

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara melimpah dengan sumber daya alam mineral terutama bahan tambang yang bersifat tidak dapat diperbaharui seperti batu bara, tembaga, belerang, nikel, dan lain-lain. Nikel memiliki ketahanan korosi, kekuatan, keuletan, dan konduktivitas termal serta listrik yang tinggi sehingga digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan baja tahan karat, logam dasar pada paduan berbasis nikel, superalloy, dan baterai (Puspita dkk., 2022)

Kabupaten Konawe Utara, Konawe Selatan, dan Kolaka Utara di Sulawesi Tenggara adalah wilayah yang kaya akan endapan nikel laterit, yang menjadi salah satu potensi sumber daya alam penting bagi daerah tersebut. Nikel merupakan salah satu di antara produk hasil pelapukan batuan ultramafik yang terbentuk melalui proses laterisasi salah satunya. Laterit adalah hasil dari pelapukan kimia batuan yang berada di permukaan bumi, di mana berbagai mineral-mineral primer yang tidak stabil oleh pelarutan air dan mineral-mineral baru akan terbentuk yang lebih stabil terhadap lingkungan permukaan. Laterit memiliki peran yang sangat penting dalam pembentukan deposit mineral karena merupakan hasil dari interaksi kimia melalui proses lateritisasi yang menghasilkan konsentrasi berbagai elemen (Hasria.,dkk 2021).

Pelapukan pada batuan ultramafik menyebabkan unsur-unsur dalam batuan yang memiliki mobilitas tinggi akan terakumulasi di bagian bawah endapan laterit, sementara unsur-unsur yang memiliki mobilitas rendah akan mengalami pengkayaan residual. Hal ini akan mempengaruhi komposisi mineralogi dan volume setiap unsur selama proses pelapukan endapan laterit. Jenis-jenis mineral yang terlapukan dalam batuan tersebut antara lain olivin, piroksin, dan amphibol (Ahmad, 2006). Nikel laterit umumnya ditemukan di daerah tropis karena iklim yang mendukung proses pelapukan, selain faktor topografi, drainase, tenaga tektonik, batuan induk, dan struktur geologi. Variasi kadar nikel laterit di setiap daerah ini dipengaruhi oleh faktor litologi, kondisi morfologi, serta kandungan unsur kimia mayor dan minor dalam batuan (Dalvi dkk., 2004). Oleh karena itu, pemahaman terhadap perilaku unsur-unsur seperti SiO_2 dan MgO dalam proses lateritisasi menjadi penting untuk mengetahui karakteristik endapan nikel laterit.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kadar Silika (SiO_2) dan Magnesium Oksida (MgO) pada nikel laterit di daerah Sulawesi Tenggara. Dengan memahami pola distribusi unsur-unsur tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik mengenai karakteristik endapan nikel laterit di wilayah tersebut, yang nantinya dapat menjadi dasar bagi optimalisasi pengolahan bijih nikel di Indonesia.



faat

rendak dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:
korelasi antara kadar Silika (SiO_2) dan Magnesium Oksida (MgO)
r nikel (Ni) menggunakan metode statistik

2. Menganalisis implikasi rasio SiO_2/MgO (S/M) terhadap pengolahan bijih nikel laterit

1.2.2 Manfaat

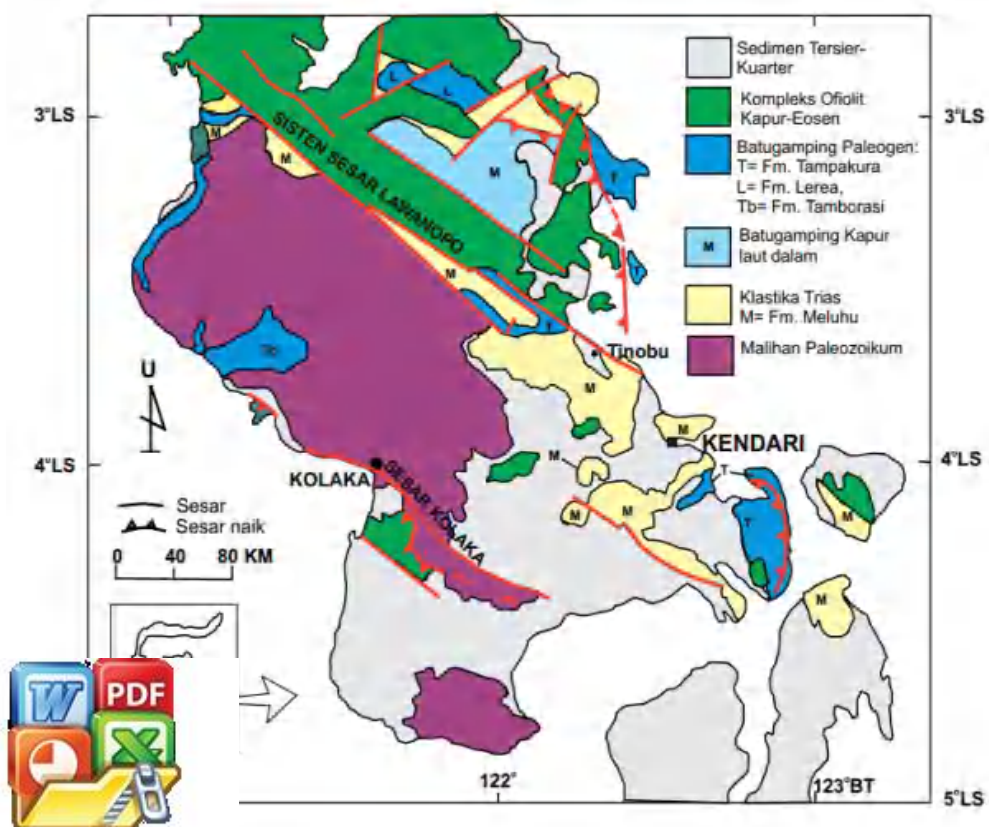
Penelitian ini bermanfaat untuk :

1. Mengetahui korelasi antara kadar Silika (SiO_2) dan Magnesium Oksida (MgO) dengan kadar nikel (Ni) menggunakan metode statistik.
2. Mengetahui implikasi rasio SiO_2/MgO (S/M) terhadap pengolahan bijih nikel laterit

1.3 Teori

1.3.1 Geologi Regional

Wilayah kepulauan Indonesia merupakan negara yang menyimpan cadangan sumberdaya kebumihan yang melimpah, antara lain adalah endapan nikel laterit. Hal ini disebabkan letak Indonesia yang berada pada tiga Lempeng besar dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik atau Lempeng Filipina dan Lempeng Indo-Australia. Pergerakan tiga Lempeng tersebut membentuk deposit bahan galian di setiap Pulau salah satu contohnya lajur ofiolit Sulawesi Timur yang tersebar sampai Sulawesi Tenggara yang khas dengan deposit bahan galian nikel laterit (Erwin dkk., 2023)



ambar 1. Peta geologi Lengan Tenggara Sulawesi
(Rusmanadkk., 1993; Simandjuntak dkk., 1993)

Berdasarkan Peta Geologi Kendari (Simandjuntak, dkk, 1993) dan Formasi Batuan Penyusun Lembar Lasusua-Kendari (Rusmana dkk, 1993), daerah penelitian di Kolaka Utara didominasi oleh Kompleks Ofiolit Kapur-Eosen yang kaya akan mineral nikel, serta batuan malihan Paleozoikum dan batugamping Paleogen. Konawe Selatan didominasi oleh batuan malihan Paleozoikum dan batugamping Paleogen, dengan sedikit sedimen Tersier-Kuarter. Konawe Utara juga didominasi oleh Kompleks Ofiolit Kapur-Eosen, dengan sedikit batugamping Kapur laut dalam dan batugamping Paleogen.

Secara geologi regional Lengan Tenggara Sulawesi berdasarkan himpunan batuan, geologi Lembar Lasusua-Kendari yang dibagi menjadi dua lajur, yaitu Lajur Hialu dan Tinondo. Stratigrafi Lengan Tenggara. Batuan penyusun Pulau Sulawesi dikelompokkan dalam 3 (tiga) bagian utama yaitu Molasa Sulawesi, Kompleks Ofiolit dan Kompleks Batuan Metamorf. Kompleks ofiolit didominasi batuan beku, yang terdiri atas batuan peridotit, harsburgit, gabro, dunit dan serpentinit. Peridotit merupakan salah satu batuan asal pembawa nikel. Pelapukan pada batuan ultramafik pada jenis batuan peridotit mengakibatkan unsur yang bersifat *mobile* akan larut dan pada lapisan bagian bawah laterit unsur tersebut akan terendapkan. Proses pembentukan endapan nikel laterit dipengaruhi oleh topografi (morfologi), waktu, vegetasi, batuan asal, iklim, struktur dan pelarutan kimia (Ahmad, 2006).

1.3.2 Batuan Ultramafik

Batuan Ultramafik merupakan batuan yang terdiri dari mineral-mineral yang bersifat mafik (*ferromagnesian*), seperti olivin, piroksin, hornblend dan mika. Keseluruhan batuan ultramafik mempunyai indeks warna $>70\%$. Perlu diperhatikan bahwa istilah “ultrabasa” dan “ultramafik” tidak identik. Sebagian besar batuan ultramafik juga ultrabasa, sementara tidak semua batuan ultrabasa yang ultramafik. Dengan demikian batuan yang kaya akan feldspathoid merupakan ultrabasa namun bukan batuan ultramafik, karena tidak mengandung mineral ferromagnesian (Ahmad, 2002).

Berikut adalah jenis – jenis dari batuan ultramafik, antara lain (Ahmad, 2002):

- a) Peridotit, umumnya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari atas harsburgit, lertzolit, werlite dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral – mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anhedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksin. Mineral aksesorisnya berupa plagioklas, hornblende, biotit dan garnet.
- b) Piroksinit, piroksinit merupakan kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah piroksin. Dalam hal ini Piroksinit diklasifikasikan lebih lanjut apakah masuk kedalam Piroksin ortorombik atau monoklin.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

upakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral blend.

n batuan yang hampir murni olivin (90-100%), umumnya hadir atau kristolit, terdapat sebagai sill atau korok-korok halus (dalam menurut Ahmad (2002), dunit memiliki komposisi mineral hampir ah monomineralik olivine (umumnya magnesit olivin), mineral meliputi kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Pembentukan dunit

berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivin anhedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma (*liquid*) berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain.

- e) Serpentin, merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultramafik, dimana mineral-mineral olivin dan piroksin jika alterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit. Serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (*mantel peridotit dan dunit*). Di Bawah pegunungan tengah samudera (*Mid Oceanic Ridge*) pada temperatur <500°C.

1.3.3 Serpentinisasi

Serpentinisasi merupakan suatu reaksi eksotermis, hidrasi yang di mana air bereaksi dengan mineral mafik seperti olivin dan piroksen sehingga menghasilkan lizardit, antigorit dan / atau krisotil (Irhan dkk., 2024)

Menurut Ahmad (2006) ada beberapa hal terjadinya proses serpentinisasi adalah adanya penambahan air, adanya pelarutan magnesita (atau penambahan silika), adanya pelepasan besi dalam olivin (Fe, Mg), konversi besi yang lepas dari ikatan ferro (Fe^{2+}) menjadi ferri (Fe^{3+}) untuk membentuk magnetit berbutir halus. Akibatnya batuan terserpentinisasi umumnya akan menjadi lebih magnetik. Peran atau kemunculan mineral serpentin pada batuan dasar penghasil laterit terkadang memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap karakterisasi tanah laterit yang ada.

Secara umum batuan dasar penghasil tanah laterit merupakan batuan-batuan ultramafik dimana batuan yang rendah akan unsur Si, namun tinggi akan unsur Fe, Mg dan terdapat unsur Ni yang berasal langsung dari mantle bumi. Kehadiran mineral serpentin pada batuan ultramafik menjadi suatu peranan penting dalam pembentukan karakteristik tanah laterit yang ada terutama pada pengkayaan unsur logam Ni pada tanah laterit. Proses serpentinisasi akan menyebabkan perubahan tekstur mineralogi dan senyawa pada mineral olivin maupun piroksen pengurangan atau perubahan komposisi unsur Mg, Ni dan Fe pada mineralnya.

1.3.4 Endapan Laterit

Laterit menurut Evans (1993), merupakan produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, sehingga mineral primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air kemudian larut atau pecah sehingga membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting karena berperan sebagai induk untuk endapan bijih ekonomis. Contoh terkenal dari endapan laterit yaitu endapan bijih bauksit, endapan bijih besi dan endapan bijih



ku berbagai unsur selama proses lateralisasi dikendalikan oleh dua (2006).

u dari masing-masing unsur itu sendiri (geokimia).

an yang berlaku di antaranya suhu, curah hujan, kondisi batuan,

Peran beberapa elemen dalam laterisasi menurut Ahmad, 2006 yaitu:

- a. Ca. Kalsium memiliki sifat yang sangat larut dalam air tanah di daerah tropis.
- b. Mg. Magnesium sangat larut dalam air tanah. Dalam kondisi tropis basah, magnesia dapat dengan cepat keluar dari profil laterit. Namun, di bawah kondisi iklim basah-kering, beberapa magnesia dalam bentuk lempung dalam profil laterit mungkin terhambat.
- c. Si. Silika memiliki kelarutannya lebih rendah dari magnesia, silika seringkali dapat diendapkan dalam zona saprolitik dari profil laterit di mana magnesia secara aktif masuk ke dalam larutan
- d. Fe. Kelarutan zat besi sangat bervariasi tergantung pada keadaan valensinya, dimana zat besi (Fe^{++}) cukup larut dalam air tanah sedangkan zat besi (Fe^{+++}) sangat tidak larut
- e. Al. Alumina adalah salah satu unsur yang tidak bergerak yang ada dalam profil laterit selama air tanah berada pada kisaran pH 4,5 hingga 9,5 (sebagian besar air tanah memang termasuk dalam kisaran ini)
- f. Cr. Kromium dalam kromit tidak larut dalam air tanah dan sangat stabil, bertahan sebagai kromit di zona limonit laterit
- g. Mn dan Co memiliki mobilitas agak rendah di perairan asam dan cenderung bergerak ke bawah profil laterit. Namun, mereka mencapai tingkat ketidaksuburan mereka lebih cepat (dan lebih awal dari nikel) dan diendapkan baik di bagian bawah zona limonit atau di bagian atas zona saprolit. Konsentrasi kobalt umumnya mengikuti mangan dalam profil laterit

1.3.5 Profil Laterit

Pelapukan kimia pada batuan ultrabasa biasanya disertai dengan fraksinasi dari elemen-elemen menjadi tipe yang larut dan tidak larut dalam air. Elemen-elemen yang larut dalam air nantinya akan tercuci keluar dari sistem pelapukan sementara elemen-elemen yang tidak larut dalam air akan tertinggal sebagai pengayaan residu. Proses pelapukan kimia pada akhirnya akan menghasilkan pembentukan profil laterit dengan urutan laterit termuda pada bagian bawah dan laterit tertua pada bagian atas.

Menurut Golightly (1979) profil laterit dibagi menjadi 4 zonasi, yaitu:

1. Zona Limonit

Zona ini berada paling atas pada profil dan masih dipengaruhi aktivitas permukaan dengan kuat. Zona ini tersusun oleh humus dan limonit. Mineral-mineral penyusunnya adalah goethit, hematit, tremolit dan mineral-mineral lain yang terbentuk pada kondisi asam dekat permukaan dengan relief relatif datar. Secara umum material-material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit.

2. Zona *Medium Grade Limonit* (MGL)

Sifat fisik zona *Medium Grade Limonit* tidak jauh berbeda dengan zona *overburden*.



Induk mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen batuan induk, seperti kromit. Rata-rata berukuran antara 1-2 cm dalam jumlah sedikit. Penyusun berkisar antara lempung-pasir halus. Ketebalan zona ini bervariasi. Umumnya singkapan zona ini terdapat pada lereng bukit yang mengalami laterisasi sama dengan zona limonit dan zona saprolit, yang ditandai dengan hadirnya kuarsa, lihopirit, dan opal.

3. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen batuan induk yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan dapat dikenali. Derajat serpentinisasi batuan asal laterit akan mempengaruhi pembentukan zona saprolit, dimana peridotit yang sedikit terserpentinisasi akan memberikan zona saprolit dengan inti batuan sisa yang keras, pengisian celah oleh mineral – mineral garnierit, kalsedon-nikel dan kuarsa, sedangkan serpentininit akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan sedikit kuarsa atau garnierit.

4. Zona batuan induk (*Bedrock zone*)

Zona batuan induk berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan induk ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses-proses pelapukan sangat kecil. Batuan induk umumnya berupa peridotit, serpentininit, atau peridotit terserpentinisasikan.

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4		25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3	0.02 to 0.1	10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 2. Generalisasi profil laterit (Elias, 2002)

1.3.6 Nikel Laterit

Nikel dari bijih nikel laterit sebagian besar terjadi pada serpentin dan olivin atau mineral besi oksida yang diperkaya sebagai substitusi isomorfisme sepanjang generasi bijih nikel laterit dari pelapukan batuan ultrabasa sehingga tidak dapat diekstraksi dengan pemisahan konvensional. Selain itu, bijih laterit nikel memiliki kadar nikel yang rendah dan dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu limonitik, saprolitik, dan garnieritik. Proses laterisasi pada batuan asal tersebut (lateralisasi) menyebabkan nikel berubah menjadi oleh mineral-mineral oksida besi yang membentuk garnierite pada proses pelapukan dimulai pada batuan ultramafik (peridotit, dunit, yang mengandung mineral olivin, piroksin, magnesium silikat, dan kandungan nikel kira-kira sebesar 0.30%. Proses laterisasi pada diartikan sebagai proses pencucian pada mineral yang mudah larut dari profil laterit pada lingkungan yang bersifat asam, hangat, dan



lembab, serta membentuk konsentrasi endapan hasil pengayaan proses laterisasi pada unsur Fe, Cr, Al, Ni, dan Co. (Bahfie et al., 2021)

Secara horizontal, penyebaran nikel dipengaruhi oleh arah aliran air tanah dan bentang alam. Di zona pelindian, air tanah mengalir dari pegunungan menuju lereng sambil membawa unsur Ni, Mg, dan Si. Berdasarkan proses pembentukannya, endapan nikel terbagi menjadi dua jenis, yaitu endapan bijih Ni-sulfida (primer) dan Ni-laterit (sekunder). Nikel laterit terbentuk melalui dekomposisi sekunder endapan Ni-sulfida, yang diawali dengan pelapukan batuan ultrabasa seperti harzburgit, dunit, dan piroksenit. Dalam deret Bowen, batuan ini kaya akan olivin, piroksen, magnesium silikat, dan besi, yang bersifat tidak stabil dan mudah mengalami pelapukan. Air sebagai media utama transportasi nikel mengandung CO₂ dari udara dan tumbuhan, yang berperan dalam menguraikan mineral batuan ultrabasa. Akibatnya, olivin, piroksen, magnesium silikat, besi, nikel, dan silika terlarut membentuk suatu larutan.

Endapan ini akan terakumulasi di dekat permukaan tanah, sementara magnesium, nikel, dan silika tetap berada dalam larutan dan terus bergerak ke bawah selama suplai air tanah berlanjut. Rangkaian proses ini dikenal sebagai pelapukan dan pelindian. Unsur Ni sendiri merupakan unsur tambahan dalam batuan ultrabasa. Sebelum proses pelindian terjadi, Ni terikat dalam kelompok silikat, terutama pada mineral olivin dan serpentin. Aliran air melalui retakan batuan akan membawa nikel ke bawah hingga akhirnya terkumpul di zona permeabel yang tidak dapat ditembus oleh batuan induk. Jika proses ini berlangsung terus-menerus, akan terjadi pengayaan supergen di zona saprolit. Pada suatu penampang vertikal profil laterit, zona pengayaan dapat terbentuk lebih dari satu karena muka air tanah yang terus berubah akibat pergantian musim.

Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer, yang dikenal sebagai zona hipogen, yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindian. Sementara itu, zona saprolit merupakan bagian dari zona pelapukan kimiawi yang kaya bijih nikel. Selain berasosiasi dengan garnierit, nikel juga dapat menggantikan Fe dan Mg dalam mineral silikat, terutama serpentin. Komposisi kimia mineral mafik, termasuk olivin dalam lherzolit yang mengandung Ni dan Cr, dapat ditemukan pada endapan Ni-laterit seperti di Soroako, Sulawesi Selatan (Atmadja, 1974).

1.3.7 Tipe Endapan Nikel Laterit

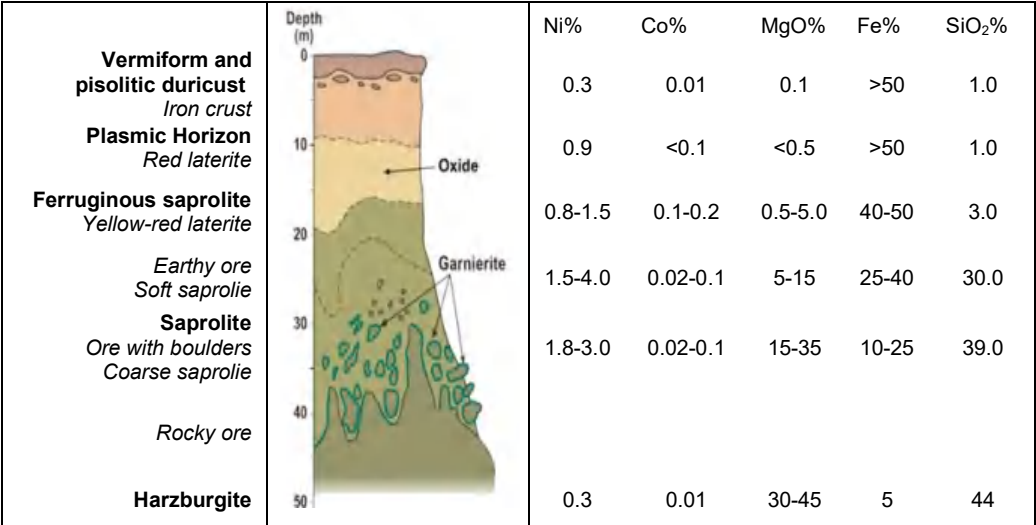
Brand, dkk (1998) membedakan tiga jenis deposit pokok, berdasarkan mineralisasi bijih yaitu *Hydrous Silicate Deposit*, *Clay Silicate Deposit* dan *Oxides Deposit*.

A. *Hydrous Silicate Deposit*

Pada endapan tipe hydrous silicate bagian bawah zona saprolit (horizon bijih) didominasi oleh mineral-mineral hydrous Mg-Ni silikat setempat pada zona saprolit, urat-urat halus dan *box-work* dapat terbentuk. Rekahan dan batas-batas antar butir dapat terisi oleh mineral yang kaya dengan nikel. Sebagai contoh garnierit dapat nikel sampai dengan 40%. Nikel akan mengalami pelindian dan oksihidroksida akan bergerak turun ke bawah sebelum terendapkan mineral *hydrous silicate* atau menggantikan dalam ubahan serpentin. Di proses supergen ini sangat penting untuk pembentukan endapan kadar yang ekonomis. Pada endapan tipe *hydrous silicate*, posisi

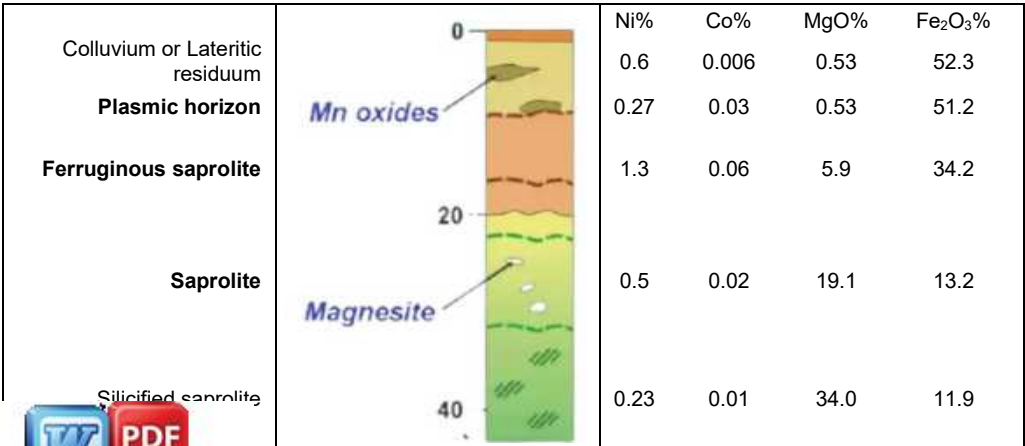


muka air tanah relatif dalam, kondisi ini menyebabkan infiltrasi air yang dalam sehingga nikel lebih banyak terakumulasi pada zona saprolit bagian bawah (Elias, 2002)



Gambar 3. *Hydrous silicate deposit, New Caledonia (Freyssinet, dkk., 2005)*
 B. *Clay Silicate Deposit*

Kondisi pelapukan yang tidak berjalan dengan baik seperti pada iklim dingin dan iklim panas, silika tidak tercuci sebagaimana di lingkungan tropis lembab. Silika tersebut kemudian bergabung bersama Fe dan Al membentuk zona dimana lempung smektit (nontronit) mendominasi. Silika sisa dari pembentukan nontronit kemudian terendapkan sebagai nodul opal atau kalsedon dalam lempung. Profil laterit seperti ini biasanya ditindih oleh lapisan tipis yang kaya Fe oksida di bagian atasnya dan didasari oleh lapukan saprolit yang mengandung serpentin dan nontronite



Gambar 4. *Clay Silicate deposit, Murrin Australia (Freyssinet, dkk., 2005)*

mineral pembentuk batuan primer (terutama olivin dan/atau piroksen dan yang kurang umum adalah clinopyroxene) dipecah oleh asam asetat. Asam asetat melepaskan unsur penyusunnya sebagai ion dalam larutan berair. Olivin

adalah mineral yang paling tidak stabil dan merupakan yang pertama mengalami pelapukan. Di lingkungan tropis yang lembab, Mg^{2+} nya benar-benar tercuci dan hilang karena air tanah, dan Si sebagian besar tercuci dan dibuang. Fe^{2+} juga dilepaskan namun dioksidasi dan diendapkan sebagai hidroksida besi, awalnya bersifat amorf atau kurang kristalin tapi secara progresif mengkristal ulang dengan tanaman geotit yang membentuk pseudomorph setelah olivin. Orthopyroxene dan serpentine hydrolysis setelah olivin, juga melepaskan Mg, Si dan digantikan oleh pseudomorph goethit. Transformasi tekstur isovolumetrik dan batuan primer, namun seiring dengan hancurnya mineral primer, bergantung pada tekstur primer yang hilang karena pemadatan yang menghasilkan geotit dengan tekstur masif. Transformasi mineralogi yang melibatkan hilangnya Mg dan konsentrasi residu Fe menghasilkan tren kimia yang jelas dan familiar pada laterit Mg yang menurun ke atas dan Fe meningkat ke atas melalui profil laterit (Butt dan Morris, 2005).

		Ni%	Co%	MgO%	Fe%	SiO ₂ %
Duricrust Mottled and plasmic lays		0.08	0.04	1.0	7.6	70.8
		0.20	0.07	0.3	8.5	82.3
		1.26	0.04	1.1	44.1	35.9
Ferruginous saprolite		0.46	0.15	0.08	18.1	72.3
Saprolite		0.47	0.16	29.4	7.2	26.7
Saprock		0.19	0.09	39.5	5.8	28.3
Bedrock		0.25	0.12	42.3	8.3	36.6

Gambar 5. *Oxides Deposit*, Goro New Caledonia (Freyssinet, et al., 2005)

1.3.8 Faktor Pengontrol Laterit

Terdapat beberapa faktor yang dapat mengontrol pembentukan endapan nikel laterit, yaitu:

1. Batuan Asal Laterit

Menurut Ahmad (2006) laterit Ni – Fe dapat berkembang pada batuan yang mengandung mineral ferromagnesian yang cukup. Oleh karena itu batuan ultramafik merupakan batuan yang paling cocok untuk menghasilkan laterit Ni – Fe karena memiliki proporsi mineral ferromagnesian yang tinggi.

2. Iklim

Iklim memiliki peran penting dalam terbentuknya endapan laterit. Temperatur yang hangat dan curah hujan yang tinggi dan ditambah dengan aktivitas biogenik yang tinggi roses pelapukan kimia. Daerah beriklim tropis dengan temperatur cenderung tetap sepanjang tahun merupakan daerah yang sangat ukan endapan laterit (Ahmad, 2006.) Curah hujan menentukan awati tanah, sehingga dapat mempengaruhi intensitas pencucian ebenarnya tingkat curah hujan dapat bervariasi yang nantinya akan erit yang berbeda-beda pula (Ellias, 2002).



3. Topografi

Topografi akan mempengaruhi pola aliran air, kelereng dan relief mempengaruhi intensitas air yang masuk ke dalam tanah atau batuan dan muka air tanah (Elias, 2002). Topografi atau morfologi yang tidak curam tingkat kelerengannya akan menyebabkan endapan laterit untuk ditopang oleh permukaan topografi sehingga tidak terangkut semua oleh proses erosi ataupun ketidakstabilan lereng. Laterit membutuhkan topografi yang tidak begitu curam, permukaan tanah yang curam akan mempercepat erosi pada tanah laterit. Topografi yang terlalu datar dengan drainase yang buruk juga tidak begitu bagus, hal ini menyebabkan pencucian berjalan kurang maksimal sehingga tanah laterit sulit terbentuk (Ahmad, 2009).

4. PH

Menurut Ahmad (2009) kelarutan mineral akan meningkat di perairan yang memiliki kadar pH yang rendah. Dengan demikian, air yang sedikit asam akan mempercepat proses pelapukan kimia. Air asam banyak terbentuk pada iklim tropis basah melalui hujan asam alami.

5. Tektonik

Tektonisme dapat menghasilkan pengangkatan yang menyebabkan tanah atau batuan tersingkap dan mempercepat proses erosi, menurunkan muka air tanah, dan merubah relief. Untuk menghasilkan pembentukan endapan laterit yang stabil diperlukan kondisi tektonik yang stabil karena dapat mengurangi proses erosi dan memperlambat gerak air tanah (Elias, 2002)

6. Struktur

Struktur geologi memiliki peran penting dalam pembentukan endapan laterit. Adanya struktur geologi seperti sesar dan kekar akan membuat batuan menjadi permeabel sehingga memudahkan air untuk dapat masuk ke dalam batuan. Masuknya air ke dalam batuan akan memudahkan proses pelapukan kimia sehingga laterisasi dapat berjalan dengan baik (Elias, 2002).

1.3.9 Pengolahan Bijih Nikel Laterit

Pengolahan bijih nikel laterit untuk mendapatkan logam nikel dapat dilakukan melalui dua proses ekstraksi yaitu proses hidrometalurgi dan pirometalurgi (Ma dkk., 2016).

1. Proses Pirometalurgi

Pirometalurgi menggunakan suhu tinggi untuk melakukan peleburan dan pemurnian untuk mengekstrak logam dari mineral. Metode pirometalurgi umumnya digunakan untuk memproses bijih kadar tinggi. Ekstraksi pirometalurgi melibatkan beberapa proses seperti pemanggangan, reduksi karbotermik, reduksi bijih sulfida, dan reduksi metalotermi. Proses pirometalurgi (*smelting*) merupakan proses pengolahan mineral dengan menggunakan suhu tinggi, panas yang diperoleh berasal dari tanur berbahan bakar batubara (kokas). Selain sebagai bahan bakar, batubara juga sebagai reduktor pada proses *smelting*. Nikel laterit jenis saprolit yang kandungan nikel yang tinggi (>2%) lebih sesuai untuk diolah dengan proses ini. Proses ini digunakan untuk memproduksi *ferronickel*, *nickel pig iron* (Anderson, 2016).



Proses pirometalurgi menghasilkan slag (terak), yaitu limbah hasil industri peleburan logam. Terak berupa residu atau limbah yang berwujud padatan, merupakan logam, memiliki kualitas rendah karena bercampur dengan

bahan-bahan lain yang susah untuk dipisahkan (Mustika, dkk., 2015,). Slag ini terbentuk akibat rendahnya kadar nikel dalam bijih mentah yang diolah. Pabrik peleburan nikel menghasilkan sejumlah besar terak / slag cair sebagai produk sampingan karena bijih biasa mengandung nikel kadar sangat rendah. Slag nikel cair yang melewati proses pendinginan akan memadat. Sifat fisik butiran slag nikel menjadikannya kandidat potensial untuk digunakan sebagai agregat halus pada beton.

2. Proses Hidrometalurgi

Proses hidrometalurgi sangat kompleks dan panjang, tetapi energinya rendah. Sebaliknya, proses pirometalurgi sederhana tetapi padat energi, dan memiliki persyaratan pada bijih nikel laterit mentah yang mengandung nikel tinggi. Hidrometalurgi digunakan untuk mengolah laterit kadar rendah yang terdiri dari limonit dan saprolit kadar rendah dengan kandungan $Ni < 1,8\%$. Untuk mengatasi keterbatasan proses pirometalurgi, para ahli telah mengusulkan mengganti tahap peleburan dengan pemisahan magnetik untuk *recovery* partikel feronikel yang dihasilkan selama tahap *roasting*. Hidrometalurgi menggunakan larutan berair untuk memisahkan logam yang diinginkan (Zheng, dkk., 2014).

Pelindian adalah proses ekstraksi mineral atau zat terlarut dari padatan dengan melarutkan mereka dalam cairan atau pelarut, baik di alam atau melalui proses industri. Pelindian adalah operasi yang sangat penting dalam industri pertambangan. Ekstraksi logam dari bijih dilakukan dengan menggunakan berbagai pelarut. Waktu kontak, konsentrasi, suhu dan ukuran partikel merupakan parameter penting dalam pelindian. Hal itu bisa menyimpulkan bahwa pelindian sangat efisien dan sederhana untuk memperoleh komponen berharga dari limbah padat. Oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan pelarut yang tepat dan mempertahankan kondisi operasi optimal untuk perolehan yang efisien dan hemat biaya (Saputra & Sufriadin, 2024).

Nikel adalah logam feromagnetik yang dikenal karena sifat-sifatnya yang unik, termasuk titik leleh yang tinggi, yaitu sekitar 1453°C . Pada suhu ini, nikel akan melebur dan berubah menjadi fase cair, yang memiliki titik didih yang jauh lebih tinggi, yaitu sekitar 2732°C . Sifat-sifat termal ini menjadikan nikel sangat berguna dalam berbagai aplikasi industri, termasuk dalam pembuatan paduan, baterai, dan komponen elektronik. Tingginya titik leleh dan titik didih nikel juga menunjukkan stabilitasnya pada suhu tinggi, yang penting dalam proses peleburan dan pengolahan logam (Kyle, 2010).

1.3.10 Metode X-Ray Fluorescence (XRF)

Analisis laboratorium merupakan tahapan penting untuk mengetahui sifat fisik dan kimia batuan yang tidak dapat dilakukan langsung di lapangan. Analisis ini menggunakan berbagai metode seperti metode XRF dan XRD untuk menghasilkan komposisi dan presentase unsur dalam mineral serta jenis mineral batuan (Massinai dkk., 2021).



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ence (XRF) merupakan teknik analisa non-destruktif yang ntifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada ataupun sample cair. XRF mampu mengukur elemen dari berilium pada level trace element, bahkan di bawah level ppm. Secara meter mengukur panjang gelombang komponen material secara urosensi yang dihasilkan sampel saat diradiasi dengan sinar-X.

Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Karena metode ini cepat dan tidak merusak sampel, metode ini dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi. Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan X-Ray yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (Putri dkk., 2023).



Gambar 6. XRF (*X-ray fluorescence*)

1.3.11 Analisis Statistik Univariate dan Bivariate

Analisis statistik univariate menggunakan analisis statistik deskriptif yang terdiri dari nilai statistik berupa nilai minimum, nilai maksimum, *mean*, median, modus, standar deviasi, dan koefisien variasi serta disajikan dalam bentuk tabel. Metode penelitian deskriptif adalah metode yang digunakan untuk mengetahui nilai variabel mandiri atau lebih tanpa membuat perbandingan atau menggabungkan antara variabel satu dengan yang lainnya. Analisis bivariate berupa asosiatif yang bertujuan untuk membagi unsur dan senyawa ke dalam beberapa kelompok asosiasi unsur dan senyawa dengan cara melihat hubungan kekerabatan secara spasial. Penelitian asosiatif merupakan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui hubungan dua variabel atau lebih (Sugiyono, 2013).

Salah satu metode yang digunakan pada analisis bivariate adalah metode koefisien korelasi Spearman. Metode koefisien korelasi Spearman bertujuan untuk menilai tingkat hubungan dari dua variabel unsur atau senyawa yang dinyatakan ke dalam koefisien Spearman. Rumus dalam menentukan koefisien korelasi Spearman dinyatakan pada persamaan (1) (Sugiyono, 2013).



$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{N(N^2 - 1)} \quad (1)$$

i Spearman
ng rank
n nilai ($5 < n < 30$)

Berdasarkan interpretasi terhadap koefisien korelasi Spearman, Sugiyono (2013) membaginya dalam beberapa interval.

Tabel 1. Interval koefisien korelasi (Sugiyono,2013)

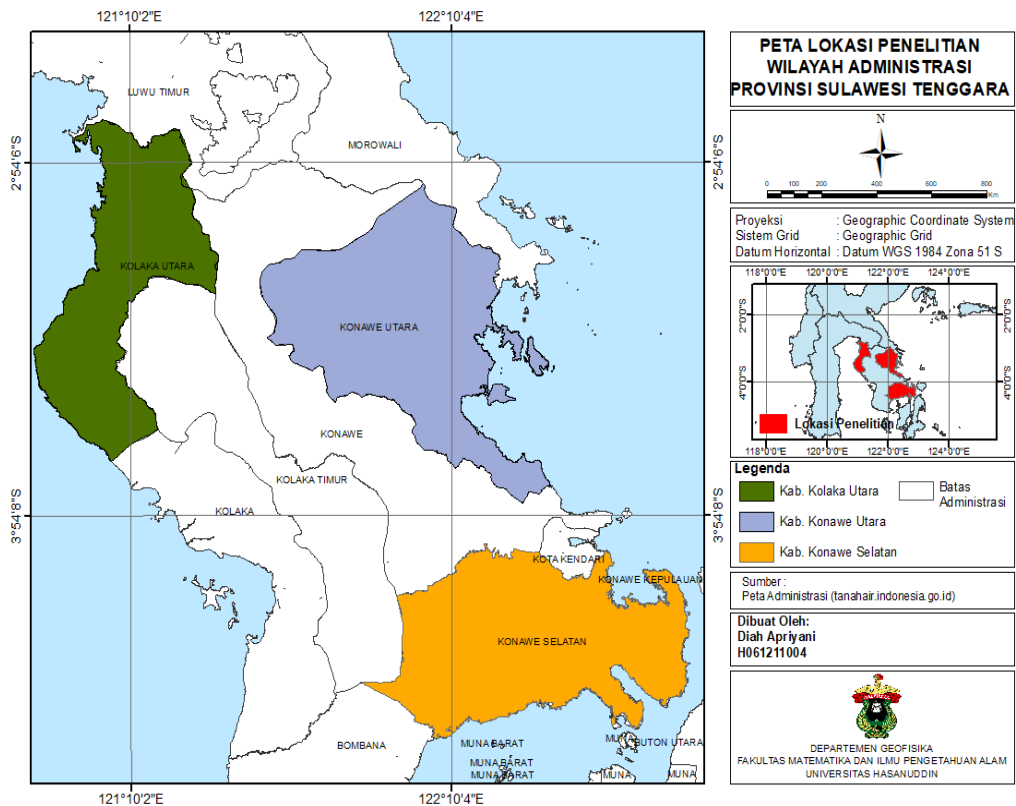
Interval Koefisien Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
0,80 – 1,000	Sangat Kuat
0,60 – 0,799	Kuat
0,40 – 0,599	Sedang
0,20 – 0,399	Rendah
0,00 – 0,199	Sangat Rendah



BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 29 November 2024 – 10 Januari 2025, dengan lokasi penelitian berada pada cakupan wilayah Kabupaten Kolaka Utara, Kabupaten Konawe Selatan, Kabupaten Konawe Utara Provinsi Sulawesi Tenggara, serta dilakukan analisis *X-ray fluorescence* (XRF) di laboratorium PT. Bumi Mineral Sulawesi



Gambar 7. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat dan Bahan yang digunakan saat pengambilan sampel

Adapun alat dan bahan yang digunakan :

1. Kantong sampel berfungsi sebagai tempat penyimpanan sampel nikel
2. Spidol berfungsi sebagai alat tulis untuk memberikan kode pada sampel



Alat yang digunakan untuk proses pengambilan sampel.
Bahan yang akan diambil di lokasi.

Bahan yang digunakan di Laboratorium Preparasi Sampel

Bahan yang digunakan di Laboratorium Preparasi Sampel yaitu:
Berfungsi untuk menghancurkan sampel yang berukuran besar
untuk memecah bijih yang tidak lolos ukuran tertentu.
Berfungsi untuk mengaduk sampel secara merata.

4. Papan matriks digunakan untuk mencetak sampel.
5. Timbangan digital untuk menimbang sampel hingga 1000 gram.
6. Oven berfungsi untuk mengeringkan material bijih nikel
7. *Disk mill* berfungsi untuk menghaluskan material bijih nikel.
8. Ayakan berfungsi untuk memperoleh ukuran yang diinginkan

2.2.3 Alat dan Bahan yang digunakan di Laboratorium XRF

Alat dan bahan yang digunakan di laboratorium analisis XRF yaitu :

1. *Pulverizer* berfungsi menghaluskan sampel hingga menjadi bubuk halus.
2. Ayakan berfungsi untuk memperoleh ukuran yang diinginkan.
3. Neraca analitik berfungsi untuk menimbang sampel hingga 1,0 gram.
4. Alat Fusion Claissse digunakan untuk melebur sampel yang dihomogenkan dengan fluks, menghasilkan lelehan siap analisis.
5. Komponen alat XRF berfungsi untuk menganalisis kandungan unsur dari bijih nikel
6. Komputer dengan *software* epsilon untuk dilakukan pembacaan/analysis.
7. Lithium Tetrahydroborate sebagai bahan fluks.

2.3 Pengumpulan Data

2.3.1 Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan metode Eksperimen dengan cara menganalisa sampel pada laboratorium dengan komponen alat XRF.

2.3.2 Prosedur Uji Sampel XRF di laboratorium

Untuk tahap preparasi, sampel yang telah diperoleh harus dilakukan beberapa tahap sebagai berikut:

1. Menyatukan sampel yang diangkut dari *stock yard* di tempat preparasi, kemudian memprosesnya.
2. Memecahkan sampel batuan menjadi bagian-bagian yang kecil menggunakan *jaw crusher* untuk dilakukan *crushing* -20mm.
3. Mencampur sebanyak 4 kali menggunakan sekop.
4. Mengambil sampel dengan matriks 4x5 menggunakan sendok.
5. Memasukkan sampel kedalam oven selama 5 jam menggunakan suhu 100° C.
6. Melakukan grinding menggunakan *disc mill* agar sampel menghaluskan sampel.
7. Mencampur kembali sampel sekaligus direduksi menggunakan Matrix 4 x 5.
8. Mengayak sampel menggunakan ayakan -3mm, lalu sampel di matriks 4x5 dan diambil menggunakan sendok.
9. Menimbang sampel hingga 1000 gram.
10. Memasukkan sampel kedalam oven selama + 1 jam dengan temperatur 100°C.
11. Memasukkan sampel kedalam *Pulverizer* ± 4 menit untuk menghaluskan sampel



mesh.
 sampel 1,0 gram dan menambahkan fluks 10 gram.
 sampel ke dalam alat *fusion claise* dengan mengatur suhu 1050°C
 enit.
 sampel yang sudah di fusing berbentuk *glass bead*.
 sampel kedalan *holder X-ray fluorescence* untuk selanjutnya di

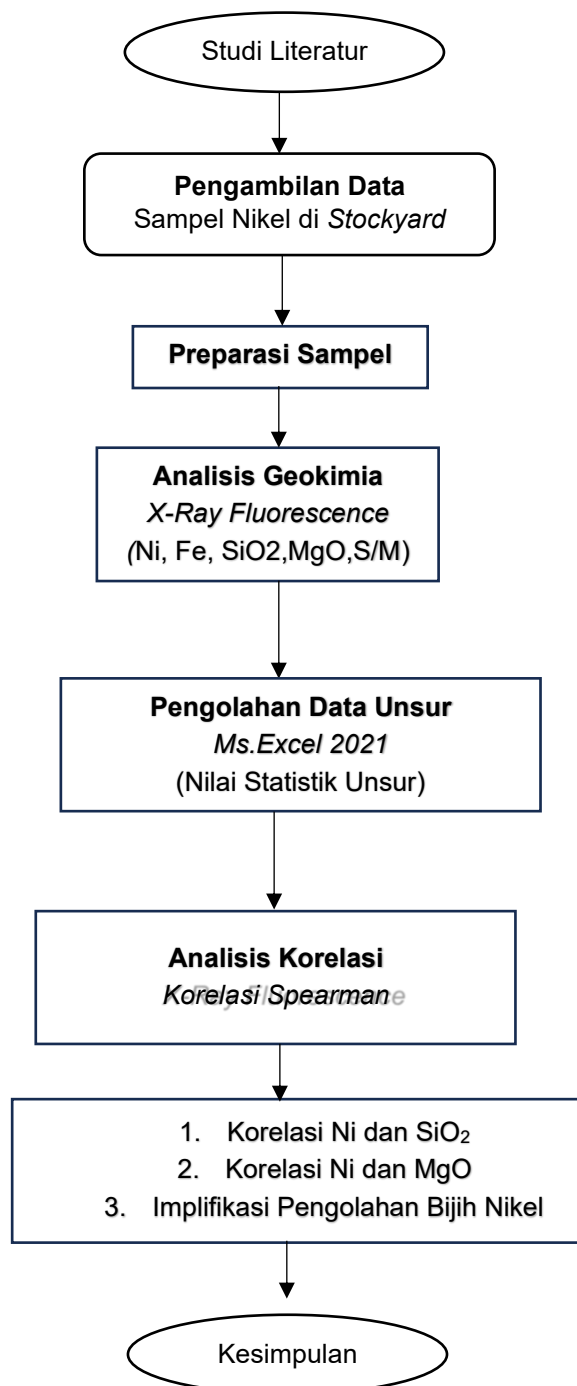
16. Mengalisa menggunakan metode XRF dengan memasukkan sample kedalam sample changer yang kemudian diatur pada *software epsilon* untuk dilakukan pembacaan/analysis ± 4 menit/sample.
17. Memindahkan hasil data tersebut ke *microsoft excel*.

2.4 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis data yang meliputi pengolahan data dengan Microsoft Excel 2021 untuk penyajian data dalam bentuk tabel dan grafik, serta perhitungan korelasi antar unsur menggunakan koefisien korelasi Spearman.



2.5 Diagram Alir



Gambar 8. Diagram Alir

