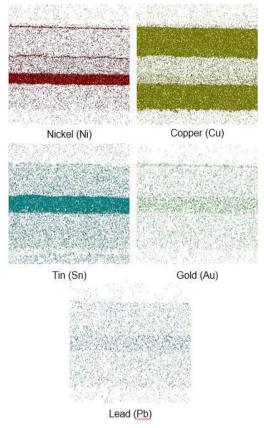
Sebuah image yang dihasilkan dari SE dan BSE memang penting, tapi emisi sinar X dari specimen memberikan informasi tentang komposisi elemen penyusun pada area yang dipindai. Sebagai hasilnya, teknik EDS dapat mendeteksi elemen dari karbon (C) hingga uranium (U) jika dengan kuantitas paling rendah 1.0 wt% di dalam material. Kombinasi teknik EDS dan SEM memberikan analisis dari area spesifik dari spesimen berupa hasil gambar (image) pemindaian dan analisis semi kuantitatif.





Secara khusus, kolom SEM dan chamber dapat diobservasi berada pada bagian tengah SEM dengan detektor SE dan BSE ditemukan berada di samping kiri chamber dan detektor sinar X berada di sebelah kanan dari chamber.

Berdasarkan kemampuan SEM/EDS, banyak tipe sampel yang dapat dianalisis. Segala sesuatu mulai dari pengamatan visual hingga analisis elemental. SEM/EDS memiliki informasi yang tidak dimiliki teknik lain. Baik SEM dan EDS dapat digunakan untuk mengevaluasi dan / atau menganalisis sampel baik untuk tujuan screening atau untuk mengamati kekeliruan. Secara khusus, SEM menyediakan hasil pemindaian secara visual dan EDS menyediakan analisis elemental. Gabungan keduanya saling diperlukan satu sama lain. Untuk hasil screening, image SEM dapat digunakan untuk menganalisis struktur grain, luas daerah kontak, solder joint dan lapisan IMC. Untuk mendeteksi kekeliruan pada sampel, fokus SEM dilihat pada joint voiding, pad separation dan karakteristik kekeliruan lainnya. Sebagai contoh, SEM/EDS dapat memberikan informasi yang berharga dimana terdapat pemisahan.



Gambar 3. 13 Solder Joint dari beberapa material

Sumber: https://www.nts.com/services/testing/electrical/sem-eds-analysis/

Bersaman dengan image yang dihasilkan dengan SEM, EDS dapat digunakan untuk menyediakan informasi elemental dari area yang ingin dipindai. Pada situasi khusus, juga image SEM juga menghasilkan orientasi tertentu yang kemudian dapat dikonfirmasikan elemennya menggunakan EDS. Teknik ini disebut sebagai pemetaan elemental. Pemetaan elemental sangat informastif ketika mengkonfirmasi integritas dari material yang diinginkan atau menginvestigasi kekeliruan. Pemetaan elemental dapat diperoleh dari setiap elemen dari sampel yang dihasilkan dan menggunakan intensitas warna yang bervariasi untuk menunjukkan konsentrasi dari elemen spesifik pada seluruh area yang ingin ditinjau. Sebagai contoh berikut, pemetaan elemental menggunakan solder joint dari sebuah sampel konektor untuk membuktikan keberadaan lokasi yang sebenarnya (Gambar 3.13).

Rangkuman

- 1. Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop yang memindai permukaan sebuah material menggunakan pemfokusan pancaran tinggi elektron (electron beam).
 - a. SEM bekerja menggunakan berinteraksi dengan atom-atom pada sampel.
 - b. Hasil pemindaian SEM berupa gambar 3 dimensi dari permukaan sampel yang dipindai.
 - c. Pemindaian SEM dilakukan melalui *Secondary Electron* dan *Backscattered Electron* (BSE).
 - d. Set peralatan SEM dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectometer* (EDX), sehingga dapat mendeteksi komponen/ unsur yang terdapat pada sampel.
 - e. Penggunaan SEM banyak digunakan diberbagai bidang mulai dari biologi hingga teknik material, dengan resolusi hingga 1 nm dan perbesaran 1.000.000x.

2. *Hasil* pemindaian SEM berupa:

a. Topografi

Topografi adalah sebuah studi yang mempelajari relief permukaan berupa *image* tiga dimensi. Topograi material yang menjadi sampel pemindaian SEM dapat berupa bentuk permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, keberadaan *crack*).

- b. Morfologi permukaan
 - Instrumen SEM memindai morfologi permukaan sampel, yaitu bentuk dan ukuran dari komponen penyusun objek (misalnya *grain*, *grain boundary*, pori dan *defect*)
- c. Komposisi permukaan Instrumen SEM dapat menganalisis komposisi spot atau keseluruhan permukaan sampel yang dipindai, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung dalam objek.
- 3. *SEM* memiliki perbesaran dan resolusi yang lebih tinggi dari mikroskop optik, serta kemampuan SEM untuk mendeteksi komposisi kristal mengakibatkan menjadi instrumen yang sangat diperlukan dalam dunia nanoteknologi.
- 4. Persamaan SEM dan TEM, yaitu:
 - a. Keduanya sama-sama menggunakan berkas elektron untuk memindai sampel
 - b. Keduanya sama-sama menggunakan lensa elektromagnetik untuk mengarahkan elektron disepanjang kolom.
 - c. Keduanya sama-sama menggunakan komponen electron apertures.

5. 2. Perbedaan SEM dan TEM, yaitu:

- a. Berdasarkan prinsip kerja:
 - TEM memindai hasil elektron transmisi sedangkan SEM memindai elektron hamburan (SE dan BSE).
- b. Berdasarkan hasil *Image*:
 - 1) Resolusi TEM hingga 50 pm, sedangkan SEM hinga 0,5 nm.
 - 2) TEM menghasilkan *image* 2 dimensi, sedangkan SEM 2 dimensi.
 - 3) *Field Vow* (FOV) maksimum SEM sangat besar, sedangkan TEM terbatas.
 - 4) Depth of field SEM jauh lebih tinggi dari TEM
 - 5) TEM memberikan informasi tentang struktur dan komposisi di dalam sampel, sedangkan SEM memberikan informasi tentang struktur, morfologi, dan komposisi di permukaan sampel.
- c. Berdasarkan teknik preparasi sampel
 - 1) Sampel TEM harus sangat tipis (ketebalan hingga 150 nm), sedangkan sampel SEM bisa menggunakan jenis apapun.
 - 2) Preparasi sampel TEM memerlukan teknik yang lebih rumit daripada SEM
 - 3) Berdasarkan pengoperasian
 - 4) SEM menggunakan tegangan akselarasi hingga 30 kV, sedangkan TEM pada kisaran 60 kV 300 kV
 - 5) Perbesaran SEM pada kisaran 1 2 juta kali, sedangkan TEM hingga 50 juta kali
 - 6) SEM lebih mudah dioperasikan sedangkan TEM memerlukan operator yang terlatih untuk mengoperasikan.
- d. Berdasarkan peletakan sampel Sampel SEM diposisikan di bagian bawah kolom elektron. Sedangkan sampel pada TEM diletakkan pada tengah kolom.
- 6. Mikroskop elektron yang menggabungkan SEM dan TEM disebut *Scanning Transmission Electron Microscopy* (STEM).
- 7. SEM dan FESEM keduanya merupakan mikroskop elektron yang menggunakan prinsip pemindaian sampel menggunakan elektron terhambur (SE dan BSE).
- 8. Perbedaan SEM dan FESEM adalah:
 - a) Pada *electron* gun, SEM menggunakan *thermionik emitter* sedangkan FESEM menggunakan *field emitter*.
 - b) *Thermionic emitter* menggunakan panas untuk memanaskan filamen, sehingga elektron dapat tereksitasi.

- c) Field emitter bekerja dengan menempatkan filamen berujung sangat runcing (~100 nm) pada gradien potensial yang besar, sehingga mengatasi energi ambangnya dan elektron dapat tereksitasi.
- d) FESEM menghasilkan resolusi image yang lebih baik 3 hingga 6 kali dari pada SEM, karena Emisi bidang yang dihasilkan FESEM memiliki diameter penampang bidang yang lebih kecil daripada emitor termionik.
- 9. Bersaman dengan image yang dihasilkan dengan SEM, EDS dapat digunakan untuk menyediakan informasi elemental dari area yang ingin dipindai. Pada situasi khusus, juga image SEM juga menghasilkan orientasi tertentu yang kemudian dapat dikonfirmasikan elemennya menggunakan EDS. Teknik ini disebut sebagai pemetaan elemental.

Evaluasi Formatif 3

PILIHAN GANDA

- 1. Image TEM memiliki resolusi yang lebih tinggi dibandingkan mikroskop optik karena ...
 - a. TEM memiliki ukuran yang lebih besar daripada mikroskop cahaya
 - b. Elektron bergerak sebagai gelombang, panjang gelombang elektron jauh lebih pendek daripada cahaya tampak
 - c. TEM dapat mencapai perbesaran maksimum
 - d. Sinar *fluorescent* dari TEM dapat menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi
 - e. TEM memiliki lensa optik yang lebih banyak daripada mikroskop optik.
- 2. Urutan yang benar dalam menghasilkan perbesaran dan resolusi dari yang paling lemah menjadi paling kuat adalah
 - a. mikroskop optik \rightarrow SEM \rightarrow FE SEM \rightarrow TEM
 - b. TEM \rightarrow FE SEM \rightarrow SEM \rightarrow mikrokskop optik
 - c. Mikroskop optik \rightarrow SEM \rightarrow TEM \rightarrow FE SEM
 - d. FE SEM \rightarrow TEM \rightarrow SEM \rightarrow mikroskop optik
 - e. TEM \rightarrow SEM \rightarrow mikroskop optik \rightarrow FE SEM
- 3. Mikroskop yang hanya bisa digunakan pada sampel transparan adalah
 - a. Mikroskop optik dan TEM
- d. EDAX dan TEM
- b. Mikroskop optik dan SEM
- e. SEM dan FESEM

c. SEM dan TEM

b. c.	resolusi aberasi	e.	Fokus			
berkas a. b.	1 1		da material tipis adalah TEM			
(sampe a. b.	kroskop yang menggunakan elektron y el) dan menghasilkan bayangan tiga dimer Mikroskop optik dan TEM Mikroskop optik dan SEM SEM dan TEM	nsi a	dalah EDAX dan TEM			
7 Pernyataan yang benar tentang SEM dan FE SEM adalah a. SEM memiliki resolusi lebih besar dari pada FESEM b. FE SEM memiliki resolusi yang lebih besar daripada SEM c. SEM menggunakan filamen yang mengaplikasikan prinsip emisi medan d. FE SEM menggunakan emisi elektron akibat termal e. FE SEM dan SEM menggunakan foton dalam menghasilkan image						
a. b.	as maksimum perbesaran mikroskop optik 10 x 100x 1000x		10.000x			
a.	Mikroskop optik dan SEM	d.	ilkan image virus adalah EDAX dan TEM SEM dan FESEM saja			
a. SE i b. SE	rnyataan yang benar tentang SEM dengan EM menghasilkan data komposisi elemen mage permukaan sampel EM menghasilkan image bagian dalam dar data komposisi elemen sampel	n sa	mpel, EDAX menghasilkan			

c. SEM menghasilkan image permukaan sampel , EDAX menghasilkan data

d. SEM dan EDAX sama sama menghasilkan image permukaan sampel

komposisi elemen sampel

4. Kemampuan untuk mengukur jarak terpendek antar dua titik disebut sebagai

Perbesaran

a.

d. Panjang lensa

ESSAY 1. Jelaskan dengan lengkap, perbedaan FESEM dan TEM! Jawab: 2. Sebutkan kelemahan dan kelebihan dari: a. SEM Jawab: b. TEM Jawab: c. FESEM Jawab: 4. Ada berapa jenis mikroskop elektron yang kamu ketahui ? Jelaskan masingmasing! Jawab:

5. Sebutkan kelemahan dan kelebihan dari:

e. SEM dan EDAX sama sama menghasilkan data komposisi elemen sampel

105

a. Mikroskop Optik		
Jawab:		
b. SEM		
Jawab:		
c. TEM		
Jawab:		
d. FESEM		
Jawab:		

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 3

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 4 *Electron Gun*

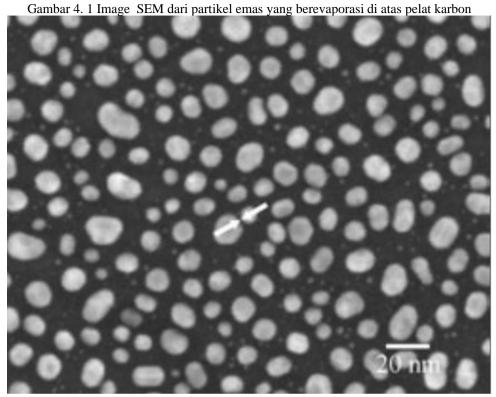
Kemampuan	Sub Kemampuan Dasar
Dasar	
Mahasiswa dapat	1. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat
menjelaskan	menjelaskan prinsip kerja TE Gun, SE Gun, dan
karakteristik image	FE Gun
yang dihasilkan dari	2. Melalui diskusi dan informasi mahasiswa dapat
Electron gun	menejlaskan fungsi Electron gun pada image
berdasarkan jenis	SEM
emitornya	3. Mahasiswa dapat menjelaskan <i>image</i> SEM yang
-	dihasilkan dari <i>TE Gun</i> , <i>SE Gun</i> dan FE gun.

Uraian Materi

A. Komponen – komponen pada Electron gun

Electron gun adalah komponen SEM yang berperan sebagai penghasil berkas elektron. Bersama-sama dengan susunan lensa kondenser, electron gun juga berperan sebagai pengatur fokus berkas elektron. Secara umum, komponen electron gun terdiri dari emitor, elektroda Wehnelt, dan anoda. Sumber elektron pada emitor adalah filamen katoda. Elektron dapat diemisikan keluar dari katoda melalui pemanasan atau pemberian medan listrik eksternal. Semua jenis electron gun memerlukan keadaan vakum agar dapat beroperasi dengan baik. Electron gun ditempatkan pada sebuah tabung vakum agar berkas sinar elektron tidak berinteraksi dengan molekul udara.

Selain sebagai penghasil berkas elektron, *electron gun* setidaknya memiliki dua fungsi lainnya yaitu sebagai pengatur diameter *electron probe* dan sebagai penentu kecerahan (*brightness*) dari *image* SEM. Diameter *electron probe* akan menentukan tingkat resolusi *image*, sedangkan densitas arus elektron *J* akan menentukan kecerahan gambar. Resolusi atau daya resolusi adalah kemampuan SEM mengukur jarak antara dua titik yang terpisah dengan jarak yang paling kecil. Gambar 4.1 menunjukkan resolusi dari sebuah SEM adalah sebesar 1 nm. Pada keadaan ini SEM masih mampu mengenali jarak antara dua partikel uap logam emas.

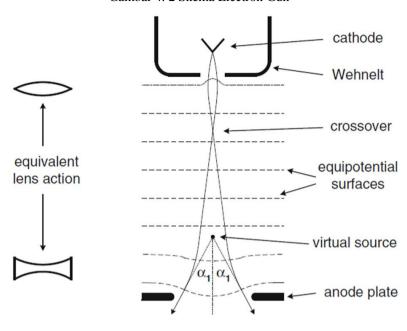


https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Bayangan yang tajam atau *image* yang memiliki tingkat resolusi tinggi dapat diperoleh jika elektron pemindai benar-benar fokus. Elektron yang benarbenar fokus adalah elektron yang memiliki diameter sangat kecil. Ketajaman gambar inilah yang disebut sebagai daya resolusi. Daya resolusi lebih tepatnya dapat dijelaskan sebagai kemampuan lensa dalam memisahkan dua titik dengan jarak paling minimum. Anak panah yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 menunjukkan jarak terdekat antara dua partikel emas adalah sebesar 1 nm. Pengukuran daya resolusi dapat dilakukan dengan menyiapkan spesimen yang stabil dan mudah diobservasi.

Skema komponen *electron gun* diberikan pada Gambar 4.2. Setelah keluar dari katoda, elektron akan melalui elektroda Wehnelt. Elektroda Wehnelt berperan seperti kisi pengontrol, elektroda ini biasanya terbuat dari bahan nikel. Di bagian tengah elektroda Wehnelt terdapat sebuah lubang (*hole*) yang koaksial (satu sumbu) denganbagian runcing emitor. Kisi ini memiliki bias negatif (potensial negatif) yang berfungsi untuk mengatur aliran elektron.

Gambar 4. 2 Skema Electron Gun



Sumber: Egerton, 2016

Elektron yang berhasil melewati elektroda Wehnelt kemudian akan mengalami percepatan menuju potensial positif. Potensial positif ini timbul karena anoda *preaccelerating* diberi tegangan positif. Berkas elektron kemudian akan difokuskan oleh anoda pemfokus (*focusing anoda*). Komponen e*lectron gun* secara umum dapat dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Emitor

Emitor adalah sumber elektron bagi SEM, emitor berupa filamen dengan bahan katoda. Katoda adalah bahan yang mudah melepas elektron. Katoda dapat melepas elektron menggunakan dua cara, yaitu dipanaskan atau diberi medan listrik luar. Berdasarkan jenis emitor maka *electron gun* akan dibagi kedalam tiga jenis, yaitu *Thermionic Emission Gun* (TE *Gun*), Schottky *Emission Gun* (SE *Gun*), dan *Field Emission Gun* (FE *Gun*).

2. Elektroda Wehnelt

Komponen yang penting dari sebuah *electron gun* juga adalah silinder **Wehnelt**, yaitu sebuah elektroda logam yang menyelubungi filamen. Elektroda Wehnelt adalah elektroda yang berfungsi seperti kisi pengontrol atau penyaring

berkas elektron yang keluar dari katoda dan menuju anoda. Elektroda Wehnelt berbentuk silinder dan terbuat dari nikel. Pada silinder Wehnelt diberikan sebuah lubang kecil berdiameter < 1 mm (biasanya sekitar 0,25 mm). Lubang (*hole*) ini koaksial (memiliki yang satu sumbu) dengan emitor dan berada secara vertikal tepat di bawah emitor. Hole ini adalah tempat elektron emisi bergerak dari emitor (katoda) ke pelat anoda.

Dengan adanya hole ini, elektroda Wehnelt berfungsi untuk mengatur arus emisi dari *electron gun*. Untuk tujuan ini, elektroda Wehnelt memiliki potensial yang lebih negatif dibandingkan katoda (filamen). Potensial negatif pada elektroda Wehnelt mencegah elektron meninggalkan katoda kecuali jika diemisikan dari ujung runcing filamen. Intensitas *electron beam* bergantung pada jumlah elektron yang diemisikan keluar dari elektroda Wehnelt.

3. Anoda

Anoda pada *electron gun* adalah sebuah lempeng logam yang diberi muatan positif. Fungsi anoda adalah untuk mempercepat gerak elektron pada tabung SEM hingga menumbuk sampel. Gerak dipercepat yang dialami elektron timbul akibat gaya elektrostatik, yaitu gaya yang dialami sebuah benda bermuatan akibat adanya medan listrik. Medan listrik ini ditimbulkan oleh adanya beda potensial. Dalam satu *electron gun* dapat terdiri dari tiga macam anoda, yaitu 1) anoda pre-akselarasi; 2) anoda akselarasi, dan 3) anoda pemfokusan. Anoda pre-akselarasi dan anda akselarasi berfungsi untuk mempercepat berkas elektron yang dihasilkan emitor. Kedua anoda ini terhubung dengan potensial yang tinggi agar elektron yang melaluinya bergerak dipercepat. Setelah melalui anoda pre-akselarasi dan anoda akselarasi, maka elektron akan melalui anoda pemfokusan untuk difokuskan, sebelum masuk ke lensa kondenser.

B. Electron gun berdasarkan Jenis Emitor

Electron beam yang dihasilkan dari electron gun memiliki energi kinetik yang cukup besar, sehingga mampu berinteraksi dengan spesimen dalam bentuk tumbukan elastis dan non elastis. Electron gun terdiri atas electron source (katoda / emitor) dan bagian pemercepat elektron. Electron source merupakan komponen penghasil berkas elektron, komponen electron source terbuat dari bahan logam yang mudah untuk melepas atau mengemisikan elektron. Karena sifat bahan yang mudah melepas elektron, maka electron source ini bermuatan negatif. Berdasarkan prosedur emisi elektron, ada tiga jenis electron gun, yaitu: Field Emission (FE Gun), Schottky Emission (SE Gun), dan Thermal Emission (TE Gun).

1. Thermal Emission (TE Gun)

Thermal emission (TE Gun) adalah jenis electron gun yang mengemisikan electron beam (berkas elektron) melalui pemanasan (Gambar 4.3). Komponen electron source pada TE Gun berupa filamen berbentuk huruf V seperti hairpin atau jepit rambut yang terbuat dari kawat tungsten. Filamen V ini dilas pada sebuah kawat lurus berbahan tembaga yang dipasang pada sebuah soket berbahan keramik atau kaca. Kawat tembaga ini memudahkan filamen mengemisikan elektron saat filamen dipanaskan. Energi untuk memanaskan filamen berasal dari arus DC. Pada kondisi vakum, filamen dipanaskan pada suhu 2700°C hingga mengemisikan elektron. Emisi akibat panas ini kemudian disebut emisi termionik atau emisi termal.

C F W

Gambar 4. 3 Skema TE Gun

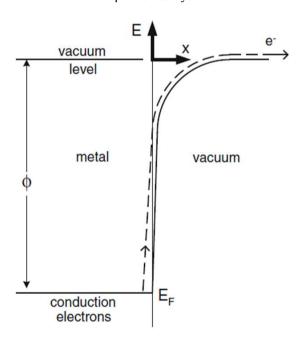
Sumber: Egerton, 2016

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa TE gun terdfiri dari sebuah filamen tungsten (F), elektroda Wehnlet (W), isolator dari bahan keramik bertegangan tinggi (C) dan sebuah pengunci berbentuk cincin (O ring seal) O yang berada pada bagaian bawah kolom SEM. Sebuah resistor autobias Rb yang berada pada generator tegangan tinggi digunakan untuk mengatur beda potensial antara W dan F. Resistor ini juga dapat digunakan untuk mengatur besar arus elektron emisi I_e .

Arah panah menunjukkan arah elektron yang menunjukkan kenaikan nilai arus elektron

Proses emisi termionik diilustrasikan oleh diagram energi elektron (Gambar 4.4), sumbu vertikal menunjukkan energi E dari sebuah elektron dan sumbu horizontal merepresentasikan jarak z dari permukaan tungsten. Di seluruh permukaan tungsten energi tertinggi elektron berada pada bagian atas **pita konduksi** dan dekat dengan **energi fermi** E_F . Elektron konduksi ini membawa arus listrik disepanjang logam dan normalnya tidak dapat keluar dari permukaan logam karena besar E_F sama dengan **fungsi kerja** ϕ pada keadaan vakum. Keadaan ini merepresentasikan keadaan pada elektron stasioner yang berada jarak tertentu di luar permukaan logam.

Gambar 4. 4 Diagram pita energi elektron dari sebuah logam ketika diberi medan listrik luar di permukaannya



Proses emisi termionik diindikasikan pada garis putus-putus

Sumber: Egerton, 2016

Dari Gambar 4.4 menunjukkan energi elektron tidak mengalami perubahan secara tiba-tiba pada *interface* logam/vakum. Saat elektron meninggalkan logam, elektron menghasilkan garis dari medan listrik yang meniadakan muatan positif (mereduksi densitas elektron) pada permukaan logam.

Muatan ini menghasilkan gaya elektrostatik di seluruh permukaan yang melemah secara bertahap terhadap jaraknya. Oleh sebab itu medan listrik dan potensial listriknya juga mengalami penurunan secara bertahap di luar permukaan.

Pada saat katoda mengalami pertambahan suhu maka inti atom dari katoda akan mengalami vibrasi dan pertambahan amplitudo. Karena elektron konduksi dalam kesetimbangan termodinamika antar atom-atom dan antar sub-atomik, maka akan terjadi pembagian energi termal secara merata antara inti atom dengan elektron-elektron. Energi yang diperoleh elektron ini akan membuat elektron mengalami peningkatan tingkat energi dan membuatnya bisa melompat keluar dari logam ke arah vakum.

Laju emisi elektron dapat direpresentasikan sebagai densitas arus J_e (dengan satuan A/m^2) pada permukaan katoda yang dinyatakan dalam **hukum Richardson**:

$$J_e = AT^2 \exp\left(-\frac{\phi}{kT}\right) \tag{4.1}$$

Dengan T adalah suhu mutlak yang terukur pada katoda dan A adalah konstanta Richardson $(A \approx 10^6 \ Am^{-2}K^{-2})$, nilai konstanta Richardson ini juga bergantung pada jenis material katoda tapi tidak bergantung pada besar temperatur. k adalah konstanta Boltzmann $(k=1,38\times 10^{-23}J/K)$ dan kT mendekati rerata energi termal dari sebuah atom (atau sebuah elektron konduksi, jika diukur relatif terhadap tingkat energi Fermi). Fungsi kerja ϕ biasanya dinyatakan dalam elektron volt (eV) dan bisa dikonversi ke dalam joule dengan mengalikan $e=1,6\times 10^{-19}$ jika digunakan pada persamaan 4.1.

Dari persamaan 4.1 dapat diperoleh bahwa apabila temperatur T mengalami peningkatan maka densitas arus J_e akan tetap rendah hingga kT mencapai beberapa persen dari fungsi kerja. Temperatur akan mencapai titik tertinggi pada ujung sudut huruf V dari filamen tungsten. Keadaan inilah yang membuat emisi elektron muncul dari ujung sudut ini.

a. Filamen Tungsten

Tungsten memiliki energi kohesif dan titik lebur yang tinggi ($\approx 3650~K$). Tungsten juga memiliki tekanan uap yang rendah, keadaan ini mengakibatkan katoda tungsten dapat bekerja dengan baik pada temperatur 2500-3000K pada keadaan vakum. Tungsten memiliki fungsi kerja yang cukup tinggi (4,5~eV), syarat $\frac{\phi}{kT}$ dapat dibuat cukup rendah untuk menghasilkan emisi elektron yang memadai. Logam tungsten adalah logam konduktor yang dapat dipanaskan dengan cara mengalirkan arus padanya.

Logam Tungsten bersifat stabil secara kimiawi dan tidak mudah terkontaminasi dengan gas-gas buangan yang kadang dihasilkan pada keadaan kurang vakum (tekanan $> 10^{-3}$ Pa) pada *Thermionic Gun* (*TE Gun*). Hal ini sangat baik, karena reaksi kimia akan membuat emitor terkontaminasi unsur lain

yang bisa mengakibatkan berubahnya nilai fungsi kerja dan besar arus elektron emisi.

b. Filamen Lanthanum Hexaborite (LaB_6)

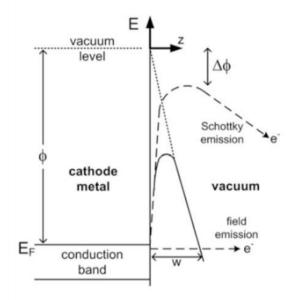
Kristal Lanthanum Hexaborite adalah bahan katoda yang memiliki fungsi kerja kecil (LaB_6 ; $\phi=2.7~eV$) sehingga material ini juga menjadi salah satu alternatif filamen TE~gun. Filamen lanthanum hexaborite berbentuk batang pendek dengan ujung sangat runcing, panjangnya sekitar 2 mm dan diameter batang sebesar 1 mm. Kristal LaB_6 dipanaskan pada temperatur $1400-2000~\rm K$ dengan memasangkannya diantara kawat tembaga atau strip karbon yang dilewati arus listrik. Kawat tembaga ini juga dipasang pada sebuah basis isolator (biasanya terbuat dari keramik atau kaca) sehingga secara geometri, bentuk filamen LaB_6 akan mirip dengan filamen tungsten. Kelemahan dari filamen LaB_6 adalah sifatnya yang mudah terkontaminasi (misalnya dengan oksigen atau karbon) pada keadaan kurang vakum (tekanan $< 10^{-4}~\rm Pa$).

Jika dibandingkan dengan filamen tungsten, filamen LaB_6 memiliki harga yang relatif lebih mahal. Kelebihannya adalah umur pakai filamen LaB_6 lebih lama dibanding tungsten, asalkan dioperasikan pada keadaaan vakum yang tinggi dan dioperasikan dengan peningkatan suhu yang perlahan untuk mencegah keretakan mekanis. Berkas elektron yang dihasilkan oleh filamen LaB_6 juga memiliki diameter lebih kecil dibandingkan filamen tungsten, sehingga akan menghasilkan resolusi gambar yang lebih tinggi dibandingkan tungsten. Fungsi kerja yang rendah membuat filamen LaB_6 menghasilkan emisi elektron lebih banyak, sehingga gambar (image) yang dihasilkan lebih cerah.

2. Schottky Emission gun (SE Gun)

Emisi termal dari TE *gun* dapat ditingkatkan dengan cara memberikan medan listrik statis pada permukaan katoda. Medan listrik ini akan menurunkan nilai dari *potential barrier* (potensial penghalang). Potensial penghalang menjaga agar elektron tetap berada pada atom katoda. Medan listrik eksternal memberikan sejumlah energi sebesar $\Delta \phi$ sehingga elektron dapat melakukan emisi (keluar) dari atomnya, efek ini disebut sebagai **efek Schottky**. Densitas arus yang diemisikan J_e mengalami peningkatan yang sebanding dengan faktor $\exp\left(\frac{\Delta \phi}{kT}\right)$.

Gambar 4. 5 Diagram energi elektron pada sebuah katoda SE Gun dan FE Gun



Besar medan listrik E yang diaplikasikan pada permukaan:

- E moderate $\approx 10^8 \text{V/m}$
- E tertinggi $\approx 10^9 V/m$

Sumber: Egerton, 2016

Electron gun dengan tipe Schottky (SE Gun) memiliki electron source atau emitor atau filamen yang terbuat dari filamen tungsten dengan bentuk seperti penjepit rambut (hairpin) dengan huruf V. Pada ujung sudut huruf V tersebut diberi coating zirconium oxide (ZrO) untuk menghasilkan fungsi kerja yang lebih rendah ($\phi = 2.8~eV$) dan memerlukan pemanasan sebesar 1800K untuk menghasilkan emisi elektron yang memadai. Ujung runcing dari filamen V berjarak sekitar 0,3 mm dari lubang elektroda Wehnelt. Densitas arus yang dihasilkan dari SE Gun mencapai $10^7 A/m^2$ pada permukaan filamen. Kelemahan dari SE Gun adalah bahan ZrO mudah terkontaminasi dengan gas ambien, sehingga SE Gun juga memerlukan keadaaan vakum yang tinggi, sama halnya dengan filamen lanthanum hexaborite.

3. Field Emission (FE gun)

Jika medan listrik statis pada ujung runcing filamen meningkat, maka lebar potensial penghalang (Gambar 4.5) akan menjadi semakin kecil. Akibatnya elektron dapat melompati permukaan potensial penghalang atau dapat mengalami eksitasi dari atomnya, efek ini pada mekanika kuantum disebut sebagai efek

tunneling. Peristiwa terbebasnya elektron akibat medan listrik luar ini disebut sebagai emisi medan (*field emission*). Probabilitas elektron yang mengalami efek tunnneling menjadi tinggi ketika lebar permukaan potensial penghalang (w) sama besar dengan panjang gelombang de Broglie dari berkas elektron. Panjang gelombang berhubungan dengan momentum elektron yang diberikan oleh $p = \frac{h}{\lambda}$, dimana h adalah konstanta planck dengan $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js . Karena dinding penghalang menjadi semakin kecil pada bagian atas pita konduksi (Gambar 4.5), maka elektron pada ujung pita konduksi ini menjadi semakin mudah untuk lompat atau tereksitasi. Elektron-elektron ini memiliki kecepatan greak v dengan orde 10^6 m/s dengan panjang gelombang $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \approx 0.5 nm$.

Segitiga yang diberikan oleh Gambar 4.5 (sebelah kanan) menunjukkan hubungan medan listrik statis E_s dengan lebar penghalang (pada tingkat fermi) sebesar $E_s = \frac{(\phi/e)}{w}$. Pada efek *tunneling* berlaku $w = \lambda$ dan masukkan fungsi kerja tungsten adalah 4,5 eV, sehingga diperoleh $(\phi/e) = 4,5$ eV dan $E_s = \frac{4,5}{(0,5\times 10^{-9})} \approx 10^{10} \, V/m$. Medan listrik ini diperoleh dengan menempatkan silinder Wehnelt pada elektroda ekstraktor. Elektroda ekstraktor berperan sebagai potensial positif $+V_1$ relatif terhadap ujung runcing filamen. Jika kita mempertimbangkan ujung runcing filamen seperti sebuah bola berjari-jari r, dengan r jauh lebih kecil dari jarak dengan elektroda ektraktor, maka kita dapat menggunakan persamaan $E = \frac{kQ}{r^2}$ untuk menghubungkanya dengan medan listrik statis E_s pada muatan Q yang berada di ujung runcing.

Medan listrik juga dapat diperoleh dari gradien potensial E=-dV/dr, sehingga melalui integrasi, kita dapat menyatakan hubungan antara potensial ujung runcing dengan elektroda ekstraktor dengan persamaan $V_1=\frac{kQ}{r}=E_s r$. Hubungan ini menunjukkan jari-jari ujung runcing filamen yang sangat kecil (r) akan menimbilkan medan listrik lokal $E_s=\frac{V_1}{r}$ yang menghasilkan potensial V_1 yang bisa hingga ribuan volt. Ujung dari filamen dibuat sangat runcing agar memudahkan elektron melompat keluar dari katoda. Elektron teremisi dari area yang sangat kecil dengan diameter yang kurang dari 10 nm. Diameter yang sangat kecil ini mengijinkan elektron untuk difokuskan oleh lensa elektromagnetik sehingga menjadi elektron pemindai (electron probe) dengan dimensi sub nanometer.

Karena tidak memerlukan pemanasan dalam mengemisikan elektron, maka FE gun juga disebut sebagai emisi elektron dingin (Cold Field Emission Gun (CFEG). Selama beroperasi, FE gun tidak menimbulkan evaporasi (penguapan) dan filamen dapat bertahan hingga berbulan-bulan, bahkan beberapa tahun. Pemanasan pada FE gun terkadang perlu dilakukan untuk membersihkannya dari gas-gas adsorbsi, sehingga menghindarkan FE gun dari kontaminasi unsur lain. FE gun juga memerlukan keadaan vakum yang tinggi

(*ultra high vacuum* / UHV , dengan tekanan 10^{-8} Pa) untuk mencapai kestabilan saat dioperasikan. Keadaaan ultra vakum ini membuat FE *gun* perlu dilengkapi sistem vakum yang lengkap dan membuat harganya menjadi lebih mahal.

Tugas 4 (Part 1)

1. Duotlah diagnam kammanan TE ayu harilah katanangan nama dari satian
1. Buatlah diagram komponen TE <i>gun</i> , berilah keterangan nama dari setiap komponen dan jelaskan prinsip kerja dari TE <i>gun</i> , pada filamen:
a. Tungsten
Jawab
ou was
b. Lanthanum Hexaborite
Jawab
2. Buatlah diagram komponen penyusun SE <i>gun</i> , berilah keterangan nama dari
setiap komponen dan jelaskan prinsip kerja dari SE gun
Jawab
Jawab
3. Buatlah diagram komponen penyusun FE gun, berilah keterangan nama dari
setiap komponen dan jelaskan prinsip kerja dari FE gun
Jawab

C. Perbandingan tiga tipe *Electron gun*

Telah disebutkan sebelumnya, terdapat tiga jenis *Electron gun*, yaitu *Thermionic Emission Gun (TE Gun)*, *Schottky Emission Gun (SE Gun)* dan *Field Emission Gun* (FE *Gun*). Syarat operasi dan performansi secara umum dari ketiga jenis *Electron gun* tersebut diberikan pada Tabel 4.

Tabel 4Parameter pengoperasian dari emitor electrton Gun

Tipe Emitor	TE (Gun	SE Gun	FE Gun
Bahan	Tungsten (W)	LaB ₆	ZrO	Tungsten (W)
Fungsi kerja ϕ (eV)	4,5	2,7	2,8	4,5
Suhu optimum operasi T (K)	2700	1800	1800	300
Medan Listrik E (V/m)	rendah	rendah	$\approx 10^8$	> 109
Densitas Arus J (A/m ⁻²)	$\approx 10^4$	$\approx 10^6$	$\approx 10^7$	$\approx 10^9$
Kecerahan B (A m ⁻² sr ⁻¹)	$\approx 10^9$	$\approx 10^{10}$	$\approx 10^{11}$	$\approx 10^{12}$
Diameter emitor	≈ 40	≈ 10	≈ 0,02	≈ 0,01
Vakum (Pa)	$< 10^{-2}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-7}$	$\approx 10^{-8}$
Umur pemakaian (jam)	≈ 100	≈ 1000	$\approx 10^4$	$\approx 10^4$
Penyebaran energi dari elektron emisi ΔE (eV)	1,5	1,0	0,5	0,3

Sumber: Egerton, 2016

Walaupun arus emisi (*I*) mengalami penurunan dari filamen tungsten ke FE *gun*, namun diameter elektron emisi dan luas penampang emisi mengalami peningkatan pada FE gun, jika dibandingkan dengan filamen tungsten pada *TE Gun*.

Penurunan diameter elektron dan luas emisi elektron ini ternyata meningkatkan densitas arus (J). Densitas arus ini lah yang berpengaruh pada kecerahan (*brightness*) pada gambar (*image*) SEM. Kecerahan (*brightness*) didefinisikan sebagai besar densitas arus per sudut padat (Ω) diseluruh emisi elektron. Sudut padat (Ω) adalah sudut tiga dimensi yang ekuivalen dengan sudut dua dimensi pada geometri euklidean. Dengan sudit pada radian dinyatakan sebagai $\theta = s/r$ dengan s adalah panjang busur dan r adalah jari-jari. Sudut padat disebut juga sebagai sudut ruang dengan satuan steradian dan didefinisikan sebagai $\Omega = \frac{A}{r^2} = 4\pi$ steradian.

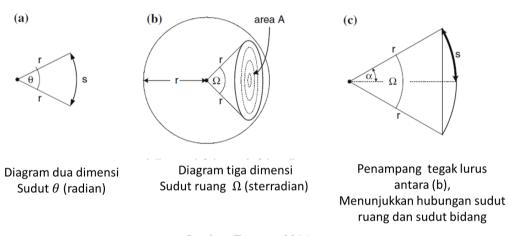
Secara sederhana, besar Ω sangat kecil dan mencapai hampir setengah dari sudut α dari kerucut emisi. Untuk α yang kecil, luas kurva dan kerucut dari Gambar 4.6 mendekati sebuah cakram datar dengan jari-jari r, sehingga:

$$\Omega \approx \frac{(\pi s^2)}{r^2} = \pi \alpha^2 \tag{4.2}$$

Karena terdapat pelebaran *image* yang disebabkan olej aberasi sferis dari lensa elektron seiring peningkatan nilai α^3 , maka kemampuan perbesaran dari lensa untuk menghasilkan densitas arus pada probe berdiameter kecil bisa dibantu oleh nilai α yang dijaga tetap kecil. Nilai α yang kecil mengakibatkan emitor menghasilkan kecerahan yang tinggi.

Pada *Scanning Electron Microscope* (SEM), resolusi spasial yang lebih baik dapat diperoleh dengan menggunakan Schottky (SE *gun*) atau emisi medan (FE *gun*). Kedua tipe *electron gun* ini memiliki nilai kecerahan (*brightness*) yang lebih besar dari TE *Gun*. (Tabel 4).

Gambar 4. 6 Sudut ruang dan sudut bidang



Sumber: Egerton, 2016

Persamaan 4.2 juga dapat dipakai untuk menentukan kecerahan optikap pada bidang manapun yang ada pada sistem optika elektron dimana diameter berkas dinyatakan dalam d dan sudut semi konvergensi disebut sebagai α . komsep ini secara khusus berguna karena β memiliki nilai yang sama pada setiap bidang gambar, yang kemudian dikenal sebagai konservasi kecerahan, dengan kata lain:

$$B = \frac{J_e}{\Omega} = I \left[\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]^{-1} (\pi \alpha^2)^{-1} = konstan$$
 4.3

Kekekalan kecerahan menjadi valid disaat sistem memiliki sebuah *aperture* (bukaan) yang dapat mengadsorbsi sejumlah elektron. Walaupun berkas elektron memiliki besar arus I mengalami reduksi pada *aperture*, sudut ruang dari sinar mengalami reduksi dengan proporsi yang sama. Jika tidak memiliki aperture maka nilai I adalah konstan dan persamaan 4.3 menunjukkan priduk αd adalah sama pada setiap bidang.

Pada baris terakhir di Tabel 4 menunjukkan beberapa nilai khusus dari perubahan energi ΔE untuk beberapa tipe berbeda dari *electron gun*. Variasi dari energi kinetik dan elektron emisi. Pada TE *gun* dan SE *gun*, perubahan energi ini

adalah refleksi dari variasi statistik pada energi termal dari elektron di katoda, yang bergantung pda nilai temperatur T. Pada kasus FE *gun*, perubahan energi ini muncul akibat beberapa elektron yang teremisi dari tingkat energi (dari tip (ujung runcing)) yang berada di bawah tingkat Fermi.

Pada kedua kasus, ΔE meningkat terhadap arus emisi (I), yang dikenal juga sebagai efek **Boersch**, karena adanya interaksi listrik statik antara elektron, khususnya pada elektron penyintas dimana berkas sinar memiliki diameter yang kecil dan elektron-elektron terpisah menjadi kecil. Nilai ΔE yang besar menunjukkan peningkatan aberasi kromatis dan adanya penurunan pada resolusi gambar.

Tugas 4 (Part 2)

1. Tuliskan kelemahan dan kelebihan dari TE <i>gun</i> da	an jelaskan (minimal masing-
masing tiga)	
Jawab	
2. Tuliskan kelemahan dan kelebihan dari SE gun da	an jelaskan (minimal masing-
masing tiga)	
Jawab	
3. Tuliskan kelemahan dan kelebihan dari FE <i>gun</i> da masing tiga)	an jelaskan (minimal masing-
Jawab	
4. Jika kamu menginginkan <i>image</i> SEM yang me maka apa tipe elektron gun yang kamu pilih? Men	
Jawab	<u> </u>
- Surray	

D. Akselarasi elektron pada Electron Gun

Setelah elektron teremisi dari katoda, elektreon kemudian akan bergerak dipercepat hingga mencapai energi kinetik finalnya E_0 . Elektron bergerak dipercepat karena mengalami medan listrik dengan arah paralel terhadap susunan lensa elektromagnetik. Medan listrik ini dihasilkan dengan mengaplikasikan beda potensial V_0 diantara katoda dan anoda. Anoda adalah pelat logam yang memiliki sebuah hole (lubang) pada pusatnya, lubang ini berada secara vertikal dibawah katoda. Lubang inilah tempat berkas elektron mulai mengalami percepatan. Ada banyak elektron dipercepat diadsorbsi oleh pelat anoda dan hanya sekitar 1% dari total arus dari katoda yang berhasil yang diemisikan.

Untuk menghasilkan elektron dipercepat, maka anoda perlu untuk memiliki potensial yang lebih positif dibanding anoda. Keadaan ini bisa dihasilkan dengan menyusun anoda dan serangkaian susunan lensa elektromagnetik pada kolom SEM untuk di *ground*-kan potensialnya dan emitor tetap dalam potensial negatif.

Gambar 4. 7 Skema generator tegangan tinggi pada TEM

Sumber: Egerton, 2016

Katoda dan elektroda pengontrolnya mengalami gaya tarik ke bawah oleh sebuah isolator tegangan tinggi (Gambar 4.7), yang terbuat dari bahan keramik atau bahan logam oksida. Untuk mencegah kebocoran/ kerusakan (breakdown), maka isolator gun harus memiliki permukaan yang sangat halus dan memiliki panjang yang cukup untuk dapat berdiri saat tegangan tinggi (sekitar 100kV) diterapkan.

Tegangan pemercepat (V_0) disuplai dari generator listrik tegangan tinggi yang telah dihubungkan dengan *electron gun* menggunakan sebuah kabel tebal yang telah diselubungi isolator dengan baik. Potensial listrik yang dinggi dihasilkan dari tranfo *step-up* yang telah terhubung pada sebuah sirkuit osilator electronik yang menghasilkan listrik keluaran (ac) yang sebanding dengan tegangan input (dc) (Gambar 4.7).

Karena osilator beroperasi pada tegangan rendah, maka beda potensial yang besar (V_0) akan muncul diantara kumparan primer dan sekunder dari trafo. Secara konsekuen, kumparan sekunder harus terpisah dari inti trafo dengan sebuah bahan isolator yang cukup tebal. Trafo ini beroperari dengan baik pada frekuensi 50 hingga 60 Hz, dnegan output osilator adalah pada 10 kHz (frekuensi tinggi) dengan apmlitido sebandiong dengan tagangan input V_i

Untuk mengasilkan tegangan yang tinggi, maka arus dari kumparan sekunder akan disearahkan kembali oleh serangkaian dioda. Dioda ini mengijinkan berkas elektron yang janya bergerak pada satu arah. Keberadaan dioda ini juga menghasilkan komponen yang bergelombang pada arus pada kawat tegangan tinggi.

TUGAS 4 (Part 3)

1. Jelaskan			_	aberasi	kromatis	dan	jelaskan	juga
bagaimana t	erjadinya ab	erasi kron	natis!					
Jawab								
2. Apa yang	terjadi setelal	n electron b	eam dihas	silkan daı	ri katoda?			
Jawab								

0.1-par 10.11851 010	ektroda Wehnelt'?	
Jawab		
4. Ada berapa jer	nis anoda pada SEM dan Apa fungsi dari anoda?	
4. Ada berapa jer Jawab	nis anoda pada SEM dan Apa fungsi dari anoda ?	
	nis anoda pada SEM dan Apa fungsi dari anoda ?	
	nis anoda pada SEM dan Apa fungsi dari anoda ?	
	nis anoda pada SEM dan Apa fungsi dari anoda ?	
	nis anoda pada SEM dan Apa fungsi dari anoda ?	

Rangkuman

Electron gun adalah komponen SEM yang berperan sebagai penghasil berkas elektron. Bersama sama dengan susunan lensa kondenser, electron gun juga berperan sebagai pengatur fokus berkas elektron. Komponen electron gun terdiri dari emitor, elektroda Wehnelt, dan anoda. Sumber elektron pada emitor adalah filamen katoda. Elektron dapat diemisikan keluar dari katoda melalui pemanasan atau pemberian medan listrik eksternal. Electron gun ditempatkan pada sebuah tabung vakum agar berkas sinar elektron tidak berinteraksi dengan molekul udara. Ketiga jenis electron gun memerlukan keadaan vakum agar dapat beroperasi dengan baik.

Evaluasi Formatif 4

- 1. Pada *electron gun*, electron dipercepat oleh....
- a. pelat katoda

b. kumparan elektromagnetik

d. Pelat anoda

e. elektroda Wehnelt

c. aperture

- 2. Pada teknik pemindaian mikroskop elektron setelah dari anoda, maka berkas electron akan melalui....
 - a. pelat katoda

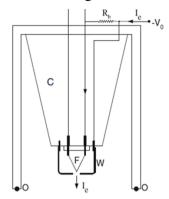
d. Pelat anoda

b. kumparan elektromagnetik

e. elektroda Wehnelt

c. aperture

3. Perhatikan gambar berikut



Komponen yang berfungsi sebagai pengukur aliran elektron dari katoda ke anoda adalah

auaiaii ... a. F

d.C

b. W

e.Rb

c. O

4. Tingkat kevakuman minimum pada electron gun adalah pada orde

a. 10^4 Pa

d. 10⁻² Pa

b. 10^{3} Pa

e. 10⁻⁴ Pa

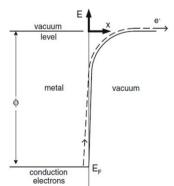
- c. 10^{2} Pa
- 5. Untuk mempelajari sebuah bahan menggunakan berkas elekton, maka kita akan menggunakan komponen....
- a. proton gun

d.Electron gun

b. bullet gun

e. sinar tampak

- c. voltage gun
- 6. Perhatikan gambar berikut

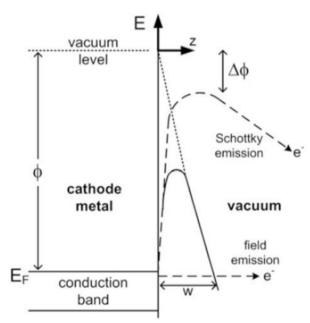


Pernyataan yang benar tentang gambar diatas adalah

- a. energi termal menurunkan potensial *barrier* sehingga mengakibatkan elektron terlepas dari logam
- b. energi termal menaikkan potensial *barrier* sehingga mengakibatkan elektron terlepas dari logam
- c. energi termal tidak berpengaruh apapun terhadap potensial barier
- d. energi termal membuat keadaan vakum sehingga elektron mudah diemisikan
- e. elektron berada jauh dari pite konduksi sehingga lenih mudah mengalami eksitasi
- 7. Ketika sebuah berkas elektron melalui dua pelat, maka elektron tersebut bergerak menuju
 - a. tidak ada pelat
- b. pelat negatif
- c. pelat positif

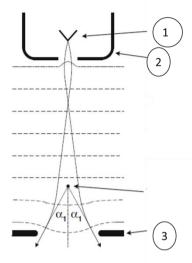
- d. pelat tidak bermuatan
- e. tidak ada jawaban benar

8. Perhatikan gambar berikut



Pernyataan yang benar dari gambar diatas adalah

- a. fungsi kerja pada filamen FE gun lebih rendah dari SE Gun
- b. medan listrik luar dapat lebih banyak menurunkan potensial *barrier* filamen FE *gun* dibandingkan SE *gun*
- c. fungsi kerja filamen FE gun sama besar dengan SE gun
- d. potensial barrier FE gun sama besar dengan SE gun
- e. keadaan vakum mengakibatkan menurunnya fungsi kerja SE gun dan FE gun
- 9. Perhatikan gambar berikut



Dari gambar diatas, pernyataan yang benar adalah

- a. Komponen 1, 2, dan 3 berfungsi untuk menentukan resolusi dan kecerahan *image* SEM
- b. Komponen 1 berfungsi untuk mengatur besar densitas elektron
- c. Komponen 2 berfungsi untuk menghasilkan berkas elektron
- d. Komponen 3 berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron menggunakan gaya magnet
- e. Komponen 2 berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron.
- 10. Yeng merupakan fungsi dari electron gun pada SEM adalah ...
- a. menentukan atom penyusun sampel
- b. menghasilkan foton
- c. menghasilkan berkas elektron saja
- d. menentukan resolusi image elektron saja
- e. menghasilkan berkas elektron, menentukan resolusi *image* elektron dan menentukan kecerahan *image* elektron.

Essay

1. Sebutkan tiga komponen utama pada $electron\ gun\ dan\ jelaskan\ masing-masing\ fungsinya!$

Jawab			

2. Sebutkan dan jelaskan fungsi dari electron gun pada SEM!

Jawab
2. Tuliskan kalabihan dan kalamahan (masing masing 2) dani
3. Tuliskan kelebihan dan kelemahan (masing-masing 3) dari a. TE <i>gun</i>
Jawab
Jawan
b. SE gun
Jawab
c. FE gun
Jawab
4. Jelaskan prinsip kerja dari
a. TE gun
Jawab
b. SE gun
Jawab
c. FE gun Jawab
Jawab

5. Apabila kamu ingin memindai permukaan sebuah bahan menggunakan berkas elektron dan memperoleh <i>image</i> yang memiliki resolusi tinggiu, apa jenis emitor yang akan kamu pilih? Mengapa?
Jawab

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 4

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 5 Interaksi Berkas Elektron-Materi

Kemampuan akhir	Kemampuan akhir
Melalui diskusi dan	1. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa
informasi, mahasiswa	dapat menjelaskan interaksi interaksi elektron-
dapat menjelaskan model	sampel berdasarkan simulasi Monte-Carlo
volume interaksi elektron-	dengan benar.
sampel dengan benar.	2. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa
	dapat menjelaskan spektrum sinyal yang
	dihasilkan dari interaksi elektron-sampel benar.
	3. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa
	dapat menjelaskan distribusi energi dan emisi
	elektron pada SE dan BSE.

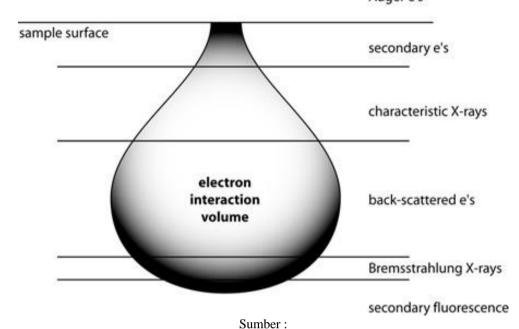
Uraian Materi

A. Volume Interaksi Elektron-Sampel

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah mikroskop yang memindai permukaan sampel menggunakan elektron pemindai (electron probe). Elektron probe dihasilkan oleh electron gun, kemudian difokuskan oleh seperangkat lensa elektromagnet sehingga menjadi elektron primer. Pemindaian permukaan sampel dilakukan dengan mendeteksi sinyal electron yang ter-emisi hasil dari interaksi elektron primer dengan sampel. Electron yang dipindai diantaranya secondary electron (SE) dan backscattered electron (BSE). Hasil pemindaian SE digunakan untuk mengetahui topologi dan morfologi permukaan sampel, sedangkan BSE digunakan untuk memberikan informasi mengenai atom penyusun sampel.

Berkas elektron dari katoda di *electron* gun bergerak dipercepat menuju anoda yang berada pada susunan lensa. Berkas elektron bergerak dipercepat karena terdapat perbedaan tegangan yang besar antara katoda dengan anoda. Perbedaan tegangan ini akan berpengaruh kepada kedalaman penetrasi elektron ke dalam sampel. Susunan lensa akan memfokuskan berkas elektron sehingga menghasilkan elektron pemindai (*electron probe*). Ketika *electron probe* memasuki sampel, elektron akan mengalami interaksi berupa tumbukan dengan atom-atom penyusun sampel. Interaksi elektron-atom didalam sampel terjadi dalam 3 dimensi, oleh Everhart dijelaskan dalam model "*Electron Interaction Volume*" (Gambar 5.1).

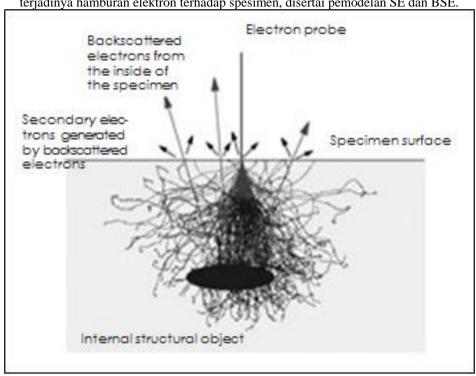
Gambar 5. 1 Volume interaksi elektron
Auger e's



https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/electroninteractions.html

Diagram volume interaksi elektron (Gambar 2.2) menunjukkan perbedaan daerah jangkauan SE dan BSE. SE berada pada kedalaman yang lebih rendah daripada BSE. SE digambarkan berada pada corong botol, yang menunjukkan karakteristik memiliki energi yang lebih lemah. Sedangkan BSE digambarkan berada pada bagian bawah botol, menunjukkan energi yang dimiiliki BSE lebih besar, karena mampu menembus sampel dengan kedalaman lebih besar.

Tumbukan akan mengakibatkan elektron primer secara bertahap kehilangan energinya. Saat elektron kehilangan energinya, maka elektron diabsorbsi oleh sampel. Dengan demikian, interaksi elektron-materi memiliki jangkauan penetrasi. Semakin besar perbedaan tegangan antara katoda dan anoda, maka akan semakin besar jangkauan penetrasi elektron ke dalam sampel. Semakin besar penetrasi elektron ke dalam sampel, maka akan menurunkan ke-kontras-an *image* sampel yang dilihat sebagai *background image*. Dengan demikian, perbedaan tegangan yang besar dapat menghasilkan *image* yang kurang jelas.



Gambar 5. 2 2 Interaksi elektron-materi berdasarkan Simulasi Monte Carlo, menunjukkan terjadinya hamburan elektron terhadap spesimen, disertai pemodelan SE dan BSE.

Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Interaksi elektron saat berada di dalam sampel berhasil digambarkan melalui Simulasi Monte Carlo (Gambar 5.2), sehingga daerah jangkauan interaksi elektro-materi dapat diukur. Jangkauan interaksi elektron-sampel dipengaruhi nomor atom sampel. Semakin tinggi nomor atom, maka jangkauan interaksi elektron akan semakin besar. Sebaliknya, jangkauan interaksi elektron-materi dalam sampel akan semakin rendah jika nomor atom sampel rendah.

Dari gambar 5.2 menunjukkan bahwa interaksi elektron-sampel terjadi dalam ruang 3D, dengan volume interaksi sesuai dengan bentuk volume interaksi elektron-sampel yang menyerupai sebuah botol. Dari simulasi diperoleh bagian yang dekat dengan permukaan memiliki volume yang relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan bagian tengah dan bagian dasar. Bagian atas ini mengkonfirmasi bentuk mulut botol pada volume interaksi elektron. Bagian yang dekat dengan permukaan ini merupakan spektrum SE dan elektron auger. Dari bagian atas hingga bagian tengah tampak volume yang semakin membesar pada kedalaman yang lebih besar.

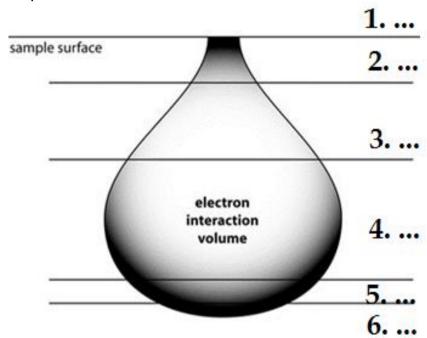
Pada bagian ini menunjukkan bagian perut botol. Pada bagian yang volumenya paling besar menunjukkan spektrum BSE. Volume yang besar menunjukkan eneergi elektron primer yang besar, sehingga mengalami banyak interaksi dengan atom-atom sampel dan menjangkau ruang yang besar pada

sampel. Energi yang besar ini juga mengakibatkan elektron primer mengalami hamburan elastis terhadap inti atom sampel, sehinga elektron primer dapat kembali menembus sampel dengan energi yang lebih besar pula. Dari Gambar 2,3 terlihat bahwa elektron BSE hasil hamburan elestis memiliki energi yang lebih besar daripada SE, dengan ditunjukkan oleh vektor kecepatan elektron BSE yang lebih panjang dari SE.

Tugas 5 (Part 1)

Isian

Lengkapilah gambar berikut sesuai dengan Model Volume Interaksi elektronsampel!



Essay

1. Menurut pendapatmu, mengapa kita perlu memahami interaksi elektron materi?

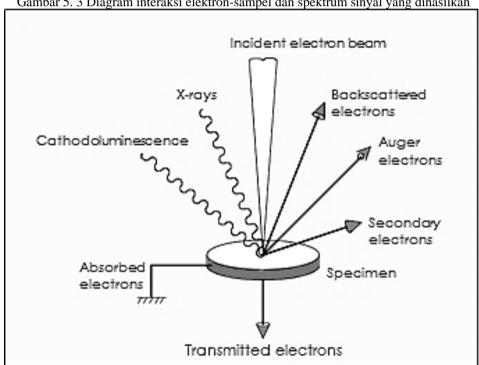
Jawab:		

2. Diagram Simulasi Monte Carlo
a. Buatlah diagram simulasi monte carlo, dengan dilengkapi keterangan SE
dan BSE!
Jawab:
b. Jelaskan, apa saja yang terjadi pada saat elektron pemindai (<i>electron probe</i>) memasuki sampel pada SEM?
Jawab:
Jelaskan perbedaan SE dan BSE berdasarkan diagram volume interaksi
elektron-materi
Jawab:
3. Jelaskan kenapa perbedaan tegangan yang besar antara anoda dan katoda akan
membuat <i>image</i> SEM yang kurang jelas!
Jawab:
Jawab.
4. Jelaskan hubungan antara jangkauan penetrasi elektron dengan nomor atom
penyusun sampel!
Jawab:

B. Spektrum Sinval Hasil Interaksi Elektron-Sampel

Interaksi elektron-materi akan menghasilkan beberapa spektrum sinyal (Gambar 5.3), diantaranya Cathodoluminescence (Foton), X-Rays, Backscattered Electron (BSE), elektron Auger, dan Secondary electron (SE), serta elektron transmisi. Pada umumnya SEM menggunakan SE dan BSE untuk memindai sampel, sehingga SEM tidak hanya dipakai untuk mengobseryasi topografi dan morfologi permukaan sampel, namun juga dapat menganalisis atom penyusun sampel.

Spektrum elektron yang lainnya ada yang dimaknfaatkan oleh fitur SEM yang lebih lengkap, misalknya X ray, EDS, cathodoluminescence (spektrum UV, IR dan cahaya tampak) dan elektron transmisi. Elektron transmisi dapat dimanfaatkan pada instrumen STEM, yaitu perpaduan Transmission Electron Microscopy (TEM) yang dilengkapi dengan SEM.

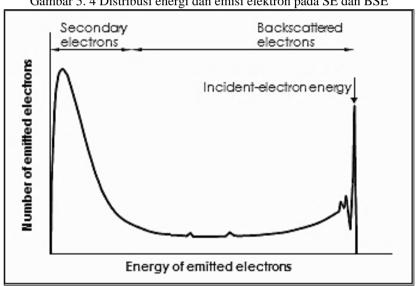


Gambar 5. 3 Diagram interaksi elektron-sampel dan spektrum sinyal yang dihasilkan

Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem atoz all.pdf

Spektrum X-ray merupakan sinar yang terbentuk akibat elektron pada kulit terluar mengisi kulit yang lebih dalam dari atom. Elektron pada kulit dalam tereksitasi karena mendapat energi dari elektron primer yang melewatinya. Akibatnya terjadi re-konfigurasi elektron-elektron pada kulit terluar, mengisi kembali kulit- kulit dalam.Spektrum X-ray digunakan untuk menganalisis fase (struktur) sampel. Struktur sampel merupakan persamaan/ rumus kimia sampel. Spektrum cathodoluminescene terdiri atas gelombang inframerah, cahaya tampak hingga gelombang UV. Baik inframerah maupun UV dapat digunakan untuk mendeteksi atom-atom komponen sampel. Gelombang cahaya tampak biasanya digunakan untuk menambahkan fitur mikroskop optik pada SEM. SEM yang dilengkapi dengan mikroskop optik dapat melihat sampel dengan resolusi pada skala mikro.

Spektrum SE dan BSE merupakan spektrum umum yang digunakan dalam pembentukan image SE. Perbedaan SE dan BSE terletak dari cara terbentuknya dan energi yang dihasilkannya. Perbedaan ini akan menjelaskan fungsi kedua sinyal ini pada SEM, yang akan dijelaskan paada uraian berikutnya. Distribusi energi dan jumlah elektron emisi diberikan pada Gambar 5.4. Energi yang dihasilkan dari SE cukup terbatas, yaitu hingga 50 eV saja, sedangkan BSE menghasilkan rentang energi yang cukup besar karena berasal dari tumbukan elastis. Jumlah elektron emisi pada SE lebih besar dari pada jumlah elektron emisi pada BSE.



Gambar 5. 4 Distribusi energi dan emisi elektron pada SE dan BSE

Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Dari gambar 5.4 diperoleh informasi bahwa egangan yang digunakan untuk menghasilkan SE dan BSE juga berbeda. Untuk menghasilkan SE, hanya diperlukan tegangan kurang dari 50 eV, sedangkan untuk menghasilkan BSE diperlukan tegangan yanglebih besar, yaitu lebih dari 50 eV. Dengan demikian spektrum energi BSE lebih lebar daripada SE. Kurva elektron emisi pada SE berbentuk parabolik, dengan puncak kurva berada pada sekitar energi setengah dari 50 eV.

Jumlah elektron emisi SE kemudian akan mengalami penurunan, karena selanjutnya elektron primer akan memiliki energi yang sangat besar dan cukup untuk menembus sampel dengan kedalaman yang lebih besar. Elektron pada kulit terluar yang dihasilkan pada kedalaman lebih besar tidak memiliki energi yang cukup untuk menembus permukaan sampel. Hal inilah yang menyebabkan jumlah elektron emisi SE mengalami penurunan pada elektron primer yang memiliki energi mendekati 50 eV.

I uzas s (I ai t 🛎	Tugas	5	(Part	2)
--------------------	-------	---	-------	----

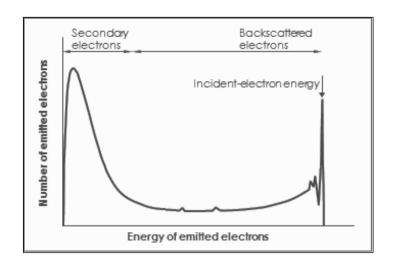
Essav

1.	Spektrum	hasil	interaksi	elektron-	-materi

a.	Gambarkan diagram interaksi elektron-materi serta spektrum-spektrum yang
	dihasilkan!

b. Spektrum apa yang digunakan oleh SEM pada umumnya? Mengapa?
Jawab:
Jawau.
2. Mengapa SEM bisa memindai topografi dan morfologi, serta menganalisi
atom penyusun sampel?
Jawab:

3. Jelaskan perbedaan SE dan BSE berdasarkan diagram distribusi energi dan emisi elektron berikut:



Jawab:
4 I-11
4. Jelaskan cara terjadinya dan fungsi spektrum xray pada instrumen SEM
Jawab:
5. Jelaskan fungsi elektron auger
Jawab:
Jawau.

Rangkuman

- 1. Image SEM pada dasarnya dihasilkan dari interaksi elektron-sampel yang menghasilkan *Secondary Electron* (SE) dan *Backscattered Electron* (BSE).
- 2. Hasil pemindaian SE digunakan untuk mengetahui topologi dan morfologi permukaan sampel, sedangkan BSE digunakan untuk memberikan informasi mengenai atom penyusun sampel.
- 3. Interaksi elektron-sampel terjadi dalam 3 dimensi, oleh Everhart dijelaskan dalam model "Electron Interaction Volume".
 - a. SE berada pada kedalaman yang lebih rendah daripada BSE. SE digambarkan berada pada corong botol, yang menunjukkan karakteristik memiliki energi yang lebih lemah.
 - b. BSE digambarkan berada pada bagian bawah botol, menunjukkan energi yang dimiiliki BSE lebih besar.
- 4. Berdasarkan simulasi Monte Carlo, jangkauan interaksi elektron- sampel dipengaruhi oleh nomor atom.
 - a. Semakin tinggi nomor atom, maka jangkauan interaksi elektron akan semakin besar.
 - b. Jangkauan interaksi elektron-materi dalam sampel akan semakin rendah jika nomor atom sampel rendah.
- 5. Interaksi elektron-sampel
 - a. Menghasilkan beberapa spektrum selain SE dan BSE, diantaranya:
 - 1) Cathodoluminescence (Foton)
 - 2) X-Rays
 - 3) elektron Auger
 - 4) elektron transmisi
 - b. Keberadaan spektrum ini membuat SEM tidak hanya berfungsi untuk memindai morfologi permukaan sampel saja, namun juga dapat menganalisis atom penyusun sampel.
- 6. Diagram distribusi energi dan emisi elektron menjelaskan tentang:
 - a. SE memiliki rentang energi yang lebih rendah ($\leq 50eV$), namun memiliki jumlah elektron emisi yang sangat besar.
 - b. BSE memiliki energi yang besar (> 50eV), namum memiliki jumlah elektron emisi yang kecil.

Evaluasi Formatif 5

Petunjuk pengerjaan: Pilihlah salah satu jawaban yang menurutmu paling benar!

- 1. Perhatikan pernyataan berikut
- (1) Semua elektron primer yang mengenai sampel akan langsung diteruskan oleh sampel.
- (2) Elektron primer akan mengalami interaksi berupa tumbukan dengan atomatom penyusun sampel, interaksi berlangsung dalam tiga dimensi yang dapat dimodelkan seperti botol.
- (3) Semua elektron primer yang mengenai sampel akan langsung dipantulkan oleh sampel
- (4) Secondary electron berada pada corong botol, sedangkan Backscattered electron (BSE) berada pada bagian bawah botol.

Pernyataan berikut yang sesuai dengan model volume interaksi elektron-sampel oleh Everhart adalah ...

A. (1), (2), dan (3)

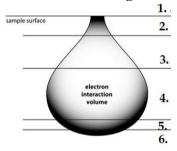
D. (4) saja

B. (1) dan (3)

E. Semua benar

C. (2) dan (4)

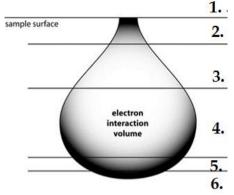
2. Perhatikan gambar berikut



Gambar diatas adalah Model Volume Interaksi Elektron-Sampel oleh Everhart. Baris yang sesuai antara spektrum dan fungsinya berdasarkan diagram diatas adalah ...

	No	Nama Spektrum	Fungsi
A	1 dan 2	Elektron Auger dan Secondary	Menganalisis atom
		Electron	penyusun sampel
В	2 dan 3	Secondary Electron dan Sinar	Menganalisis atom
		X	penyusun sampel
C	2 dan 4	Secondary Electron dan	Menghasilkan image
		Backscattered Electron	sampel pada SEM
D	2 dan 6	Secondary Electron dan	Menghasilkan gambar
		Backscattered Electron	morfologi pada SEM
Е	3 dan 6	Sinar X dan Secondary	Memindai topografi
		Fluorescent	sampel

3. Perhatikan gambar berikut

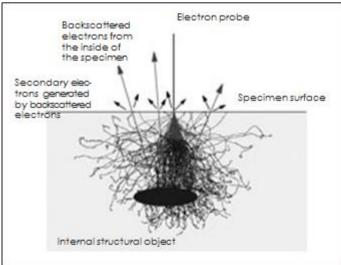


Gambar diatas adalah Model Volume Interaksi Elektron-Sampel oleh Everhart. Spektrum yang digunakan untuk menganalisis struktur (Fase) sampel ditunjukkan oleh nomor ...

- Α. 1
- 2 В.
- 3 C.

- D. 4
- E. 5

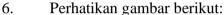
Perhatikan Gambar berikut: 4.

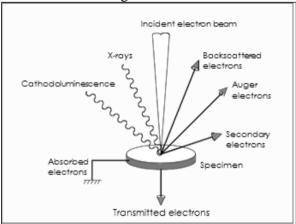


Yang mempengaruhi jangkauan penetrasi elektron terhadap sampel adalah ...

- A. Nomor massa dan nomor atom atom
- В. Nomor atom dan beda tegangan antara anoda dan katoda
- Energi ambang sampel C.
- D. Nomor atom
- E. Beda tegangan antara anoda dan katoda

- 5. Scanning Electron Microscopy (SEM) menghasilkan pemindaian sampel dengan kedalaman (*Depth Of View*) yang tinggi jika dibandingkan dengan mikroskop optik biasa. Hal ini disebabkan oleh ...
 - A. Memindai sampel menggunakan elektron yang bergerak dengan kecepatan tetap
 - B. Memindai sampel menggunakan elektron pemindai yang diteruskan terhadap sampel
 - C. Memindai sampel menggunakan elektron pemindai yang hanya mengalami tumbukan elastik terhadap sampel
 - D. Memindai sampel menggunakan berkas elektron yang bergerak dipercepat.
 - E. Memindai sampel menggunakan berkas foton.





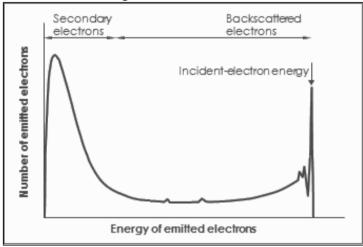
Urutan spektrum dari yang energinya paling rendah ke tinggi adalah ...

- A. Elektron auger, SE, X ray, BSE, Absorbed Elektron
- B. Absorbed elektron, BSE, X ray, SE, Elektron auger
- C. Cathodoluminescence, Absorbed elektron, Xray, BSE
- D. BSE, SE, Cathodoluminescence, Absorbed elektron, Xray
- E. SE, X ray, BSE, elektron auger, absorbed elektron
- 7. Dua spektrum sinyal hasil interaksi elektron-sampel yang umumnya dipakai untuk menghasilkan *image* oleh Scanning Electron Microscope adalah ...
- A. Secondary Electron dan Backscattered Electron
- B. Secondary Fluorescent dan Backscattered Electron
- C. Secondary Electron dan X ray
- D. X ray dan Backscattered Electron
- E. Secondary Fluorescent dan Secondary Electron

- 8. Spektrum sinyal hasil interaksi elektron-sampel yang menghasilkan image monokrom dengan gradasi terang gelap yang menunjukkan morfologi permukaan sampel dihasilkan oleh ...
 - A. Secondary Electron
- D. Secondary Fluorescent
- B. Backscattered Electron
- E. Cathodoluminescence

- C. X ray
- 9. Spektrum sinyal hasil interaksi elektron-sampel yang menghasilkan image monokrom dengan gradasi terang gelap yang dapat membedakan logam berat dengan logam ringan, dihasilkan oleh ...
 - D. Secondary Electron
- F. Secondary Fluorescent
- E. Backscattered Electron
- G. Cathodoluminescence

- F. X ray
- 10. Perhatikan gambar berikut



Pernyataan yang benar adalah ...

- A. Secondary Electron memiliki energi yang lebih besar daripada Backscattered Electron
- B. Jumlah elektron emisi secondary electron lebih sedikit daripada Backscattered electron
- C. Secondary electron memiliki energi hingga 50 eV dengan jumlah elektron emisi lebih besar dari elektron primer
- D. Backscattered electron memiliki energi hingga 50 eV dengan jumlah elektron emisi mendekati elektron primer
- E. Jumlah emisi Backscattered electron lebih banyak daripada elektron primer

1. Jelaskan apa yang terjadi saat elektron primer (elektron probe) mula mengenai sampel! (SKOR 10)
Jawaban:
2. Berdasarkan model volume interaksi elektron-sampel, jelaskan mengap Secondary electron berada pada corong botol, sedangkan Backscattered electron berada pada bagian perut botol! (SKOR 10)
Jawaban:
3. Jelaskan mengapa SEM tidak hanya digunakan untuk meminda permukaan sampel saja, namun juga dapat untuk menganalisis atom komponer dan struktur sampel! (
Jawaban:

UMPAN BALIK

Essav

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan Kegiatan Pembelajaran 5

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 6 Secondary Electron (SE)

Kemampuan akhir	Sub Kemampuan akhir
Mahasiswa dapa	t 1. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa
menganalisis image SEN	I dapat menjelaskan definisi <i>image</i>
yang dihasilkan da	i Secondary Electron (SE) pada SEM dengan
Secondary Electron	benar.
	2. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa
	dapat menjelaskan terjadinya Secondary
	Electron (SE) pada SEM dengan benar.
	3. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa
	dapat menjelaskan penggolongan
	Secondary Electron (SE) pada SEM dengan
	benar.
	4. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa
	dapat menjelaskan terang-gelap pada image
	Secondary Electron (SE) pada SEM dengan
	benar.

Uraian Materi

A. Terjadinya Secondary Electron (SE)

Secondary electron (SE) merupakan salah satu spektrum yang dihasilkan dari interaksi elektron-sampel. Berdasarkan model Volume Interaksi Elektron-Sampel, SE berada pada mulut botol yang menunjukkan tingkat energi nya yang relatif rendah. Tingkat energi dari SE yang rendah inilah yang selanjutnya digunakan untuk memindai permukaan sampel, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis morfologi dan topografi permukaan sampel. Dari hasil pemindaian SE inilah, SEM dapat menghasilkan image dengan depth of view lebih tinggi dibanding mikroskop optik dan menghasilkan gambar seperti 3D (Gambar 6.1).

Gambar 6. 1 Perbandingan image sebuah sekrup menggunakan mikroskop optik (kiri) dan

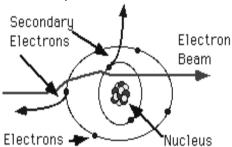


Sumber:

 $https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/MENA3100/v09/lecture_notes/24 february 09.pp$

Secondary Electron (SE) adalah elektron yang dihasilkan dari interaksi elektron primer -materi pada tumbukan inelastik (Gambar 6.2). Tumbukan inelastik adalah tumbukan yang disertai dengan penyerapan energi. Istilah elektron "kedua" atau secondary electron digunakan karena elektron ini "dibebaskan" dari atomnya oleh elektron primer.

Gambar 6. 2 Diagram interaksi elektron-atom sampel pada Secondary Electron yang merupakan tumbukan inelastik



Sumber: http://agussetiabudi.staf.upi.edu/files/2011/03/Bab-6-Teknik-Mikroskopy-SEM.ppt

Elektron sekunder (SE) merupakan elektron yang tereksitasi dari atom sampel akibat elektron primer bertumbukan dengan elektron pada atom sampel. Saat elektron primer memasuki lintasan elektron, ia memberikan energi pada elektron di kulit atom sehingga elektron pada kulit atom dapat tereksitasi. SE memiliki energi lebih tinggi daripada energi ambang bahannya, namun jauh lebih rendah daripada elektron primer, sehingga SE juga disebut sebagai *low energy electron* dengan rentang energi SE adalah 0 – 50 eV.

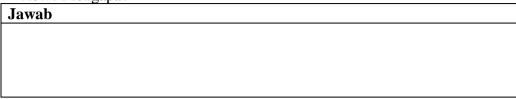
Sementara SE tereksitasi dari atom sampel, elektron primer akan terus bergerak menembus atom dan secara bersamaan akan mengalami penurunan energi secara bertahap. Elektron primer akan terus menghasilkan SE hingga energinya habis. Dengan demikian, sebuah elektron primer dapat menghasilkan lebih dari satu SE. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya melalui diagram hubungan distribusi energi dan jumlah elektron emisi, energi SE lebih rendah daripada elektron primer (dengan interval energi hingga 50 eV), namun memiliki jumlah elektron emisi yang sangat banyak.

Apabila SE masih memiliki energi yang cukup besar, maka SE akan menembus permukaan sampel dan kemudian ditangkap oleh detektor SE. Detektor SE selanjutnya akan mengolah sinyal SE untuk ditampilkan dalam bentuk *image* pada *display*. Rentang energi yang rendah ini hanya terdapat pada bagian permukaan sampel, dan jumlah elektron emisi SE yang tinggi (nyaris mendekati jumlah elektron primer) memberikan informasi yang akurat untuk menggambarkan topografi dan morfologi permukaan sampel.

Tugas 6 (Part 1)

Essay
Apa yang dimaksud dengan Secondary Electron?
Jawab
2. Buat dan jelaskan diagram interaksi elektron-materi pada sehingga terbentuk Secondary Electron!
Jawab
3. Mengapa Secondary Electron (SE) juga disebut sebagai <i>Low energy electron</i> ?
Jawab
4. Apa yang menyebabkan SEM dapat menghasilkan image yang memiliki depth of view lebih tinggi jika dibandingkan dengan mikroskop optik?
Jawab

5. Spektrum apakah yang menyebabkan image SEM dapat memiliki depth of view? Mengapa?



B. Pengelompokan Secondary Electron (SE)

Secondary elektron berkontribusi pada pembentukan image dengan *depth* of view yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis morfologi dan topografi permukaan sampel dengan baik. Pada kenyataannya, tidak seluruh secondary elektron berkontribusi baik untuk image yang dihasilkan. Berdasarkan cara terjadinya, *Secondary electron* (SE) dapat dikelompokkan menjadi empat (Gambar 6.3), yaitu:

Pole piece

SE4

SE3

SE2

SE1

SE1

Possible trajectories of electrons within sample

Sample

Gambar 6. 3 Skema SE dalam empat golongan berdasarkan cara terjadinya

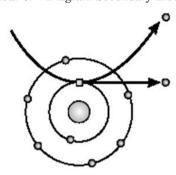
Sumber: https://cmrf.research.uiowa.edu/scanning-electron-microscopy

Berikut penjelasan penggolongan secondary electron berdasarkan cara terbentuknya, yaitu:

a. SE I

SE I adalah elektron yang dihasilkan pada titik tumbukan berkas elektron primer pada permukaan sampel (Gambar 6.4). SE I menghasilkan resolusi yang paling tinggi pada image SE.

Gambar 6. 4 Diagram Secondary Electron I

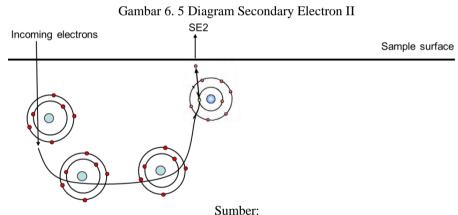


Sumber:

 $https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/MENA3100/v09/lecture_notes/24 february 09.pp$

b. SE II

SE II adalah elektron yang dihasilkan saat Backscattered electron sedang meninggalkan permukaan sampel setelah mengalami beberapa kali tumbukan inelastis (Gambar 6.5).



Sumber:

Akibat memperoleh energi dari BSE, SE II dapat meninggalkan permukaan sampel dengan jarak beberapa mikro dari titik tumbukan berkas elektron primer. Karena SE II berasal dari titik yang lebih jauh dari titik tumbukan elektron primer, maka SE II dapat menurunkan resolusi *image*. Walaupun demikian, keberadaan SE II meningkatkan kecerahan seluruh *image*.

c. SE III

SE III adalah elektron yang dilepaskan ketika energi BSE menumbuk interior *specimen chamber*, sehingga menyebabkan terjadinya SE.

d. SE IV

SE IV dihasilkan ketika berkas primer menumbuk *aperture* saat berada di dalam kolom. Baik SE III maupun SE IV berkontribusi dalam menghasilkan *noise* terhadap *image*.

Tugas 6 (Part 2)

terbentuknya SE 1!

Jawab:

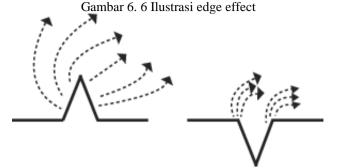
Essay1. Berdasarkan cara terbentuknya, ada berapakah jenis Secondary Elect Jelaskan masing-masing!	ron?
Jawab:	
 Sebutkan dan jelaskan jawabanmu, tentang jenis SE yang manakah yang Menghasilkan resolusi tinggi 	ŗ:
Jawab:	
b. Mengurangi resolusi, tapi menambah kecerahan!	
Jawab:	
c. Berkontribusi terhadap noise <i>image</i>	
Jawab:	
ourup.	

$\overline{}$								
_	terbentuknya		terbentuknya	SE	2	dan	jelaskan	alur
J	lawab:							
_	terbentuknya	_	terbentuknya	SE	3	dan	jelaskan	alur
J	Tawab:							

C. Image Secondary Electron (SE) pada SEM

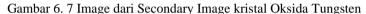
Sesuai uraian sebelumnya, SE memiliki rentang energi yang cukup rendah jika dibandingkan dengan energi elektron primer. Dengan rentang energi ini, SE dikategorikan sebagai elektron berenergi rendah (*low energy electron*). Dengan energi yang relatif rendah ini, SE dapat dideteksi dengan memasang detektor yang letaknya agak menyamping dari lensa objektif (Gambar 2.8). Detektor dapat menarik SE dengan menggunakan *scintillator* yang bermuatan positif. Detektor SE akan dibahas lebih lengkap pada uraian berikutnya. Namun dengan rentang energi ini, *image* SE dapat menghasilkan efek tepi (*edge effect*).

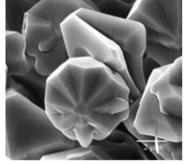
Edge effect (Gambar 6.6) adalah efek yang ditimbulkan oleh SE pada tepi sampel, sehingga tepi sampel akan ditandai dengan daerah yang lebih terang dibandingkan bagian tengahnya.



Sumber: https://cmrf.research.uiowa.edu/scanning-electron-microscopy

Perlu diketahui bahwa permukaan sampel pada skala nano pasti memiliki permukaan yang relatif tidak rata, memiliki corak topografi dan morfologinya masing-masing. Bagian tepi dengan permukaan yang tinggi akan memiliki jangkauan luas permukaan pantul yang cukup besar oleh SE (Gambar 6.7).

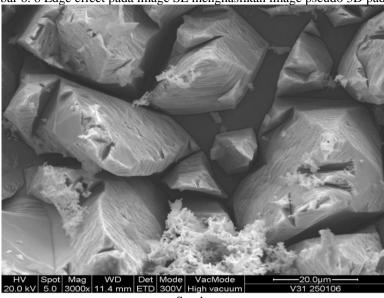




Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem atoz all.pdf

Image SEM dengan mode SE merupakan image yang banyak digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan. Dari morfologi permukaan dapat diketahui bentuk grain, homogenitas grain, bentuk pori, ukuran pori, sebaran pori dan distribusi dimensi grain. Dari data ini dapat diketahui kekuatan, konduktifitas, permeabilitas, dielektrik dan resistansi.

Pada sebuah daerah cekungan akan bersifat seperti lubang hitam, dimana energi yang mengenainya akan mengalami penyerapan energi oleh dinding-dinding pada lubang tersebut, sehingga bagian dalam lubang atau celah, atau daerah yang lebih rendah akan terlihat lebih gelap, dibandingkan dengan bagian atasnya.



Gambar 6. 8 Edge effect pada image SE menghasilkan image pseudo 3D pada SEM

Sumber:

 $https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/MENA3100/v09/lecture_notes/24 february 09.pp$

Pada bagian tepi sebuah celah (Gambar 6.8), mengilustrasikan *edge effect* pada celah memiliki jangkauan daerah pantulan elektron yang lebih kecil, sehingga daerahnya tidak akan seterang daerah yang memiliki kontur lebih tinggi. Oleh sebab itu pada *edge effect*, semakin banyak SE yang diemisikan, maka bagian tepi sampel akan semakin terang. Keberadaan *edge effect* inilah yang menyebabkan SE dapat mengasilkan gambar mirip 3 dimensi atau biasa disebut pseudo tiga dimensi.

Image yang dihasilkan dari SE berupa gambar monokrom yang memiliki tingkat terang dan gelap yang berbeda-beda. Terang dan gelap ini menunjukkan topografi dan morfologi permukaan sampel. Gambar yang dihasilkan dari SE berupa gambar monokrom karena panjang gelombang berkas elektron jauh lebih kecil daripada gelombang cahaya tampak. Apabila ada image SEM yang berwarna, maka image tersebut telah mengalami proses penyuntingan, dan bukan image asli hasil pemindaian SEM.

Tugas 6 (Part 3)

Essay

1. Seperti apa dan informasi apa sajakah yang diperoleh dari *Image Secondary Electron?*

Jawab	
2. Bagaimanakah proses Secondary Electron dapat menghasilkan sebu	ıan
image? Jawab	
Jawan	
3. Apa hubungan antara <i>edge effect</i> dan <i>secondary electron</i> ?	
Jawab	
4. Apa yang dimaksud dengan depth of view?	
Jawab	
5. Daerah pori pada image SEM mode SE ditunjukkan dengan war	na
apa? Mengapa?	
Jawab	

Rangkuman

- 1. Secondary Electron (SE) adalah elektron yang dihasilkan dari interaksi electron probe-materi pada tumbukan inelastik.
 - a. Istilah elektron "kedua" atau *secondary electron* digunakan karena elektron ini "dibebaskan" dari atomnya oleh elektron primer.

- b. SE adalah elektron yang tereksitasi dari atom sampel akibat elektron primer bertumbukan dengan elektron pada atom sampel. Saat elektron primer memasuki lintasan elektron, ia memberikan energi pada elektron di kulit atom sehingga elektron pada kulit atom dapat tereksitasi.
- c. SE memiliki energi lebih tinggi daripada energi ambang bahannya, namun jauh lebih rendah daripada elektron primer, sehingga SE juga disebut sebagai *low energy electron* dengan rentang energi SE adalah 0 50 eV.
- d. Elektron primer akan terus bergerak menembus atom dan secara bersamaan akan mengalami penurunan energi secara bertahap. Elektron primer akan terus menghasilkan SE hingga energinya habis. Dengan demikian, sebuah elektron primer dapat menghasilkan lebih dari satu SE.
- 2. Apabila SE masih memiliki energi yang cukup besar, maka SE akan menembus permukaan sampel dan kemudian ditangkap oleh detektor SE. Detektor SE selanjutnya akan mengolah sinyal SE untuk ditampilkan dalam bentuk *image* pada *display*.
- 3. Berdasarkan cara terjadinya, Secondary electron (SE):
 - a. SE I: dihasilkan pada titik tumbukan berkas elektron primer pada permukaan sampel
 - b. SE II: dihasilkan saat Backscattered electron sedang meninggalkan permukaan sampel setelah mengalami beberapa kali tumbukan inelastis
 - c. SE III : dilepaskan ketika energi BSE menumbuk interior *specimen chamber*.
 - d. SE IV: berkas primer menumbuk *aperture* saat berada di dalam kolom. (Baik SE III maupun SE IV berkontribusi dalam menghasilkan *noise* terhadap *image*.)

4. Image SE:

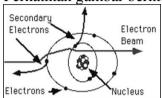
- a. *image* SE dapat menghasilkan efek tepi (*edge effect*)
- b. Bagian ujung yang tinggi akan terlihat lebih terang, karena luas permukaan pantul lebih besar.
- c. Bagian dalam lubang atau celah, atau daerah yang lebih rendah akan terlihat lebih gelap, dibandingkan dengan bagian atasnya.
- d. Keberadaan *edge effect* inilah yang menyebabkan SE dapat mengasilkan gambar mirip 3 dimensi atau biasa disebut pseudo tiga dimensi.
- e. *Image* yang dihasilkan dari SE berupa gambar monokrom yang memiliki tingkat terang dan gelap yang berbeda-beda. Terang dan gelap ini menunjukkan topografi dan morfologi permukaan sampel.

Evaluasi Formatif 6

Pilihan Ganda

Petunjuk: Pilihlah salah satu jawaban yang menurutmu paling benar!

1. Perhatikan gambar berikut



Pernyataan yang benar tentang Secondary Electron (SE) adalah

- A. SE memiliki energi yang mendekati energi elektron primer
- B. Jumlah SE sangat banyak, bisa lebih besar daripada elektron primer
- C. SE yang keluar dari sampel arahnya tegak lurus dengan sampel dan tidak dapat dibengkokkan
- D. SE berasal dari tumbukan elastis antara elektron primer dengan sampel
- E. Image yang dihasilkan SE dapat digunakan untuk mengetahui perbandingan nomor atom sampel.

2. Perhatikan pernyataan berikut:

- (1) SE dihasilkan oleh tumbukan inelastis antara elektron primer dengan atom sampel
- (2) SE dihasilkan oleh hamburan elektron yang dihasilkan saat elektron primer memasuki orbit elektron sampel
- (3) Tingkat energi SE sedikit lebih tinggi dari energi ambangnya, tapi relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan elektron primer
- (4) SE dihasilkan dari elektron primer yang mengalami tumbukan elastis Proses terbentuknya SE yang benar ditunjukkan oleh pernyataan nomor ...

A. (1), (2), dan (3)

A. (4) saja

B. (1) dan (3)

B. Semua benar

C. (2) dan (4)

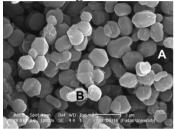
3. Perhatikan Gambar berikut



Jenis SE yang ditampilkan oleh gambar tersebut, beserta kontribusinya terhadap image adalah

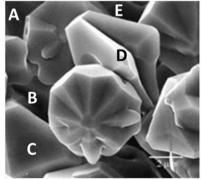
- A. SE I meningkatkan resolusi
- B. SE II meningkatkan kecerahan
- C. SE III meningkatkan depth of view

- D. SE IV- meningkatkan ketajaman
- E. SE V- meningkatkan noise
- 4. Fungsi *image* yang dihasilkan oleh SE adalah
 - A. Menunjukkan perbandingan nomor atom sampel
 - B. Menganalisis fase (struktur kimia) sampel
 - C. Menganalisis atom penyusun sampel
 - D. Menganalisis morfologi dan topografi permukaan sampel
 - E. Menganalisis morfologi bagian dalam sampel
- 5. Perhatikan gambar berikut:



Pernyataan tentang titik A dan B pada image SEM hasil pemindaian *Secondary electron* berikut yang benar adalah

- A. Titik A berwarna gelap karena menunjukkan daerah yang berkontur lebih tinggi
- B. Titik B berwarna terang karena menunjukkan daerah yang berkontur lebih tinggi
- C. Titik A berwarna gelap karena menunjukkan daerah yang nomor atomnya lebih besar
- D. Titik B berwarna terang karena menunjukkan daerah yang nomor atomnya lebih besar
- E. Titik A menunjukkan edge effect
- 6. Perhatikan gambar hasil pemindaian SEM berikut



Edge effect ditunjukkan oleh titik

A. Titik A

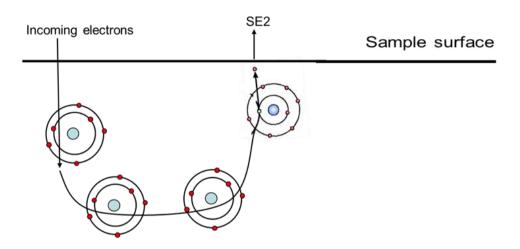
D. Titik D

B. Titik B

E. Titik E

C. Titik C.

7. Perhatikan gambar berikut



Berdasarkan gambar diatas, jenis dan kontribusi SE terhadap *image* yang dihasilkan oleh SEM adalah ...

- A. SE I meningkatkan resolusi
- B. SE II meningkatkan kecerahan
- C. SE III meningkatkan *noise*
- D. SE IV- meningkatkan depth of view
- E. SE V- meningkatkan ketajaman
- 8. Jenis spektrum yang menghasilkan noise terhadap image adalah
 - A. SE I

D. BSE I

B. SE II

E. BSE II

C. SE III

- 9. Komponen datektor SE yang berfungsi sebagai penarik SE adalah
 - A. Scintillator

D. Collector

B. Amplifier

E. Layar LCD

C. Photoelectron

10. Besar energi SE adalah

A. 50 eV

D. 200 eV

B. 100 eV

E. 250 eV

C. 150 eV

Essay	
. Jelaskan bagaimana SE dapat terbentuk! (SKOR: 10)	
Jawab	
2. Jelaskan bagaimana SE dapat menghasilkan image <i>pseudo 3D</i> y	ang
menunjukkan morfologi dan topografi permukaan sampel? (SKOR: 10)	
Jawab	
3. Mengapa SE III dan SE IV dapat menghasilkan noise untuk Imag	e ?
bagaimana mengatasinya ? (SKOR: 10)	
Jawab	
Jawas	

UMPAN BALIK

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 6

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 7 Backscattered Electron (BSE)

Kemampuan Akhir S	Sub Kemampuan Akhir
Mahasiswa dapat menganalisis image SEM yang dihasilkan dari Backscatttered Electron.	 Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat menjelaskan definisi Backscattered Electron (BSE) pada SEM dengan benar. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat menjelaskan terjadinya Backscattered Electron (BSE) pada SEM dengan benar. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat menjelaskan hubungan gradasi teranggelap pada image Backscattered Electron (BSE) dengan nomor atom penyusun sampel pada SEM dengan benar.

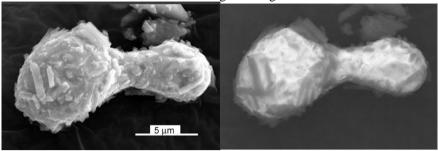
Uraian Materi

A. Definisi dan Proses Terjadinya Backscattered Electron (BSE)

Backscattered electron (BSE) merupakan salah satu spektrum hasil interaksi elekton-sampel, yang dipakai untuk menghasilkan *image* SEM. BSE dihasilkan dari elektron primer yang mengalami lentingan elastis terhadap sampel. *Image* yang dihasilkan BSE memiliki kesamaan dengan SE (Gambar 7.1), yaitu berupa gambar monokrom dengan gradasi terang-gelap, namun *image* yang dihasilkan BSE menunjukkan perbandingan nomor atom penyusun sampel.

Apabila sebuah elektron dapat keluar dari volume interaksi, maka elektron dikatakan terhambur. Pada keadaan ini, elektron juga mengalami kehilangan energi dan perubahan arah. Keadaan terhambur dapat dibagi menjadi dua bagian, yatu hamburan elastis dan hamburan inelastis. Hamburan elastis terjadi pada elektron yang mengalami pelepasan energi sangat sedikit, atau bahkan tidak mengalami pelepasan energi sama sekali.

Gambar 7. 1 Perbandingan image BSE dan SE



Sumber:

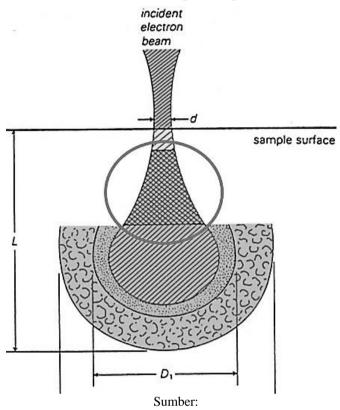
https://www.researchgate.net/profile/Dong_Gu/publication/275545331/figure/download/fig5/AS:294562326171648@1447240539132/SEM-image-of-mesoporous-carbon-FDU-15.png

Pada hamburan inelastik ini, elektron primer dapat tidak mengalami perubahan arah . Hamburan yang kedua adalah hamburan inelastis. Pada hamburan ini, terjadi pertukaran elektron terhambur yang cukup besar, maksudnya elektron primer tetap masuk ke dalam sampel, namun elektron dari sampel akan tereksitasi dan terhambur keluar dari sampel. Elektron primer mengalami kehilangan energi yang cukup besar namun dapat tetap tidak mengalami perubahan arah.

Hamburan inelastis menentukan ukuran dan bentuk volume interaksi, sedangkan hamburan inelastik menentukan beragam karakteristik dari sampel. Hamburan inelastik memberikan karakteristik dari elemen sampel dan informasi non spesifik , misalnya morfologi dan topologi. Spektrum yang dihasilkan dari tumbukan inelastik diantaranya, *Secondary Electron* (SE), elektron auger, X ray, radiasi gelombang panjang dan gelombang tampak, inframerah dan ultraviolet (*cathodoluminescence*), phonon dan plasmon. Adapun hamburan elastik diperlukan dalam menghasilkan *Backscattered Electron* (BSE) dan mengubah bentuk volume hamburan (yaitu kedalaman lateral dari rasio ruang hamburan).

Ketika elektron primer bertumbukkan dengan atom-atom yang berada pada spesimen, elektron primer memberikan energi terhadap spesimen tersebut. Dalam tumbukkan tersebut, elektron primer dapat mengalami kehilangan energi atau mengalami perubahan momentum. Ruang 3 dimensi dimana elektron primer memiliki energi yang cukup untuk berinteraksi dengan sampel disebut dengan volume interaksi (Gambar 7.2). Berdasarkan model volume interaksi elektron-sampel, BSE berada pada perut botol, yaitu bagian yang lebih dalam dari sampel (Gambar 2.16). BSE dapat mencapai kedalaman yang lebih besar karena energi yang dimilikinya sangat besar, yaitu lebih dari 50 kV. Dengan energi yang besar ini, BSE mampu melakukan penetrasi lebih dalam kedalam sampel.

Gambar 7. 2 Diagram interaksi elektron-Material pada BSE terjadi pada kedalaman yang lebih besar dibandingkan dengan SE

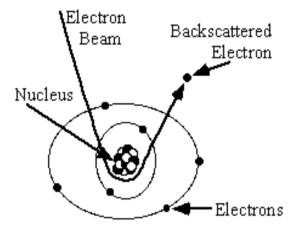


https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/MENA3100/v09/lecture_notes/24february09.pp

Backscattered Electron (BSE) adalah elektron primer yang mengalami tumbukan elastis ketika berinteraksi dengan atom sampel (Gambar 7.3). BSE memiliki energi yang lebih besar, mendekati energi dari elektron primer yang mampu melakukan penetrasi lebih dalam ke sampel, hingga mendekati inti atom. Sebelum terjadinya BSE, elektron primer telah mengalami tumbukan inelastik beberapa kali terhadap atom-atom sampel di bagian yang lebih atas dari permukaan sampel. Ketika lintasan elektron primer berada dekat dengan inti atom spesimen, maka lintasannya akan mengalami deviasi yang disebabkan karena terjadinya gaya coulomb.

BSE timbul jika elektron primer tertahan oleh medan elektromagnetik dari inti atom (nukleus) dan kemudian mengalami tumbukan lenting sempurna dengan sudut 180° terhadap arah datang mula-mula. Energinya yang besar membuat BSE tidak terpengaruh oleh medan listrik disekitarnya, sehingga lintasan BSE berbentuk lurus terhadap titik tumbukan. Sifat BSE dihasilkan dari hamburan elektron pada kedalaman yang signifikan di dalam sampel, membuat BSE dapat

memberikan informasi mengenai komposisi sampel. Semakin tinggi nomor atom, maka semakin besar luas permukaan inti atom.



Gambar 7. 3 Diagram terjadinya BSE-Tumbukan Elastis

Sumber: http://agussetiabudi.staf.upi.edu/files/2011/03/Bab-6-Teknik-Mikroskopy-SEM.ppt

Semakin luas permukaan inti atom, maka akan semakin banyak elektron primer yang mengalami hamburan balik (tumbukan elastis). Probabilitas hamburan elastis sebanding dengan nomor atom sampel (Z), karena semakin berat sebuat atom, maka akan semakin kuat muatan positif pada inti atom, dan energi elektronnya (tempat elektron ditemukan) akan semakin kecil. Semakin banyak elektron primer yang mengalami hamburan balik, maka akan semakin banyak BSE yang teremisi. Meski demikian, jumlah emisi BSE yang dihasilkan jauh lebih sedikit daripada SE. Hal ini disebabkan tidak semua elektron primer akan mengalami hamburan balik, ada pula elektron yang akan ditransmisikan. Jumlah emisi BSE dipengaruhi oleh beberapa hal berikut, diantaranya:

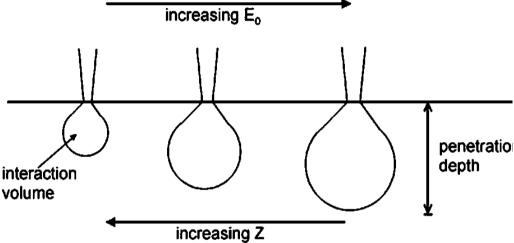
Tugas 7 (Part 1)

Essay
1. Jelaskan bagaimana terbentuknya Backscattered Electron (BSE)!
Jawab
2. Jelaskanlah mengapa energi yang dimiliki oleh BSE sangat besar, namun
jumlah elektronnya sedikit?
Jawab
2. 3.5 POD 1911 11 (1 may tende des étils tourshulden den étidel
3. Mengapa BSE memiliki lintasan lurus terhadap titik tumbukkan dan tidak
dapat dibengkokkan?
Jawab
4. Bagian paling besar pada botol volume interaksi elektron-sampel ditunjukkar
oleh spektrum apa? Mengapa?
Jawab
5. Bagaimana hubunganantara BSE dan nomor atom sampel?
Jawab

B. Image Backscattered Electron Pada SEM

Backscattered Electron (BSE) mengandung elektron berenergi tinggi yang berasal dari elektron primer yang mengalami tumbukan elestik dari atom sampel pada volume interaksi. Atom yang lebih berat (Z besar) akan menghasilkan BSE yang lebih besar energinya dibandingkan atom yang lebih ringan (Z kecil). Atom yang lebih berat tersebut akan menghasilkan image yang lebih terang jika dibandingkan dengan atom yang lebih ringan. Hal ini disebabkan pada atom dengan Z yang besar memiliki inti atom yang lebih pejal, sehingga elektron primer akan lebih mudah terhambur (Gambar 7.4)

Gambar 7. 4 Diagram hubungan kedalaman penetrasi elektron terhadap sampel yang dipindai terhadap energi mula mula elektron primer dan nomor atom

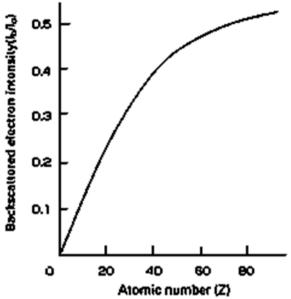


Sumber : Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (p. 41). New York: Springer.

Dengan demikian image yang dihasilkan oleh BSE dapat digunakan untuk mendeteksi area yang memiliki komposisi yang berbeda (inhomogenitas). Pemindaian BSE akan diperoleh image terang dan gelap yang menunjukkan nomor atom komposisi penyusun sampel (Gambar 7.5).

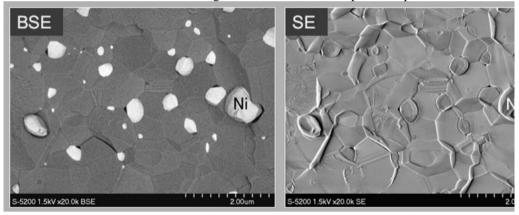
Jumlah BSE dipengaruhi oleh: (1) arah tumbukan elektron primer terhadap permukaan sampel; dan (2) ukuran inti atom penyusun sampel. Jumlah elektron BSE yang teremisi akan semakin banyak jika detektor BSE ditempatkan tepat tegak lurus dengan permukaan sampel. Semakin besar nomor atom penyusun sampel, maka jumlah BSE akan semakin besar pula. Semakin banyak jumlah BSE, maka gambar yang dihasilkan akan semakin terang. Sebaliknya, pada image BSE sampel, semakin sedikit jumlah BSE maka akan semakin gelap image yang dihasilkan (Gambar 7.6).

Gambar 7. 5 Hubungan nomor atom dengan intensitas BSE



Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Gambar 7. 6 Gambar 7.6 Perbandingan Gambar SE dan BSE pada komposit Al2O3/Ni



Sumber: http://home.iitk.ac.in/~anandh/MME441/SEM.pdf

Dari gambar diatas diperoleh informasi bahwa image hasil BSE akan menampilkan unsur yang berbeda akan memiliki terang yang berbeda. Dari perbedaan terang-gelap yang dihasilkan oleh *image* BSE, dapat diperoleh informasi tentang inhomogenitas sampel. Unsur nikel pada gambar BSE lebih terang daripada alumunium oksida. Sedangkan pada gambar SE, unsur Ni tidak dapat dibedakan dari unsur lainnya, namun image SE memberikan informasi mengenai topografi dan morfologinya.

Resolusi *image* yang dihasilkan pada mode BSE terbatas oleh BSE yang diproduksi; resolusi terbatas pada elektron BSE yang dihasilkan.; resolusi *image* dibatasi pada orde 2 x Radius, tidak bergantung pada diameter dari elektron

primer yang dihasilkan. Energi BSE juga dapat memberikan informasi tentang energi SE yang terhambur dari sampel. Apabila energi yang dimiliki SE cukup tinggi, maka elektron primer terhambur sangat dekan dengan permukaan sampel Apabila BSE mengenai sampel yang sudah homogen namun memiliki ketidakteraturan, maka intensitas BSE akan menjadi lebih tinggi pada arah refleksi tegak lurus. Melalui sifat ini, membuat image sem mode BSE juga dapat digunakan untuk mengobservasi topografi permukaan (Gambar 7.7).

Read sensor

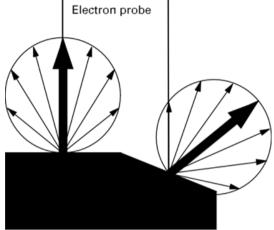
Gambar 7. 7 Image SEM dengan mode BSE pada sebuah lapisan magnet homogen pada hard disk

Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Dari gambar 7.7 menunjukkan sapmpel sudah dalam kedaan homogen yang ditandai dengan warna keabu-abuan yang merata. Nmun pada bagian yang ditandai dengan Read Sensor menunjukkan ada kontur yang berbeda yang terlihat dengan garis putih yang merupakan sensor baca pada hard disk. Permukaan sensor baca pada hard disk memiliki permukaan yang lebih tinggi daripada sekitarnya. Permukaan yang lebih tinggi menghasilkan berkas pantulan dengan intensitas yang lebih tinggi.

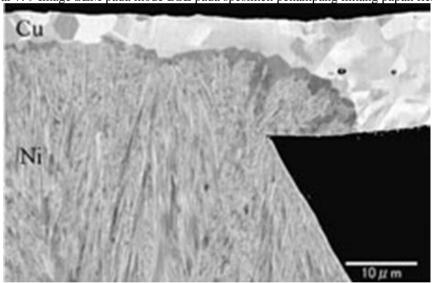
Perubahan intensitas image SEM mode BSE pada sampel yang sudah homogen ditentukan oleh perubahan sudut pantul yang disebebkan oleh perbedaan topografi (Gambar 7.8). Dengan menggunakan sifat ini, image SEM dengan mode BSE juga dapat digunakan untuk menentukan perbedaan orientasi kristal pada sampel yang dipindai. Perbedaan orientasi kristal dengan menggunakan mode BSE diberikan pada Gambar 7.9.

Gambar 7. 8 Diagram Hubungan antara sudut datang elektron primer dengan intensitas BSE



Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Gambar 7. 9 Image SEM pada mode BSE pada spesimen penampang lintang papan fleksibel.



Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Dari Gambar 7.9 terlihatperbedaan ke-kontras-an yang disebut sebagai *Electron Channeling Contrast* (ECC). *Electron Channeling Contrast* (ECC) adalah perubahan kekontrasan pada image SEM mode BSE yang timbul akibat perubaan orientasi kristal yang terjadi pada sampel yang dipindai. Dengan demikian, apabila BSE memndai sampel yang sudah homogen, maka image mode BSE dapat digunakan untuk mendeteksi perbedaan orientasi kristal sampel.

Tugas 7 (Part 2)

Jawab:

_	
Ess	V
1.	Apa yang ditunjukkan oleh keadaan terang-gelap pada image yang dihasilkan
	oleh Backscattered Electron (BSE) ?
Ja	wab:
<u></u>	No. 1 de DOT III de la late de late de la late de late de late de la late de la late de late de la late de late d
2.	Mengapa detektor BSE ditempatkan pada posisi lurus (sesuai sumbu putar)
	di antara sampel dan kolom SEM ?
Ja	wab:
	T. 1
3.	Jelaskan perbedaan fungsi image yang dihasilkan oleh SE dan BSE!
Ja	wab:
<u> </u>	
4.	Dapatkah image Sem dengan mode BSE memindai topografi atau perbedaan
	orientasi kristal pada sampel ? Jelaskan!
Ja	wab:
5.	Mengapa image SEM pada mode BSE akan menghasilkan terang dengan

tingkat kontras yang tinggi apabila mengenai atom dengan Z besar?

Rangkuman

- 1. *Backscattered Electron* (BSE) adalah elektron primer yang mengalami tumbukan elastis ketika berinteraksi dengan atom sampel.
 - a. BSE memiliki energi yang lebih besar, mendekati energi dari elektron primer yang mampu melakukan penetrasi lebih dalam ke sampel, hingga mendekati inti atom. Ketika lintasan elektron primer berada dekat dengan inti atom spesimen, maka lintasannya akan mengalami deviasi yang disebabkan karena terjadinya gaya coulomb.
 - b. BSE dihasilkan dari hamburan elektron pada kedalaman yang signifikan di dalam sampel, sehingga dapat memberikan informasi menganai komposisi sampel.
 - c. Kedalaman BSE berbanding lurus dengan nomor atom komponen penyusun sampel
 - d. Detektor BSE ditempatkan tepat tegak lurus dengan permukaan sampel

2. Image BSE

- a. Semakin besar nomor atom penyusun sampel, maka jumlah BSE akan semakin besar pula. Semakin banyak jumlah BSE, maka gambar yang dihasilkan akan semakin terang.
- b. Sebaliknya, pada image BSE sampel, semakin sedikit jumlah BSE maka akan semakin gelap image yang dihasilkan
- c. Image BSE pada sampel yang inhomogen menunjukkan perbedaan koposisi pada area yang dipindai.
- d. Image BSE pada sampel inhomogen menunjukkan topografi dan orientasi kristal penyusun sampel.

Evaluasi Formatif 7

Pilihan Ganda

Petunjuk pengerjaan: Pilihlah salah satu jawaban yang menurutmu paling benar!

- 1. Perhatikan pernyataan berikut:
 - (1)BSE dihasilkan dari tumbukkan elastik
 - (2)BSE dihasilkan dari tumbukkan inelastik
 - (3)BSE adalah elektron primer yang terhambur
 - (4)BSE berasal dari sampel

Pernyataan yang benar mengenai BSE adalah ...

A. (1), (2), dan (3)

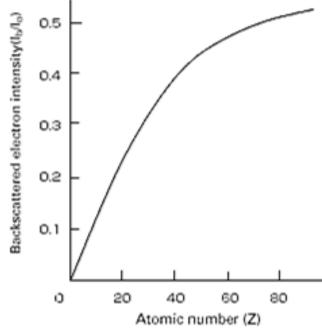
D. (4) saja

B. (1) dan (3)

E. semua benar

C. (2) dan (4)

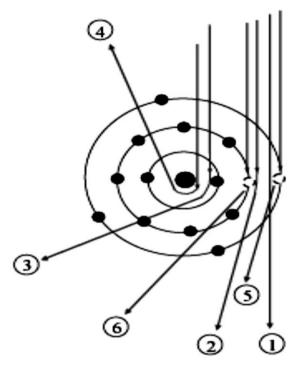
2. Perhatikan diagram berikut:



Peryataan yang benar tentang image SEM dengan mode BSE berdasarkan diagram diatas adalah ...

- A. Intensitas BSE akan besar jika bertumbukkan dengan nomor massa atom yang besar
- B. Intensitas BSE akan besar jika bertumbukkan dengan ukuran inti atom yang besar
- C. Intensitas BSE akan besar jika bertumbukkan dengan atom yang ringan
- D. Intensitas BSE tidak dipengaruhi oleh nomor atom sampel
- E. Nomor atom sampel dipengaruhi oleh jumlah BSE

3. Perhatikan diagram interaksi elektron-atom sampe berikut.



Yang menunjukkan interaksi yang menghasilkan BSE adalah

A. 1

D. 4

B. 2

E. 5

C. 3

4. Perhatikan pernyataan berikut:

- (1) Elektron primer mengalami perubahan arah hingga 180° terhadap arah datang awal
- (2) Elektron primer menumbuk permukaan sampel
- (3) Elektron primer menembus kulit atom-atom, sehingga mengakibatkan elektron pada kulit tereksitasi
- (4) Elektron primer yang masih memiliki energi akan tetap bergerak mendekati inti atom
- (5) Elektron yang telah terhambur dari inti atom kemudian bergerak meninggalkan sampel.

Urutan yang benar tentang terjadinya BSE adalah ...

A. (2)-(3)-(4)-(5)-(1)

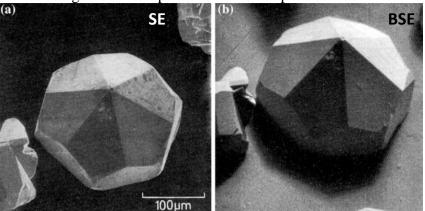
D. (2)-(3)-(5)-(1)-(4)

B. (2)-(3)-(4)-(1)-(5)

E. (2)-(5)-(3)-(4)-(1)

C. (2)-(3)-(5)-(4)-(1)

5. Perhatikan gambar hasil pemaindaian SEM pada sebuah kristal berikut



Berdasarkan gambar diatas, pernyataan yang sesuai adalah

- A. Image SEM mode BSE hanya dapat digunakan untuk mendeteksi inhomogenitas
- B. sampel homogen, image BSE dapat menunjukkan topografi sampel
- C. sampel homogen, image BSE dapat menunjukkan morfologi sampel
- D. sampel inhomogen, image BSE dapat menunjukkan topografi sampel
- E. sampel inhomogen, image BSE dapat menunjukkan morfologi sampel
- 6. Perhatikan pernyataan berikut:
 - (1) BSE dapat dihasilkan hanya jika perbedaan tegangan pada electron gun \geq 50 kV
 - (2) BSE memiliki energi yang lebih besar daripada SE
 - (3) BSE dapat menembus bagian yang lebih dalam dari sampel karena memiliki energi yang besar
 - (4) Energi yang besar dari BSE mengakibatkan BSE memiliki arah hamburan dengan arah yang lurus (tidak dapat dibengkokkan)

Pernyataan yang sesuai dengan BSE adalah

A. (1), (2), dan (3)

D. (4) saja

B. (1) dan (3)

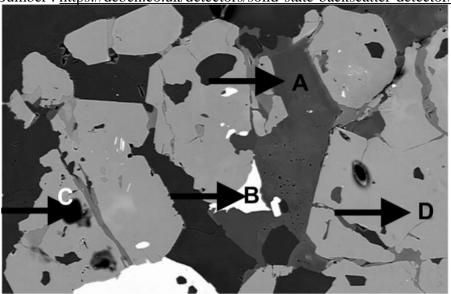
E. semua benar

C. (2) dan (4)

- 7. Image BSE pada area sampel yang sudah homogen dapat memberikan informasi tentang ...
 - A. Kedalaman sampel
 - B. Morfologi permukaan sampel
 - C. Morfologi bagian dalam sampel
 - D. Topografi sampel dan orientasi kristal
 - E. Struktur kristal

8. Gambar dibawah ini adalah image SEM dengan mode BSE dari permukaan sampel batu granite.

(Sumber: https://deben.co.uk/detectors/solid-state-backscatter-detector/)



Urutan titik yang ditunjuk oleh anak panah yang terdiri atas nomor atom paling besar ke yang paling kecil adalah...

A. A-B-C-D

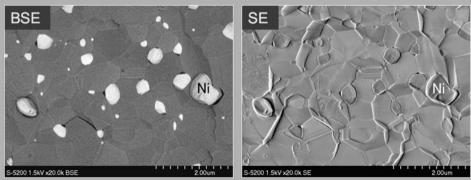
D. B-D-A-C

B. B-A-C-D

E. C-A-D-B

C. B-A-D-C

- 9. Image BSE pada sampel inhomogen dapat memberikan informasi tentang ...
 - A. Keberadaan pengotor/dopping
 - B. Morfologi permukaan sampel
 - C. Morfologi bagian dalam sampel
 - D. Topografi sampel dan orientasi kristal
 - E. Struktur kristal
- 10. Perhatikan gambar berikut



Pernyataan yang benar tentang perbandingan image SEM dengan mode SE dan BSE adalah

- A. *Image* SE berasal dari bagian dalam sampel, sedangkan image BSE berasal dari permukaan sampel
- B. *Image* BSE berasal dari bagian dalam sampel, sedangkan image SE berasal dari permukaan sampel
- C. *Image* BSE menunjukkan komposisi sampel sedangkan image SE menunjukkan struktur sampel
- D. *Image* BSE menunjukkan struktur sampel, sedangkan image SE menunjukkan komposisi sampel
- E. *Image* BSE menunjukkan morfologi sampel sedangkan image SE menunjukan perbedaan besar atom.

Essay

1. Jelaskan bagaimana terbentuknya image BSE!
Jawab:
2. Jelaskan fungsi image SEM dengan mode BSE!
Jawab:
3. Faktor apa sajakah yang mempengaruhi intensitas BSE?
Jawab:

UMPAN BALIK

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan Kegiatan Pembelajaran 7

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 8 Sistem Vakum dan Perbesaran pada SEM

Kemampuan		Sub Kemampuan Dasar	
Dasar			
Mahasiswa	dapat	1. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat	
menjelaskan	sistem	menjelaskan prinsep kerja sistem vakum dan	
vakum dan per	besaran	fungsi sistem vakum pada SEM	
pada SEM		2. Melalui diskusi dan inforamsi, mahasiswa dapa	
		menjelaskan bagaimana memperoleh	
		permesaran maksimum pada image SEM	

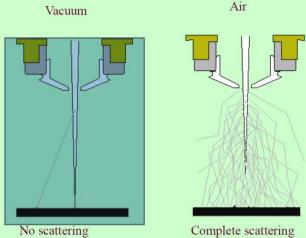
Uraian Materi

A. Sistem Vakum pada SEM

Teknik pemindaian sampel menggunakan mikroskop elektron akan memerlukan keadaaan vakum agar diperoleh *image* yang maksimal. Bagian kolom SEM harus berada dalam keadaan vakum, artinya kolom SEM harus dalam keadaaan kosong, partikel udara dipompa keluar dari kolom SEM. Keadaan vakum akan membuat berkas elektron tidak berinteraksi dengan partikel lain (biasanya partikel gas atau dari sampel) yang ada di kolom SEM. Apabila elektron berinteraksi dengan partikel lain, maka berkas elektron akan menyebar (*scattering*) dan tidak menjadi fokus seperti yang diharapkan (Gambar 8.1).

Keadaan vakum dinyatakan dalam dua satuan, yaitu pascal (Pa) atau Torr. Keadaan vakum diperoleh pada tekanan di bawah 0,1 Pa atau 10^{-3} Torr (1 Torr = 130 Pa = 1/760 atm). Keadaan vakum terbaik untuk kolom dan chamber SEM adalah pada $4x10^{-5}$ Pa (sekitar $3x10^{-7}$ torr). Dari Gambar 8.1 diperoleh bahwa keadaan vakum di kolom SEM akan meniadakan hamburan berkas elektron, karena elektron tidak berinteraksi dengan partikel udara yang ada di kolom SEM. Dengan keadaan vakum ini maka berkas elektron akan menjadi lebih fokus.

Gambar 8. 1 Perbandingan Berkas Elektron pada keadaan Vakum dan non Vakum

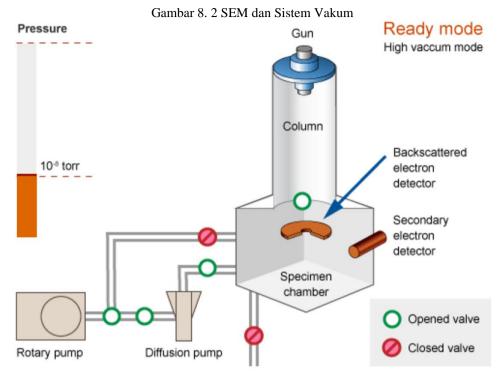


Sumber: http://www.soest.hawaii.edu/HIGP/Faculty/sksharma/GG711/GG711Lec05SEM.pdf

Filamen LaB $_6$ secara khusus memerlukan tingkat vakum yang tingg (< 10^{-4} Pa) untuk menghindari kontaminasi pada elektron emisinya. FE Gun memerlukan keadaan vakum yang sangat tinggi (ultra high vacuum) atau biasa disebut sebagai UHV dengan tekanan sekitar 10^{-8} Pa untuk dapat melakukan emisi elektron dengan stabil. Keadaan vakum ini juga akan diperlukan dalam preparasi sampel. Pada saat melakukan coating sampel pada sputter coater, jika chamber spesimen tidak divakum, maka berkas elektron akan berinteraksi dengan argon dan partikel emas sehingga akan menurunkan tingkat kekontrasan dan fokus image.

1. Pompa Vakum pada SEM

Tekanan – tekanan yang sangat rendah ini tidak dapat dihasilkan oleh sebuah mesin vakum tunggal. Diperlukan pompa yang sangat berat dan kuat untuk dapat menghasilkan keadaan vakum yang besar. Pompa vakum biasanya dipasangkan pada chamber SEM (Gambar 8.2). Fungsi pompa ini adalah mengeluarkan molekul udara dari dalam chamber SEM, sehingga menghasilkan tekanan gas di dalam SEM menjadi lebih kecil daripada tekanan atmosfir. Semakin keci tekanan gas yang terukur didalam chamber, maka semakin tinggi nilai kevakumannya.



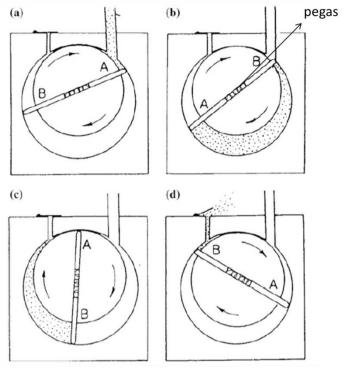
Sumber: ammrf.org.au/myscope/sem/background/whatissem/magneticlens.php

Ada 4 (empat) jenis pompa yang dapat digunakan untuk menghasilkan keadaan vakum pada kolom SEM, diantaranya a) *Rotary pump* (RP); b) *Scroll Pump*; c) *Diffusion Pump* (DP); d) *Tobomolecular pump* (TMP); e) Cryopump; f) ion Pump.

a. Rotary Pump (RP)

Rotary Pump (RP) adalah jenis pompa mekanis yang paling sering digunakan untuk SEM. Sistem pompa ini memiliki serangkaian alat rotasi yang digerakkan oleh motor listrik dan dilengkapi dengan baling-baling di bagian dalam yang dipisahkan oleh kumparan kawat berbentuk seperti pegas. Keberapaan kumparan pegas ini akan mengakibatkan baling-baling dapat memberikan aksi balik terhadap dinding silinder dari pompa yang menghasilkan segel kedap udara.

Gambar 8. 3 Diagram skema pompa rotasi dalam satu siklus



Baling-baling A dan B berotasi searah jarum jam. Baling-baling ini berfungsi untuk menghisap gas, memampatkan, dan mengeluarkannya dari outlet.

Sumber: Egerton, 2016

Bagian dalam dari RP dilumasi dengan minyak yang sesuai (memiliki tekanan udara rendah) untuk menreduksi gesekan dan menyelubungi permukaan gesek. Sumbu rotasi dalam keadaaan setimbang, sehingga gas dapat turun dari tabung inlet (masuk) (pada A dan B, Gambar 8.3a), kemudian menyebar dalam volum sebelum disegel oleh putaran baling-baling dari arah berlawanan (pada A, Gambar 8.3 b). Selama siklus rotasi ini, udara akan mengalami kompresi (pada B, Gambar 8.3c) dan dikeluarkan melalui tabung outlet (keluaran) (Gambar 8.3d). Sementara udara pada sebagian arah sebaliknya dari silinder akan mengalami ekspansi dan akan dikompresi menuju outlet. Demikian seterusnya prinsip kerja dari RP yang dilakukan sevcara kontinu.

b) Scroll Pump

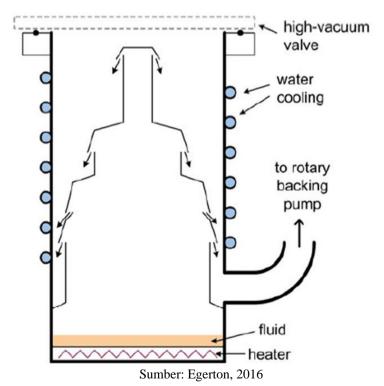
Scroll pump adalah salah satu alternatif dari pompa kasar (roughing pump). Scroll pump memiliki dua spiral internal, yang saling berotasi terhadap satu sama lain sehingga menghasilkan gerak memompa. Pompa ini adalah jenis

yang kering atau bebas dari oli / pelumas. Pompa jenis ini biasanya dipilih untuk mereduksi kehadilan molekul hidrokarbon. Molekul hidrocarbon ini bisa mengakibatkan kontaminasi pada berkas elektron pada sistem vakum.

c) Diffusion Pump (DP)

Keadaan vakum tingkat tinggi (high Vacuum (HV)) biasanya dihasilkan dari diffusion pump (DP). Pompa DP terdiri dari sebuah silinder vertikal yang terbuat dari logam yang mengandung sejumlah minyak berbahan dasar karbon atau silikon yang memiliki tekanan uap kecil dan titik didihnya mencapai beberapa ratus derajat.

Pada bagian dasar pompa (Gambar 8.4) sebuah pemanas elektrik akan menimbulkan liquid dibagian ini mendidih dan bertransformasi menjadi uap yang menaikkan dan mengarahkan mesin jet. Selama minyak menetes, molekul minyak akan bertumbukkan dengan molekul udara. Tumbukan ini akan menimbulkan aliran gas yang berasal dari inlet dari pompa.



Gambar 8. 4 Skema Diffusion Pump (DP)

Ketika molekul minyak mencapai dinding pendingin dari DP, maka molekul ini akan kembali mengembun dan bertransformasi menjadi liquid yang

mengalami gaya gravitasi. Embun ini kemudian jatuh ke bagian dasar dari pompa DP dan mengalami kembali siklusnya. Untuk menghindari terjadinya oksidasi pada oli maka tekanan di dasar DP harus sekitar 10 Pa sebelum pemanas dinyalakan.

Pompa keras (*roughing*) biasanya dipasang pada bagian akhir dari DP dan berperan sebagai pompa penunjang (*backing pump*) seperti yang diberikan pada Gambar 8.2). Pompa kasar ini (atau pompa sekunder) ini juga digunakan untuk membuang sebagian besar udara dari kolom SEM sebelum katup vakum tingkat tinggi terbuka (disambungkan) dengan chamber SEM.

d) Tobomolecular Pump (TMP)

Tobomolecular pump (TMP) adalah model atau jenis pompa vakum yang banyak menggantikan atau melengkapi pompa DP. Pompa TMP memiliki turbin yang sangat cepat dengan serangkaian bilah yang tersusun dalam lapisan-lapisan dengan baris yang sama dan digerakkan dengan motor listrik. *Bearing* magnetik biasa digunakan untik mengurangi vibrasi pda pompa TMP.

e) Cryogenic pump (cryopump)

Cryogenic pump atau cryopump adalah jenis pompa yang bebas minyak. Pompa cryopump ini menggunakan sistem pendingin (kulkas) untuk mendinginkan sebuah permukaaan (bisanya hingga dibawah 50 K). Spesimen yang dihasilkan berupa molekul-molekul gas yang termampatkan. Biasanya saat permukaan akan mengalami saturasi akibat pengembunan, maka pompa diregenerasikan dengan cara pemanasan pada suhu ruang atau lebih. Untuk menghasilkan keadaan vakum yang tinggi, maka SEM atau FE SEM dilengkapi dengan Nitriogen cair (liquid). Liquid nitrogen ini bekerja dengan cara yang sama dengan *cryopump*.

f) Ion Pump

Pompa ion diperlukan untuk menghasilkan keadaan ultra high vacuum (UHV) misalnya pada FE SEM. Pompa ion dioperasikan dengan menerapkan beda potensial (beebrapa kV) pada elektroda-elektroda berukuran besar, sehingga dihasilkan pelepasan muatan (elektron) tekanan rendah. Pelepasan muatan (discharge) ini dibantu juga oleh keberadaan medan magnet. Pelepasan elektron ini akan mengionisasi molekul-molekul gas. Ion positif akan ditarik dengan elektroda negatif. Elektroda negatif terbuat dari logam titanium. Pada proses ini

elektron pada Titanium akan dilepaskan sehingga berikatan dengan ion positif dari molekul gas.

2. Variable Pressure Scanning Electron Microscope (VP SEM)

a) Sistem high vacuum (HV)

Sistem high vacuum (HV) diperlukan pada saaat memindai sampel yang kering dan bersifat konduktif. Sistem HV adalah sistem yang paling umum digunakan pada SEM. Apabila sampel bukan merupakan bahan konduktif, maka biasanya sampel akan diberi *coating*emas. Pemberian *coating* (pelapisan) berupa lapisan tipis emas pada permukaan sampel ini disebut sebagai teknik *sputtering*. Sampel yang dipindai pada sistem HV harus mampu berdiri tegak saat tegangan tinggi dan HV diaplikasikan. Image yang dihasilkan pada sistem HV pada umumnya adalah image SE (elektron sekunder) dan BSE.(elektron hamburan balik).

b) Sistem low vacuum (LV)

Sistem pemindaian SEM dengan vakum rendah (LV) juga disebut *Variable Pressure Scanning Electron Microscope* (VPSEM). VP SEM memiliki fitur untuk menlakukan variasi (menaik-turunkan) nilai vakum dalam kolom dan *chamber* SEM. Sistem VP ini dipakai untuk memindai sampel non konduktif. Sampel non konduktif adalah sampel yang berbahan isolator, biasanya sampel ini tidak mengandung logam, contohnya sampel polimer, sampel biologi, sampel fosil dan beberapa sampel geologi. Sampel ini memiliki resistivitas bahan yang tinggi sehingga bersifat mencegah terjadinya migrasi (perpindahan) elektron dari bahan akibat ditembaki (diberikan) elektron primer dari *electron gun*.

Sebagai efek dari penembakan elektron ini, maka tom-atom sampel non konduktif adakan mengalami "*charging*" saat dipindai menggunakan elektron. Efek *charging* akan menimbulkan kelebihan elektron yang menurunkan kualitas gambar. Elektron-elektrondari sampel non konduktif akan terhambur sebagai elektron sekunder sehingga detektor SE akan mendeteksi elektron sekunder dalam jumlah yang sangat banyak (ekstra).

Elektron ekstra yang terhambur (keluar)/ tereksitasi secara tak terduga dari sampel non konduktif ini akan menghasilkan garis atau guratan pada *image*. Elektron tak terduga ini dapat menolak elektron primer (*electron probe*) sehingga akan memunculkan berkas atau bercak hitam pada *image*. Fenomena *charging* juga bisa terlihat dari bentuk lainnya, diantaranya: 1) Menngkatnya *noise* pada image SE; 2) mengaburkan bayangan pada image SE; 3) terputusnya (diskontinuitas) pada gambar SEM; 4) pada kasus yang ekstrim, muatan ekstra bertindak menjadi seperti cermin terhadap berkas elektron.

Pemberian sistem vakum rendah ini (LV) akan menghapus jejak kelebihan elektron ini. Pada sistem VPSEM, elektron pemindai akan berinteraksi dengan atom-atom gas yang berada disekitar spesimen dalam bentuk ionisasi, sehingga melemahkan energi kinetik elektron pemindai. Permukaan dari sampel isolator yang bermuatan juga akan menarik partikel bermuatan dari atom-atom gas bermuatan positif yang berada disekitarnya. Keadaan ini akan mengakibatkan terjadinya netralisasi lokal. Keadaan netral ini mengakibatkan sampel isolator dapat dipindai tanpa harus di-coating.

Gambar 8. 5 Image SEM pada sampel non konduktif pada keadaan high Vacuum dan low vacuum

Sumber: Goldstein, 2012

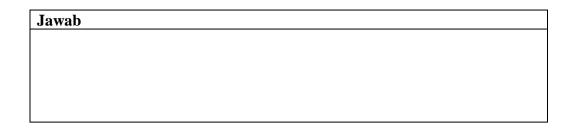
Perbandingan sistem vakum tinggi dan vakum rendah diberikan pada Gambar 8.5 Sistem VPSEM dapat digunakan pada image BSE. Image BSE dari sampel non konduktif yang tidak di-*coating* tetap dapat memberikan informasi tentang komposisi sampel tersebut melalui tingkat kekontrasan image. Daerah (region) yang berwarna putih (terang) memiliki nomor atom rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan daerah yang lebih gelap.

Sistem VPSEM juga dapat digunakan untuk memindai sampel keringbeku. Sampel ditempatkan pada dudukan SEM konvensional, dicelupkan dalan nitrogen cair, kemudian ditempatkan pada *stage SEM*. *Chamber* SEM kemudian divakum hingga bebas udara dan sampel dibiarkan selama 10 menit sampai menjadi kering. Teknik ini bekerja paling baik pada sampel yang terhidrasi beberapa pada struktur, misalnya jaringan tanaman.

Tugas 8 (Part 1)

 Sebutkan dan Jelaskan mengapa teknik pemindaian mikroskop elektron (SEM memerlukan keadaan vakum!
Jawab
Jawan
2. Apa saja jenis sistem pompa yang digunakan pada SEM? Jelaskan masing masing prinsip kerja dan keunggulannya!
Jawab
3. Apa perbedaaan rough pump dan high pump (difussion pump) pada SEM
Bagaimana peranan keduanya pada sistem vakum SEM?
Jawab
4. Apa perbedaan mode vakum tinggi dan mode vakum rendah pada SEM
Jelaskan!
Jawab

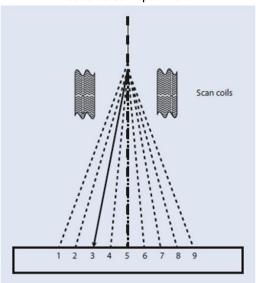
5. Carilah dan jelaskanlah apa saja kelemahan dari VP SEM!



B. Perbesaran (Magnification)

Setelah meninggalkan susunan lensa elektromagnetik, maka elektron selanjutnya akan menuju *scanning coils*. *Scanning coils* adalah komponen SEM yang berfungsi untuk mengarahkan berkas elektron ke spot atau area yang ingin dipindai. Skema *scanning coils* saat memilih area yang dipindai diberikan pada Gambar 8.6.

Gambar 8. 6 Scanning Coils menghasilkan sederet berkas elektron untuk memindai area tertentu dari spesimen.



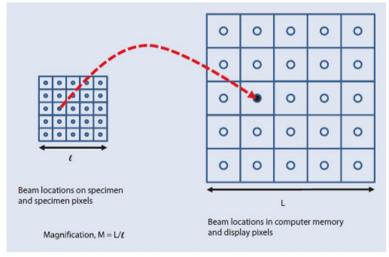
Sumber: Goldstein (2012, 94)

Pada satu waktu, hanya ada satu berkas elektron yang memindai satu spot spesimen. Image SEM adalah hasil konstruksi geometrik yang dihasilkan melalui komputerisasi dengan menempatkan berkas elektron yang terfokus pada deretan lokasi x-y diskrit dari spesimen dan mengukur efek interaksi antara berkas elektron dengan spesimen pada setiap lokasi.

1. Pembentukan bayangan pada SEM

Ketika sampel selesai disinari, image SEM dibangun dengan cara yang sama melalui pemindaian. Ada sinyal jamak (multiple signal) yang berhasil dideteksi secara bersamaan oleh detektor yang berbeda-beda, namun *sebenarnya* cukup satu sinyal saja sudah dapat menghasilkan sebuah image. Perlu diperhatikan bahwa Image SEM bukan hasil bayangan yang sama persis dengan sampel, melainkan bayangan ekuivalen dengan nilai digital. Berkas sinar yang berada pada x-y dan intensitas arus I dari sinyal men-*generate* aliran paket data *digital* (x, y, I_j), dengan j merepresentasikan spektrum hasil interaksi elektron – sampel yang bisa dalam bentuk SE, BSE< sinar X dan cathodoluminescence.

Deskripsi sederhana untuk menjelaskan pemindaian yang dilakukan oleh SEM diberikan pada Gambar 8.7. Untuk sebuah image SEM yang berwarna abuabu, maka interaksi dapat merupakan output dari sebuah detektror elektron, misalnya detektor Everhart – Thornley. Image SEM juga dapat digunakan untuk mengukur output lebih dari satu detektor secara simultan ketika berkas hanya dialamatkan pada sebuah lokas x-y.



Gambar 8. 7 Ilustrasi Pemindaian Sampel dalam dua dimensi

Goldstein (2012: 94)

Sebuah area yang teridiri dari area laing lebih kecil, dengan ukuran yang serupa pada sampel dipindai oleh SEM. Pemindaian ini dibagi kedalam bidang x-y dalam bentuk kotak-kotak (raster yang lebih kecil). Kotak-kotak yang lebih kecil ini kemudian kita sebut sebagai pixel. Poxel adalah jumlah n dari banyaknya kotak dari ujung ke ujung. Dimensi pixel dari spesimen diberikan oleh:

2. Perbesaran, Dimensi *Image*, dan Garis Skala (*Scale Bars*)

Perbesaran (magnification) pada sistem pemindaian dinyatakan dalam rasio dimensi panjang spesimen terhadap *image* yang dihasilkan.

$$M = L/\ell$$
 8.1

Karena image yang dihasilkan dalam panjang yang tetap, maka menaikkan perbesaran dalam pemindaian artinya dapat memindai dimensi panjang dari komponen paling kecil dari sampel . Dalam melakukan pemindaian menggunakan mikroskop, besaran yang paling dicari adalah berapa ukuran sebenarnya dari sampel yang dipindai.

Nominal magnification

Scale bar 10 μm

SE MAG: 1000 × HV: 20.0 kV WD: 11.0 mm

Gambar 8. 8 Image SE dari kristal perak yang menunjukkan perbesaran SEm dan garis skala

Sumber: Goldstein (2012: 95)

Langkah pertama dalam menentukan ukuran spesimen adalah dengan mengetahui parameter yang ada di persamaan 8,1. Perbesaran SEM biasanya sudah ditera atau diberikan pada hasil image SEM (Gambar 8.8). Dari gambar ini diketahui perbesaran adalah 1000 x dengan garis skala memiliki panjang 10 μ m. Perbesaran yang tercantum pada image SEM hanya valid pada image SEM yang asli. Jika image SEM ini telah melalui proses transformasi, crop atau perbesaran lagi, maka perbesarn ini tidak lagi valid.

Dimensi x dan y pada image menunjukkan panjang daerah spesimen yang berhasil dipindai oleh SEM dalam bentuk persegi panjang. (Gambar 8.8) yang mewakili dimensi x dan y pada spesimen. Dimensi ini akan menjadi tidak valid jika image ini mengalami pemotongan (crop), transformasi, atau diproyeksikan , sehingga telah mengalami perubahan dari image aslinya. Keterangan yang paling kuat selain perbesaran dan dimensi adalah garis skala. Garis skala yang dicantumkan pada kanan bawah tidak lagi valid jika image SEM telah mengalami penyuntingan berupa pemotongan, perbesaran, dan sebagainya.

Dalam menentukan ukuran partikel secara analog dengan perbandingan scale bar terkadang membingungkan dan tidak presisi, karena partukel partikel memiliki ukuran yang tidak sama persis. Untuk mencari ukuran rata-rata atau distribusi ukuran partikel selanjutnya akan dibahas menggunakan software imageJ – Fiji pada kegiatan pembelajaran berikutnya.

Tugas 8 (Part 2)

1. Apakah fungsi dari garis skala (<i>Scale bar</i>) yang terdapat pada image SEM?
Jawab
2 Ana yang dimakand dangan
2. Apa yang dimaksud dengan:
a. Perbesaran
Jawab
b. DImensi Image
Jawab
o Coolo Dom
c. Scale Bar
Jawab

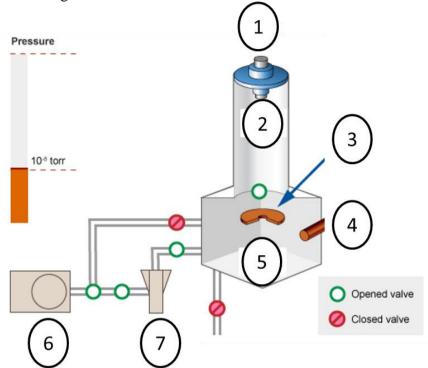
3. Bagaimana melakukan kalobrasi panjang pada image SEM?	
Jawab	

Rangkuman

- 1. Bagian kolom SEM dan chamber SEM harus dalam keadaan vakum agar berkas elektron tidak berinteraksi dengan molekul lain yang berasal dari gas atau sampel.
- 2. Interaksi berkas elektron dengan molekul gas atau molekul spesimen dapat mengakibatkan naiknya diameter elektron pemindai dan terhamburnya berkas elektron yang mengakibatkan turunnya kekontrasan image dan resolusi image.
- 3. Sistem vakum tinggi (HV) digunakan untuk memindai sampel konduktif, image yang dapat digunakan adalah image SE dan BSE.
- 4. Sistem vakum rendah (LV atau VPSEM) digunakan utnutk memindai sampel non onduktif yang tidak di-*coating*, fungsinya untuk mengatasi permasalahn *charging*. Image yang dapat digunakan dalam analisis sampel adalah image BSE saja.
- 5. Perbesaran (magnification) pada sistem pemindaian dinyatakan dalam rasio dimensi panjang spesimen terhadap image yang dihasilkan.

Evaluasi Formatif 8

1. Perhatikan gambar berikut



Bagian yang berperan sebagai sistem vakum pada SEM adalah

a. 1 dan 2

d. 6 dan 7

b.3 dan 4

e. 5, 6, dan 7

c. 5 saja

- 2. Fungsi dari sistem vakum pada SEM adalah
- a. menghindarkan berkas elektron dari kontaminasi molekul gas
- b. mengurangi kekontrasan image SEM
- c. Menambah ukuran elektron pemindai (electron probe)
- d. Meningkatkan interaksi berkas elektron dengan molekul spesimen
- e. Menambah berkas elektron pemindai
- 3. Perhatikan pernyataan berikut
 - (1) HV digunakan untk memindai sampel konduktif
 - (2) LV digunakan untuk memindai sampel nonkonduktif yang tidak diberi coating
 - (3) LV digunakan untuk mengatasi efek charging pada sampel nol nonduktif
 - (4) Image yang dapat digunakan pada HV adalah image BSE dan SE, sedangkan pada sistem LV hanya dapat digunakan image BSE Saja

Pernyataan yang benar tentang sistem high vacuum (HV) dan low vacuum (LV) pada SEM adalah

a. (1), (2), dan (3)

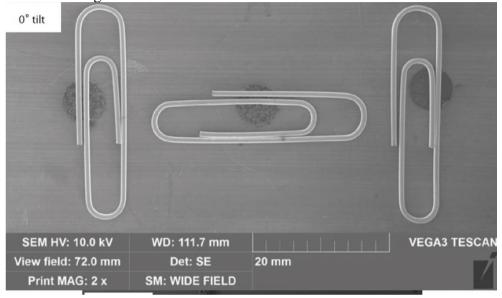
d. (4) saja

b. (1) dan (3) saja

e. semua benar

c. (2) dan (4) saja

4. Perhatikan gambar berikut



Pernyataan yang benar dari image ini adalah ...

- a. merupakan gambar BSE, pada keaadaan vakum rendah, perbesaran 10 x
- b. merupakan gambar SE, pada keaadaan vakum tinggi , perbesaran 1x
- c.merupakan gambar SE, pada keaadaan vakum tinggi , perbesaran 2x
- d. merupakan gambar BSE, pada keaadaan vakum tinggi, perbesaran 2x
- e. merupakan gambar SE, pada keaadaan vakum rendah, perbesaran 2x
- 5. Perbesaran image SEM telah ditera pada setiap image yang dihasilkan. Pernyataan yang benar adalah ...
- a. Perbesaran yang tertera akan tetap valid saat Image SEM dicrop
- b. Perbesaran yang tertera akan tetap valid saat Image SEM diubah ukurannya
- c. Scale Bar dan Perbesaran hanya valid pada image asli SEM
- d. Image SEM bisa disunting, scale bar dan perbesarannya akan tetap valid
- e. dimensi image SEM berbeda dengan dimensi spesimen

Essay

1. Apa fungsi sistem vakum pada SEM?

Jawab		

. Apa fungsi sistem <i>lo</i>	w vacum pada p	emindaian sa	mpel? Jelaska	n mengapa
Jawab				
SEMINY & 8 NV VIO E 00 mm	Van die 1 de	WD. 11.89 mm Det. 895 600 pm	VEGAT TESCAN	
SM: RESOLUTION H/Vac	SM: PESOLUTIO		1	
b. Popcorn				
			The state of the s	

Gambar diatas diambil dari Goldstein (2012, 176). Bacalah sumber dari gambar tersebut, kemudian buatlah penjelasan dari gambar diats!

Jawab			

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 8

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 9 Kedalaman Fokus dan Pengaruh Tegangan Pemercepat

Kemampuan	Sub Kemampuan Dasar		
Dasar			
Mahasiswa dapat	1. Melalui diskusi dan informasi mahasiswa dapat		
menjelaskan	menjelaskan kedalaman fokus pada SEM		
kedalaman fokus dan	2. Melalui diskusi dan informasi mahasiswa dapat		
pengaruh tegangan	menjelaskan pengaruh tegangan pemercepat		
pemercepat pada teknik	pada SEM.		
SEM,	-		

Uraian Materi

A. Kedalaman Fokus SEM

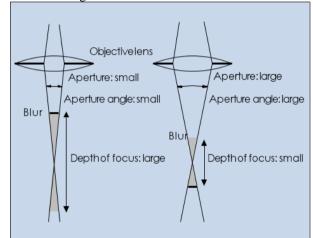
Scanning electron microscope (SEM) dapat didefinisikan sebagai sebuah instrumen mikroskop elektron yang digunakan untuk melakukan pengamatan sebuah sampel dengan perbersaran yang tinggi (sekitar 400.000 kali). SEM juga dapat didefinisikan sebagai teknik yang digunakan untuk menghasilkan *image* dari permukaan sampel/spesimen hingga pada skala nanometer dengan menggunakan pemindaian berkas elektron.

Image yang dihasilkan dari SEM dikatakan memiliki kualitas yang tinggi jika image tersebut benar-benar merepresentasikan keadaan yang sebenarnya dari sampel. Komponen yang paling umum diamati dari image SEM adalah morfologi dan topologi permukaan dari sebuah sampel. Morfologi dan topolgi permukaan sampel dapat diperoleh apabila SEM masih mampu mengatur tingkat fokus hingga pada kedalaman substansial permukaan sampel.

Kasus yang sering terjadi pada saat dilakukan pengamatan spesimen dengan kedalaman substansial adalah jika fokus disesuaikan ke sisi atas maka sisi bawah mungkin keluar dari fokus. Kasus ini menyebabkan terjadinya kisaran antara keburaman gambar atas dan bawah besar. Artinya SEM dapat mengatur tingkat fokusnya pada kedalaman tertentu dari sampel, bisa tepat pada permukaan sampel, atau pada "lapisan" di kedalaman tertentu dari permukaan sampel. Semakin besar kedalaman substansial yang masih dapat dipindai dengan fokus oleh SEM, maka SEM tersebut dikatakan memiliki "kedalaman fokus" yang

besar. Sedangkan jika rentang antara keburaman gambar atas dan bawah kecil, dikatakan bahwa "kedalaman fokusnya kecil".

Kedalaman fokus SEM (Gambar 9,1) diatur oleh serangkaian lensa elektromagnetik (kondenser). Ketika *electron probe* sangat paralel (sudut *aperture* kecil), maka *image* yang dihasilkan akan tetap dalam fokus meskipun fokus diubah dalam jumlah besar. Sedangkan ketika *electron probe* secara substansial bersudut (sudut *aperture* besar), maka image yang dihasilkan akan keluar dari fokus (tidak fokus/ *blurring*) meskipun fokus hanya sedikit berubah.



Gambar 9. 1 Perbandingan kedalaman fokus oleh SEM dan mikroskop optik

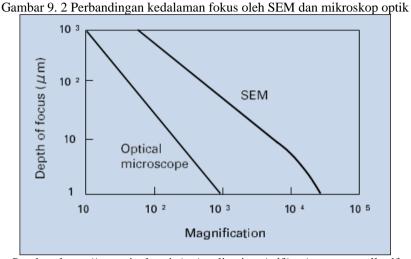
Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Perhatikan juga bahwa gambar *blur* biasanya tidak dapat dilihat dengan perbesaran rendah. Namun, saat pembesaran ditingkatkan, gambar *blur* (kabur) akan muncul. Artinya, kedalaman fokus juga dipengaruhi oleh perbesaran (*magnifying*).

Kedalaman fokus ini juga bisa dijelaskan melalui analoginya dengan Mikroskop Optik (OM). Kedalaman fokus OM dikatakan besar apabila sudut yang dirubah oleh lensa objektif dari spesimen (sudut bukaan) adalah kecil. Sedangkan jika sudut ini besar, maka kedalaman fokusnya kecil. Semakin besar tingkat pebesaranan maka akan semakin kecil kedalaman fokusnya Gambar 9.2 merupakan grafik yang menunjukkan perbedaan kedalaman fokus antara SEM dan OM.

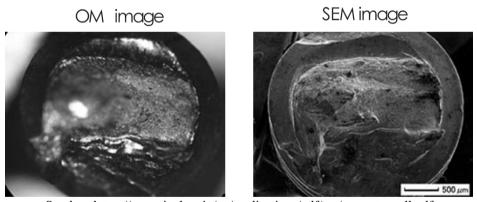
Kedalaman fokus SEM jauh lebih besar daripada OM. Hal ini disebabkan karena sudut *aperture* dari *electron probe* di SEM jauh lebih kecil daripada lensa obyektif di OM. Gambar 9.3 membandingkan gambar OM dan SEM dari permukaan sekrup yang retak. Permukaan retak ini memiliki ketidakteraturan yang besar, yang mengarah pada fakta bahwa hanya sebagian kecil permukaan yang benar-benar terfokus dengan OM. Namun, karena kedalaman fokus SEM

yang besar, maka seluruh permukaan yang diamati berada dalam fokus yang tajam.



Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Gambar 9. 3 Perbandingan image SEM dan OM dengan medan penglihatan yang



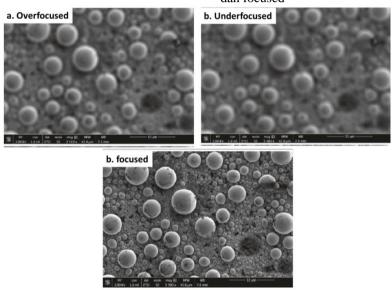
Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

1. Depth of View

Depth of Field (DOF) atau Depth of View adalah kedalaman dari sampel yang dapat difokuskan dengan jelas.SEM memiliki kedalaman (DOF) yang besar akan menghasilkan image seperti Gambar 9.3c. DOF dapat ditingkatkan melalui 3 cara, yaitu: a. Jarak kerja (working distance) yang panjang; b. perbesaran yang kecil; c. Sudut aperture yang kecil. Working distance adalah jarak antara lensa objektif dengan sampel.

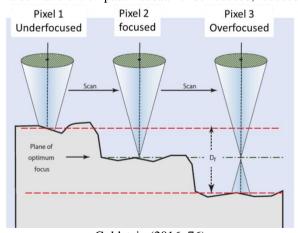
Setiap instrumen SEM memiliki tingkat *Depth of Field* (DOF) masing-masing, artinya setiap SEM memiliki batas kedalaman yang masih dapat dipindai dengan keadaan fokus secara bersamaan. Bagian yang dipindai tidak pada titik fokus SEM akan tampak dalam keadaan buram (Gambar 9.4 dan Gambar 9.5). SEM memiliki kedalaman fokus yang besar karena memiliki lensa elektromagnetik dan melakukan pemindaian dalam bentuk piksel. ke piksel berikutnya (Gambar 9.5) Berkas elektron mengenai 3 (tiga) lokasi berbeda pada sebuah sampel, sehingga terdapat tiga piksel yang mewakili tiap-tiap daerah (spot).

Gambar 9. 4 Perbandingan Depth of Field (DOF) dengan keadaan overfocused, underfocused, dan focused



Goldstein (2016; 75)

Gambar 9. 5 Skema berkas elektron pada keadaan underfocused, focused dan overfocused



Goldstein (2016; 76)

Pada piksel 1 berkas elektron belum mencapai *crossover* (bidang fokus). Depth-of-field mengacu pada kisaran ketinggian dalam fokus simultan pada sampel (mis., bidang yang diamati). Sebaliknya, kedalaman fokus mengacu pada kisaran posisi di dekat bidang pencitraan lensa tempat gambar berada fokus. Ini menentukan, misalnya, seberapa jauh dari ideal bidang pencitraan lensa Anda dapat menempatkan selembar film, atau CCD detektor, dan masih menangkap gambar dalam fokus.

Karena SEM menangkap gambar melalui tindakan pemindaian, istilah kedalaman fokus tidak relevan. menumbuk permukaan sampel, pada ketinggian yang dilambangkan dengan garis putus-putus merah atas. Ini sama dengan underfocusing sampel, dengan efek yang sama: diameter probe pada permukaan sampel lebih besar dari optimal. Jika ini meningkat Ukuran probe yang cukup besar akan menurunkan ketajaman foto. Ketinggian di mana keburaman (blur) ini menjadi dapat diukur, dilambangkan dengan garis putus-putus merah atas, adalah bagian atas batas DOF untuk sampel ini.

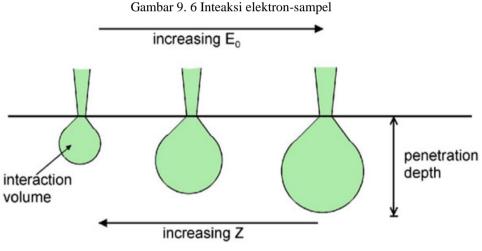
Tugas 9 (Part 1)

1. Apa saja komponen dari SEM yang berfungsi untuk mengatur kedalaman fokus
SEM?
Jawab
2. Jelaskan hubungan antara sudut aperture dengan tingkat kedalaman fokus
SEM!
Jawab
3. Bagaimana terbentuknya gambar <i>blur</i> dari SEM?
Jawab

B. Pengaruh Tegangan Pemercepat

Ketika elektron primer (electron probe) yang dipercepat memasuki sampel, maka elektron primer ini akan berinteraksi secara elektrostatik dengan inti atom. Interaksi ini akan menimbulkan "tumbukan" elastis dan inelastis seperti yang telah dibahas pada kegiatan pembelajaran 6 dan 7. Sebagian besar interaksi ini melibatkan hamburan "maju", yang menunjukkan sudut defleksi kurang dari 90°. Hamburan inelastis (SE) melibatkan sudut hamburan yang relatif kecil dan karenanya berkontribusi sedikit pada sinyal BSE. Tapi hanya terdapat sebagian kecil fraksi elektron primer yang mengalami hamburan balik (Backscattered Electron) (θ > 90).

Volum sampel yang mengandung elektron yang tersebar ini kemudian disebut volume interaksi dan sering direpresentasikan sebagai berbentuk buah pir atau botol dengan bagian dasar yang bervolume semakin besar dibanding bagian mulut botolnya (Gambar 9.6). Semakin besar tegangan pemercepat, maka energi kinetik elektron pemindai E_0 juga akan semakin besar. Semakin besar energi kinetik E_0 maka kedalaman penetrasi elektron juga akan semakin besar.



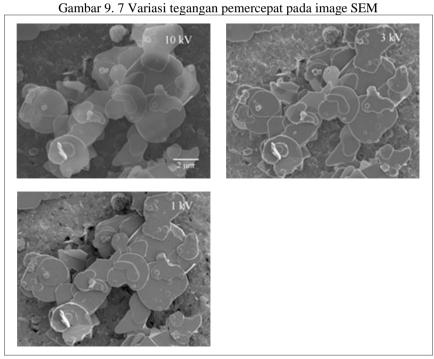
Sumber: egerton (2012, 125)

1. Pengaruh tegangan pemercepat pada Image Elektron Sekunder (Secondary Electron)

Elektron sekunder (SE) tidak hanya dihasilkan oleh interaksi elektronsampel yang berasal dari permukaan atom di kedalaman yang cukup besar dari sampel. Sebagian SE yang tidak memiliki energi yang cukup untuk menembus sampel kemudian akan mengalami kehilangan energi secara bertahap hingga mengalami keadaan statis dan diserap oleh spesimen. Pada spesimen logam, elektron hasil hamburan inelastis akan menjadi elektron konduksi. Besar kedalaman (di bawah permukaan) terjadinya interaksi elektron atom disebut sebagai kedalaman penetrasi atau jangkauan elektron.

Jika SE dihasilkan pada kedalaman cukup besar, ia akan berinteraksi dengan sudut hamburan yang relatif kecil. Interaksi dengan hamburan cukup kecil ini akan menghasilkan interaksi lateral (bukan vertikal). Interaksi lateral ini menghasilkan area interaksi elektron-sampel yang semakin luas seiring kedalaman penetrasi elektron primer. Hal inilah yang menyebabkan ruang interaksi elektron – sampel semakin besar seiring dengan kedalaman penetrasi elektron primer pada sampel.

Ketika tegangan pemercepat diubah, maka kedalaman penetrasi electron probe pada sampel juga akan mengalami perubahan. Pada tegangan pemercepat yang besar, kedalaman penetrasi juga lebih besar. Namun jika kedalaman penetrasi elektron terhadap materi terlalu besar, maka akan timbul hamburan elektron dari bagian sampel yang lebih dalam. Hamburan elektron bagian dalam ini membawa informasi yang akan menimbulkan latar belakang (background) yang terlalu banyak pada image SEM.



Sumber: https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Electron probe dengan penetrasi pada kedalaman besar (Gambar 9.4) terhadap sampel akan memiliki jangkauan interaksi yang melebar di dalam spesimen. Selain itu, karena tegangan pemercepat lebih tinggi, efek (edge effect) tepi lebih besar. Kelebihan informasi ini, akan tumpang tindih dengan informasi dari elektron – elektron pada permukaaan yang dapat menurunkan tingkat kontras pada image permukaan spesimen. Oleh karena itu, untuk mengamati struktur permukaan dengan jelas, lebih baik menggunakan tegangan pemercepat yang lebih rendah.

Gambar 9.7 menunjukkan gambar kristal boron nitrida berbentuk pelat yang diambil pada tiga tegangan pemercepat yang berbeda. Pada gambar, sampel kristal ini memiliki elemen-elemen kristal bernomor atom kecil seperti lempeng tipis yang saling tumpang tindih. Ketika tegangan pemercepat dinaikkan hingga (10 kV), maka lempeng kristal di bawah lempeng kristal lain terlihat, yang ditunjukkan oleh lempeng "mengambang", yang lebih terang.

Pada image SE terang dan gelap akan menunjukkan kedalaman dari bagian yang dipindai. Bagian terang menunjukkan bagian yang permukaannya lebih tinggi, sementara gelap menujukkan kedalaman yang lebih rendah. Elektron sekunder yang dipancarkan dari permukaan yang lebih tinggi berkontribusi pada kontras yang cerah.

Dalam kasus terakhir, kristal yang terletak tepat di bawah kristal mengambang mencegah emisi elektron sekunder dari bagian bawah kristal mengambang. Ketika tegangan pemercepat diturunkan menjadi 1 kV, struktur berbentuk langkah pada kristal dapat diamati dengan jelas dengan kontras yang cukup.

2. Pengaruh tegangan pemercepat pada *Image Backscattered Electron* (BSE)

Telah dijelaskan sebelumnya pada kegiatan pembelajaran 7 bahwa *Backscattered Electron* (BSE) adalah elektron primer yang mengalami hamburan balik. Jumlah BSE jauh lebih kecil dari SE. BSE dihasilkan dari elektron yang memiliki energi kinetik yang besar, sehingga mampu menembus sampel dengan kedalaman yang besar. Energi yang besar ini dihasilkan dari tegangan pemercepat yang besar (minimal 50 KV).

Karena elektron BSE memiliki energi kinetik yang besar inilah, maka elektron yang telah terhambur balik ini masih mampu untuk menembus sampel dengan arah yang berlawanan dengan arah asalnya. Untuk menghasilkan image BSE diperlukan hingga 50 keV. Dengan demikian tegangan pemercepat diatur dengan nilai yang relatif besar (sekitar 50 keV) untuk menghasilkan image BSE. Jangkauan elektron memasuki materi / bahan diberikan oleh persamaan berikut:

$$\rho R \approx a(E_0)^n \tag{9.1}$$

Dengan

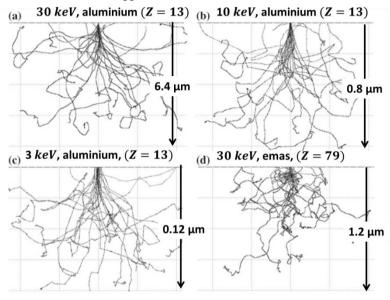
 ρ = kerapatan atau desnsitas atau massa jenis dari bahan

 $n \approx 1.35$

 E_o = Energi elektron memasuki sampe (eV)

 $a \approx 10 \mu g/cm^2$

Gambar 9. 8 rbandingan kedalaman fokus pada variasi tegangan pemercepat dan nomor atom menggunakan simulasi Monte Carlo



Sumber: Egerton (2012: 125)

Konstanta a tidak bergantung pada nomor atom, Besar R bergantung pada nomor atom (Z) karena densitas sebuah zat padat akan menngkat seiring kenaikan nomor atom. Nomor atom yang besar akan lebih cenderung untuk memudahkan elektron primer terhambur balik, jika dibandingkan dengan bahan yang memiliki nomor atom kecil. Oleh sebab itu, pada voume interaksi akan semakin kecil seiring dengan kenaikan nomor atom (Gambar 9.5).

Berdasarkan persamaan 9.1 maka diperoleh bahwa jangkauan elektron sebanding dengan $(E_0)^n$. Semakin besar kedalaman penetrasi elektron yang diinginkan, maka semakin besar pula energi yang diperlukan untuk memasuki sampel. Energi E_0 yang besar akan meminimalkan kemungkinan terjadinya tumbukan inelastis dan mengurangi kemungkinan terjadinya interaksi elektron-sampel (Gambar 9,5).

Tugas 9 (Part 2)

1. Jika kamu ingin menghasilkan image SEM yang menunjukkan topografi dan morfologi permukaan yang baik, maka kamu akan meggunakan tegangan percepatan besar ataukah kecil? Mengapa? Jelaskan alasanmu!
Jawab
 Jika kamu ingin menghasilkan image BSE (backscattered electron) dari SEM,
maka kamu akan meggunakan tegangan percepatan besar ataukah kecil?
Mengapa? Jelaskan alasanmu!
Jawab

Rangkuman

- 1 Kedalaman fokus mempengaruhi kedalaman pandangan (*depth of view*) dari image SEM yang berkontribusi dalam analisis topografi dan morfologi sampel
- 2. Komponen SEM yang berperan dalam pengatur besar tegangan pemercepat adalah susunan lensa elektromagnetik.
- 3. Pemindaian sampel menggunakan tegangan rendah digunakan untuk menghasilkan Image secondary electron yang baik. Sementara untuk pemindaian BSE digunakan tegangan pemercepat yang besar.

Evaluasi Formatif 9

Pilihan ganda

- 1. Komponen SEM yang berperan sebagai pengatur besar tegangan pemercepat elektron pemindai adalah ...
- a. Electron Gun

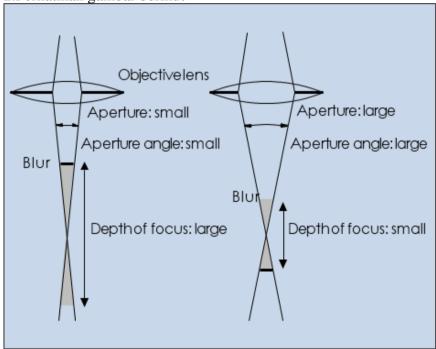
d. Detektor E-T

b. Vacuum Chamber

e. Susunan lensa kondenser

c. EDAX

2.Perhatikan gambar berikut

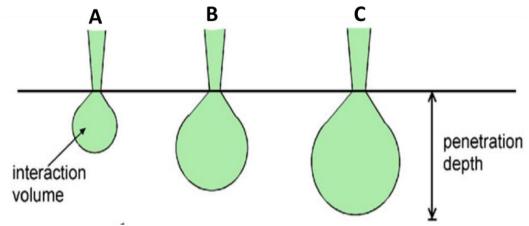


Pernyataan yang sesuai dengan gambar diatas adalah ...

- a. sudut *aperture* yang besar menghasilkan kedalaman fokus yang kecil
- b. untuk menghasilkan *image* dengan *Depth of View* (DOV) yang besar, maka diperlukan sudut *aperture* yang kecil
- c. Gambar yang blur dihasilkan dari kedalaman fokus yang kecil
- d. lensa objektif hanya menghasilkan kedalaman fokus yang besar
- e. sudut *aperture* berpengaruh pada kedalaman fokus tapi tidak berpengaruh pada *Depth of View* (DOV) dari image
- 3.Apabila tegangan pemercepat diatur pada 50 kV, maka spektrum yang paling baik untuk dihasilkan dari pemindaian elektron menggunakan SEM adalah
- a. elektron sekunder (SE)
- d. sinar tampak
- b. elektron hamburan balik (BSE)
- e. elektron auger

c. Sinar X

4. Perhatikan gambar berikut:



Urutan gambar dengan tegangan pemercepat paling rendah ke paling tinggi yang benar adalah....

a. A-B-C

d. C-B-A

b. A-C-B

e. C-A-B

c. B-A-C

5. Apabila tegangan pemercepat diatur pada kisaran 1-10 kV, maka spektrum yang paling baik untuk dihasilkan dari pemindaian elektron menggunakan SEM adalah

a. elektron sekunder (SE)

d. sinar tampak

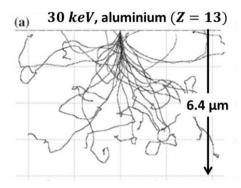
b. elektron hamburan balik (BSE)

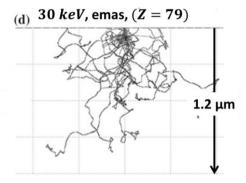
e. elektron auger

c. Sinar X

- 6. Apabila tegangan pemercepat diberikan besar (hingga 50 kV), maka pernyataan yang benar adalah
- a. *Image* SE yang dihasilkan sangat fokus , karena memiliki *depth of view* (DOV) yang besar
- b. *Image* BSE yang dihasilkan sangat fokus , karena memiliki *depth of view* (DOV) yang kecil
- c. *Image* SE yang dihasilkan kurang kontras karena informasi pada backgroundnya saling tumpang tindih
- d. *Image* BSE yang dihasilkan kurang kontras karena informasi pada backgroundnya saling tumpang tindih
- e. Image SE yang dihasilkan sangat terang.

7. Perhatikan gambar berikut



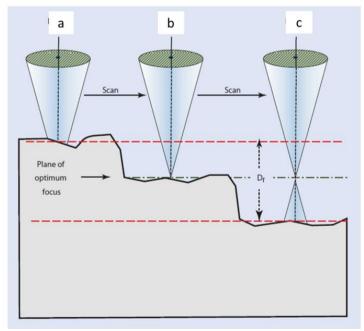


Sumber: Egerton (2012: 126)

Pernyataan yang sesuai dengan kedua gambar diatas adalah

- a. Kedalaman penetrasi elektron kedalam sampel sebanding dengan nomor atom
- b. Kedalaman penetrasi elektron kedalam sampel berbanding terbalik dengan nomor atom
- c. Kedalaman penetrasi elektron kedalam sampel tidak dipengaruhi nomor atom
- d. Kedalaman penetrasi elektron kedalam sampel hanya dipengaruhi oleh tegangan pemercepat
- e. Kedalaman penetrasi elektron kedalam sampel selalu meningkatkan kualitas *image* SEM

8. Perhatikan gambar berikut



Pernyataan yang benar dari gambar diatas adalah...

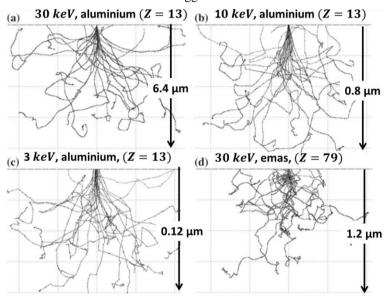
- a. pixel a, b dan c dalam keadaan fokus
- b. pixel a dalam keadaan fokus

- c. pixel b dalam keadaan fokus
- d. pixel c dalam keadaan fokus
- e. pixel a, b dan c dalam keadaan tidak fokus

Essay:

1. Perhatikan gambar beriku

Gambar 9.5 Perbandingan kedalaman fokus pada variasi tegangan pemercepat dan nomor atom menggunakan simulasi Monte Carlo



Sumber: Egerton (2012: 125)

Buatlah uraian penjeleasan dari Gambar 9,5. Sebagai penuntun kamu dapat membaca penjelasannya pada sumber yang telah dicantumkan dibagian bawah gambar. Penjelasan minimal 100 kata

Jawab:		

2. Apakah yang dapat kamu lakukan untuk menghasilkan image SEM yang memiliki depth of field yang cukup sehingga dapat menghasilkan gambar semi 3 dimensi?

Jawab:	

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 9

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 10 Karakterisasi Mikrostruktur

Kemampuan	Sub Kemampuan Dasar
Dasar	
Mahasiswa dapat menjelaskan karakterisasi	1. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat menjelaskan karakterisasi mikrostruktur yang diperoleh melalui analisis kualitatif image SEM
mikrostruktur bahan menggunakan SEM	2. Melalui diskusi dan informasi, mahasiswa dapat menjelaskan karakterisasi mikrostruktur yang diperoleh melalui analisis semikuantitatif image SEM

Uraian Materi

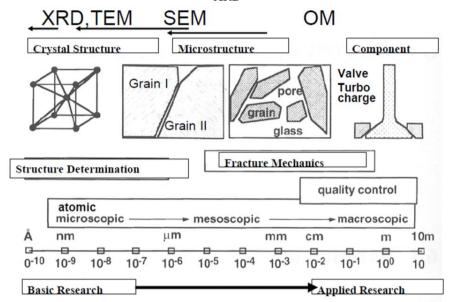
A.Karakterisasi mikrostruktur dari Image SEM

Scanning electron microscope dapat diefinisikan sebagai sebuah instrumen dan sebagai sebuah teknik. Sebagai sebuah instrumen, SEM didefinisikan sebagai instrumen mikroskop yang menggunakan berkas elektron untuk memindai sampel hingga ukuran nanometer pada keadaan vakum. Sebagai sebuah teknik , SEM didefinisikan sebagai teknik (cara) menganalisis sampel berukuran nano melalui image yang dihasilkan dari pemindaian berkas elektron. Pada modul ini kita akan mempelajari tentang karakterisasi bahan melalui analisis image SEM dari sampel zat padat atau material kristalin, bisa dalam bentuk keramik, *thin film*, membran, atau sampel geologi

Image SEM yang telah dihasilkan dari proses pemindaian berkas elektron merepresentasikan keadaan permukaan sampel. Berkas hamburan elektron dari hasil interaksi elektron-sampel kemudian ditangkap oleh detektor dan diolah dalam bentuk digital oleh komponen pengolahan dan display image. Image SEM ini kemudian digunakan untuk melakukan analisis permukaan sampel.

Analisis *image* SEM yang dilakukan berupa analisis kualitatif dan semi kuantitatif pada skala mikro hingga sub mikro (Gambar 10.1). Gambar 10.1 adalah skema pemindaian sampel yang dilakukan oleh mikroskop optik (OM), SEM, TEM, dan XRD. Skala pemindaian yang dilakukan OM adalah pada skala makroskopi, SEM pada skala mesoscopic, TEM pada skala mesoscopik hingga mikroskopik, dan XRD bisa memindai pada skala atomik.

Gambar 10. 1 Skema skala pemindaian oleh SEM jika dibandingkan dengan OM, TEM dan XRD



Microstructure ranging from crystal structure to Engine components (Si_3N_4)

http://web.pdx.edu/~pmoeck/phy381/Topic3B-SEM-Total.pdf

Pada skala mesoskopik, SEM masih bisa memindai kedudukan *grain*, bahan gelas, dan porositas pada sampel. Skala mesoskopik berada pada mikro meter hingga nano meter (sub mikro). Sedangkan TEM dapat menindai pada skala nano hingga piko. Karena jangkauan pemindaian SEM pada skala sub mikro ini lah, sehingga karakterisasi yang dilakukan dari image SEM disebut sebagai karakterisasi mikrostruktur.

Titik Henti

Untuk lebih memahami tentang karakterisasi mikrostruktur, kamu dapat menonton video ini dengan mengklik link di bawah ini atau melakukan scan pada kode QR disamping

https://www.youtube.com/watch?v=Q7gc7TpEYx Δ



Karakterisasi adalah kegiatan ilmiah yang dilakukan untuk megidentifikasi gejala atau identitas dari sebuah sampel. Identitas yang diteliti bisa berupa identitas fisis dan kimia. Karakterisasi mikroskopik melalui analisis kualitatif dan semi kuantitatif dapat dilakukan pada image SE dan BSE. Pada umumnya image SE sudah cukup untuk melakukan analisis bahan, tapi apabila ditambahkan image BSE akan melengkapi analisis bahan.

Tugas 10 (Part 1)

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan karakterisasi mikrostruktur!
Jawab
2. Apa saja parameter fisis yang diuji dari karakterisasi mikrostruktur bahan
menggunakan image SEM? Sebutkan minimal 5, dan jelaskan masing-masing!
Jawab
3. Apa perbedaan analisis kualitatif dan semi kuantitatif dari image SEM? Kenapa
disebut semi kuantitatif?
Jawab

B. Analisis kualitatif

Analisis kualitatif dapat dilakukan dengan mengobservasi image SEM secara langsung. Analisis kualitatif dapat dilakukan pada image SE dan BSE. Analisis kualitatif dari image SEM adalah analisis yang mendeskripsikan identitas fisis dari permukaan sampel yang dipindai. Identitas fisis dari permukaan sampel yang dapat dianalisa secara kualitatif berasal pengamatan dari image SE, meliputi topografi, morfologi, defek, poros dan mendeteksi patahan (fracture).

Analisis kualitatif pada image BSE digunakan untuk melihat homogenitas sampel. Namun yang perlu diingat adalah saat melakukan analisis homogenitas sampel, minimal juga perlu didukung oleh fitur EDS/EDAX dan Xray. Fitur EDS/EDAX akan melengkapi analisis dengan data unsur penyusun beserta komposisinya di dalam sampel. X ray akan melengkapi analisis data dengan struktur kristal dari sampel.

1. Topografi

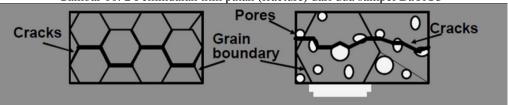
Hasil pemindaian yang diperoleh dari image SE dan BSE bisa digunakan untuk menjelaskan topografi permukaan sampel. Topografi adalah fitur permukaan suatu objek atau "bagaimana tampilannya", topografi memiliki kemiripan makna dengan tekstur. Topografi sampel berhubungan langsung dengan properti (sifat) material. Analisis topografi merupakan analisis kualitatif, peneliti mendeskripsikan topografi permukaan berdasarkan pengamatan langsungnya dari Image SEM.

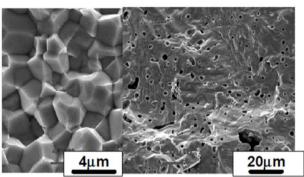
Aspek – aspek yang dapat dibahas dari topografi permukaan sampel dianaranya, apakah permukaan sampel terdiri dari permukaan yang rata atau kah homogen? Bagaimana sebaran permukaan berdasarkan tinggi atau rendahnya? Pengamatan topografi bisa menggunakan mode SE dan BSE. Dari kegiatan pembelajarn 7, kita dapat mengidentifikasi keberadaan sensor baca menggunakan image BSE. Keberadaan sensor baca diperlihatkan oleh garis putih yang menunjukkan unsur berbeda dengan sekitarnya.

Dari pengamatan topografi permukaan dapat diketahui terjadi distribusi unsur unsur tertentu dari sampel. Untuk melihat pembagian daerah berdasarkan distribusi unsur atau struktur atau fase yang berbeda ini biasanya digunakan untuk mengamati penampang lintang batas (cross sectional area) dari sampel berupa lapisan (layerrs).

Aspek yang paling sering dimanfaatkan dari pemnamatan permukaan adalah pengamatan terhadap titik patah (gambar 10.2). Analisis titik patah biasa dianalisis oleh bidang forensik untuk menjelaskan penyeban suatu kecelakaan. Pada bidang industri material dan kedokteran, identifikasi titik patah membantu menjelaskan kelemahan suatu bahan secara mekanis.

Gambar 10. 2 Pemindaian titik patah (fracture) dari dua sampel BaTiO3





Intergranular fracture Intragranular fracture

http://web.pdx.edu/~pmoeck/phy381/Topic3B-SEM-Total.pdf



Titik Henti

Oops, tunggu dulu ini ada istilah baru

Untuk lebih memahami tentang grain dan grain boundary kamu dapat menonton video ini dengan mengklik link di bawah ini atau melakukan scan pada kode QR disamping

https://www.youtube.com/watch?v=gdr6EjS5Q jw



Melalui image SEM, titik patah ini dapat diidentifikasi dimensinya. Apakah keberadaan retakan hanya ada pada satu spot sehingga disebut titik patah, ataukah sudah mencapat panjang dan luas tertentu sehingga disebut sebagai ratakan (crack), dan apakah retakan itu sudah mencapai bidang tiga dimensi (ruang). Volume patahan bisa diukur menggunakan teknik analisis semi kuantitatif menggunaka software pengolahan data gambar.

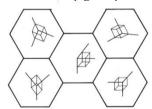
2. Morfologi

Morfologi menunjukkan bentuk dan ukuran partikel penyusun benda. Morfologi berhubungan langsung dengan struktur material dan dan properti (sifat) material inia.

a. Grain

Setiap material kristalin (biasanya berupa zat padat) pada umumnya terdiri dari jutaan *grain*. Grain terbentuk pada saat terjadinya pertumbuhan kristal.Saat pembentukan atau pertumbuhan kristal terjadi, maka akan timbul region- region yang merupakan daerah yang memiliki kristal masing-masing. Setiap grain adalah terdiri dari kristal tunggal yang terdiri dari atom -atom yang tersusun periodik dan memiliki arah orientasi masing-masing (Gambar 10.3). setiap grain ini bisa saja memiliki fase (struktur kristal) yang sama satu sama lain, tapi orientasinya berbeda-beda.

Gambar 10. 3 Orientasi setiap grain pada material kristalin



Sumber: www.eng.fsu.edu > lec_notesPPT

1) Grain size

Struktur grain biasanya dinyatakan dengan memberikan diameter ratarata..dari skala $<\mu$ m to hingga cm . Ukuran grain yang kecil dapat meningkatkan resolusi SEM. Jika ukuran grain besar, maka grain ini akan mengaburkan detil dari partikel yang berukuran lebih kecil. Ukuran grain (grain size) diukur dalam bentuk distribusi grain size. Pada modul ajar ini, diameter rata-rata grain dan distribusi grain size akan dianalisis menggunakan Software ImageJ yang dibahas lebih detil pada kegiatan pembelajaran 1.12

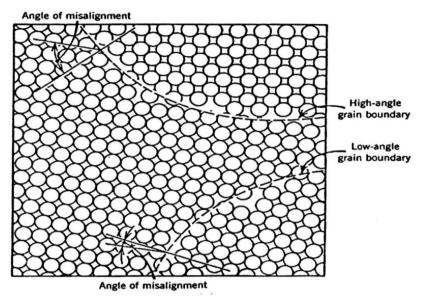
2) Grain shapes

Grain shape atau bentuk grain adalah parameter yang paling sering dibahas saat melakukan karakterisasi struktur, bentuk grain menentukan jenis dari nanomaterial yang dipelajari dan akan digunakan. Bentuk grain mebagi nanomaterial menjadi tiga macam secara garis besar, yaitu satu dimensi, dua, dan tiga dimensi, sebagaimana yang telah kita pelajari di kegiatan pembelajaran 1.1.

b. Grain Boundary

Setiap grain saling terpisahkan satu sama lain oleh *grain boundary* (Gambar 10.4). Ketika dua *grain* memiliki perbedaan orientasi (mis-orientasi) yang cukup kecil, maka *grain boundary* dapat dideskripsikan oleh sebuah konfigurasi dislokasi yang relatif sederhana (misalnya dinding ujung dislokasi) atau juga bisa disebut sebagai *low angle boundary*.

Gambar 10. 4 Grain boundary menunjukkan adanya disturbansi (gangguan) pada susunan atom



Sumber: www.eng.fsu.edu > lec notesPPT

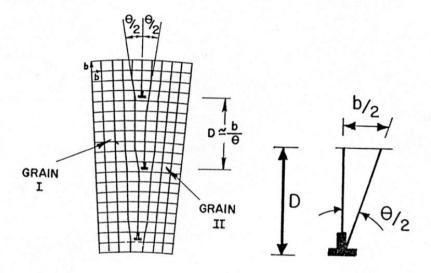
Namun ketika mis-orientasi terjadi cukup besar (*high angle boundary*) maka akan terbentuk struktur kristal yang semakin rumit.

1) Terbentuknya grain boundary

Grain boundary terbentuk dari tiga hal, yaitu a. Pertemuan grain-grain dalam fase padat; b. Transisi region antar kristal yang berdekatan; dan c. Terjadinya gangguan (perturbasi) saat atom-atom tersusun (Gambar 10.5). Region-region transisi ini (grain boundary) ini menunjukkan dislokasi susunan atom yang bervariasi arahnya.

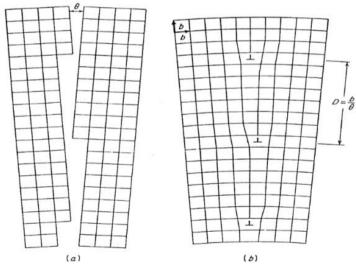
Dislokasi susunan atom ini tampak jelas pada bagian tepi tiap grain sehingga disebut juga sebagai *edge dislocation*. *Edge dislocation* timbul karena adanya perturbasi saat tersusunnya kristal di daerah batas (*boundary*). Gambar 10.6 menunjukkan beberapa bidang vertikal dari susunan periodik atom-atom yang hilang pada daerah batas (*boundary*) saat dua atau lebih *grain* saling bertemu. Bagian tepi *grain* yang saling hilang pinilah yang merepresentasikan *edge dislocation*.

Gambar 10. 5 Low Angle Grain Boundary



Sumber: www.eng.fsu.edu > lec notesPPT

Gambar 10. 6 Skema pembentukan low angle grain boundary (a) Dua grain saling terpisah; (b) dua grain sudah saling tergabung dan menghasilkan low angle grain boundary.



Sumber: www.eng.fsu.edu > lec notesPPT

Material kristal tunggal tidak memiliki grain boundary. Keberadaan grain boundary menunjukkan bahwa material tersebut adalah polikristalin. Saat melakukan analisis image SEM untuk material kristalin selalu membahas apakah pada image SEM terlihat grain boundary? Jika terlihat, apakah grain boundary terlihat jelas? Pada image yang memperlihatkan grain berukuran relatif kecil dan

grain boundary tidak terlihat jelas maka pada sampel tersebut grain boundary memiliki luas yang besar pada sampel itu.

2) Catatan penting tentang Grain boundary

Beberapa catatan penting tentang *grain boundary* dalam material polikristalin diantaranya:

a. Pada temperatur rendah ((T<0.5T_m, dengan T_m adalah titik leleh dalam K)

Grain boundaries berperan sebagai penghalang yang sangat kuat bagi terjadinya perpindahan partikel sub atomik yang berada di tepi grain. Partikel sub atomik pada bagian tepi adalah partikel-partikel yang mengalami dislokasi. Apabila partikel – partikel dislokasi terus bergerak untuk menghalangi batas pada temperatur rendah yang akan menimbulkan penumpukan partikel yang memberi tekanan pada daerah batas, sehingga tegangan pada *grain boundary* akan lebih besar.

b. Setiap deformasi polikristal yang melibatkan perkembangan *grain* akan melibatkan *grain* – *grain* terdekatnya.

Deformasi ini bisa menimbulkan *void* (kekosongan) dan *crack* (keretakan). Semakin besar lebar *grain boundary*, maka kemungkinan adanya *void* dan *crack* juga semakin tinggi. Kekuatan mekanis material akan semakin rendah, material yang memiliki *void* dan *crack* yang banyak akan rapuh dan mudah retak.

c. Semakin kecil ukuran grain menunjukkan semakin besar total luas *grain boundary* per satuan volum.

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa ukuran grain yang relatif kecil dan jika grain boundary tidak terlihat dengan jelas maka sampel itu memiliki grain boundary yang sangat banyak.

d. Pada temperatur tinggi, grain boundary akan semakin melemah.

Grain boundary akan mengalami pergeseran. Pergeseran grain boundary ini akan "membuka" void sehingga menjadi jalur pergerakan (mobilitas) partikel sub atomik dari satu grain ke grain lainnya. Pada temperatur yang lebih tinggi, grain boundary berperan sebagai sumber dan tempat hilangnya vacansi (lubang kekosongan). Keadaan ini akan memfasilitasi terjadinya pergerakan sub atomik, misalnya aliran elektron atau ion dari satu grain ke grain lainnya.

e. Pada material polikristalin, setiap grain memiliki arah yang acak satu dengan yang lain.

Material polikristalin adalah material yang terdiri dari banyak individual grain. Ukuran dari setiap individu grain bervariasi, mulai dari skala nano meter (pada struktur nanokristalin) hingga beberapa sentimeter (pada material isolator yang biasanya bekerja di temperatur tinggi). Contoh material polikristalin diberikan pada Gambar 10.4.

100 um

Gambar 10. 7 Grain boundary pada Polikristalin Tantalum

Sumber: www.eng.fsu.edu > lec notesPPT

3. Homogenitas

Sebuah sampel dapat dikatakan sebagai sampel homogen jika memenuhi keseragaman pada:

a. grain size

sampel dikatakan homogen jika ukuran grain relatif sama besar yang didukung oleh grafik disitribusi ukuran grain. Grafik distribusi ukuran grain ini kita bperoleh melalui analisis semikuantitatif. Apabila image SEM menghasilkan sebaran garin dengan ukuran besar dan kecil yang sangat kontras, maka sampel tersebut dalam keadaan heterogen

b.grain shape

sampel yang homogen memiliki bentuk grain yang seragam. Bentuk grain yang berbeda beda menunjukkan sampel tersebut heterogen (tidak sefase). Tidak sefase maksudnya adalah bisa saja memiliki struktur yang berbeda. Atau orientasi yang berbeda

c. Variasi distribusi fase

variasi distribusi fase bisa dilihat dari grain size dan grain shape. Variasi distribusi fase dapat ditunjukkan oleh image BSE. Namun kelemahannya BSE hanya mengindikasikan perbedaan nomor atom. Sampel dengan nomor atom yang lebih besar akan menghasilkan gambar yang terang sedangkan sampel dengan nomor atom kecil menghasilkan gambar gelap. Adanya vasiari distribusi fase perlu dilengkapi dengan data komposisi dan kristalografi.

e. Defek (cacat kristal)

keberadaan defek atau cacat kristal dapat dilakukan secara kualitatif dan semi kuantitatif. Adanya defek bisa dnegan melihat daerah yang emmiliki bentuk yang berbeda dari permukaan lainnya. Defek ini bisa berupa adanya grain boundary yang sangat lebar, sheingga tidak jelas memisahkan sntara grain yang

satu dengan yang lain, bisa juga merupakan poros , patahan atau void (kosong/poros/pori). Retakan dan void dalam skala $<\mu$ m hingga cm.

Komposisi

Komposisi material menunjukkan unsur-unsur dan senyawa yang menjadi komponen penyusun material. Komposisi materila menunjukkan jumlah relatifnya pada material dan berhubungan langsung dengan dan sifat material. Untuk memperoleh data komposisi, SEM perlu dilengkapi fitur EDS / EDAX.

c. Kristalografi

Kristalografi adalah sebuah studi yang mempelajari tentang bagaimana atom-atom tersusun dalam benda. Kristalografi berhubungan langsung dengan susunan atom-atom dalam sampel dan menentukan sifat dari material sampel. Untuk memperoleh data kristalografi, SEM perlu dilengkapi dengan hasil pemindaian XRD.

Tugas 10 (Part 2)

1. Jika kamu diberikan image SEM dengan mode elektron sekunder, maka aspe apa saja yang akan kamu analisis berdasarkan topografinya? Jelaskan!
Jawab
2. Jika kamu diberikan image SEM dengan mode elektron sekunder, maka aspe apa saja yang akan kamu analisis berdasarkan morfologinya? Jelaskan
Jawab

3. Jika kamu diberikan image SEM dengan mode elektron hamburan balik (BSE), maka aspek apa saja yang akan kamu analisis secara kualitatif? Jelaskan

Jawab
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan topografi dan morfologi sampel!
Jawab
ou was
5. Menurutmu, bagaimana kriteria sebuah sampel dikatakan homogen ?Jelaskar
Jawab
ounus

C. Analisis Semi Kuantitatif

Analisis semi kuantitatif dilakukan melalui *software* pengolah *image* yang akan menghasilkan data nominal. Dikatakan sebagai analisis semi kuantitatif karena dalam memperoleh data kuantitatif akan melibatkan beberapa parameter yang sifatnya subjektif. Analisis semi kuantitatif bisa digunakan untuk melengkapi analisis kualitatif, misalnya dalam menjelaskan morfologi permukaan sampel yang menggunakan image SE bisa dilengkapi dengan grafik distribusi ukuran partikel, grain size, atau distribusi poros. Untuk memperoleh distribusi ukuran partikel/ grain size diperlukan software pengolahan data gambar salah satunya ImageJ. Teknis pengolahan data dari gambar menggunakan Software ImageJ ini dijelaskan pada kegiatan 1.12.

Tugas 10 (Part 3)

1.Mengapa disebut	sebagai analisa	semikuantitatif	pada	image	SEM	dan	bukan
analisa kuantitatif?	Jelaskan!						

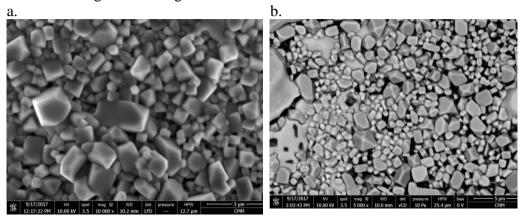
Jawab			

Rangkuman

- 1. Sebagai sebuah teknik , SEM didefinisikan sebagai teknik (cara) menganalisis sampel berukuran nano melalui image yang dihasilkan dari pemindaian berkas elektron.
- 2. Analisis kualitatif dapat dilakukan dengan mengobservasi image SEM secara langsung. Analisis kualitatif dapat dilakukan pada image SE dan BSE, berupa topografi, morfologi, defek, poros dan mendeteksi patahan (fracture).
- 3. Topografi adalah fitur permukaan suatu objek atau "bagaimana tampilannya", topografi memiliki kemiripan makna dengan tekstur. Dari topografi kita dapat mendeskripsikan tekstur permukaan, pembagian region dan titik patah.
- 4. Morfologi menunjukkan bentuk dan ukuran partikel penyusun benda yang berhubungan dengan grain, grain boundary dan keberadaan defek.
- 5. Homogenitas sampel dipengaruhi oleh distribusi grain size, grain shape, variasi fase dan keberadaan defek.
- 6. Analisis semi kuantitatif dilakukan melalui *software* pengolah *image* yang akan menghasilkan data nominal. Dikatakan sebagai analisis semi kuantitatif karena dalam memperoleh data kuantitatif akan melibatkan beberapa parameter yang sifatnya subjektif.

Evaluasi Formatif 10

Diberikan dua gambar sebagai berikut:



Kalsinasi 1 jam

Kalsinasi 3 jam

Gambar diatas adalah Gambar SEM perovskite LM_{0.5}F_{0.5}O₃.

Buatlah analisis kualitatif dengan dengan membandingkan kedua gambar a dan b diatas. Jelaskan minimal dalam 150 kata.

Jawab			

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 10

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 11 Preparasi Sampel SEM

Kemampuan	Sub Kemampuan Dasar
Dasar	
Mahasiswa dapat	1. Mahasiswa dapat menganalisis tahapan preparasi
menjelaskan preparasi	yang harus dilakukan untuk memindai sampel
sampel SEM sesuai	konduktif.
jenisnya	2. Mahasiswa dapat menganalisis tahapan preparasi
	yang harus dilakukan untuk memindai sampel
	non konduktif.

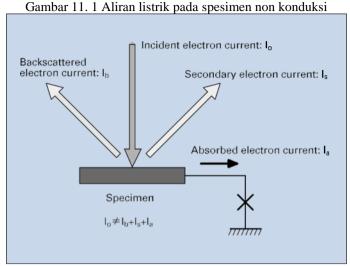
Uraian Materi

A. Efek Charging

1. Apa yang dimaksud dengan efek chargiung

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, elektron yang masuk ke dalam spesimen akan kehilangan energinya dan diserap ke dalam spesimen. Jika spesimen bersifat konduktif, elektron mengalir melalui tahap spesimen; Namun, jika spesimen tidak konduktif, elektron berhenti di dalam spesimen, artinya, terjadi efek charging muatan (*charging*). Gambar 11.1 adalah skema charging. Saat efek charging terjadi, jumlah elektron yang mengalir ke spesimen tidak sama dengan yang keluar dari spesimen. Secara umum, jumlah elektron yang mengalir ke spesimen lebih banyak dan spesimen bermuatan negatif. Jika berkas elektron terus diberikan pada sampel (diradiasi), maka muatan negatif terakumulasi di titik yang diradiasi, menghasilkan potensial negatif yang besar.

Pada titik yang mengalami efek *charging*, jika terus menerus mengalami radiasi dari berkas elektron maka potensial negatif dalam bahan akan melebihi nilai tertentu. Kelebihan potensial negatif ini akan menyebebkan terjadinya oelepasan elektron agar potensial bahan dapat kembali ke potensial semula. Pada beberapa bahan, jumlah elektron yang keluar dari spesimen lebih besar daripada yang mengalir ke spesimen sehingga spesimen tersebut bermuatan positif.



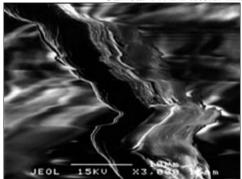
https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

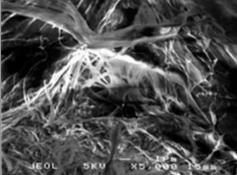
2. Dampak efek Charging pada image SEM

Apabila terjadi efek *charging* dan potensial negatif dalam bahan telah melampaui nilai tertentu, maka *electron probe* yang memindai spesimen akan dibelokkan oleh gaya tolak dari potensial bermuatan. Peristiwa ini akan menghasilkan pergeseran posisi *electron probe*. Pergeseran ini selanjutnya menyebabkan gambar terdistorsi. Selain itu, jika terjadi pelepasan elektron, *electron probe* akan kembali ke posisi semula untuk sesaat. Hasilnya, gambar SEM tampak seolah-olah gambar itu pecah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.2 (kiri).

Jika charging sangat kecil dan pemindaian probe elektron tidak terpengaruh, apa yang terjadi? Dalam kasus seperti itu, akan timbul elektron sekunder dengan energi kecil dipengaruhi oleh muatan lokal. Pengaruh tersebut menimbulkan perbedaan dalam efisiensi deteksi elektron sekunder atau gangguan pada lintasan elektron sekunder. Akibatnya, sebagian gambar tampak terang atau gelap.

Gambar 11. 2 Distorsi Image SEM akibat efek Charging





https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem atoz all.pdf

Perbedaan energi dari elektron sekunder yang berhasil ditangkap detektor akan menghasilkan kontras tegangan. Artinya, jika spesimen bermuatan negatif, perbedaan tegangan antara detektor elektron sekunder dan spesimen menjadi besar dan oleh karena itu, lebih banyak elektron sekunder yang masuk ke detektor. Hal ini menyebabkan area bermuatan lokal menjadi cerah (efisiensi deteksi tinggi). Sedangkan jika spesimen bermuatan positif, efisiensi pendeteksian menjadi rendah, menyebabkan daerah bermuatan lokal diamati gelap.

Efek charging pada daerah tertentu (*localize charging*) aakan menghasilkan medan listrik tinggi yang mengelilingi area bermuatan lokal. Medan listrik ini lebih tinggi daripada yang dihasilkan oleh detektor elektron sekunder. Oleh karena itu, elektron sekunder yang dipancarkan dari spesimen kemudian akan dibelokkan oleh medan listrik yang tinggi ini, menimbulkan gangguan lintasan elektron sekunder. Akibatnya, elektron sekunder tidak masuk ke detektor dan sebagian gambar tampak gelap. Gambar 11.2 (kanan) menunjukkan fenomena ini.

Tugas 11 (Part 1)

1. Apa yang dimaksud	dengan efek	charging pada	ı pemindaian	SEM?	Bagaimana
terjadinya? Jelaskan!					

erjaamija. veraskam.	
Jawab	

2. Efek apa yang terjadi pada image jika terjadi charging? Jelaskan

Jawab		

B. Pencegahan terjadinya efek charging

1. Coating

Metode paling umum untuk mencegah charging adalah memberi lapisan konduktif pada sampel. Metode ini melapisi spesimen nonkonduktif dengan film logam tipis berkonduktif tinggi. Metode ini melibatkan ion sputtering dan evaporasi vakum.

ada metode coating, sampel non konduktif akan dilapisi Sebuah film tipis dengan ketebalan mulai dari beberapa sampai 10 nm dari logam mulia (misalnya, Au, Pt, Au-Pd, Pt-Pd) dilapisi pada spesimen. Alasan penggunaan logam mulia adalah karena sangat stabil dan hasil elektron sekundernya tinggi. Untuk mereproduksi permukaan sebenarnya dari spesimen, perlu disiapkan film tipis. Namun, jika permukaan memiliki morfologi yang rumit, lapisan yang terlalu tipis dapat menyebabkan charging karena lapisan film kehilangan kontinuitasnya.

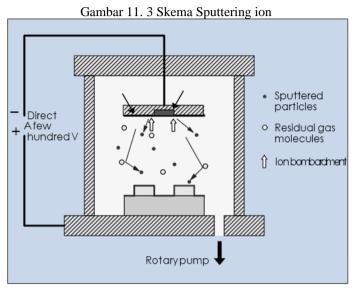
Sputtering ion diklasifikasikan menjadi dua teknik. Teknik pertama menggunakan pelapis sputter ion dan yang kedua menggunakan pelapis sputter berkas ion. Secara umum, teknik pertama lebih sering digunakan. Pada teknik pertama ini, ion-sputter coater menggunakan diode sputtering.

Dalam pelapis ion-sputter, ion positif, yang dihasilkan oleh pelepasan dalam vakum rendah sekitar 10 Pa. Ion positif berinteraksi dan berikatan dengan logam target dan spesimen dilapisi dengan logam target yang terciprat. Gambar 11.4 menunjukkan diagram skema pelapis ion-sputter.

Karena bagian dalam perangkat ini dijaga pada vakum rendah, partikel logam target yang terciprat bertabrakan dengan banyak molekul gas sisa; oleh karena itu, partikel logam sangat kuat tersebar dan menempel pada permukaan spesimen dari segala arah, membentuk film seragam di permukaan. Di sisi lain, ketika pelapis sputter berkas ion digunakan, film tipis berkualitas tinggi terbentuk karena target dan spesimen ditempatkan dalam vakum tinggi.

Penguapan vakum memanaskan dan menguapkan material, membentuk film logam tipis pada permukaan spesimen. Karena bagian dalam evaporator vakum adalah vakum tinggi sekitar 10-3 Pa, jumlah molekul gas sisa dalam

perangkat kecil, menyebabkan hamburan partikel material yang menguap menjadi lemah. Akibatnya permukaan spesimen tidak dapat dilapisi dengan material yang menguap dari segala arah. Untuk membentuk lapisan film yang seragam di permukaan, spesimen diputar dan dimiringkan.



https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Sebagai bahan pelapis, digunakan logam mulia (Au, Au-Pd, Pt, Pt-Pd, dll.) Karena stabil dan memiliki hasil elektron sekunder yang tinggi. Untuk pengamatan pembesaran tinggi, Au-Pd, Pt atau Pt-Pd digunakan. Untuk beberapa kasus termasuk analisis unsur, C atau Al dapat digunakan. Pt dan Pt-Pd sulit menguap dalam ruang hampa. C dan Al sulit untuk di-sputter.

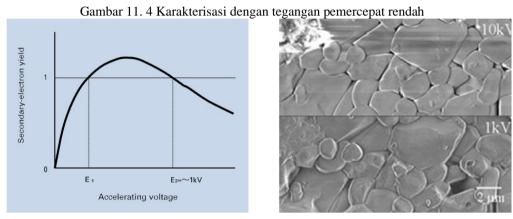
Jika lapisan film tebal, ini menyembunyikan struktur halus pada permukaan spesimen; oleh karena itu, film yang lebih tipis diinginkan. Namun, jika film terlalu tipis, dapat menyebabkan charging karena film pelapis kehilangan kontinuitasnya. Secara umum, film bersalut dibuat dengan ketebalan beberapa sampai 10 nm.

2. Karakterisasi menggunakan tegangan pemercepat rendah

Pada spesimen bermuatan, jumlah elektron yang mengalir ke spesimen berbeda dengan yang keluar dari spesimen. Karena tegangan percepatan berkas elektron datang berkurang, hasil elektron sekunder meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.4 (kiri). Pada tegangan percepatan sekitar 1 kV, jumlah elektron sekunder yang dipancarkan lebih besar daripada elektron datang. Dengan menggunakan tegangan percepatan yang rendah tersebut, jumlah elektron

yang mengalir ke spesimen menjadi sama dengan elektron yang keluar dari spesimen. Ini berarti spesimen tidak diisi. Jadi, spesimen nonkonduktif pun dapat dicitrakan tanpa charging apa pun.

Gambar 11.4 (kanan) merupakan contoh gambar keramik tanpa lapisan. Pada tegangan akselerasi 10 kV, ada sedikit informasi topografi dan beberapa detil anomali muncul pada gambar. Tetapi pada tegangan akselerasi 1 kV, informasi topografi substansial diperoleh dan juga, tidak ada anomali yang muncul pada gambar.



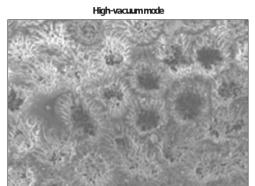
https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem atoz all.pdf

3. Observasi dengan vakum rendah

Saat Anda menggunakan SEM vakum rendah (LVSEM) yang dijelaskan nanti Anda dapat mengamati spesimen nonkonduktif tanpa charging daya. Penurunan vakum di ruang spesimen meningkatkan jumlah molekul gas sisa. Molekul gas ini diionisasi oleh elektron dan mencapai spesimen sebagai ion positif untuk menetralkan charging (Gambar 11.5).

Untuk menghasilkan ion positif dalam jumlah yang cukup untuk netralisasi muatan, perlu untuk mengatur tekanan dalam ruang spesimen ke beberapa puluh hingga 100 Pa (nilai ini mungkin berbeda tergantung pada spesimen). Gambar 11.6 menunjukkan contoh gambar cangkang Foraminifera tanpa pelapis, diambil dengan LVSEM. Kontras yang tidak wajar muncul karena charging daya dalam mode vakum tinggi, tetapi kontras ini menghilang dalam mode vakum rendah. Perhatikan bahwa citra terakhir adalah citra elektron hamburan balik; oleh karena itu, efek bayangan yang kuat diamati.

Gambar 11. 5 Pemindaian dengan vakum rendah



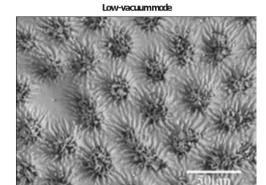


Fig. 45 Example of images of an anconductive specimental ken with LVSEM.

Specimen: Shell of Foraminifera (no coating)

https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

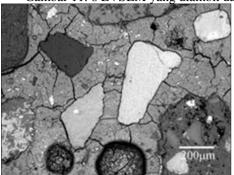
Dalam SEM normal, tekanan di dalam ruang spesimen dijaga pada 10-3 hingga 10-4 Pa. Namun, dalam LVSEM, tekanan ini dapat disetel ke beberapa puluh hingga beberapa ratus Pa. Untuk menjaga vakum tinggi di ruang senjata elektron, lubang umumnya ditempatkan antara jalur berkas elektron dan ruang spesimen (lihat hal.23). Jika detektor E-T digunakan dalam ruang hampa di LVSEM, terjadi pelepasan; oleh karena itu, detektor elektron hamburan balik digunakan. Penggunaan detektor elektron hamburan balik dapat meningkatkan kontras komposisi dan memberikan gambar SEM dengan efek bayangan yang kuat, sehingga kadang-kadang, teknik deteksi arus ion digunakan, yang memanfaatkan amplifikasi gas elektron sekunder dalam vakum rendah.

Kami telah menjelaskan bahwa LVSEM digunakan untuk pengamatan spesimen nonkonduktif tanpa lapisan. Selain itu, memanfaatkan fakta bahwa tekanan di ruang spesimen dapat ditingkatkan, LVSEM digunakan untuk mengamati spesimen dengan banyak spesimen yang keluar gas dan tidak stabil dalam vakum tinggi dan spesimen yang mengandung air beku.

Jika Anda mencoba untuk mengamati spesimen berpori dengan banyak keluar gas dalam SEM normal, diperlukan banyak waktu untuk menurunkan tekanan (untuk vakum lebih tinggi) di ruang spesimen, sehingga Anda harus menunggu beberapa saat sampai observasi. Sebaliknya, LVSEM dapat digunakan meskipun vakum di ruang spesimen beberapa puluh hingga beberapa ratus Pa, sehingga efektif untuk mengamati spesimen semacam itu dalam waktu singkat.

Gambar 11.6 adalah contoh gambar LVSEM yang diambil dari potongan beton dengan banyak gas keluar. Pada pengamatan ini waktu untuk mendapatkan citra SEM hanya beberapa menit.

Gambar 11. 6 LVSEM yang diambil dari potongan beton dengan banyak gas keluar





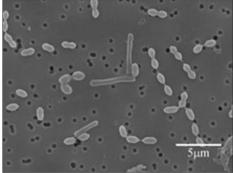


Fig. 48 LVSEMimagetaken bysimple freeze drying. Specimen: Lactobaallus.

https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Untuk mengamati spesimen yang mengandung air sementara keadaan aslinya diawetkan, tahap cryo digunakan di mana spesimen dibekukan dengan nitrogen cair dan dilakukan pengamatan pada tahap pendinginan. Karena tekanan di ruang spesimen dapat dijaga tetap tinggi di LVSEM, es tidak menyublim bahkan pada suhu yang relatif tinggi. Misalnya, jika tekanan dalam ruang spesimen sekitar $100~{\rm Pa}$, es dapat diamati bahkan pada suhu pendinginan sekitar $-20~{\rm C}$.

Suhu ini dapat diperoleh dengan elemen Peltier, menghilangkan kebutuhan untuk tahap pendinginan dengan nitrogen cair. Selain itu, dalam LVSEM, spesimen yang beku dapat dengan mudah dicitrakan. Artinya, spesimen yang dibekukan oleh nitrogen cair di udara dimasukkan ke dalam ruang spesimen dan dicitrakan selama kenaikan suhu. Gambar 48 menunjukkan gambar LVSEM yang diambil dengan metode ini (pengeringan beku sederhana).

Tugas 11 (Part 2)

Ada 3 teknik yang dapat kamu lakukan untuk memindai sampel non konduktif. Sebutkan dan jelaskan masing-masing dengan bahasamu sendiri 1 coating

Jawab			

2. I emmadah dengan tegangan rendan
Jawab
3. Pemindaian dengan vakum rendah
Jawab

C. Preparasi dasar dari spesimen / sampel

2 Pemindajan dengan tegangan rendah

Spesimen harus memenuhi persyaratan berikut sebelum dimuat ke tahap SEM: yaitu a) Permukaan yang akan diamati terbuka; b) Spesimen terpasang kuat pada dudukan spesimen; c) Spesimen pada prinsipnya memiliki konduktivitas.

a. Exposing Surface to Observe and Contrast Enhancement

Setelah spesimen dipotong dengan ukuran yang sesuai untuk observasi, buka permukaan yang akan diamati. Prinsipnya, ketika ingin mengamati permukaan spesimen itu sendiri, tidak diperlukan perlakuan khusus. Tetapi jika perlu, Anda diharuskan untuk menghapus film yang dapat mencegah observasi. Bila ingin mengamati struktur internal, maka perlu disiapkan penampang melintang. Metode sebenarnya adalah sebagai berikut.

1. Fracturing

Jika suatu spesimen keras, maka dipecahkan untuk menyiapkan penampang melintang. Ketika spesimen adalah objek struktural, seperti semikonduktor. Perangkat yang ditanam pada kristal tunggal Si atau GaA, ia memiliki sifat pembelahan ke arah kristal tertentu; oleh karena itu, mematahkan

spesimen pada arah spesifik ini memungkinkan Anda untuk mendapatkan penampang datar. Jika spesimen lunak pada suhu normal tetapi keras pada suhu rendah, rekahan beku diterapkan pada bahan ini dalam nitrogen cair.

2. Cutting

Jika suatu spesimen lunak seperti polimer, maka dapat dipotong dengan menggunakan ultramicrotome, yang pada awalnya digunakan untuk menyiapkan bagian tipis untuk pemindaian TEM. Penampang yang direncanakan dengan metode ini sangat datar. Jika hanya observasi dengan perbesaran rendah yang dilakukan, spesimen dengan sedikit bekas luka dapat diterima. Dalam kasus seperti itu, silet bagian yang digunakan untuk persiapan penampang melintang.

3. Mechanical polishing

Untuk banyak spesimen logam atau mineral, pemolesan mekanis diterapkan. Dalam metode ini, spesimen ditanamkan dalam resin dan polished. Dalam proses pemolesan mekanis, bahan abrasif secara bertahap diubah dari abrasif kasar menjadi halus dan akhirnya, penampang yang dipoles dibuat menjadi permukaan cermin.

4. Milling by the ion beam

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan penggilingan berkas ion telah meningkat. Misalnya, sistem sinar ion terfokus (FIB) memungkinkan Anda melakukannya untuk mendapatkan penampang dengan akurasi posisi tinggi beberapa ratus nanometer. Selain itu, teknik penggilingan berkas ion luas tersedia, yang menggunakan berkas ion Ar lebar untuk persiapan penampang melintang. Dibandingkan dengan FIB, akurasi posisi dari teknik ini lebih rendah, tetapi teknik ini memberikan penampang yang jauh lebih luas.

5. Contrast enhancement

Dalam banyak spesimen, citra elektron sekunder tidak memberikan kontras jika penampang lintangnya sangat halus. Dalam kasus-kasus ini,berbagai teknik peningkatan kontras diterapkan. Dua contoh dijelaskan. Yang pertama adalah etsa selektif. Permukaan penampang melintang diukir secara kimiawi atau fisik untuk membentuk ketidakteraturan pada permukaan dan struktur internal diamati menggunakan gambar elektron sekunder.

Yang kedua disebut "pewarnaan". Area spesifik dari spesimen polimer tinggi diwarnai oleh logam berat, seperti Os dan Ru, dan citra komposisinya diamati dengan menggunakan citra elektron hamburan balik. Di sisi lain, bahkan jika perlakuan spesimen (peningkatan kontras) tidak diterapkan, jika spesimen asli memiliki perbedaan dalam komposisi atau sifat kristal, gambar komposisi atau gambar ECC dapat diamati dalam mode elektron hamburan balik.

6. Mounting Specimen

Spesimen harus dipasang secara stabil pada pemasangan spesimen. Selain itu, spesimen harus terhubung secara elektrik ke dudukan spesimen ini.

7. Bulk specimens

Spesimen massal dipasang pada spesimen yang dipasang dengan pasta konduktif atau pita perekat dua sisi konduktif. Jika spesimen curah yang memiliki bentuk yang relatif seragam, dijepit dengan tempat spesimen eksklusif. Jika spesimen curah tidak konduktif, harus dilapisi dengan pasta konduktif selebar mungkin sambil tetap menjaga area yang akan diamati.

8. Powders and particles

Spesimen ini ditaburi pasta konduktif atau pita perekat dua sisi. Dalam serbuk atau partikel debu, mereka harus membuang beberapa persen seluas mungkin. Di sisi lain, beberapa spesimen dapat dikenai metode suspensi. Dalam metode ini, spesimen disuspensikan dalam media dispersi (pelarut organik, air, dll.) dan dijatuhkan pada aluminium foil atau wafer Si, dan akhirnya dikeringkan.

Tugas 11 (Part 3)

Sebutkan dan jelaskan teknik preparasi sampel untuk menghasilkan sampel yar
terbuka dan mengalami peningkatan kontras!
Jawab:

Rangkuman

elektron yang masuk ke dalam spesimen akan kehilangan energinya dan diserap ke dalam spesimen. Jika spesimen bersifat konduktif, elektron mengalir melalui tahap spesimen; Namun, jika spesimen tidak konduktif, elektron berhenti di dalam spesimen, artinya, terjadi efek charging muatan (charging).

Pencegahan terjadinya efek charging dapat dilakukan melalui tiga cara : melakukan coating, melakukan pemindaian dengan tegangan rendah dan melakukan pemindaian dengan vakum rendah.

Spesimen harus memenuhi persyaratan berikut sebelum dimuat ke tahap SEM: yaitu a) Permukaan yang akan diamati terbuka; b) Spesimen terpasang kuat pada dudukan spesimen; c) Spesimen pada prinsipnya memiliki konduktivitas.

Evaluasi Formatif 11

Studi kasus

Kamu sedang melakukan studi untuk mensintesis (menghasilkan) sebuah masker medis yang bisa digunakan saat pandemi. Masker terdiri dari 3 lapisan (3 ply). Lapisan paling dalam harus terbuat dari bahan penyerap air seperti kapas dan bahan yang lebut lantaran bersentuhan langsung dengan kulit. Kemudian lapisan tengah - yang berfungsi sebagai filter- terbuat dari bahan seperti polipropilena non-anyaman. Sedangkan lapisan luar harus terbuat dari bahan yang tahan air seperti poliester.

Setelah kamu selesai melakukan sintesis selanjutnya kamu akan melakukan pemindaian menggunakan SEM untuk melihat bahan masker tersebut.

Jelaskan bagaimana tahapan persiapan sampel yang kamu lakukan agar pemindaian SEM dapat berhasil! (jelaskan minimal dalam 200 kata)

Jawab		

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 11

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 12 Software ImageJ

Kemampuan Dasar	Sub Kemampu	an Dasar
Mahasiswa dapat melakukan	1. Melalui informasi, dis	kusi, dan praktik,
analisis semi kuantitatif pada	mahasiswa dapat	menggunakan
image SEM menggunakan	software image-J unt	uk menganalisis
software ImageJ	image SEM secara ser	nikuantitatif.
	2. Melaui informasi, dis	kusi dan praktik,
	mahasiswa dapat men	yajikan tabel atau
	grafik distribusi ukt	ıran grain dari
	image SEM.	

Uraian Materi

A. Pengantar ImageJ

Image J merupakan program untuk memproses gambar yang dikembangkan oleh National Institutes of Healthdan Laboratory for Optical and Computational Instrumentation. Aplikasi ini bisa didownload secara gratis melalui https://imagej.nih.gov/ij/download.html.

Kelebihan utama Image J adalah dapat mengubah data kualitatif (seperti gambar) menjadi data kuantitatif yang bisa disajikan dalam bentuk grafik. Banyak sekali fitur-fitur yang dapat dilakukan dengan Image J.

Kegiatan pembelajaran kali ini akan memiliki perbedaan dengan kehgiatan pembelajaran sebelumnya. Pada kegiatan pembelajaran ini, mahasiswa akan difasilitasi untuk memahami teknik menggunakan software imageJ

B. Menginstal ImageJ

Ikuti link berikut atau scan kode QR disamping

https://www.youtube.com/watch?v=-EJz13OJ1wA



C. Bagaimana Menggunakan ImageJ dan Contoh

Dalam Bahasa indonesia (Part 1)

Ikuti link berikut atau scan kode QR disamping

 $https://www.youtube.com/watch?v=90IMK\\kMb6Yg$



Dalam Bahasa indonesia (Part 2)

Ikuti link berikut atau scan kode QR disamping

https://www.youtube.com/watch?v=DMLg CTDX6Hg



Dalam Bahasa inggrin

Ikuti link berikut atau scan kode QR disamping

https://www.youtube.com/watch?v=FiF wxoxOmNo

D. Penyajian data (membuat histogram dengan excel)

Ikuti link berikut atau scan kode QR disamping

https://www.youtube.com/watch?v=Dja P0lblUXE

Tugas 12

Buatlah analisis semikuantitatif dari 3 (tiga) image SEM berikut menggunakan software imageJ hingga ke dalam bentuk histogram.

software images image ke datam bentuk mstog	zi aiii.
Ikuti link berikut atau scan kode QR disamping https://ukiac- my.sharepoint.com/:f:/g/personal/ngia_mast a_uki_ac_id/ElYgT3IKPRJIuZkWPmPGTk	
YB95OGTytQCvhHUVmaaT7abQ?e=eXt0 iS	

Jawab	

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 12

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 13 Observasi SEM

	U	
Kemampuan Dasar	Sub Kemampuan Dasar	
Mahasiswa dapat meriview	Melalui pengamatan secara langsung ataupun	
SEM	secara daring, mahasiswa dapat membuat	
	resume observasi SEM	

Observasi SEM

Screen shoot image SEM pada setiap paper, kemudian pastekan pada kolom jawaban disamping.

Jawasan assamping.	
Ikuti link berikut atau scan kode QR	国际公路(6)国
disamping	
https://www.youtube.com/watch?v=HB	
vFCpRr8Gk&list=PLNX6KcLzwbNZ9	
c_u6x8srpFI4ly-CZh8I	
	是实现的国际政策等等 。

Resume Observasi SEM		

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 13

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Kegiatan Pembelajaran 14 Review Paper

0	y
Kemampuan Dasar	Sub Kemampuan Dasar
Mahasiswa dapat meriview	Mahasiswa dapat meriview paper tentang
paper tentang karakterisasi	karakterisasi mikrostruktur berdasarkan
mikrostruktur berdasarkan	image SEM
image SEM	

Review Paper

Screen shoot image SEM pada setiap paper, kemudian pastekan pada kolom inggering

jawaban disamping.	
Ikuti link berikut atau scan kode QR disamping https://ukiac-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/ngia_masta_uki_ac_id/ER3khwiLJwNGp3Yl TqFUR34BcjvUl7R7IXOSdl6cJEcDm Q?e=gzMkDB	

Judul Paper:		
Penulis:		
	Image SEM	
Sumber:		
Sumber.		
	DEVIEW DADED	
	REVIEW PAPER	

Umpan Balik

Setelah mengerjakan seluruh soal pada evaluasi formatif, periksalah jawabanmu dengan kunci jawaban yang telah disediakan dan hitung berapa butir soal yang kamu bisa jawab benar. Jika kamu dapat menjawab 80% soal dengan benar, maka kamu dianggap telah memenuhi ketuntasan dan menguasai materi dalam kegiatan pembelajaran ini. Namun jika belum mencapai, berarti kamu perlu mengulang mempelajari kegiatan pembelajaran ini dengan lebih baik.

Selamat kamu telah menyelesaikan kegiatan pembelajaran 14

REFERENSI

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.

Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.

Echlin, P. (2011). Handbook of sample preparation for scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer Science & Business Media.

Penutup

1. Rangkuman

- a. Nanomaterial adalah material yang memiliki dimensi panjang berskala nanometer (1-100 nm), sehingga seringkali disebut material nanoscale.
- b. Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah instrumen yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek sehingga menghasilkan citra (*image*) dari objek itu. Image yang paling sering dihasilkan oleh SEM ada du jenis, yaitu permukaan sampel dan pemetaan komposisi sampel.
- c. *Electron gun* adalah komponen SEM yang berperan sebagai penghasil berkas elektron. Bersama-sama dengan susunan lensa kondenser, *electron gun* juga berperan sebagai pengatur fokus berkas elektron.
- d. Ketika *electron probe* memasuki sampel, elektron akan mengalami interaksi berupa tumbukan dengan atom-atom penyusun sampel. Interaksi elektron-atom didalam sampel terjadi dalam 3 dimensi, oleh Everhart dijelaskan dalam model "*Electron Interaction Volume*"
- e. Sistem vakum rendah (LV atau VPSEM) digunakan utnutk memindai sampel non onduktif yang tidak di-*coating*, fungsinya untuk mengatasi permasalahn *charging*. Image yang dapat digunakan dalam analisis sampel adalah image BSE saja.
- f. Perbesaran (magnification) pada sistem pemindaian dinyatakan dalam rasio dimensi panjang spesimen terhadap image yang dihasilkan.
- g. Kedalaman fokus mempengaruhi kedalaman pandangan (*depth of view*) dari image SEM yang berkontribusi dalam analisis topografi dan morfologi sampel
- h. Komponen SEM yang berperan dalam pengatur besar tegangan pemercepat adalah susunan lensa elektromagnetik.
- i. Analisis kualitatif dapat dilakukan dengan mengobservasi image SEM secara langsung. Analisis kualitatif dapat dilakukan pada image SE dan BSE, berupa topografi, morfologi, defek, poros dan mendeteksi patahan (fracture).
- j. Analisis semi kuantitatif dilakukan melalui *software* pengolah *image* yang akan menghasilkan data nominal. Dikatakan sebagai analisis semi kuantitatif karena dalam memperoleh data kuantitatif akan melibatkan beberapa parameter yang sifatnya subjektif.
- k. Pemindaian sampel menggunakan tegangan rendah digunakan untuk menghasilkan Image secondary electron yang baik. Sementara untuk pemindaian BSE digunakan tegangan pemercepat yang besar.

l. Software ImageJ dapat digunakan untuk melakukan analisis semikuantitatif dari image SEM

2. Daftar Istilah

- a. Scanning electron Microscope: Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah instrumen yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek sehingga menghasilkan citra (*image*) dari objek itu.
- b. Secondary Electron: elektron sekunder, berasal dari atom sampel, terhambur karena diberi enerfi dari elektron pemindai (electron probe)
- c. Backscattered electron: elektron primer (electron probe) yang mengalami hamburan balik.
- d. Low vacum: Vakum rendah, keadaan yang biasanya digunakan untuk memindai sampel nonkonduktif
- e. Low voltage : pemindaian dengan tegangan pemercepat rendah , keadaan yang biasanya digunakan untuk memindai sampel nonkonduktif

3. Referensi

- Clarke, A., Eberhardt, C., & Eberhardt, C. N. (2002). *Microscopy techniques for materials science*. Woodhead Publishing.
- Egerton, R. F. (2005). Physical principles of electron microscopy (Vol. 56). New York: Springer.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. Springer.
- Masta, N., Triyono, D., & Laysandra, H. (2017, July). Electrical properties Sr2FeTiO6 double perovskite material synthesized by sol-gel method. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1862, No. 1, p. 030036). AIP Publishing LLC.
- Masta, N., Rafsanjani, R.A., Triyono, D. (2019). Structural, optical, and room temperature dielectric properties of La1-xAxFeO3 (A= Mg, Sr, and Ba) perovskite nanomaterials.(Vol. 4) Journal Of Physics: Conference Series, Hal 044067. IOP Publishing.
- http://labs.csb.utoronto.ca/hong/HITACHI/SU3500%20Easy%20Operation%20 Guide%203rd%20Edt%20Feb_2014.pdf
- http://material-sciences.blogspot.com/2010/03/sekilas-tentang-nanomaterial-dan.html
- http://web.pdx.edu/~pmoeck/phy381/Topic3B-SEM-Total.pdf
- http://www.bbk.go.id/index.php/berita/view/119/Uniknya-Nanomaterial
- http://www.physics.nus.edu.sg/~phygaoxy/8SEMSTMetc.ppt
- http://www.polymer.hacettepe.edu.tr/webim/msen/undergraduate/NNT602/SEM _TEM.ppt

https://nanohub.org/resources/25495/download/Nano_Characterization_Lecture 4.pptx

https://www.jeol.co.jp/en/applications/pdf/sm/sem_atoz_all.pdf

Tentang Penulis



Ngia Masta, dilahirkan di Pontianak (1990), adalah Dosen di Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Kristen Indonesia. Menulis dan mengajar adalah passion- nya. Penulis memperoleh gelar Sarjana Pendidikan di Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Tanjungpura (2015) dan Magister Sains di bidang Fisika Murni dan terapan peminatan

Condensed Matter Physics di Universitas Indonesia (2018). Penulis saat ini juga mengajar mata kuliah Fisika Modern dan Fisika Terapan Material. Saat ini menjabat sebagai Tim Penjamin Mutu Program Studi Pendidika Fisika. Buku ajar Metode Scanning Electron Microscope (2020) adalah buku pertama yang ditulis olehnya.