

## Pengaruh Tegangan Elektron Sem Tipe Coxem Em-30ax<sup>n</sup> Terhadap Analisis Komposisi Unsur Permukaan Sampel *Stainless Steel SS136*

La Boi<sup>1</sup>, Muhammad Arohman<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> UPA Laboratorium Terpadu, Universitas Halu Oleo, Jl.H.E.A. Mokodompit, Anduonohu Kota Kendari  
 E-mail: [scubacd44@gmail.com](mailto:scubacd44@gmail.com)

\* Corresponding Author

 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i3.5530>

### ARTICLE INFO

#### Article history

Received: 15 Februari 2026

Revised: 19 Februari 2026

Accepted: 23 Februari 2026

#### Kata Kunci

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, X-ray Fluorescence, Scanning Electron Microscope, Komposisi unsur, SS136

#### Keywords

Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, X-ray Fluorescence, Scanning Electron Microscope, Elemental Composition, SS136



### ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi akurasi dan presisi pengukuran komposisi unsur menggunakan teknik *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) pada variasi tegangan elektron (15–20 kV) dalam *Scanning Electron Microscope* (SEM), dengan menjadikan hasil *X-ray Fluorescence* (XRF) sebagai acuan pembandingan. Sampel SS136 dianalisis untuk mengetahui pengaruh perubahan tegangan terhadap performa EDS, baik dari segi deviasi antar titik pengukuran maupun kesesuaiannya dengan data XRF. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan tegangan elektron menghasilkan perbaikan signifikansi dalam resolusi morfologi serta kualitas data EDS. Tegangan 20 kV memberikan hasil EDS yang paling mendekati nilai XRF, dengan standar deviasi antar titik paling kecil (Fe: 0,20%). Sebaliknya, tegangan 15 kV menunjukkan deviasi yang tinggi dan akurasi lebih rendah, sehingga kurang ideal untuk karakterisasi kuantitatif material logam. Temuan ini sejalan dengan teori interaksi elektron dalam SEM, dimana tegangan tinggi meningkatkan efektifitas, memperkuat sinyal karakteristik, dan mengurangi aberasi. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan tegangan tinggi, khususnya 20 kV, direkomendasikan untuk analisis EDS berbasis SEM pada material konduktif seperti baja tahan karat. Selain itu, pendekatan multi-teknik menggunakan kombinasi XRF dan EDS terbukti efektif untuk validasi silang hasil analisis, yang penting dalam riset dan kontrol mutu material teknik.

This study aims to evaluate the accuracy and precision of elemental composition measurements using Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) techniques at varying electron voltages (15–20 kV) in a Scanning Electron Microscope (SEM), using X-ray Fluorescence (XRF) results as a reference for comparison. SS136 samples were analyzed to determine the effect of voltage changes on EDS performance, both in terms of deviation between measurement points and its agreement with XRF data. The results showed that increasing electron voltage resulted in significant improvements in morphological resolution and EDS data quality. A voltage of 20 kV provided EDS results closest to the XRF values, with the smallest standard deviation between points (Fe: 0.20%). In contrast, a voltage of 15 kV showed high deviation and lower accuracy, making it less ideal for quantitative characterization of metallic materials. These findings are in line with the theory of electron interaction in SEM, where high voltage increases effectiveness, strengthens characteristic signals, and reduces aberrations. It can be concluded that the use of high voltage, especially 20 kV, is recommended for SEM-based EDS analysis of conductive materials such as stainless steel. In addition, a multi-technique approach using a combination of XRF and EDS has proven effective for cross-validation of analytical results, which is important in research and quality control of engineering materials.



This is an open access article under the CC–BY–SA license.

**How to Cite:** La Boi et al (2026). Pengaruh Tegangan Elektron Sem Tipe Coxem Em-30ax<sup>n</sup> Terhadap Analisis Komposisi Unsur Permukaan Sampel *Stainless Steel SS136* <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i3.5530>.

## PENDAHULUAN

Dewasa ini teknologi karakterisasi material semakin berkembang, terkhusus pada topik mikroskopik dan sub- mikroskopik, telah berubah menjadi aspek yang penting baik dalam penelitian ilmiah maupun aplikasi industri. Satu diantara instrumen yang sangat banyak dimanfaatkan untuk menganalisis morfologi dan komposisi dari unsur suatu material Adalah *Scanning Electron Microscope* (SEM), yang umumnya dikombinasikan dengan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS). Metode ini memberikan proses pengamatan permukaan dan juga analisis unsur secara simultan dengan Tingkat presisi yang tinggi.

Secara konsep, berkas eletron memegang peranan yang sangat penting dalam proses analisis SEM-EDS dengan memperhitungkan volume interaksi antara tegangan elektron dan sampel. Tegangan ini mampu mempengaruhi penetrasi, efisiensi ekstasi sinar-X yang dihasilkan serta resolusi gambar. Kedalaman dan juga resolusi pembangkitan sinar-X sangat bergantung pada tegangan berkas electron, semakin besar tegangan mampu menjangkau wilayah yang lebih dalam, sedangkan tegangan yang lebih rendah memberikan sensitivitas permukaan yang lebih baik (Menurut Goldstein et al, 2003).

SEM-EDS tipe COXEM EM-30AX<sup>N</sup>, adalah salah satu model desktop yang relatif terjangkau dan mudah digunakan, menawarkan tegangan elektron yang dapat diatur dalam rentang 5–20 kV. Namun demikian, efektivitas variasi tegangan elektron dalam menghasilkan sinyal EDS yang akurat dan representatif masih menjadi topik diskusi, khususnya ketika berhadapan dengan berbagai jenis sampel seperti logam, keramik, atau material komposit. Akurasi analisis EDS sangat dipengaruhi oleh Tegangan dari elektron, sudut take-off, dan komposisi matriks, yang menentukan pembangkitan dan penyerapan sinar-X. (Newbury dan Ritchie, 2013).

Pada penerapannya, pemilihan besar tegangan yang tidak tepat mampu menyebabkan distorsi rasio unsur, eksitasi unsur bertegangan tinggi yang tidak diharapkan (*overvoltage*), atau bahkan hilangnya sinyal unsur ringan akibat eksitasi yang tidak mencukupi. Maka dari itu, pemahaman mengenai pengaruh variasi tegangan elektron terhadap kualitas dan kuantitas data SEM-EDS menjadi acuan yang sangat penting, terutama Ketika menggunakan SEM tipe COXEM yang umum digunakan saat ini pada laboratorium penelitian berskala kecil.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengujian SEM-EDS pada sampel dengan variasi tegangan elektron menggunakan SEM tipe COXEM, agar mampu mengidentifikasi hubungan antara pemilihan tegangan terhadap akurasi indentifikasi unsur pada sampel. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan wawasan praktis dan juga teoritia bagi pengguna dalam memberikan hasil yang lebih optimal pada analisis SEM-EDS.

## METODE

### **Bahan dan Peralatan**

Penelitian ini menggunakan bahan dan instrumen sebagai berikut:

1. Sampel Standar SS136, merupakan *Certified Reference Material (CRM)* dengan unsur yang telah diketahui, sehingga memungkinkan evaluasi akurasi pengukuran EDS secara tepat.
2. *X-ray Fluorescence (XRF)*, digunakan sebagai acuan komposisi unsur referensi.
3. *Scanning Electron Microscope (SEM)* tipe COXEM EM-30AX<sup>N</sup> yang dilengkapi dengan detektor *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)*.
4. Perangkat lunak analisis EDS COXEM, yang memiliki fitur kuantifikasi otomatis dan koreksi matriks (ZAF).

### **Preparasi Sampel**

Sampel standar SS136 dibersihkan menggunakan isopropil alkohol untuk memastikan tidak adanya kontaminan permukaan. Selanjutnya, sampel dilapisi dengan lapisan konduktif tipis menggunakan *sputtering* emas selama 60 detik untuk menghindari terjadinya *charging* selama pengamatan SEM.

### **Prosedur Pengukuran**

Pengukuran EDS dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Sampel dipasang pada *stage* SEM, kemudian mengatur fokus dan penyesuaian citra permukaan menggunakan detektor *Secondary Electron (SE)*.
2. Pemindaian dan pembacaan data EDS dilakukan pada empat variasi tegangan percepatan, yaitu 15, 16, 17, dan 20 kV.

3. Untuk setiap pengaturan tegangan:
  - a. Spektrum EDS dilakukan selama 2 menit.
  - b. Pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda di permukaan sampel untuk meminimalkan adanya bias lokasi
  - c. Area analisis dijaga tetap konstan.
4. Setiap spektrum EDS diekspor dan dikonversi menjadi data kuantitatif menggunakan metode koreksi ZAF.
5. Unsur-unsur utama yang terdeteksi dibandingkan dengan nilai pengujian XRF yang telah terdata pada referensi dari CRM sampel.

#### **Analisis Data**

- 1 Data kuantitatif hasil EDS dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif untuk menentukan persentase deviasi (%) terhadap nilai referensi pada setiap variasi tegangan.
- 2 Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara komposisi unsur dan tegangan percepatan.
- 3 Hasil EDS pada setiap tegangan dibandingkan untuk menentukan tegangan percepatan optimal yang menghasilkan nilai komposisi paling mendekati standar referensi.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Hasil**

##### **Pengukuran X-ray Fluorescence (XRF)**

Tabel 1. Pengukuran X-ray Fluorescence (XRF)

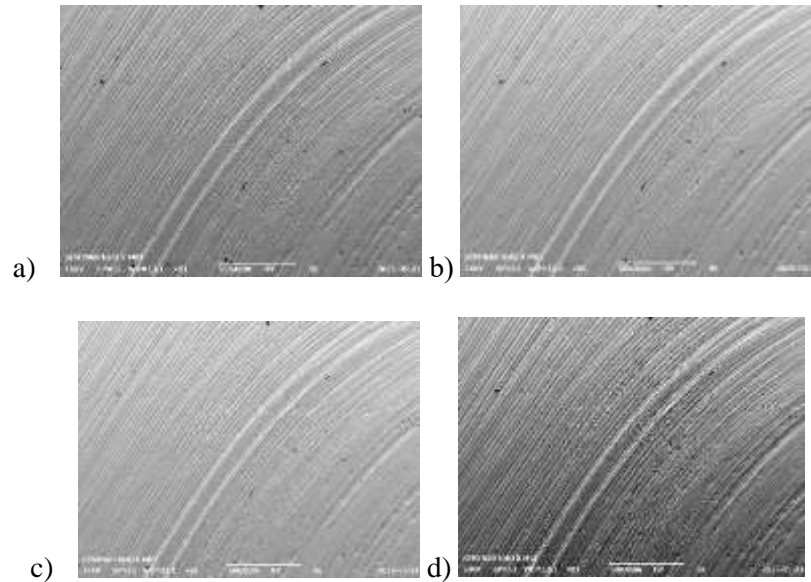
| Unsur | Konsentrasi (%) |       |       | St.Dev |
|-------|-----------------|-------|-------|--------|
| Fe    | 67,84           | 68,19 | 68,23 | 0,21   |
| Cr    | 16,73           | 16,59 | 16,59 | 0,08   |
| Ni    | 9,95            | 10,14 | 10,14 | 0,11   |
| Mo    | 2,03            | 2,08  | 2,07  | 0,03   |
| Mn    | 1,62            | 1,66  | 1,64  | 0,02   |
| Si    | 0,26            | 0,27  | 0,27  | 0,01   |
| Cu    | 0,47            | 0,47  | 0,48  | 0,01   |

Pengujian X-ray Fluorescence (XRF) pada sampel SS136 dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk memastikan konsistensi data komposisi unsur. Hasil pembacaan memberikan gambaran bahwa komposisi unsur relatif stabil pada setiap pembacaan. Dengan nilai simpangan baku yang rendah (<0,25%), yang menunjukkan presisi instrumen yang baik.

Unsur dominan yang terdapat pada sampel adalah Fe (Besi) dengan konsentrasi rata-rata sebesar 68,09%, diikuti oleh Cr (Kromium) sebesar 16,64% dan Ni (Nikel) sebesar 10,08%. Ketiga unsur tersebut merupakan unsur utama *stainless steel*. Unsur tambahan seperti Mo (Molibdenum) dan Mn (Mangan), dengan nilai berturut-turut sebesar 2,06% dan 1,64%, memberikan kontribusi pada peningkatan ketahanan terhadap korosi celah (*pitting corrosion*) serta memperbaiki kemampuan pengerjaan panas (*hot workability*) (Choudhary et al., 2017). Sementara itu, unsur minor seperti Si (Silikon) dan Cu (Tembaga) muncul dengan konsentrasi yang kecil, masing-masing sekitar 0,27% dan 0,47%. Nilai ini sesuai dengan komposisi khas baja tahan karat SS136, yang diketahui memiliki karakteristik serupa dengan AISI 316L (Luo et al, 2021). Berdasarkan data diatas menunjukkan pengujian XRF mampu dijadikan sebagai perbandingan hasil SEM-EDS.

##### **Pengaruh Tegangan elektron pada Morfologi Sampel**

Variasi Tegangan elektron pada SEM secara signifikan mampu memberikan efek terhadap kualitas gambar, kontras, dan juga tampilan morfologi yang diperoleh dari permukaan sampel. Dalam penelitian ini, pengamatan dilakukan pada empat variasi tegangan, yaitu 15 kV, 16 kV, 17 kV, dan 20 kV, untuk mengevaluasi perubahan morfologi permukaan sampel baja tahan karat SS136 yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Morfologi sampel SS136 (a) 15 kV, (b) 16 kV, (c) 17kV dan (d) 20kV

Pada tegangan 15 kV, morfologi sampel enunjukkan kontras topografi yang cukup baik, namun resolusi mikrostruktural relatif lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh tegangan elektron yang rendah sehingga membatasi volume interaksi dan kedalaman penetrasi elektron, Akibatnya, permukaan terlihat samar atau topografi atau kontur permukaan sampel belum tegas dan jelas (Goldstein et al., 2018).

Ketika tegangan dinaikkan menjadi 16–17 kV, terjadi peningkatan yang signifikan pada kemampuan elektron. morfologi yang dihasilkan menunjukkan resolusi yang lebih tinggi dan kontras struktur permukaan yang lebih baik, dengan visualisasi topografi dan juga kontur dar permukaan sampel terbentuk lebih tegas dan juga jelas (Reimer & Kohl, 2008).

Namun pada tegangan tertinggi, yaitu 20 kV, resolusi morfologi semakin meningkat dan struktur bawah permukaan mulai terlihat sebagian akibat penetrasi elektron yang lebih dalam. Pada kondisi ini kontur mikrostruktural teramti dengan baik tampak lebih halus atau sangat tegas tegas akibat membesarnya volume interaksi elektron yang terjadi. Rentang tegangan ini memberikan keseimbangan yang optimal antara kontras topografi, sehingga sangat sesuai untuk pengamatan morfologi sekaligus (Egerton, 2016).

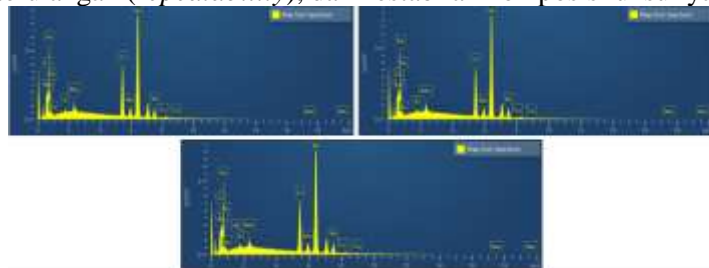
Secara keseluruhan, hasil pengamatan menunjukkan bahwa tegangan 20 kV memberikan kondisi pencitraan yang paling optimal untuk karakterisasi morfologi SS136, dengan kombinasi seimbang antara kontras, ketajaman detail, dan stabilitas sinyal EDS. Tegangan yang lebih rendah (15 kV) membatasi kedalaman informasi, sedangkan tegangan yang terlalu tinggi (20 kV) mampu memberikan detail permukaan halus akibat berlimpahnya elektron yang dihasilkan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Lee et al. (2020), yang melaporkan bahwa peningkatan tegangan elektron dalam analisis SEM dapat memberikan sinyal yang baik dan juga akurasi yang tinggi pada material logam.

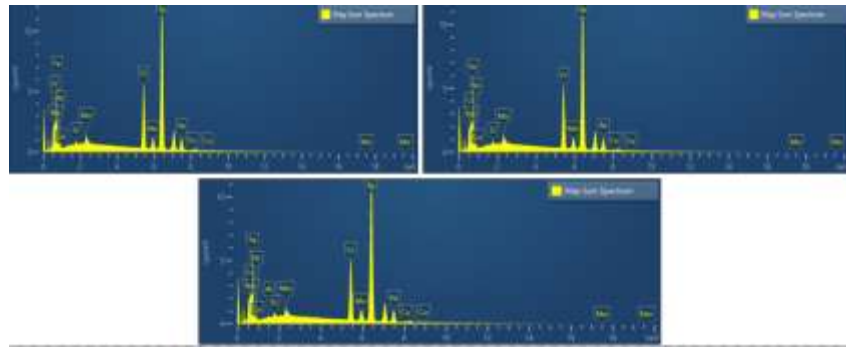
### **Pengaruh Tegangan elektron pada Pengukuran Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)**

#### **1. Pengukuran Kuantitatif**

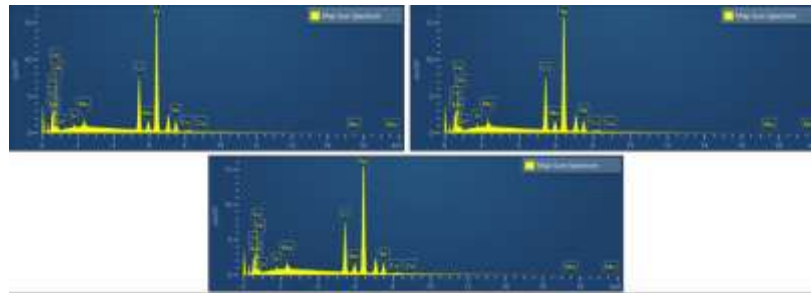
Analisis *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) terhadap sampel SS136 dilakukan pada empat variasi tegangan, yaitu 15 kV, 16 kV, 17 kV, dan 20 kV, dengan tiga kali pengulangan pengukuran untuk setiap kondisi. Tujuan analisis ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh tegangan elektron terhadap akurasi, keterulangan (*repeatability*), dan kestabilan komposisi unsur yang terdeteksi.



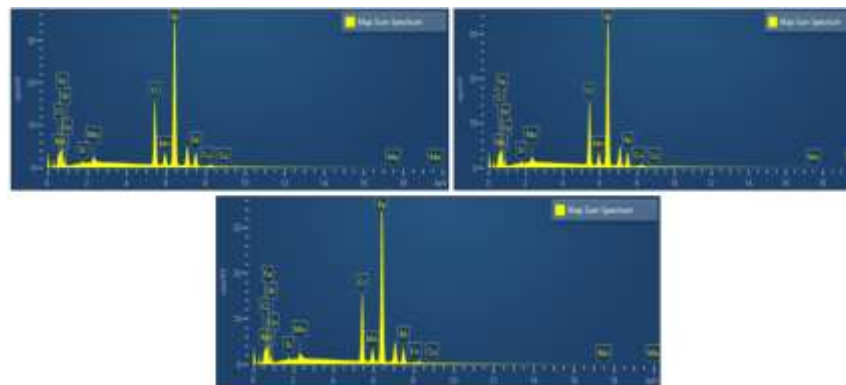
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. Presentase komposisi unsur sampel SS136 (a) 15 kV, (b) 16 kV, (c) 17kV dan (d) 20kV

Tabel 2. Presentase komposisi unsur sampel analisisEDS

| Unsur | 15 kV |       |       |         | 16 kV |       |       |         | 17kV  |       |       |         | 20 kV |       |       |         |
|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|
|       |       |       |       | St. Dev |       |       |       | St. Dev |       |       |       | St. Dev |       |       |       | St. Dev |
| Fe    | 68,07 | 67,48 | 67,55 | 0,32    | 67,89 | 67,74 | 67,44 | 0,23    | 66,07 | 67,86 | 67,6  | 0,97    | 67,46 | 67,86 | 67,69 | 0,2     |
| Cr    | 17,36 | 17,26 | 17,36 | 0,06    | 17,32 | 17,37 | 17,4  | 0,04    | 16,93 | 17,38 | 17,39 | 0,26    | 17,48 | 17,22 | 17,52 | 0,16    |
| Ni    | 9,92  | 9,86  | 9,95  | 0,05    | 9,82  | 9,85  | 9,97  | 0,08    | 9,62  | 9,99  | 10,03 | 0,21    | 9,86  | 9,96  | 9,7   | 0,13    |
| Mo    | 2,20  | 2,42  | 2,33  | 0,11    | 2,36  | 2,52  | 2,4   | 0,08    | 2,29  | 2,37  | 2,39  | 0,05    | 2,46  | 2,21  | 2,46  | 0,14    |
| Mn    | 1,9   | 1,82  | 1,64  | 0,13    | 1,74  | 1,67  | 1,62  | 0,06    | 1,56  | 1,66  | 1,7   | 0,07    | 1,72  | 1,71  | 1,66  | 0,03    |
| Si    | 0,45  | 0,37  | 0,38  | 0,04    | 0,44  | 0,38  | 0,46  | 0,04    | 0,4   | 0,41  | 0,45  | 0,03    | 0,48  | 0,44  | 0,48  | 0,02    |
| Cu    | 0,08  | 0,78  | 0,64  | 0,37    | 0,44  | 0,47  | 0,54  | 0,05    | 0,45  | 0,47  | 0,44  | 0,02    | 0,54  | 0,59  | 0,49  | 0,05    |

Pada seluruh variasi tegangan, unsur-unsur utama yang terdeteksi adalah Fe, Cr, Ni, Mo, dan Mn, sedangkan Si dan Cu teridentifikasi sebagai unsur minor. Konsistensi hasil antar tiga kali pengukuran pada setiap tegangan umumnya sangat baik, dengan nilai standar deviasi yang berada di bawah 0,25% untuk sebagian besar unsur, yang menunjukkan akurasi pengukuran yang baik.

Pada tegangan 15 kV, konsentrasi Fe yang terukur rata-rata sekitar 67,7%, Cr sekitar 17,3%, dan Ni sekitar 9,9%, dengan deviasi yang relatif kecil ( $\leq 0,3\%$ ). Namun, pada tegangan elektron yang relatif rendah ini, dalam pembacaan unsur berat seperti Mo dan Cu menunjukkan Standar deviasi yang sedikit lebih tinggi, masing-masing sebesar 0,11% dan 0,37%. Variasi ini disebabkan oleh efisiensi eksitasi kulit atom yang lebih dalam yang menurun pada tegangan elektron yang rendah, sehingga menghasilkan emisi sinar-X karakteristik yang lebih lemah (Goldstein et al., 2018).

Peningkatan tegangan percepatan menjadi 16 kV dengan tujuan meningkatkan kestabilan komposisi, khususnya untuk unsur Fe dan Cr, dari hasil pengukuran data yang diperoleh dengan deviasi yang menurun masing-masing menjadi sekitar 0,23% dan 0,04%, yang mengindikasikan kondisi eksitasi yang lebih optimal serta berkurangnya efek emisi sinar-X.

Pada tegangan 17 kV, data EDS menunjukkan perubahan yang tidak terlalu signifikan antara akurasi dan presisi dengan 16 kV. Standar deviasi unsur utama, yaitu Fe (0,97%), Cr (0,26%), dan Ni (0,21%),

Pada tegangan tertinggi, yaitu 20 kV, tren umum menunjukkan sedikit peningkatan variasi pada pengukuran Fe dan Mo, dengan deviasi masing-masing mencapai 0,2% dan 0,14%. Dari hasil yang didapatkan pada tegangan ini menunjukkan standar deviasi terendah yang menunjukkan kepresisian pengukuran sangat tinggi. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh dari berkas elektron, sehingga mampu mempertegas sinar-X karakteristik setiap unsur (Egerton, 2016).

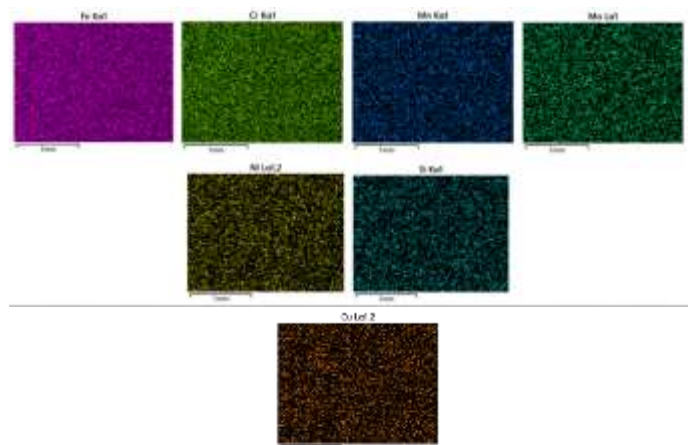
Secara keseluruhan, data EDS menunjukkan bahwa tegangan elektron memiliki pengaruh yang signifikan terhadap akurasi dan presisi kuantifikasi komposisi unsur. Tegangan 20 kV memberikan hasil yang paling stabil dan representatif, dengan keseimbangan antara eksitasi sinar-X karakteristik akibat tingginya intensitas elektron yang digunakan dalam pembacaan. Tegangan yang lebih rendah (15 kV) cenderung tidak mampu memaksimalkan emisi sinar-X dan menyebabkan *underestimation* unsur berat,

Hasil ini sejalan dengan temuan Lee et al. (2020) serta Newbury dan Ritchie (2013), yang menekankan bahwa optimasi tegangan elektron merupakan faktor kunci dalam memperoleh kuantifikasi EDS yang baik, karena parameter ini berperan terhadap sinar-X dan ketepatan model koreksi matriks seperti ZAF.

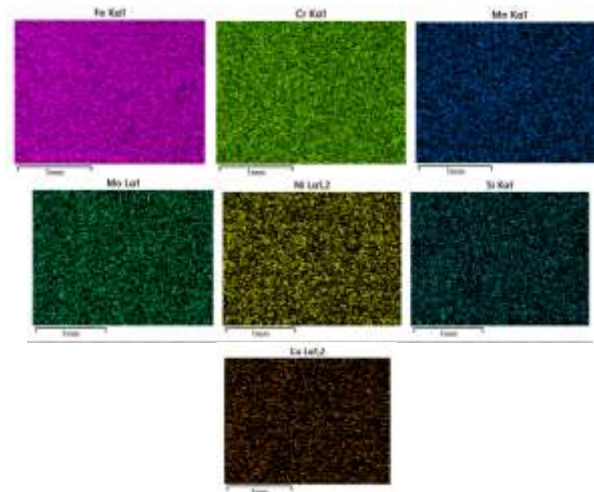
## 2. Pengukuran Kualitatif

Selain dari data kuantitatif, pemetaan distribusi unsur (elemental mapping) yang diperoleh dari analisis EDS memberikan representasi visual yang sangat informatif mengenai sebaran unsur pada permukaan sampel SS136. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa unsur-unsur utama Fe, Cr, Ni, dan Mo terdistribusi secara merata di seluruh area pengamatan, tanpa indikasi adanya akumulasi lokal (*hot spots*) maupun daerah dengan intensitas rendah yang mengindikasikan terjadinya deplesi unsur. Tingkat homogenitas yang tinggi ini menunjukkan bahwa proses preparasi dan pemolesan sampel berhasil menghasilkan permukaan yang seragam secara struktural, serta bahwa unsur-unsur terintegrasi dengan baik di dalam matriks logam.

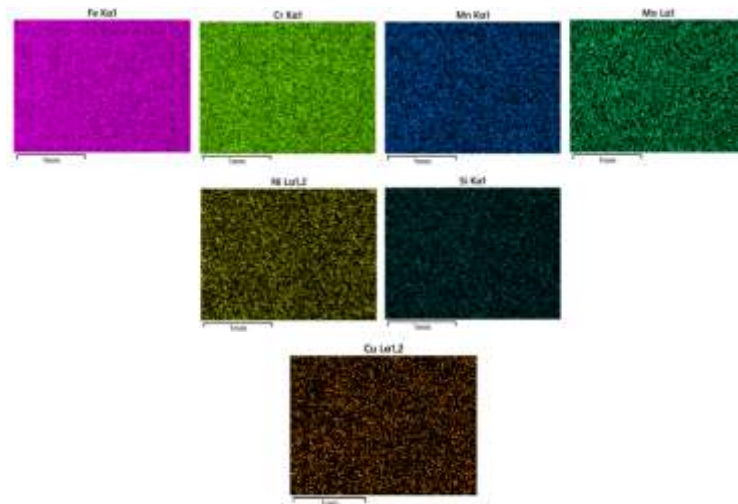
a.



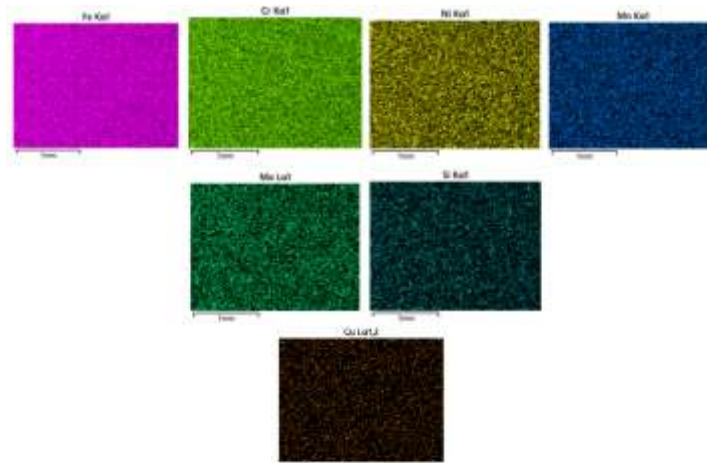
b.



c.



d.

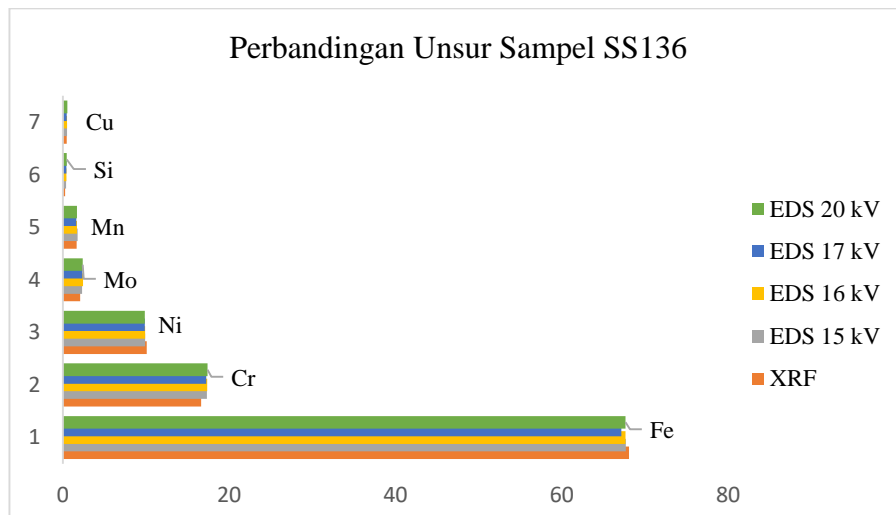


**Gambar 3.** Sebaran unsur SS136 (a) 15 kV, (b) 16 kV, (c) 17kV dan (d) 20kV

Pada citra pemetaan unsur, intensitas warna yang merepresentasikan masing-masing unsur tampak relatif konsisten di seluruh bidang pandang. Besi (Fe) sebagai unsur utama sampel menunjukkan distribusi yang merata dan mendominasi. Kromium (Cr) dan Nikel (Ni), juga memperlihatkan sebaran yang seragam tanpa adanya indikasi segregasi. Sementara itu, Molibdenum (Mo) meskipun hadir dalam jumlah yang lebih kecil, tetap terdistribusi secara merata, yang mengindikasikan bahwa unsur ini membentuk plot mappingnya masing-masing dengan taratur yang menunjukkan proses EDS bekerja secara optimum.

Homogenitas distribusi unsur yang teramati juga menegaskan bahwa teknik pemetaan EDS tidak hanya efektif untuk analisis komposisi secara kuantitatif, tetapi juga andal dalam menggambarkan distribusi spasial unsur. Parameter tegangan elektron yang dioptimalkan, (15–20 kV) yang efektifitas yang tepat. membuat sinar-X karakteristik dari setiap unsur dapat terukur dengan baik dan gangguan (*noise*) yang minim, sehingga menghasilkan representasi yang berkualitas tinggi (Yin et al., 2019). Pada *Microscopy and Microanalysis* menegaskan bahwa peta EDS yang memiliki resolusi baik dicirikan oleh distribusi warna yang seragam tanpa variasi intensitas yang signifikan, yang mencerminkan kestabilan komposisi dan ketiadaan segregasi fasa. (Zhang et al., 2021)

**Diskusi**



Gambar 4. Perbandingan Unsur Sampel SS136

Berdasarkan analisis yang disajikan pada Gambar 4. di atas, komposisi unsur yang diperoleh dari pengukuran *X-ray Fluorescence (XRF)* dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)* pada berbagai variasi tegangan percepatan (15, 16, 17, dan 20 kV) menunjukkan tren konsisten yang ditandai dengan adanya unsur mayor dan unsur minor yang sepadan.

Unsur **Fe (Besi)** merupakan komponen dominan dalam sampel SS136, dengan konsentrasi rata-rata sekitar **67–68%** pada seluruh metode analisis. Nilai yang diperoleh dari XRF maupun EDS menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi, dengan deviasi kurang dari **1%**, yang mengindikasikan bahwa kedua teknik tersebut memberikan hasil yang sebanding untuk unsur mayor dengan intensitas sinyal sinar-X yang kuat. Stabilitas nilai Fe ini juga menegaskan bahwa analisis EDS pada rentang tegangan **15–20 kV** cukup akurat dalam merepresentasikan komposisi matriks utama material.

Unsur **Cr (Kromium)** dan **Ni (Nikel)** juga menunjukkan hasil yang relatif stabil pada seluruh variasi tegangan. Konsentrasi kromium berada pada kisaran **16,9–17,5%**, sedangkan nikel berkisar antara **9,6–10%**. Konsistensi ini menunjukkan bahwa peningkatan tegangan percepatan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kuantifikasi logam transisi yang memiliki puncak sinar-X kuat. Namun demikian, pada tegangan **17 kV**, hasil EDS menunjukkan kesesuaian paling dekat dengan data XRF untuk unsur Cr dan Ni, yang mengindikasikan bahwa tegangan ini merupakan kondisi analisis yang paling optimal dalam mencapai akurasi kuantifikasi unsur paduan.

Sementara itu, unsur-unsur minor seperti **Mo (Molibdenum)**, **Mn (Mangan)**, **Si (Silikon)**, dan **Cu (Tembaga)** menunjukkan fluktuasi yang sedikit lebih besar antar metode, khususnya pada tegangan rendah (**15 kV**). Variasi ini disebabkan oleh keterbatasan tegangan elektron yang memengaruhi efektifitas serta efisiensi eksitasi sinar-X dari unsur jejak. Pada tegangan yang lebih tinggi (**20 kV**), nilai Mo dan Si menunjukkan sedikit peningkatan, yang menandakan meningkatnya sensitivitas terhadap unsur berat akibat penetrasi elektron yang lebih dalam. Sehingga, pada kondisi ini volume interaksi juga cenderung membesar, sehingga berpotensi meningkatkan resolusi spasial dalam pendeteksian unsur minor.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan menunjukkan bahwa baik XRF maupun EDS pada tegangan **20 kV** memberikan komposisi unsur yang paling seimbang dan konsisten untuk seluruh unsur utama. Temuan ini menegaskan bahwa EDS pada tegangan 20 kV dapat dianggap sebagai kondisi

optimal untuk analisis komposisi Sampe SS136, karena memberikan selisih terkecil dengan data acuan antara akurasi, resolusi, dan stabilitas elektron yang baik.

### KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa teknik XRF dan EDS menghasilkan data komposisi unsur yang konsisten untuk sampel SS136, khususnya pada unsur utama seperti Fe, Cr, dan Ni. Akurasi analisis EDS sangat dipengaruhi oleh tegangan elektron, di mana kondisi yang optimum menghasilkan nilai komposisi yang paling mendekati data referensi XRF. Variasi pada unsur minor seperti Mo, Mn, Si, dan Cu disebabkan oleh perbedaan sensitivitas eksitasi dan distribusi atom dalam matriks logam. Secara keseluruhan, EDS menunjukkan tingkat keandalan yang sebanding dengan XRF apabila dilakukan pada kondisi operasional yang tepat.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Unit Penunjang Laboratorium Terpadu Universitas Halu Oleo (UHO) atas bantuan dan dukungan yang diberikan, serta atas penyediaan data yang digunakan dalam penelitian ini.

### REFERENSI

- Egerton, R. F. (2005). *Physical Principles of Electron Microscopy: An Introduction to TEM, SEM, and AEM*. Springer.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Joy, D. C., Lyman, C. E., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L., & Michael, J. R. (2017). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (4th ed.). Springer.
- Newbury, D. E. (2001). *Misconceptions in electron probe X-ray microanalysis (EPMA/EDS)*. *Microscopy and Microanalysis*, 7(6), 561–570.
- Newbury, D. E., & Ritchie, N. W. M. (2013). *Is Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray Spectrometry (SEM/EDS) quantitative?* *Scanning*, 35(3), 141–168. <https://doi.org/10.1002/sca.21041>
- Newbury, D. E., & Ritchie, N. W. M. (2015). *Performing elemental microanalysis with high accuracy and high precision by SEM/SDD-EDS*. *Journal of Materials Science*, 50(2), 493–518. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8685-2>
- Newbury, D. E. (2019). *Electron-Excited X-ray Microanalysis by Energy Dispersive Spectrometry at 50: Analytical Accuracy, Precision, Trace Sensitivity, and Quantitative Compositional Mapping*. *Microscopy and Microanalysis*. <https://doi.org/10.1017/S143192761901482X>
- Reimer, L. (1998). *Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis* (2nd ed.). Springer.
- Van Grieken, R., & Markowicz, A. (2002). *Handbook of X-Ray Spectrometry: Methods and Techniques* (2nd ed.). Marcel Dekker.