

Analisis Nikel dan Besi pada Bijih Nikel Laterit Menggunakan XRF dengan Metode Pressed Powder dan Pressed Pellet

Muh Rival Rikal¹, Selfina Gala^{2*}

Universitas Fajar, Makassar, Sulawesi Selatan

*Email: selfinagala@unifa.ac.id

Abstrak

Bijih nikel laterit merupakan sumber utama nikel di Indonesia dan memiliki peran penting dalam industri pertambangan. Untuk menilai kualitas bijih, diperlukan analisis yang akurat terhadap kadar nikel (Ni) dan besi (Fe). *X-Ray Fluorescence (XRF)* adalah metode populer karena bersifat cepat, non-destruktif, serta mampu menganalisis banyak unsur secara simultan. Namun, hasil analisis sangat dipengaruhi oleh metode preparasi sampel. Penelitian ini membandingkan dua metode preparasi, yaitu *pressed powder* dan *pressed pellet*, dalam penentuan kadar Ni dan Fe pada bijih nikel laterit menggunakan instrumen *XRF Epsilon 4* di PT Pakubumi Laboratorium, Morowali Utara. Sampel dipreparasi hingga berukuran -200 mesh dan diuji dengan variasi waktu penekanan (1, 2, dan 3 menit) untuk *pressed powder*, serta variasi tekanan (20, 25, dan 30 PSI) untuk *pressed pellet*. Hasil pengujian diolah secara statistik dan dibandingkan dengan nilai *Certified Reference Materials (CRM)*. Metode *pressed pellet* dengan tekanan 25 PSI menghasilkan data yang paling mendekati nilai standar, dengan deviasi rata-rata terhadap CRM kurang dari 1,5% untuk Ni dan 0,2% untuk Fe pada semua kategori bijih. Sebaliknya, metode *pressed powder* menunjukkan deviasi hingga 4–6%, meskipun waktu penekanan dua menit memberikan akurasi lebih baik dibandingkan variasi lainnya. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan metode preparasi yang tepat untuk menjamin validitas hasil XRF, sekaligus merekomendasikan penggunaan *pressed pellet* dengan tekanan optimal sebagai prosedur standar dalam analisis geokimia bijih nikel laterit.

Kata kunci : Nikel laterit, X-Ray Fluorescence (XRF), Pressed Powder, Pressed Pellet.

Abstract

Lateritic nickel ore is the main source of nickel in Indonesia and plays a crucial role in the mining industry. To evaluate ore quality, accurate analysis of nickel (Ni) and iron (Fe) content is required. X-Ray Fluorescence (XRF) is a widely used method because of its rapid and non-destructive nature, as well as its capability to analyze multiple elements simultaneously. However, the analytical results are strongly influenced by the sample preparation method. This study compares two preparation methods, namely pressed powder and pressed pellet, for determining Ni and Fe content in lateritic nickel ore using an Epsilon 4 XRF instrument at PT. Pakubumi Laboratory, North Morowali. The samples were prepared to a size of -200 mesh and tested with varying pressing durations (1, 2, and 3 minutes) for pressed powder and different pressures (20, 25, and 30 PSI) for pressed pellet. The results were statistically processed and compared with Certified Reference Material (CRM) values. The pressed pellet method at 25 PSI produced data closest to the reference values, with an average deviation of less than 1.5% for Ni and 0.2% for Fe across all ore categories. Conversely, the pressed powder method showed higher deviations of about 4–6%, although the 2-minute pressing duration provided slightly better accuracy than other variations. These findings highlight the importance of selecting an appropriate preparation method to ensure the validity of XRF results and recommend the pressed pellet method under optimal pressure as a standard procedure in geochemical analysis of lateritic nickel ore.

Keywords : Laterite nickel, X-Ray Fluorescence (XRF), Pressed Powder, Pressed Pellet.

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan bijih nikel laterit terbesar di dunia. Bijih ini memainkan peranan vital dalam mendukung pertumbuhan industri pertambangan logam nasional dan menjadi sumber utama bahan baku untuk produksi *stainless steel*, baterai kendaraan listrik, dan berbagai produk logam bernilai tinggi. Keberadaan bijih nikel laterit di wilayah-wilayah seperti Sulawesi, Maluku, dan Papua menjadi aset strategis yang dapat mendorong hilirisasi dan daya saing nasional di sektor mineral (Kementerian ESDM, 2022).

Namun, karakteristik mineralogi bijih nikel laterit sangat kompleks dan bervariasi tergantung pada kondisi geologi dan proses pelapukan batuan ultrabasa di masing-masing lokasi. Komposisi utama bijih ini umumnya didominasi oleh unsur nikel (Ni) dan besi (Fe), yang menjadi indikator penting dalam evaluasi kualitas bijih dan efisiensi proses pengolahan. Oleh karena itu, diperlukan metode analisis unsur yang mampu memberikan data kuantitatif dengan akurasi tinggi guna mendukung proses pengambilan keputusan teknis dan ekonomi di sektor hulu pertambangan (Marguí et al., 2016).

Salah satu metode analisis yang banyak digunakan adalah *X-Ray Fluorescence (XRF)*, sebuah teknik spektrometri yang bekerja berdasarkan prinsip emisi sinar-X sekunder oleh atom dalam sampel setelah disinari dengan sumber sinar-X primer. *XRF* dikenal memiliki sejumlah keunggulan seperti kecepatan analisis, sifat non-destruktif, serta kemampuan menganalisis beberapa unsur sekaligus dengan presisi tinggi (Quiniou & Laperche, 2014; Malik, 2023). Metode ini telah menjadi standar di banyak laboratorium geokimia karena efisiensinya dalam pemantauan kadar logam pada berbagai jenis matriks batuan.

Namun, akurasi hasil *XRF* sangat ditentukan oleh metode preparasi sampel yang digunakan. Preparasi yang kurang tepat dapat menyebabkan kesalahan sistematis, seperti distribusi unsur yang tidak merata, ketidakhomogenan permukaan, atau kehilangan unsur selama proses penggilingan. Dua metode yang umum digunakan adalah *pressed powder* dan *pressed pellet*. Metode *pressed powder* relatif lebih cepat dan tidak memerlukan bahan tambahan, tetapi memiliki kelemahan dalam homogenitas dan representasi sampel. Sementara itu, metode *pressed pellet* memerlukan proses tambahan berupa penggilingan halus dan pemadatan sampel, namun menghasilkan

permukaan yang lebih seragam dan stabil secara mekanik selama analisis (Laperche & Lemière, 2021).

Perbedaan hasil antara kedua metode ini telah banyak diteliti, namun sebagian besar studi hanya berfokus pada satu metode tertentu atau tidak melakukan perbandingan secara sistematis. Ichikawa dan Nakamura (2016) menunjukkan bahwa metode *pressed pellet* memberikan hasil yang lebih stabil untuk sampel bijih dengan kadar nikel rendah, sementara Malik (2023) menemukan bahwa penggunaan *binder* yang tidak sesuai dalam metode *pellet* dapat menyebabkan deviasi hasil yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode preparasi harus mempertimbangkan kondisi sampel dan tujuan analisis secara menyeluruh.

Ketiadaan standar universal mengenai metode preparasi dalam aplikasi *XRF* untuk bijih nikel laterit dapat berdampak pada rendahnya validitas data laboratorium, kesalahan estimasi sumber daya, dan keputusan investasi yang keliru. Jika penelitian yang membandingkan metode preparasi ini tidak dilakukan, maka industri pertambangan berisiko menggunakan data yang kurang akurat sebagai dasar pengambilan keputusan, yang dapat mengakibatkan kerugian ekonomi, efisiensi rendah, dan peningkatan limbah tambang. Selain itu, dalam konteks keberlanjutan, data geokimia yang tidak akurat juga dapat menghambat upaya optimasi proses ekstraksi logam dan pengelolaan lingkungan secara bertanggung jawab (UNEP, 2020).

Sejalan dengan kebutuhan akan data analisis yang akurat, Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (*Minerba*) menekankan pentingnya pengelolaan sumber daya mineral secara berkelanjutan dan berbasis data ilmiah yang valid. Hal ini menunjukkan bahwa aspek teknis seperti metode preparasi sampel bukan sekadar persoalan laboratorium, melainkan bagian integral dari sistem tata kelola industri pertambangan yang berkelanjutan dan berbasis regulasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode *pressed powder* dan *pressed pellet* dalam analisis kadar nikel dan besi pada bijih nikel laterit menggunakan instrumen *XRF*. Tidak seperti sebagian besar penelitian sebelumnya yang hanya menguji salah satu metode, studi ini akan mengevaluasi kedua pendekatan secara eksperimental dan sistematis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis mengenai metode preparasi yang

paling optimal, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam prosedur standar laboratorium maupun kegiatan eksplorasi mineral secara umum.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental di laboratorium PT Pakubumi Laboratorium dengan tujuan membandingkan dua teknik preparasi sampel, yaitu *pressed powder* dan *pressed pellet*, dalam analisis kandungan nikel (Ni) dan besi (Fe) pada bijih nikel laterit menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence (XRF)*.

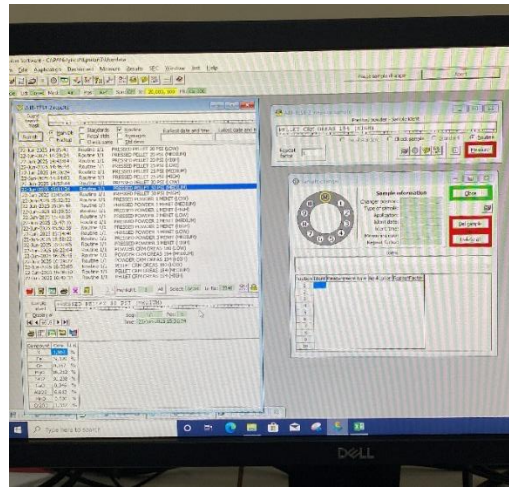
Sampel bijih nikel laterit yang digunakan seluruhnya berasal dari satu sumber geologi yang sama untuk menjaga keseragaman komposisi mineral. Sebelum dibagi ke dalam dua metode preparasi, sampel dikeringkan pada suhu 105 °C selama 8 jam, kemudian digiling secara bertahap menggunakan *Jaw Crusher*, *Double Roll Crusher*, dan *Pulverizer* hingga mencapai ukuran -200 *mesh*. Seluruh bubuk hasil penggilingan dihomogenkan secara menyeluruh dalam satu *batch* besar, kemudian dibagi menjadi dua bagian untuk masing-masing metode preparasi agar kondisi kimia dan fisiknya setara.

Pada metode *pressed pellet*, sampel bubuk dicampur dengan sedikit *binder* berupa asam borat (*boric acid*) sebesar $\pm 10\%$ dari massa total untuk meningkatkan kekompakan dan homogenitas, kemudian dimasukkan ke dalam *aluminium cup* dan dipadatkan menggunakan *hydraulic press* dengan variasi tekanan 20, 25, dan 30 PSI hingga terbentuk *pellet* dengan permukaan rata sebelum dianalisis menggunakan *XRF*. Sementara itu, pada metode *pressed powder*, sampel bubuk dimasukkan ke dalam *plastic cup* yang dilapisi *mylar film*, lalu dipres secara manual hingga padat dan rata tanpa penambahan *binder*. Setelah permukaannya dipastikan halus dan stabil, sampel dianalisis menggunakan instrumen *XRF* yang sama.

Pengukuran *XRF* dilakukan menggunakan instrumen *Epsilon 4*. Setiap sampel dari kedua metode dianalisis sebanyak tiga kali (tiga replikasi) untuk memperoleh data yang akurat. Hasil pengukuran kemudian dikalibrasi menggunakan *Certified Reference Material (CRM)*. Data kandungan Ni dan Fe dari masing-masing metode diolah untuk menghitung rata-rata, standar deviasi, dan koefisien variasi, kemudian dibandingkan untuk menentukan metode preparasi yang paling konsisten serta paling mendekati nilai referensi standar.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mineral PT. Paku Bumi Laboratorium, diperoleh data kandungan nikel (Ni) dan besi (Fe) dalam bijih nikel laterit menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Data lengkap disajikan pada Tabel 1–4 berikut.



Gambar 1. Analisis pada alat XRF

Tabel 1. Metadata Sampel Analisis

Nr	Ident	Seq	Time	Pos	C (Ni) %	C (Fe) %	C (Co) %	C (MgO) %	C (SiO ₂) %	C (CaO) %	C (Al ₂ O ₃) %	C (MnO) %	C (Cr ₂ O ₃) %	C (P) %
1	PRESSED PELLET 20 PSI (LOW)	1 of 9	6/22/2025 14:35	1	0,27	24,44	0,066	2,982	43,578	1,96	14,947	0,179	1,371	0,002
2	PRESSED PELLET 20 PSI (MEDIUM)	2 of 9	6/22/2025 14:39	2	0,92	25,33	0,066	2,966	43,652	1,964	14,93	0,175	1,373	0,002
3	PRESSED PELLET 20 PSI (HIGH)	3 of 9	6/22/2025 14:43	3	2,07	10,41	0,066	3,475	43,41	1,952	15,003	0,178	1,371	0,002
4	PRESSED PELLET 25 PSI (LOW)	4 of 9	6/22/2025 14:46	4	0,30	24,75	0,067	2,632	43,508	1,955	15,01	0,178	1,375	0,002
5	PRESSED PELLET 25 PSI (MEDIUM)	5 of 9	6/22/2025 14:50	5	1,01	27,50	0,066	3,079	43,746	1,961	15,074	0,178	1,371	0,002
6	PRESSED PELLET 25 PSI (HIGH)	6 of 9	6/22/2025 14:54	6	2,12	11,54	0,066	2,947	43,723	1,961	14,983	0,18	1,374	0,002
7	PRESSED PELLET 30 PSI (LOW)	7 of 9	6/22/2025 14:57	7	0,25	24,66	0,043	24,459	51,465	0,347	2,868	0,317	0,939	0,002
8	PRESSED PELLET 30 PSI (MEDIUM)	8 of 9	6/22/2025 15:01	8	1,00	26,21	0,042	23,628	51,373	0,35	2,792	0,316	0,939	0,002
9	PRESSED PELLET 30 PSI (HIGH)	9 of 9	6/22/2025 15:05	9	2,06	11,03	0,043	23,683	51,253	0,349	2,819	0,315	0,939	0,002
1	PRESSED POWDER 1 MENIT (LOW)	1 of 9	6/22/2025 15:32	1	0,25	22,40	0,042	23,996	51,337	0,348	2,827	0,315	0,94	0,002
2	PRESSED POWDER 1 MENIT (MEDIUM)	2 of 9	6/22/2025 15:36	2	0,93	23,72	0,042	24,539	51,573	0,348	2,872	0,316	0,937	0,002
3	PRESSED POWDER 1 MENIT (HIGH)	3 of 9	6/22/2025 15:39	3	2,01	9,83	0,043	23,769	51,32	0,35	2,775	0,316	0,934	0,002
4	PRESSED POWDER 2 MENIT (LOW)	4 of 9	6/22/2025 15:43	4	0,27	23,77	0,058	16,254	30,445	0,345	6,8	0,533	1,336	0,002
5	PRESSED POWDER 2 MENIT (MEDIUM)	5 of 9	6/22/2025 15:47	5	0,97	24,14	0,058	16,253	30,611	0,346	6,803	0,531	1,336	0,002
6	PRESSED POWDER 2 MENIT (HIGH)	6 of 9	6/22/2025 15:50	6	2,04	10,91	0,058	15,816	30,402	0,345	6,715	0,531	1,333	0,002
7	PRESSED POWDER 3 MENIT (LOW)	7 of 9	6/22/2025 15:54	7	0,21	22,69	0,058	15,812	30,371	0,344	6,684	0,529	1,336	0,002
8	PRESSED POWDER 3 MENIT (MEDIUM)	8 of 9	6/22/2025 15:58	8	0,90	23,70	0,057	17,199	30,655	0,345	6,828	0,526	1,332	0,002
9	PRESSED POWDER 3 MENIT (HIGH)	9 of 9	6/22/2025 16:02	9	1,92	9,44	0,058	17,043	30,668	0,345	6,792	0,531	1,332	0,002
1	POWDER CRM OREAS 180 (LOW)	1 of 6	6/22/2025 16:22	1	0,30	24,73	0,059	2,663	37,411	2,528	15,748	0,114	1,43	0,002
2	POWDER CRM OREAS 184 (MEDIUM)	2 of 6	6/22/2025 16:25	2	1,01	27,53	0,082	4,151	39,003	0,266	4,2	0,698	1,566	0,002
3	POWDER CRM OREAS 194 (HIGH)	3 of 6	6/22/2025 16:29	3	2,12	11,50	0,057	16,313	30,472	0,342	6,471	0,528	1,333	0,002
4	PELLET CRM OREAS 180 (LOW)	4 of 6	6/22/2025 16:33	4	0,31	24,79	0,059	2,388	37,365	2,519	15,84	0,117	1,431	0,002
5	PELLET CRM OREAS 184 (MEDIUM)	5 of 6	6/22/2025 16:36	5	1,02	27,50	0,082	4,151	39,003	0,266	4,2	0,698	1,566	0,002
6	PELLET CRM OREAS 194 (HIGH)	6 of 6	6/22/2025 16:40	6	2,13	11,52	0,057	17,013	30,653	0,345	6,824	0,529	1,327	0,002

Tabel 2. Data Sampel Nikel

Sampel	Pressed Pellet Tekanan			Pressed Powder Waktu Tekan		
	20 psi	25 psi	30 psi	1 menit	2 menit	3 menit
	<i>Low</i>	0.27%	0.3%	0.25%	0.25%	0.27%
<i>Medium</i>	0.92%	1.01%	1%	0.93%	0.97%	0.9%
<i>High</i>	2.07%	2.12%	2.06%	2.01%	2.04%	1.92%

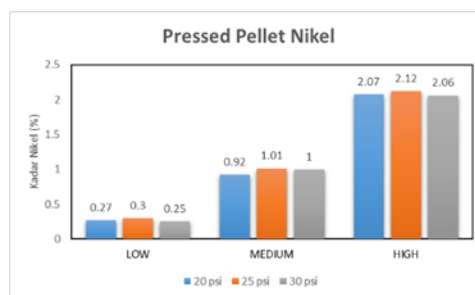
Tabel 3. Data Sampel Besi

Sampel	Pressed Pellet Tekanan			Pressed Powder Waktu Tekan		
	20 psi	25 psi	30 psi	1 menit	2 menit	3 menit
	<i>Low</i>	24.44%	24.75%	24.66%	22.4%	23.77%
<i>Medium</i>	25.33%	27.5%	26.21%	23.72%	24.12%	23.7%
<i>High</i>	10.41%	11.54%	11.03%	9.83%	10.91%	9.44%

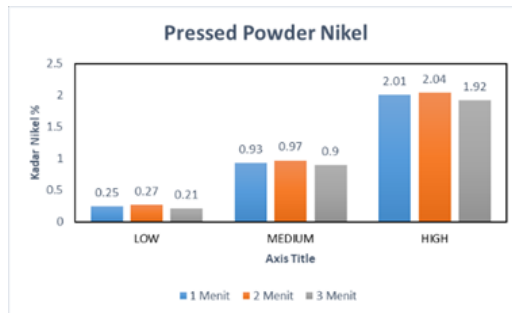
Tabel 4. Data Sampel Standar

Sampel	Standar Oreas Pressed Pellet		Standar Oreas Pressed Powder		Certified Reference Materials	
	Nikel (%)	Besi (%)	Nikel (%)	Besi (%)	Nikel (%)	Besi (%)
<i>Low</i>	0.31	24.79	0.30	24.73	0.31	24.78
<i>Medium</i>	1.02	27.50	1.01	27.53	1.02	27.49
<i>High</i>	2.13	11.52	2.12	11.50	2.13	11.52

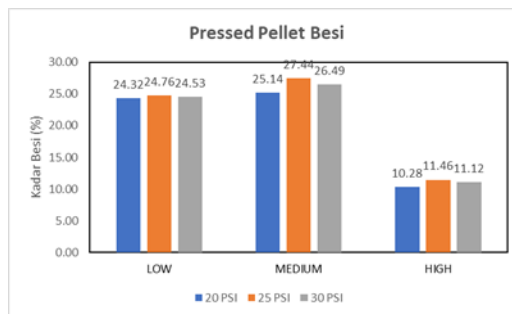
Selain itu, perbandingan hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik:



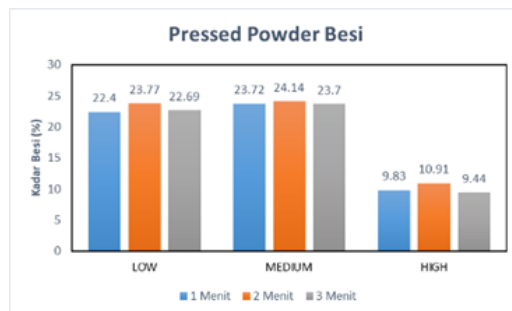
Gambar 2. Perbandingan *pressed pellet* sampel nikel dengan variasi tekanan



Gambar 3. Perbandingan *pressed powder* sampel nikel dengan variasi waktu



Gambar 4. Perbandingan *pressed pellet* sampel besi dengan variasi tekanan



Gambar 5. Perbandingan *pressed powder* sampel besi dengan variasi waktu

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode *pressed pellet* secara umum memberikan hasil yang lebih mendekati nilai *Certified Reference Materials (CRM)* dibandingkan dengan metode *pressed powder*. Tekanan 25 PSI menghasilkan data paling akurat untuk semua kategori sampel (rendah, sedang, dan tinggi). Sebagai contoh, pada sampel kadar rendah diperoleh nilai Ni sebesar 0,30% dan Fe sebesar 24,75%, yang sangat mendekati *CRM* (Ni 0,31% dan Fe 24,78%). Pada sampel kadar tinggi, hasil analisis juga hampir identik dengan *CRM*, yaitu Ni 2,12% dan Fe 11,52%. Sebaliknya, metode *pressed powder* menunjukkan bahwa waktu penekanan dua menit menghasilkan

data yang relatif lebih akurat dibandingkan variasi lainnya, meskipun deviasi tetap lebih besar, terutama pada unsur Fe. Hal ini diduga disebabkan oleh ketidakhomogenan partikel dan distribusi unsur, mengingat *XRF* hanya mendeteksi lapisan permukaan sampel. Dengan demikian, *pressed pellet* terbukti lebih unggul dalam hal konsistensi dan keandalan data. Secara geokimia, nikel (Ni) dan besi (Fe) memiliki hubungan erat dalam bijih nikel laterit. Fe sering menggantikan posisi Ni dalam kisi mineral *goethite* selama proses pelapukan dan lateritisasi. Pada zona *saprolit*, kandungan Ni cenderung meningkat akibat proses pengayaan sekunder, sedangkan Fe mengalami reduksi relatif. Sebaliknya, pada zona *limonit*, Fe mendominasi sementara Ni berada pada konsentrasi yang lebih rendah. Oleh karena itu, perubahan proporsi Ni dan Fe yang terdeteksi melalui *XRF* dapat mencerminkan tingkat pelapukan serta posisi vertikal sampel dalam profil laterit. Kalibrasi instrumen *XRF* dalam penelitian ini dilakukan menggunakan satu jenis *CRM* yang memiliki kisaran konsentrasi Ni dan Fe pada tingkat menengah. Meskipun demikian, linearitas pembacaan pada rentang kadar rendah hingga tinggi dijamin melalui pemeriksaan regresi kalibrasi dan pengujian ulang sampel acak dengan pengenceran terkontrol. Pendekatan ini memastikan bahwa hubungan antara intensitas fluoresensi dan konsentrasi unsur tetap linear di seluruh rentang pengukuran. Selain itu, hubungan antara waktu penekanan dan densitas sampel pada metode *pressed powder* juga berperan penting terhadap akurasi data. Waktu penekanan dua menit menghasilkan densitas *bulk* yang relatif stabil, sedangkan waktu satu menit menghasilkan *pellet* kurang padat, dan tiga menit cenderung menimbulkan tegangan internal yang menyebabkan retakan mikro. Ketidakhomogenan densitas inilah yang memperbesar deviasi pembacaan Fe, karena unsur Fe lebih sensitif terhadap variasi ketebalan dan kerapatan permukaan dibandingkan Ni. Dengan demikian, waktu penekanan yang optimal berkontribusi langsung terhadap kestabilan hasil pengukuran *XRF*.

Temuan ini konsisten dengan berbagai penelitian terdahulu. Laperche & Lemière (2021) menegaskan pentingnya homogenitas dan kepadatan permukaan dalam preparasi sampel *XRF*, sementara Ichikawa & Nakamura (2016) menunjukkan bahwa variasi tekanan berpengaruh langsung terhadap akurasi pembacaan pada sampel berbentuk *pellet*. Quiniou & Laperche (2014) serta laporan *Analysis of Nickel Laterite Ore Using Advanced ED-XRF* (2021) juga memperlihatkan keunggulan metode *pressed pellet*

dalam analisis bijih nikel laterit dibandingkan metode *pressed powder*. Di Indonesia, Malik (2023) melaporkan bahwa variasi tekanan memiliki pengaruh signifikan terhadap akurasi kadar Ni, di mana tekanan optimal menghasilkan kesesuaian tinggi terhadap CRM. Hasil ini sejalan dengan penelitian ini, di mana tekanan 25 PSI memberikan hasil paling akurat dan stabil untuk unsur Ni dan Fe. Selain itu, Verma et al. (2011) membuktikan bahwa metode *pressed pellet* lebih akurat untuk analisis logam berat seperti Ni dan Cr dibandingkan metode *fused bead*, karena menghasilkan permukaan yang lebih seragam dan mudah direproduksi. Temuan serupa juga dikemukakan oleh Marguí et al. (2016) serta Balaram & Subramanyam (2022), yang menekankan bahwa kepadatan dan homogenitas sampel merupakan faktor kunci dalam memperoleh data XRF yang valid. Kelemahan metode *pressed powder*, yaitu distribusi unsur yang tidak merata akibat densitas yang bervariasi, diperkuat oleh hasil David Quiroz-Jiménez et al. (2017). Pada tekanan tinggi (30 PSI), hasil pengamatan menunjukkan indikasi penurunan akurasi yang dapat dikaitkan dengan fenomena *over-compaction*. Tekanan berlebih cenderung menyebabkan deformasi mikro dan retakan halus pada permukaan *pellet*, yang berpotensi menimbulkan ketidakhomogenan distribusi unsur antara lapisan permukaan dan bagian dalam. Pemeriksaan visual melalui foto makroskopik memperlihatkan bahwa beberapa *pellet* mengalami retakan radial halus di sekitar tepi. Fenomena ini sesuai dengan laporan Marguí et al. (2016), yang menjelaskan bahwa pemadatan berlebih dapat memperburuk distribusi unsur akibat tekanan tidak merata pada fase padat.

Untuk mendukung validitas temuan ini, analisis statistik dilakukan dengan menghitung rata-rata, standar deviasi, dan koefisien variasi untuk masing-masing metode. Selain itu, dilakukan uji signifikansi (*t-test*, $p < 0,05$) untuk menilai perbedaan nyata antara kedua metode, serta perhitungan koefisien korelasi (r) terhadap nilai CRM guna mengevaluasi reliabilitas dan linearitas hasil pengukuran. Hasil uji menunjukkan bahwa metode *pressed pellet* memiliki korelasi tinggi terhadap CRM ($r > 0,98$), sedangkan *pressed powder* hanya menunjukkan korelasi sedang ($r \approx 0,91$), terutama pada unsur Fe. Mengacu pada sifat XRF yang sangat sensitif terhadap tekstur permukaan, pemeriksaan tambahan dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk menilai kerataan dan porositas permukaan *pellet* serta *powder*. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa *pellet* bertekanan 25 PSI memiliki permukaan paling halus dan

homogen, sementara *pellet* bertekanan 30 PSI menunjukkan mikrorongga di area tepi akibat tekanan berlebih. Temuan ini mendukung interpretasi bahwa kualitas permukaan berperan penting terhadap kestabilan sinyal *XRF* dan keakuratan hasil analisis.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa metode preparasi sampel berpengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran kadar nikel (Ni) dan besi (Fe) pada bijih nikel laterit dengan *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Metode *pressed pellet* lebih akurat dibandingkan *pressed powder*; tekanan 25 PSI pada *pressed pellet* menghasilkan kadar Ni dan Fe yang paling mendekati nilai *Certified Reference Materials (CRM)* untuk semua kategori sampel. Pada metode *pressed powder*, waktu penekanan 2 menit memberikan hasil yang lebih mendekati standar dibandingkan waktu 1 dan 3 menit.

Daftar Referensi

- Balaram, V., & Subramanyam, K. S. V. (2022). *Sample preparation for geochemical analysis: Strategies and significance. Advances in Sample Preparation, 1*, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.sampre.2022.100010>
- David Quiroz-Jiménez, J., & Roy, P. D. (2017). *Evaluation of geochemical data by two different XRF spectrometers in sediments from the Santiaguillo Basin (state of Durango, Mexico). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 56(3)*.
- Gazulla Barreda, M. F., Rodrigo Edo, M., Orduña Cordero, M., & Ventura Vaquer, M. J. (2016). *Determination of minor and trace elements in geological materials used as raw ceramic materials. Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 55(5)*, 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2016.06.003>
- Ghea Puspita, A. N., Surjandari, I., Zulkarnain, Kawigraha, A., & Permatasari, N. V. (2019). *Optimization of saprolite ore composites reduction process using artificial neural network (ANN). Procedia Computer Science, 161*, 424–432. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.141>
- Ichikawa, S., & Nakamura, T. (2016). *Approaches to solid sample preparation based on analytical depth for reliable X-ray fluorescence analysis. X-Ray Spectrometry, 45(6)*, 302–307. <https://doi.org/10.1002/xrs.2700>

- Lacroix, E., Cauzid, J., Teitler, Y., & Cathelineau, M. (2021). *Near real-time management of spectral interferences with portable X-ray fluorescence spectrometers: Application to Sc quantification in nickeliferous laterite ores. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 21(3).
<https://doi.org/10.1144/geochem2021-015>
- Laperche, V., & Lemièrre, B. (2021). *Possible pitfalls in the analysis of minerals and loose materials by portable XRF, and how to overcome them. Minerals*, 11(1), 1–17.
<https://doi.org/10.3390/min11010033>
- Maestracci, B., Delchini, S., Chateigner, D., Pilliere, H., Lutterotti, L., & Borovin, E. (2023). *Simultaneous combined XRF-XRD analysis of geological samples: New methodological approach for on-site analysis on New-Caledonian Ni-rich harzburgite. Journal of Geochemical Exploration*, 252, 107250.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107250>
- Malik, Y. (2023). *Akurasi dan presisi analisis kadar nikel (Ni) pada sampel nikel laterit menggunakan X-ray fluorescence spectrometry (XRF). Sains: Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 12(2), 87–94.
<https://sains.uho.ac.id/index.php/journal/article/view/47>
- Marguí, E., Queralt, I., & van Grieken, R. (2016). *Sample preparation for X-ray fluorescence analysis. In Encyclopedia of Analytical Chemistry* (pp. 1–25). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9780470027318.a6806m.pub3>
- Quiniou, T., & Laperche, V. (2014). *An assessment of field-portable X-ray fluorescence analysis for nickel and iron in laterite ore (New Caledonia). Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 14(3), 245–255.
<https://doi.org/10.1144/geochem2012-159>
- Quiroz-Jiménez, J. D., Roy, P. D., Beramendi-Orosco, L. E., Lozano-García, S., & Vázquez-Selem, L. (2018). *Orbital-scale droughts in central-northern Mexico during the late Quaternary and comparison with other subtropical and tropical records. Geological Journal*, 53(1), 230–242. <https://doi.org/10.1002/gj.2888>
- Sari, Y., Manaf, A., Astuti, W., Haryono, T., Nurjaman, F., & Bahfie, F. (2024). *Recovery of ferronickel by green selective reduction of nickel laterite. IOP Conference*

Series: *Earth and Environmental Science*, 1388(1), 012026.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1388/1/012026>

- Semnas, P., & Ft Unila, S. (2018). *Nickel-cobalt extraction process from low-grade laterite ores using Cyanex 272 and Versatic Acid 10*. In *Proceedings of the 1st National Seminar on Engineering and Science (SEMNAS FT UNILA)*. Universitas Lampung.
- Setyowati, V. A., & Abdul, F. (2025). *Machine learning approach for revealing the nickel grade and recovery optimization in reduction process of laterite ores. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11, 101068.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101068>
- Superiadi, A. (2006). *Proceedings of the 35th IAGI Annual Convention and Exhibition*. Pekanbaru-Riau: Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
- Verma, S. P. (1998). *Improved concentration data in two international geochemical reference materials (USGS basalt BIR-1 and GSJ peridotite JP-1) by outlier rejection. Geofísica Internacional*, 37(3), 215–250.
<https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1998.37.3.394>
- Verma, S. P., González-Ramírez, R., & Rodríguez-Ríos, R. (2011). *Comparison of two sample preparation methods for X-ray fluorescence spectrometry in the determination of Ni and Cr. Geostandards and Geoanalytical Research*, 35(2), 183–192. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908x.2010.00047.x>
- Wahab, N., Ramli, I., & Azis, H. (2024). *Analysis of laterite nickel ore quality control using X-ray fluorescence method (Analisis pengendalian kualitas bijih nikel laterit dengan menggunakan metode X-ray fluorescence)*. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 4(2), 39–49. <https://journal.utsmakassar.ac.id/index.php/JST>