

## PENGARUH WAKTU PENYIMPANAN SAMPEL TERHADAP HASIL ANALISA NIKEL (Ni) PADA BIJIH LATERIT MENGGUNAKAN ALAT *XRF*

Azhari Gustan<sup>1\*</sup>, A. Sry Iryani<sup>2</sup>, Faisal Riza Basalamah<sup>3</sup>  
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Fajar, Makassar, Indonesia

\*Corresponding author

\*[Email: gustanazhari@gmail.com](mailto:gustanazhari@gmail.com)

---

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu penyimpanan sampel terhadap hasil pembacaan kadar nikel (Ni) menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF), menganalisis perubahan kadar air selama penyimpanan, serta menilai stabilitas hasil pengukuran akibat keterlambatan waktu analisis, serta mengevaluasi tingkat akurasi analisis menggunakan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Penelitian dilakukan dengan variasi waktu penyimpanan sampel bijih nikel laterit selama 0 minggu, 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, 4 minggu, dan 5 minggu. Sampel yang telah dipreparasi dianalisis menggunakan XRF tanpa dilakukan pemanasan ulang untuk mempertahankan kondisi alami setelah penyimpanan. Parameter yang diamati meliputi kadar nikel (Ni), kadar air, dan deviasi hasil analisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar nikel mengalami penurunan dari 1,88% pada minggu ke-0 menjadi 1,75% pada minggu ke-4. Sementara itu, kadar air meningkat dari 0,30% menjadi 1,25% seiring bertambahnya waktu penyimpanan. Peningkatan kadar air ini dipengaruhi oleh sifat higroskopis bijih laterit yang menyerap kelembapan dari lingkungan. Selain itu, nilai deviasi hasil analisis meningkat dari 0,00% menjadi 0,13%, yang menunjukkan adanya penurunan akurasi analisis *XRF* akibat perubahan kondisi fisik dan matriks sampel. Berdasarkan hasil penelitian, waktu penyimpanan optimum yang direkomendasikan adalah maksimal 1 minggu, karena pada kondisi tersebut kadar air masih berada di bawah batas ideal (<1%) dan deviasi hasil analisis relatif kecil sehingga hasil masih representatif.

**Kata kunci: Deviasi, Kadar Nikel, Kadar Air, Waktu Penyimpanan, XRF.**

### Abstract

*This study aims to evaluate the effect of sample storage time on nickel (Ni) content readings using the X-Ray Fluorescence (XRF) method, analyze changes in water content during storage, and assess the stability of measurement results due to delays in analysis time, and evaluate the level of analysis accuracy using the X-Ray Fluorescence (XRF) method. The study was conducted with variations in storage time of laterite nickel ore samples for 0 weeks, 1 week, 2 weeks, 3 weeks, 4 weeks and 5 weeks. The prepared samples were analyzed using XRF without reheating to maintain natural conditions after storage. The parameters observed included nickel (Ni) content, water content, and deviation of analysis results. The results showed that the nickel content decreased from 1.88% in week 0 to 1.75% in week 4. Meanwhile, the water content increased from 0.30% to 1.25% as storage time increased. This increase in water content was influenced by the hygroscopic nature of laterite ore which absorbs moisture from the environment. In addition, the deviation value of the analysis results increased from 0.00% to 0.13%, which indicates a decrease in the accuracy of XRF analysis due to changes in the physical condition and matrix of the sample. Based on the research results, the recommended optimum storage time is a maximum of 1 week, because under these conditions the water content is still below the ideal limit (<1%) and the deviation of the analysis results is relatively small so that the results are still representative.*

**Keywords : Deviation, Nickel Content, Moisture Content, Storage Time, XRF.**

---

## Pendahuluan

Nikel merupakan salah satu logam strategis yang banyak dimanfaatkan dalam industri baja tahan karat dan material baterai kendaraan listrik. Indonesia sebagai produsen utama bijih nikel laterit memerlukan metode analisis kadar nikel yang cepat, akurat, dan representatif untuk mendukung kegiatan eksplorasi maupun kontrol kualitas di laboratorium tambang. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk analisis unsur logam dalam bijih adalah X-Ray Fluorescence (XRF). Metode ini memiliki keunggulan berupa proses analisis yang relatif cepat, tidak merusak sampel, serta mampu menganalisis berbagai unsur secara simultan dengan tingkat presisi yang cukup tinggi. Oleh karena itu, XRF banyak digunakan dalam laboratorium pertambangan untuk kegiatan kontrol kualitas bijih, evaluasi cadangan mineral, serta pemantauan kadar logam pada berbagai tahap pengolahan mineral.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa perubahan kadar air selama penyimpanan dapat mempengaruhi hasil analisis XRF melalui efek matriks (*matrix effect*) yang menyebabkan perubahan intensitas fluoresensi unsur yang terdeteksi. Kumar et al. (2023) menyatakan bahwa peningkatan kelembaban selama penyimpanan dapat mengubah stabilitas fisik sampel mineral, sedangkan Lestari et al. (2023) melaporkan bahwa kadar air berpengaruh terhadap ketelitian analisis unsur menggunakan XRF. Selain kadar air, kondisi penyimpanan sampel juga dapat mempengaruhi hasil analisis XRF melalui perubahan matriks sampel (*matrix effect*). Reidinger et al. (2022) menjelaskan bahwa perubahan komposisi fisik sampel, termasuk kelembaban dan distribusi partikel, dapat menyebabkan attenuasi sinar-X sehingga mempengaruhi intensitas fluoresensi unsur yang terdeteksi. Silva et al. (2023) juga melaporkan bahwa *matrix effect* merupakan salah satu sumber utama variasi hasil analisis pada sampel geologi yang memiliki karakteristik fisik berbeda. Sementara itu, Wang et al. (2022) menunjukkan bahwa penyimpanan sampel mineral dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan perubahan kondisi permukaan mineral yang berpotensi mempengaruhi reproduktibilitas hasil analisis geokimia., terutama pada bijih nikel laterit. Padahal dalam praktik laboratorium, faktor waktu penyimpanan sering terjadi dan berpotensi menjadi sumber variasi data analisis yang kurang diperhatikan.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh waktu penyimpanan sampel terhadap hasil analisa kadar nikel (Ni) pada bijih laterit menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman mengenai hubungan antara lama penyimpanan sampel dengan perubahan hasil analisis kadar nikel, Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini tidak bertujuan menentukan perubahan kadar nikel secara kimiawi, melainkan mengevaluasi pengaruh waktu penyimpanan terhadap hasil pembacaan kadar nikel menggunakan metode XRF.

### **Metode**

Penelitian ini dilakukan di PT. Halmahera Sukses Mineral (HSM) sejak tanggal persetujuan usulan judul oleh Program Studi Teknik Kimia Universitas Fajair. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu penyimpanan terhadap hasil pembacaan kadar nikel (Ni) menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF), menganalisis perubahan kadar air selama penyimpanan, serta menilai stabilitas hasil pengukuran akibat keterlambatan waktu analisis

### **Alat dan Bahan**

#### 1. Alat

Alat yang digunakan meliputi Timbangan Analitik, Hotplate Stirrer, Gelas Beaker, Gelas Ukur, Pengaduk, Cetakan Film (Loyang Datar), Oven, Mikrometer, dan *Universal Testing Machine*.

#### 2. Bahan

Bahan yang digunakan ialah sampel bijih nikel, kertas label atau plastik sampel, dan *aquadest*.

### **Variable Penelitian**

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah 1. Waktu penyimpanan sampel (hari ke-0, 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, 4 minggu, dan 5 minggu). Variabel terikat meliputi kadar nikel (Ni) hasil analisis XRF, dan perubahan kadar air sampel .

## **Pelaksanaan Penelitian**

### **1. Prosedur Preparasi Sampel**

Sampel bijih nikel laterit terlebih dahulu dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $\pm 105^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air bebas yang terkandung dalam sampel. Setelah proses pengeringan, sampel dihancurkan dan digerus hingga menjadi halus, kemudian diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Sampel yang telah lolos ayakan selanjutnya dihomogenkan agar distribusi partikel merata. Setelah itu, sampel ditimbang sebanyak  $\pm 5$  gram untuk setiap variasi waktu penyimpanan, kemudian diberi label sesuai dengan masing-masing variasi waktu penyimpanan sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

### **2. Variasi Waktu Penyimpanan**

Sampel dibagi ke dalam beberapa kelompok berdasarkan variasi waktu penyimpanan, yaitu hari ke-0, 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, 4 minggu, dan 5 minggu. Sampel pada hari ke-0 langsung dianalisis menggunakan X-ray Fluorescence (XRF) sebagai data kontrol awal. Sementara itu, sampel lainnya disimpan di dalam wadah tertutup yang bersih dan kering, kemudian ditempatkan pada suhu ruang sekitar  $\pm 28\text{--}30^{\circ}\text{C}$ . Selama penyimpanan, sampel ditempatkan pada ruangan laboratorium dengan kelembaban relatif (RH) berkisar 70–85%. Sampel disimpan dalam wadah plastik tertutup tanpa penggunaan desikator untuk mensimulasikan kondisi penyimpanan yang umum diterapkan pada laboratorium pertambangan. Kondisi tersebut dipilih untuk mensimulasikan praktik penyimpanan sampel yang umum dilakukan pada laboratorium pertambangan

### **3. Pengujian Kadar Nikel dengan XRF**

Instrumen *X-ray Fluorescence* (XRF) terlebih dahulu dikalibrasi menggunakan *Certified Reference Material* (CRM) sebelum pengujian dilakukan. Setelah itu, sample cup yang berisi sampel powder ditempatkan ke dalam chamber XRF dengan posisi yang stabil. Parameter pengujian seperti tegangan, arus, dan waktu eksitasi kemudian diatur sesuai standar operasional yang berlaku. Analisis dilakukan tanpa proses pemadatan sehingga sinar-X dapat langsung berinteraksi

dengan permukaan sampel powder. Selanjutnya, intensitas fluoresensi unsur nikel (Ni) dibaca dan dicatat. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali (*triplo*) pada setiap sampel untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, kemudian dihitung nilai rata-rata dan standar deviasi dari hasil pengujian tersebut.

#### 4. Pengujian Kadar Air

Sampel terlebih dahulu ditimbang sebelum proses pengeringan untuk memperoleh berat awal. Selanjutnya, sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Setelah proses pengeringan selesai, sampel ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir. Kadar air kemudian dihitung berdasarkan selisih berat sampel sebelum dan sesudah proses pengeringan. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa nilai rata-rata dan standar deviasi. Hubungan antara waktu penyimpanan dengan kadar nikel, kadar air, dan deviasi hasil pengukuran dianalisis menggunakan regresi linier sederhana untuk mengetahui kecenderungan perubahan selama penyimpanan.

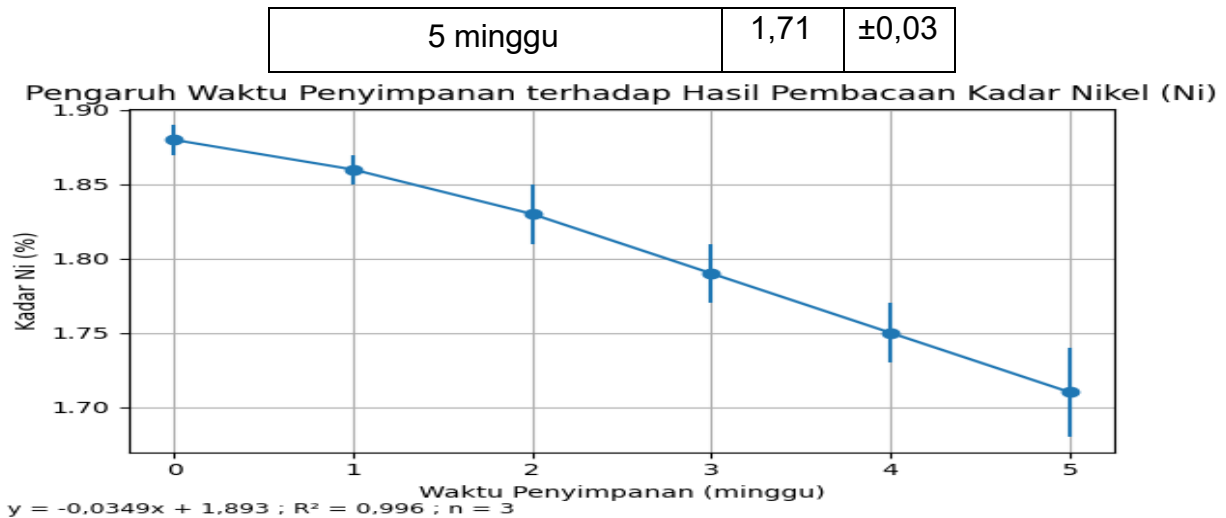
## Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruh waktu penyimpanan terhadap hasil pembacaan kadar nikel (Ni) menggunakan XR, menganalisis perubahan karakteristik sifat fisika dan kimia berupa kadar air selama proses penyimpanan material sebelum pengujian, serta mengetahui tingkat akurasi hasil pengujian akibat adanya perlambatan waktu pengujian material menggunakan metode *X-ray Fluorescence* (XRF).

### 1. Hasil Analisis Kadar Nikel (Ni) (XRF)

Tabel 1 Hasil Analisis Kadar Nikel (Ni) (XRF)

Waktu	Ni (%)	SD
0 minggu	1,88	±0,01
1 minggu	1,86	±0,01
2 minggu	1,83	±0,02
3 minggu	1,79	±0,02
4 minggu	1,75	±0,02



Gambar 1 Pengaruh Waktu Penyimpanan terhadap Hasil Pembacaan Kadar Nikel (Ni)

Berdasarkan hasil grafik diatas menggunakan XRF, kadar nikel (Ni) pada sampel menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan. Pada minggu ke-0, kadar nikel berada pada nilai tertinggi yaitu sebesar 1,88%, kemudian mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai 1,71% pada minggu ke-5. Penentuan waktu optimum penyimpanan menunjukkan bahwa waktu terbaik untuk memperoleh kadar nikel yang paling representatif adalah pada kondisi awal hingga minggu pertama. Penurunan kadar nikel yang terjadi bukan disebabkan oleh hilangnya unsur nikel secara kimiawi, melainkan akibat perubahan kondisi fisik dan matriks sampel selama penyimpanan yang mempengaruhi hasil pembacaan alat XRF.

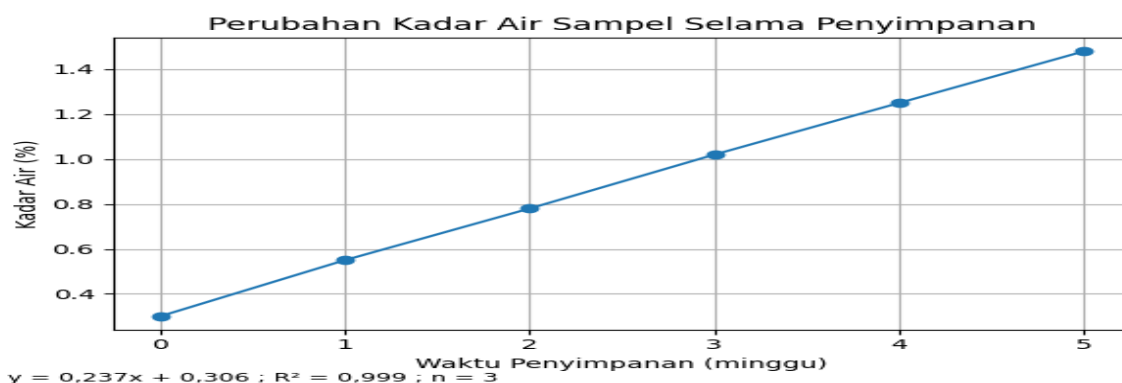
Beberapa faktor utama yang menyebabkan penurunan kadar nikel terukur ini antara lain adalah peningkatan kadar air, perubahan densitas sampel, serta penurunan tingkat homogenitas. Berdasarkan teori matrix effect yang dilaporkan dalam berbagai literatur, peningkatan kadar air diduga dapat menyebabkan penyerapan dan hamburan sebagian energi sinar-X sehingga intensitas fluoresensi unsur nikel yang terdeteksi menjadi lebih rendah. Namun penelitian ini tidak melakukan pengukuran langsung terhadap intensitas sinyal fluoresensi sehingga hubungan tersebut masih bersifat interpretatif, sehingga intensitas fluoresensi yang dihasilkan oleh unsur nikel menjadi lebih rendah. Selain itu, perubahan densitas

akibat penyerapan kelembaban dapat mengganggu interaksi antara sinar-X dengan partikel sampel, sehingga sinyal yang diterima detektor tidak maksimal. Faktor lain yang turut berpengaruh adalah terjadinya segregasi partikel selama penyimpanan yang menyebabkan distribusi unsur dalam sampel menjadi tidak merata. Dengan demikian, semakin lama waktu penyimpanan, maka semakin besar kemungkinan hasil analisis mengalami penurunan dan tidak lagi merepresentasikan kondisi awal sampel secara akurat.

Secara lebih mendalam, kondisi ini juga menunjukkan bahwa hasil analisis XRF sangat sensitif terhadap perubahan kecil dalam matriks sampel, sehingga stabilitas fisik sampel menjadi faktor krusial dalam menjaga konsistensi data. Dalam praktiknya, keterlambatan analisis sering dianggap tidak terlalu berpengaruh, namun hasil penelitian ini justru membuktikan sebaliknya, di mana selisih waktu beberapa minggu saja sudah mampu menghasilkan perbedaan nilai yang signifikan. Oleh karena itu, pengendalian waktu antara preparasi dan analisis menjadi aspek penting yang tidak dapat diabaikan, terutama dalam analisis kadar logam yang membutuhkan tingkat presisi tinggi. Hal ini sekaligus memperkuat bahwa hasil terbaik bukan hanya ditentukan oleh alat, tetapi juga oleh penanganan sampel yang tepat.

## 2. Perubahan Kadar Air Sampel (Ni)

Perubahan kadar air sebagai parameter utama yang merepresentasikan kondisi kelembaban sampel selama penyimpanan dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 2 Perubahan Kadai Air Sampel Selama Penyimpanan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air dalam sampel mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan. Pada minggu ke-0, kadar air tercatat sebesar 0,30% dan meningkat secara bertahap hingga mencapai 1,48% pada minggu ke-5. Peningkatan kadar air ini menjadi indikator utama bahwa telah terjadi perubahan kondisi sampel selama proses penyimpanan. Sifat bijih laterit yang higroskopis menyebabkan sampel mudah menyerap uap air dari lingkungan, terutama ketika disimpan dalam kondisi terbuka atau pada kelembaban udara yang tinggi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi peningkatan kadar air ini meliputi kelembaban lingkungan, suhu penyimpanan, lama waktu penyimpanan, serta ukuran partikel sampel. Partikel yang lebih halus memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga mempercepat proses adsorpsi uap air dari udara. Selain itu, Semakin lama waktu penyimpanan, semakin besar perubahan hasil pengukuran relatif terhadap kondisi awal. Peningkatan kadar air ini memberikan dampak langsung terhadap hasil analisis XRF, karena air dapat menyerap dan menghamburkan sinar-X sehingga mengurangi energi yang diterima oleh detektor. Akibatnya, intensitas sinyal yang dihasilkan menjadi lebih rendah dan dapat menyebabkan hasil analisis mengalami penyimpangan. Oleh karena itu, kadar air yang tinggi menjadi salah satu faktor utama yang menurunkan kualitas dan keakuratan hasil analisis.

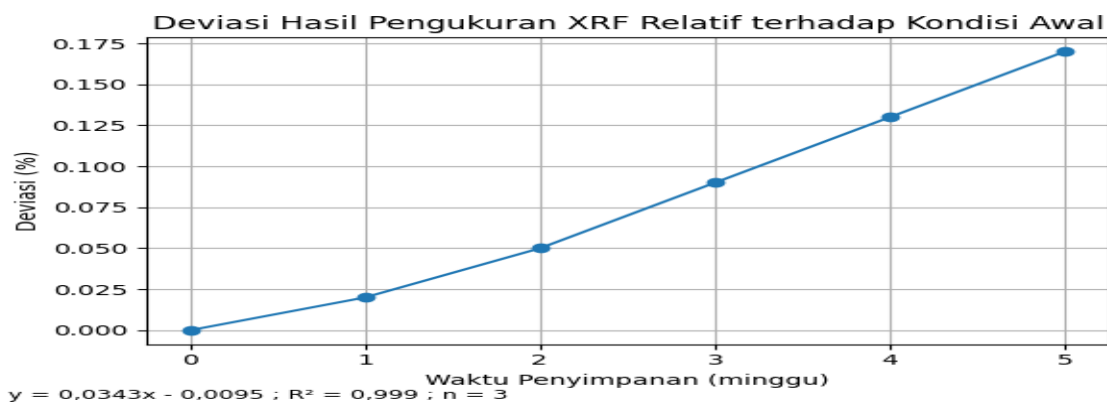
Kelembaban sampel menyebabkan penurunan performa analisis XRF karena molekul air dapat menyerap dan menghamburkan energi sinar-X sehingga intensitas fluoresensi unsur menjadi tidak stabil. Untuk meminimalkan pengaruh tersebut, sampel sebaiknya disimpan dalam wadah kedap udara, menggunakan desikator, serta dilakukan pengeringan ulang sebelum analisis apabila kadar air meningkat melebihi batas ideal.

Selain itu, peningkatan kadar air juga dapat memicu perubahan lain dalam sampel, seperti terbentuknya lapisan tipis air pada permukaan partikel yang dapat menghambat penetrasi sinar-X secara merata. Kondisi ini menyebabkan distribusi energi yang diterima oleh setiap bagian sampel menjadi tidak seragam, sehingga hasil analisis menjadi kurang stabil. Dalam konteks ini, kadar air tidak hanya

berperan sebagai parameter tambahan, tetapi sebagai faktor dominan yang mempengaruhi keseluruhan kualitas analisis. Oleh karena itu, pengendalian kelembaban selama penyimpanan, seperti penggunaan wadah tertutup atau desikator, menjadi langkah penting untuk meminimalkan perubahan yang tidak diinginkan pada setiap sampel.

### 3. Deviasi Hasil Analisis (Akurasi XRF)

Perubahan tingkat akurasi hasil analisis XRF terhadap variasi waktu penyimpanan ditunjukkan melalui nilai deviasi melalui grafik berikut ini :



Gambar 3 Deviasi Hasil Pengukuran XRF Relati terhadap Kondisi Awal

Berdasarkan hasil penelitian, nilai deviasi atau penyimpangan hasil analisis XRF menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu penyimpanan. Pada minggu ke-0, nilai deviasi masih berada pada kondisi minimum yaitu sebesar 0,00%, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai 0,17% pada minggu ke-5 . Semakin lama waktu penyimpanan, semakin rendah tingkat keakuratan hasil yang diperoleh. Hal ini menunjukkan bahwa keterlambatan dalam melakukan analisis setelah preparasi sampel dapat menjadi sumber kesalahan yang signifikan.

Peningkatan deviasi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan, terutama perubahan kondisi matriks sampel selama penyimpanan. Kadar air yang meningkat menyebabkan penyerapan energi sinar-X sehingga intensitas sinyal menjadi tidak stabil. Selain itu, perubahan struktur fisik sampel seperti penurunan homogenitas dan kemungkinan terjadinya oksidasi pada mineral tertentu juga dapat mempengaruhi distribusi unsur dalam sampel. Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban yang tidak terkontrol turut mempercepat terjadinya

perubahan tersebut. Ketidakhomogenan sampel akibat segregasi partikel juga menyebabkan variasi hasil analisis antar pengukuran. Dengan meningkatnya deviasi, maka hasil analisis tidak lagi konsisten dan cenderung menyimpang dari kondisi sebenarnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu penyimpanan yang terlalu lama akan menurunkan tingkat keandalan data yang dihasilkan.

Lebih lanjut, peningkatan deviasi ini juga mengindikasikan bahwa kesalahan dalam analisis tidak selalu berasal dari alat atau metode, tetapi dapat berasal dari kondisi sampel itu sendiri. Hal ini menjadi penting karena dalam banyak kasus, ketidaksesuaian hasil sering kali langsung dikaitkan dengan kinerja alat, padahal faktor penyimpanan sampel memiliki kontribusi yang besar. Dengan demikian, pengendalian waktu dan kondisi penyimpanan tidak hanya bertujuan menjaga kualitas sampel, tetapi juga sebagai upaya untuk memastikan bahwa hasil analisis benar-benar mencerminkan kondisi sebenarnya. Oleh karena itu, untuk memperoleh data yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan, analisis sebaiknya dilakukan sesegera mungkin setelah preparasi, sehingga potensi terjadinya deviasi dapat diminimalkan.

## **Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Penyimpanan hingga 1 minggu menunjukkan perubahan hasil pengukuran yang relatif kecil dibandingkan kondisi awal sehingga masih dapat dianggap representatif berdasarkan data penelitian ini.
2. Kadar air meningkat selama penyimpanan, yaitu dari 0,30% (0 minggu), 0,55% (1 minggu), 0,78% (2 minggu), 1,02% (3 minggu), hingga 1,25% (4 minggu).
3. Tingkat akurasi analisis (deviasi XRF) menunjukkan penurunan kualitas hasil, dengan nilai 0,00% (0 minggu), 0,02% (1 minggu), 0,05% (2 minggu), 0,09% (3 minggu), hingga 0,13% (4 minggu). Semakin lama waktu penyimpanan, semakin besar perubahan nilai kadar nikel dan kadar air, yang ditunjukkan oleh penurunan nikel sebesar 0,13% dan peningkatan kadar air sebesar 0,95% dari minggu ke-0 hingga minggu ke-4. Penelitian ini belum melakukan pengukuran langsung terhadap intensitas fluoresensi maupun analisis statistik inferensial untuk menguji signifikansi

perubahan yang terjadi. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk memverifikasi hubungan antara peningkatan kadar air dan perubahan hasil pembacaan XRF

### Daftar Referensi

- Chen, Y., Liu, Z., & Zhang, H. (2023). Influence of environmental exposure on mineral sample properties prior to analysis. *Minerals*, 13(2), 244.
- Dalvi, A., Bacon, W., & Osborne, R. (2022). The past and the future of nickel laterites. *PDAC International Convention*, 1–27.
- Fitriani, R. (2022). Application of XRF analysis for nickel ore determination in mining laboratories. *Indonesian Mining Journal*, 25(2), 85–94.
- Gleeson, S., Butt, C., & Elias, M. (2023). Nickel laterite deposits and processes of formation. *Ore Geology Reviews*, 155, 105430.
- Hermawan, A., & Nugraha, B. (2022). Mineralogical characteristics of lateritic nickel deposits. *Minerals Engineering*, 186, 107743.
- Jenkins, R. (2021). *X-ray fluorescence spectrometry* (2nd ed.). Wiley.
- Kumar, S., Singh, P., & Verma, R. (2023). Influence of humidity on mineral sample stability during storage. *Journal of Analytical Science and Technology*, 14(1), 36.
- Lestari, D., Prasetyo, E., & Kurniawan, F. (2023). Moisture influence on elemental stability in XRF analysis. *Journal of Materials Research*, 38(5), 1120–1128.
- Potts, P., & West, M. (2021). *Portable X-ray fluorescence spectrometry: Capabilities for in situ analysis*. Royal Society of Chemistry.
- Putra, A., & Widodo, S. (2022). Physical properties of laterite nickel ore affecting analytical accuracy. *Indonesian Journal of Geoscience*, 9(1), 45–54.
- Rahman, M., Yusuf, A., & Sari, N. (2023). Sample handling effects on geochemical analysis reproducibility. *Applied Geochemistry*, 154, 105642.
- Reidinger, S., Rammler, D., & Gutzmer, J. (2022). Matrix effects in XRF analysis of geological materials. *Applied Geochemistry*, 141, 105303.
- Silva, M., Ferreira, J., & Costa, L. (2023). Matrix effects in energy dispersive XRF analysis. *Spectrochimica Acta Part B*, 203, 106662.
- Sitko, R., & Zawisza, B. (2022). Modern XRF techniques in environmental and geological analysis. *Spectrochimica Acta Part B*, 188, 106344.

- Sufriadin, S., Widodo, S., & Arifin, Y. (2021). Lateritic nickel ore formation in tropical regions. *Ore Geology Reviews*, 134, 104188.
- Wang, H., Liu, Z., & Chen, Y. (2022). Mineral alteration during storage conditions. *Minerals*, 12(9), 1150.
- Zhang, L., Wang, Y., & Chen, X. (2022). Mineral surface alteration during storage and its impact on geochemical analysis. *Minerals Engineering*, 180, 107465.
- Zhang, Q., Li, X., & Huang, P. (2024). Quality assurance strategy in mining geochemical laboratories. *Journal of Analytical Science*, 40(1), 55–66.