

KARAKTERISTIK PROFIL ENDAPAN NIKEL LATERIT DI BLOK X, DESA KOROWOU, KECAMATAN LEMBO, KABUPATEN MOROWALI UTARA, SULAWESI TENGAH

Vanadia Martadiastuti^{1*}, Tri Winarno¹, Jenian Marin¹, Muhammad Faiz Abdillah¹

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50275

*email : vanadiamartadiastuti@lecturer.undip.ac.id

Abstrak. Nikel merupakan unsur logam yang bermanfaat untuk berbagai industri. Salah satu kabupaten penghasil bijih nikel yaitu Kabupaten Morowali Utara yang terletak di Provinsi Sulawesi Tengah. Pada tahun 2020, Morowali Utara memiliki sumberdaya bijih nikel sebesar 487 juta ton. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kondisi geologi seperti geomorfologi, litologi, struktur geologi, serta distribusi dan karakteristik profil endapan nikel laterit pada daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pemetaan geologi permukaan, pemerian inti bor, analisis sayatan tipis, dan analisis *X-ray Fluorescence* (XRF). Daerah penelitian tersusun atas Satuan Harzburgit, Satuan Dunit, dan Endapan Aluvial. Geomorfologi terbagi menjadi 3 satuan bentuklahan yaitu Satuan Bentuklahan Struktural, Satuan Bentuklahan Denudasional, dan Satuan Bentuklahan Fluvial. Karakteristik zona tanah penutup (*top soil*) berwarna merah kecoklatan, banyak terdapat akar tanaman, dan berkadar Ni antara 0,619 – 1,028%. Zona limonit berwarna coklat kemerahan dan berkadar Ni antara 0,426 – 1,186%. Zona saprolit berwarna coklat kekuningan dan berkadar Ni antara 0,204 – 1,631%. Zona batuan dasar berwarna hitam kehijauan dengan kadar Ni antara 0,162 – 0,583%.

Kata kunci : pemetaan geologi, karakteristik profil, nikel laterit, Morowali Utara, Sulawesi Tengah

Abstract. Nickel is a metal element that is useful in various industries. One of the nickel ore producing districts is North Morowali Regency. In 2020, North Morowali has nickel ore resources of 487million tons. The purposes of the study are to determine geological conditions including geomorphology, lithology, geological structure, distribution and profile characteristics of nickel laterite deposits. The methods used in the research are surface geological mapping, core logging description, thin section and X-Ray Fluorescence (XRF) analyses. The study area is composed by ultramafic rocks, i.e. dunite and harzburgite. The geomorphology is divided into 3 landform units, namely structural landform units, denudational landform units, and fluvial landform units. The characteristics of the top soil zone are brownish red, there are many plant roots, and the Ni content was between 0.619 – 1.028%. The limonite zone characteristics are reddish-brown color and Ni content range from 0.426 to 1.186%. The saprolite zone characteristics are yellowish brown color and Ni content between 0.204 – 1.631%. The bedrock zone is greenish black with Ni content range 0.162 – 0.583%.

Key words : geological mapping, profile characteristics, nickel laterite, North Morowali, Central Sulawesi

PENDAHULUAN

Nikel (Ni) merupakan salah satu unsur logam yang sangat berharga dan memiliki nilai jual tinggi di pasar dunia. Hal ini disebabkan manfaat nikel yang begitu besar untuk kehidupan sehari-hari. Menurut Australia Department of Industry (2018), konsumsi nikel global pada tahun 2017 tercatat bahwa sebanyak 68% digunakan sebagai *stainless steel*, logam paduan (16%), pelapisan logam (9%), baterai (3%), pengecoran (3%), dan penggunaan lainnya (1%).

Potensi sumberdaya bijih nikel di Indonesia

sebesar 11.887 juta ton (KementerianESDM, 2020). Salah satu kabupaten penghasil bijih nikel di Provinsi Sulawesi Tengah yaitu Kabupaten Morowali Utara. Pada tahun 2020, Morowali Utara memiliki sumberdaya bijih nikel sebesar 487 juta ton berdasarkan Kementerian ESDM (2020).

Keterdapatan nikel di alam dapat dijumpai dalam bentuk senyawa sulfida (bijih sulfida magmatik) dan senyawa oksida (bijih lateritik). Di Indonesia, umumnya endapan bijih nikel ditemukan dalam bentuk senyawa oksida (bijih lateritik). Nikel

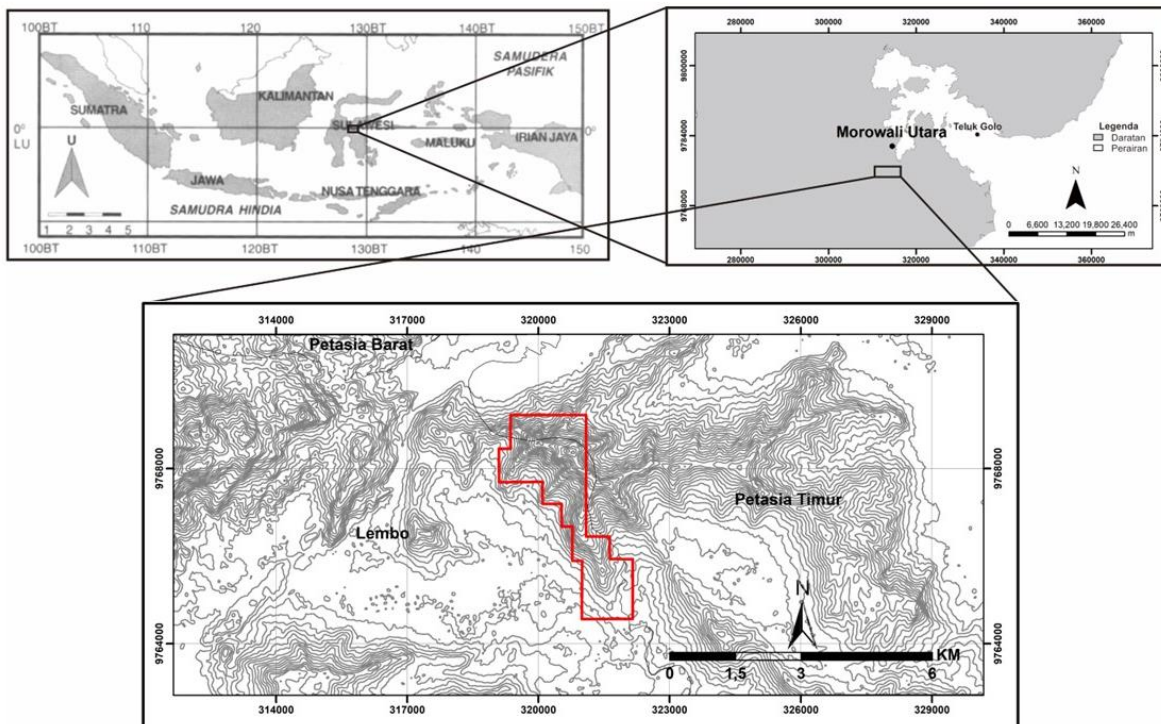
laterit merupakan sumberdaya yang penting karena sekitar 40% produk nikel tahunan berasal dari nikel laterit (Gleeson, 2003).

Bijih nikel pada endapan nikel laterit berasal dari batuan ultramafik yang mengandung sekitar 0,2-0,4% nikel (Golightly, 1981). Kandungan nikel di batuan dasar (*bedrock*) berkisar 0,28% dan juga dapat mengalami kenaikan hingga 1% nikel sebagai konsentrasi sisa pada zona limonit (Ahmad, 2001).

Dalam proses meningkatkan penawaran komoditas nikel, diperlukan kegiatan eksplorasi guna mencari keterdapatn endapan nikel yang ekonomis di alam. Pendekatan dalam kegiatan eksplorasi bijih nikel salah satunya dilakukan dengan cara pemetaan geologi dan pengeboran eksplorasi inti batuan untuk mengetahui profil laterit dari

endapan bijih nikel. Secara sederhana, profil nikel laterit tersusun atas 4 zona dari atas ke bawah, yaitu tanah penutup (*top soil*), zona limonit, zona saprolit, dan zona batuan dasar (*bedrock*) (Ahmad, 2001). Setiap zona tersebut memiliki karakteristik khusus sebagai pembawa unsur nikel di dalamnya.

Penelitian ini berfokus pada karakteristik profil endapan nikel laterit di Blok X, Desa Korowou, Kecamatan Lembo, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Daerah penelitian berada di wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT. Sumber Mineral Abadi (PT. SMA), yang terletak antara 02° 5' 00" hingga 02° 9' 00" LS dan 120° 22' 00" hingga 120° 26' 00" BT, dan memiliki luas area 563,9 hektar (**Gambar 1**).



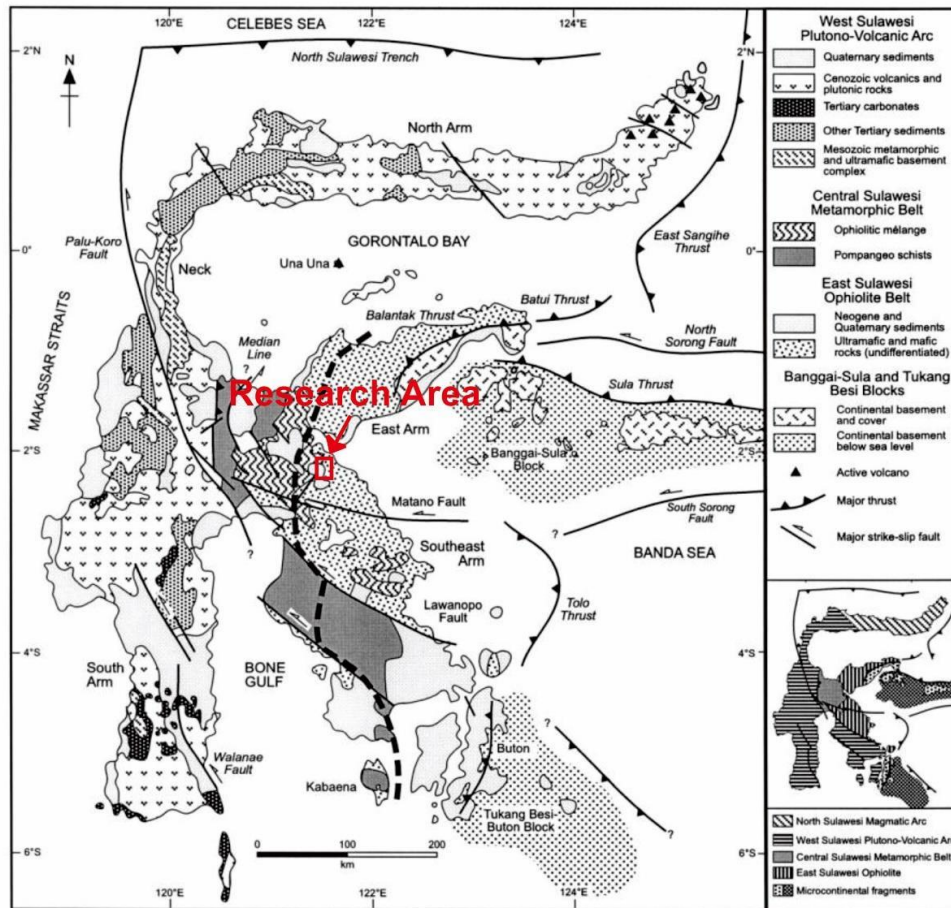
Gambar 1. Peta indeks lokasi penelitian. Daerah penelitian dibatasi oleh garis berwarna merah

Berdasarkan struktur litotektoniknya, Sulawesi dapat dibagi menjadi 4 bagian, yaitu : (1) Mandala Barat (*West and North Sulawesi Volcano-Plutonic Arc*) sebagai jalur magmatik bagian dari ujung timur Paparan Sunda; (2) Mandala Tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*) yang tersusun atas batuan metamorf yang ditumpangi batuan banchu yang berasal dari Blok Australia; (3)

Mandala Timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) yang tersusun oleh batuan seri ofiolit yang berasal dari pemekaran lantai samudera (*mid oceanic ridge*) yang berimbrikasi dengan batuan sedimen; (4) Fragmen Benua Banggai-Sula-Tukang Besi berupa kepulauan paling timur dan tenggara dari Sulawesi yang berasal dari pecahan benua akibat *strike-slip fault* dari Papua Nugini (Somptotan, 2012).

Secara fisiografi, daerah penelitian berada di area Sabuk Ophiolit Sulawesi Timur (*East Ophiolite Belt*) yang tersusun oleh batuan mafik dan ultramafik, batuan sedimen, dan *melange*. Lokasi

penelitian terletak di lengan tenggara Sulawesi yang secara dominan tersusun oleh batuan ultramafik (**Gambar 2**).



Gambar 2. Fisiografi Pulau Sulawesi (Hall dan Wilson, 2000). Daerah penelitian dibatasi oleh garis berwarna merah

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan meliputi pemetaan geologi permukaan, pemerian inti bor, analisis sayatan tipis, dan analisis *X-ray Fluorescence* (XRF). Pemetaan geologi permukaan meliputi observasi litologi, geomorfologi, struktur geologi, dan karakteristik profil laterit. Contoh batuan yang mewakili setiap satuan litologi selanjutnya dilakukan analisis sayatan tipis menggunakan mikroskop polarisasi Olympus CX-31 yang dilakukan di Laboratorium Sumberdaya Mineral, Departemen Teknik Geologi, Universitas Diponegoro.

Pemerian inti bor dilakukan dari data 8 titik bor dengan spasi tertentu (200 m dan 400 m). Dari

data inti bor dapat diketahui karakteristik profil laterit pada kedalaman tertentu. Selanjutnya, dari contoh inti bor tersebut dilakukan analisis XRF untuk mengetahui kadar geokimia Ni, Fe, MgO, SiO₂, dan Al₂O₃. Analisis XRF dilakukan di PT. Sumber Mineral Abadi.

HASIL

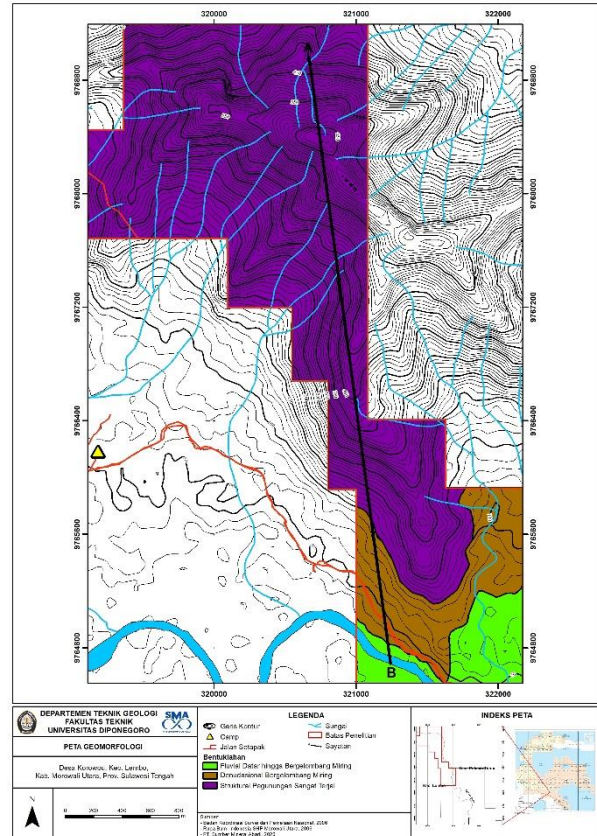
Geomorfologi

Secara regional, daerah penelitian terletak pada satuan perbukitan yang memiliki ketinggian antara 200 – 700 mdpl dan tersusun atas batuan metamorf, batuan ultramafik, dan batugamping (Simandjuntak, 1991).

Pada daerah penelitian, satuan geomorfologi diinterpretasikan berdasarkan prinsip morfometri, morfogenesis, dan morfografi. Penentuan satuan geomorfologi pada daerah penelitian didasarkan pada klasifikasi van Zuidam (1983). Peta geomorfologi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga satuan bentuklahan, yaitu (Gambar 3):

1. Satuan Bentuklahan Struktural Pegunungan Sangat Terjal.
2. Satuan Bentuklahan Denudasional Bergelombang Miring.
3. Satuan Bentuklahan Fluvial Datar – Bergelombang Miring.



Gambar 3. Peta geomorfologi daerah penelitian.



Gambar 4. Satuan bentuklahan di daerah penelitian. a) Bentulahan Struktural Pegunungan Sangat Terjal, b) Satuan Bentuklahan Denudasional Bergelombang Miring, dan c) Bentuklahan Fluvial Datar - Bergelombang Miring.

Litologi

Litologi penyusun di daerah penelitian dari tua ke muda, antara lain :

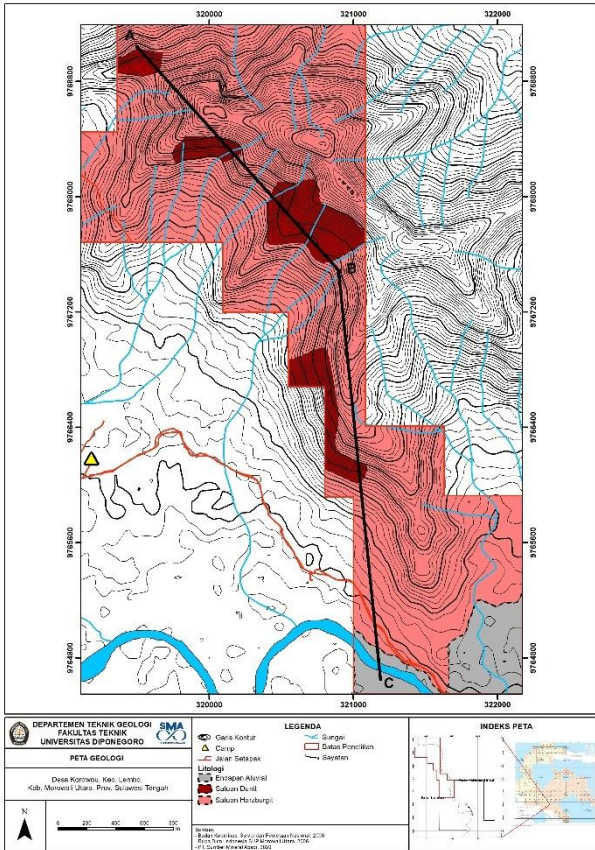
1. Satuan Harzburgit
2. Satuan Dunit
3. Endapan Aluvial

Satuan Harzburgit dan Satuan Dunit termasuk ke dalam batuan beku ultramafik dan tergolong ke dalam Kompleks Ultramafik (MTosu). Kompleks ini berumur Kapur hingga Eosen (Tersier Awal). Kompleks ini termasuk ke dalam Sabuk Ofiolit

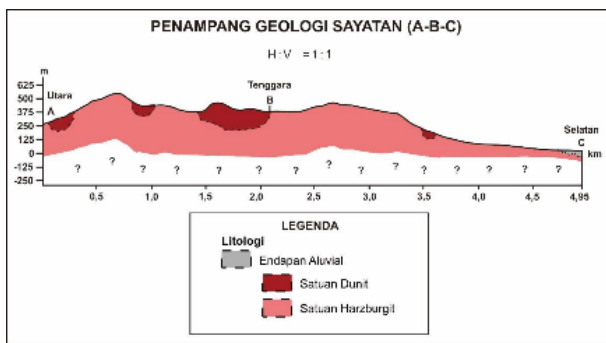
Sulawesi Timur (*East Ophiolite Belt*).

Endapan Aluvial merupakan satuan litologi termuda di daerah penelitian dan berumur Holosen. Endapan ini berasal dari Sungai Tambalako yang berada di selatan daerah penelitian. Endapan ini diinterpretasikan terendapkan secara tidak selaras di atas Satuan Harzburgit.

Peta geologi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 5**. Selanjutnya, stratigrafi daerah penelitian tersaji pada **Gambar 6**.



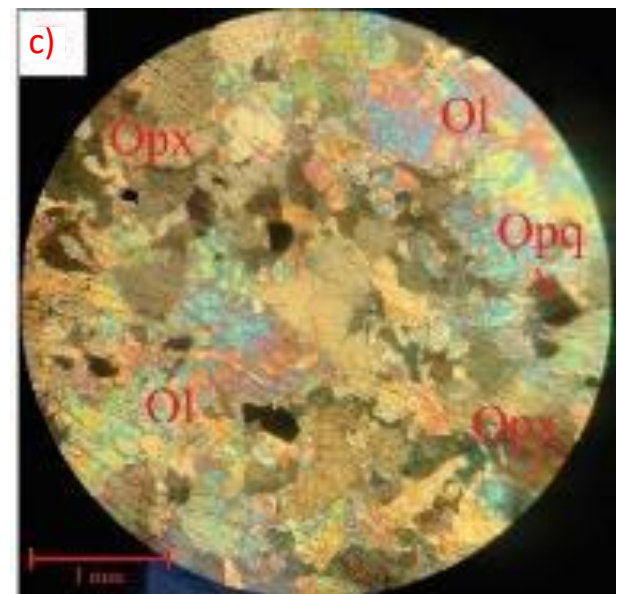
Gambar 5. Peta geologi daerah penelitian. Daerah penelitian tersusun oleh Satuan Harzburgit, Satuan Dunit, dan Endapan Aluvial.



Gambar 6. Penampang geologi sayatan A-B-C.

Satuan Harzburgit

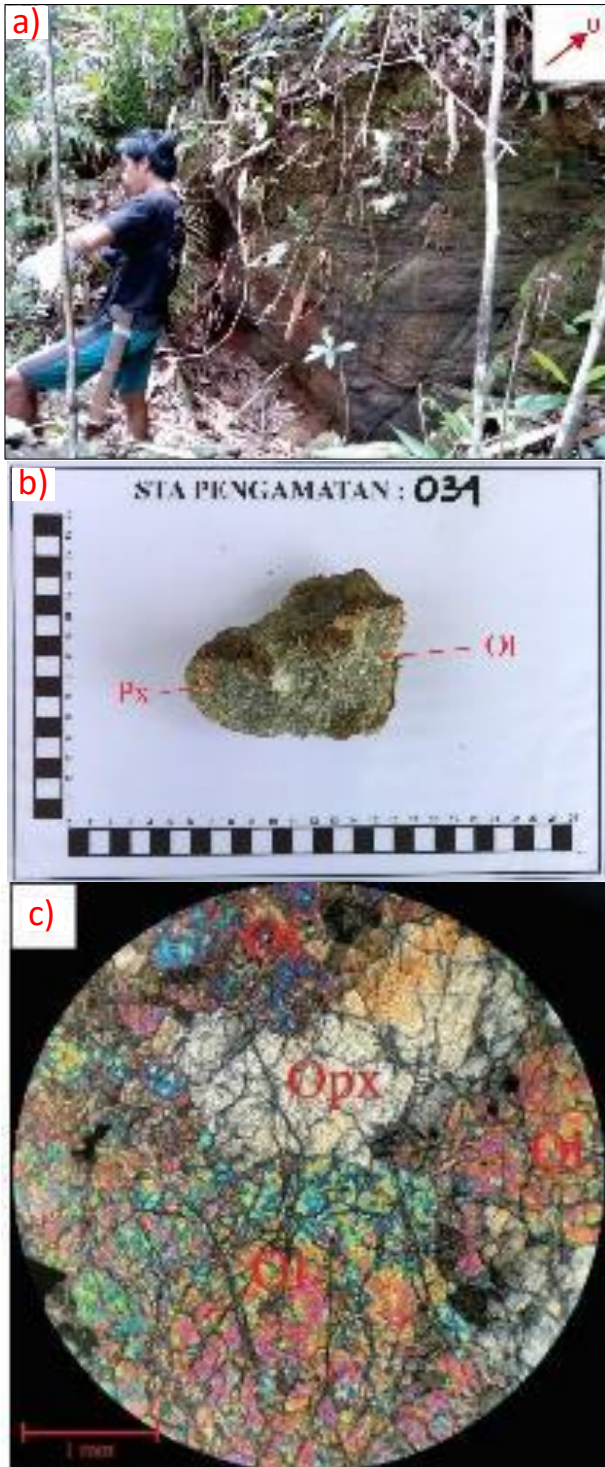
Satuan Harzburgit mendominasi daerah penelitian dan memiliki cakupan 83,6%, tersusun oleh olivin 40%, ortopiroksen 59%, dan mineral opak 1% (**Gambar 7**).



Gambar 7. Satuan Harzburgit. a) Singkapan harzburgit; b) Megaskopis Satuan Harzburgit; dan c) Fotomikrograf Satuan Harzburgit yang tersusun oleh olivin (Ol) dan ortopiroksen (Opx)

Satuan Dunit

Satuan Dunit memiliki sebaran 8,8% dari daerah penelitian, tersusun oleh mineral olivin sekitar 90%, dan ortopiroksen 10% (**Gambar 8**).



Gambar 8. Satuan Dunit. a) Singkapan dunit; b) Megaskopis Satuan Dunit; dan c) Fotomikrograf Satuan Dunit yang tersusun oleh olivin (Ol) dan ortopirosken (Opx)

Endapan Aluvial

Endapan Aluvial memiliki cakupan 7,6% dari daerah penelitian. Endapan ini dijumpai di sekitar sungai, tersusun oleh material lepas berukuran pasir hingga kerikil.

Lateritisasi Nikel Laterit

Profil Nikel Laterit Permukaan

Berdasarkan hasil pemetaan geologi permukaan, daerah penelitian sebagian besar tertutupi oleh endapan laterit, di mana singkapan batuan dasar yang masih segar tidak dapat dijumpai dan sudah mengalami pelapukan sangat intensif. Selain endapan laterit, juga dijumpai singkapan batuan dasar yang masih segar berupa harzburgit dan dunit, serta endapan aluvial.

Peta Laterit dibuat berdasarkan kenampakan kondisi singkapan yang ada di permukaan. Apabila di permukaan hanya dijumpai lapukan batuan dasar yang sangat intensif, maka digolongkan ke dalam Laterit, sedangkan jika dijumpai litologi batuan dasar yang masih segar, maka digolongkan ke dalam Singkapan (**Gambar 9**).

Sebaran laterit di daerah penelitian tersebar di Kompleks Ultramafik (MTosu) yang tersusun oleh Satuan Harzburgit dan Satuan Dunit (**Gambar 4**). Pada Peta Geologi tersebut dibuat berdasarkan kondisi jenis litologi yang dijumpai di permukaan, baik dijumpai dalam kondisi masih segar ataupun yang sudah lapuk menjadi endapan laterit. Endapan laterit yang terdapat di daerah penelitian merupakan hasil dari pelapukan batuan ultramafik berjenis harzburgit dan dunit.

Profil Nikel Laterit Bawah Permukaan

Pada daerah penelitian, terdapat 8 titik bor, yaitu : 1) AR2000; 2) AR1000; 3) AQ2000; 4) AN1000; 5) AO1000; 6) AE0224; 7) AF0214; dan 8) AF1814. Berdasarkan hasil pemerian inti bor dari 8 titik bor pada daerah penelitian (**Gambar 9**), profil nikel laterit di bawah permukaan terdiri dari 4 zona (**Gambar 10**), yaitu:

1. Tanah penutup

Zona tanah penutup memiliki ciri berwarna merah kecoklatan, tingkat pelapukan sangat tinggi (tingkat V), ukuran butir halus, dijumpai mineral hematit, dan banyak akar tanaman. Akar tanaman menjadi penciri khas dari zona ini karena pada zona ini terdapat kandungan unsur ara yang cukup untuk tanaman hidup. Ketebalan dari zona tanah penutup yaitu sebesar 2 m.

2. Limonit

Zona limonit dikarakteristikan berwarna coklat

kemerahan, tingkat pelapukan sangat tinggi (tingkat V), ukuran butir halus, dijumpai mineral hematit. Zona ini dapat digolongkan ke dalam zona limonit merah (*red limonite*) karena berwarna merah akibat kandungan unsur Fe yang tinggi. Ketebalan dari zona limonit yaitu sebesar 2 m.

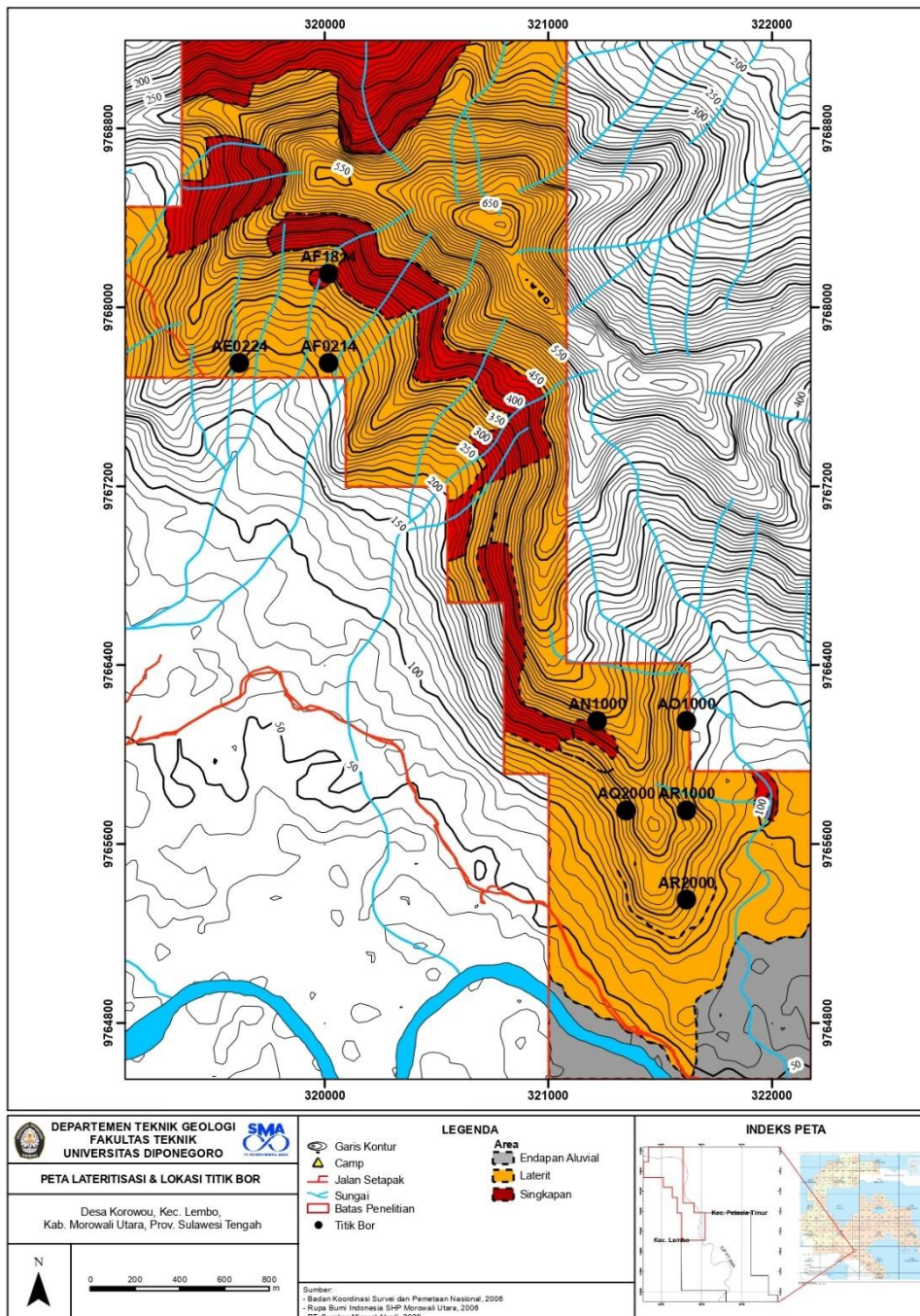
3. Saprolit

Zona saprolit dikarakteristikan berwarna coklat kekuningan, tingkat pelapukan tinggi –

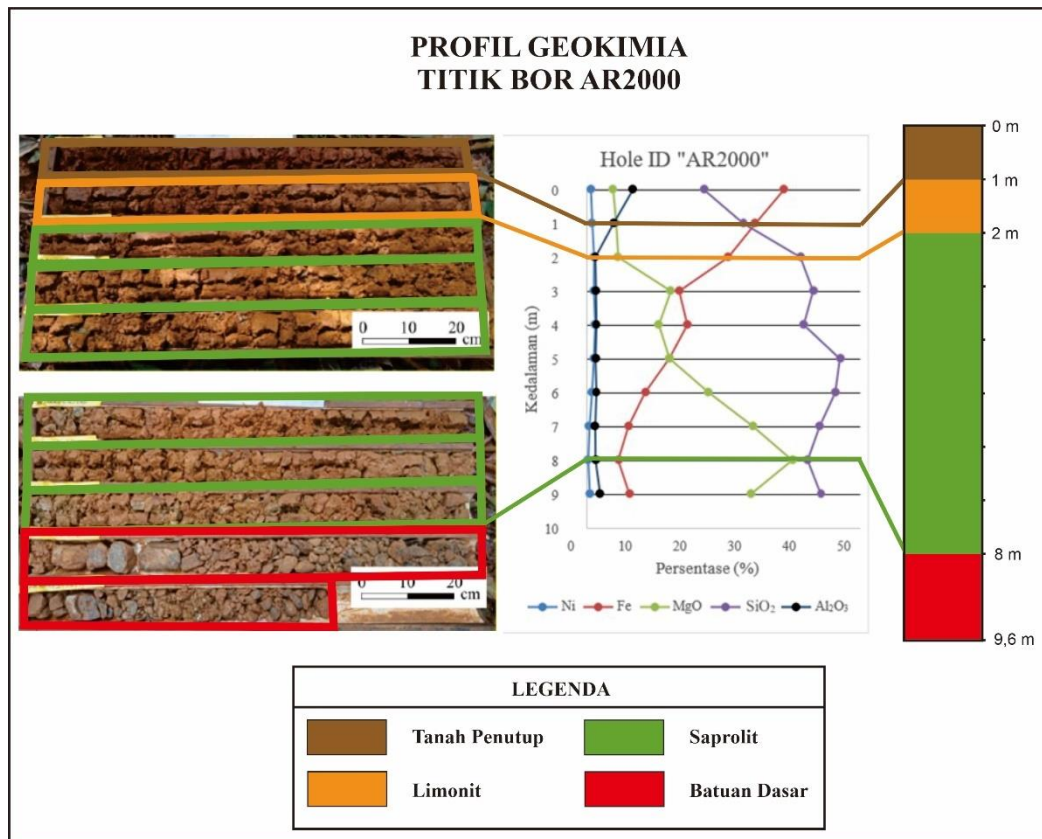
sangat tinggi (tingkat IV-V), ukuran butir kasar – sedang, serta dijumpai mineral hematit, goetit, dan talk. Ketebalan dari zona saprolit yaitu sebesar 13,65m.

4. Batuan dasar

Zona ini memiliki karakteristik berwarna hitam kehijauan, batuan bersifat segar hingga lapuk rendah (tingkat I-II), tersusun oleh mineral olivin dan piroksen. Ketebalan dari zona ini yaitu sekitar 0,35 m.



Gambar 9. Peta laterisasi dan lokasi titik bor di daerah penelitian



Gambar 10. Contoh inti batuan dan profil geokimia titik bor AR2000, yang tersusun oleh 4 zona. A) Tanah penutup; b) Limonit; c) Saprolit; dan d) Batuan Dasar.

Geokimia Profil Endapan Nikel Laterit

Dari 8 titik bor yang ada di daerah penelitian, contoh inti bor dari setiap titik bor tersebut dianalisis menggunakan metode XRF untuk mengetahui kadar geokimia pada setiap profil endapan nikel laterit. Berdasarkan hasil analisis geokimia, kadar unsur Ni dari contoh inti bor pada 8 titik bor dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Zona tanah penutup : 0,619 – 1,028%.
2. Zona limonit : 0,426 – 1,186%.
3. Zona saprolit : 0,204 – 1,631%.
4. Zona batuan dasar 0,162 – 0,583%.

Berikut merupakan grafik hubungan antara kelima unsur dan senyawa beserta kedalamannya pada 8 titik bor (**Gambar 11**).

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis kadar geokimia unsur dan senyawa, dapat diketahui bahwa distribusi kadar Ni, MgO, Fe, SiO₂, dan Al₂O₃ pada 8 titik bor di setiap profil memperlihatkan

karakteristik yang hampir sama, antara lain:

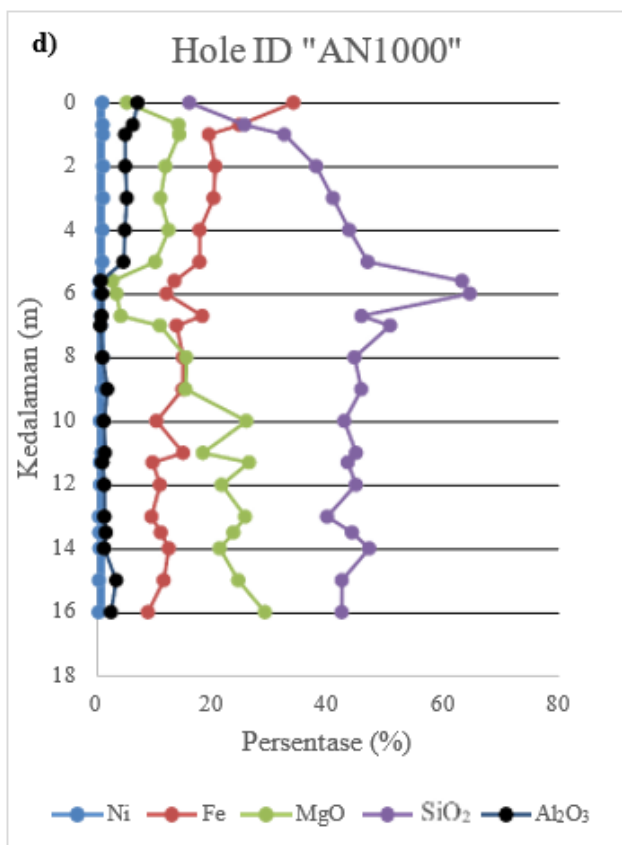
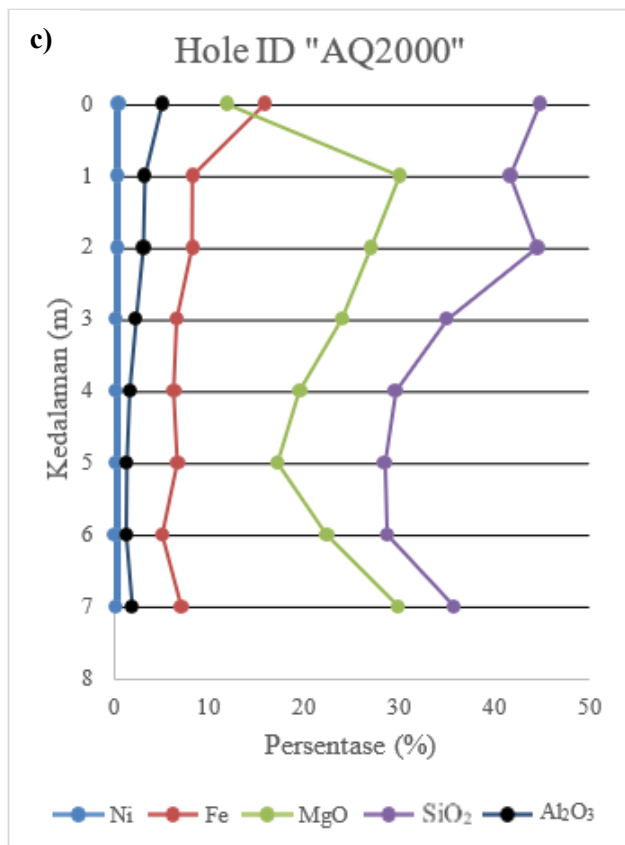
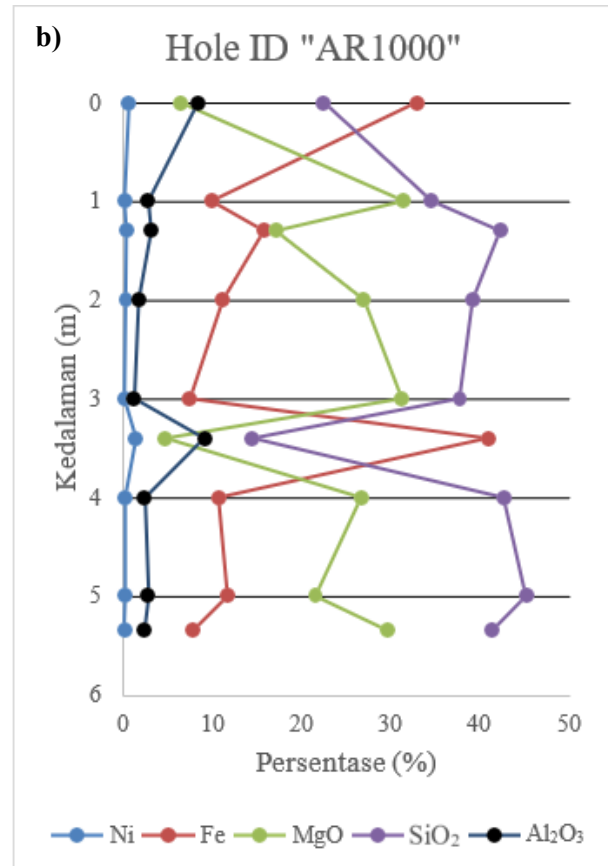
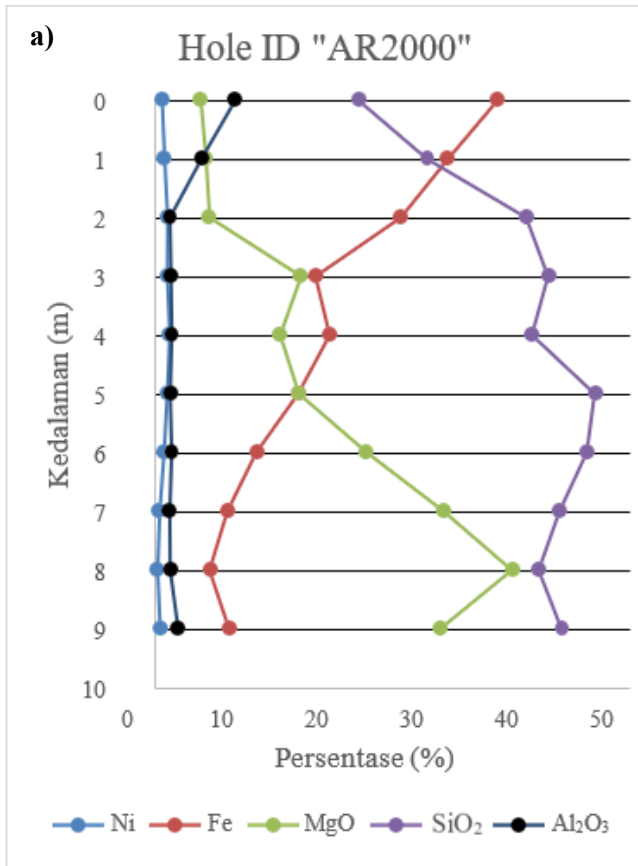
1. Ni

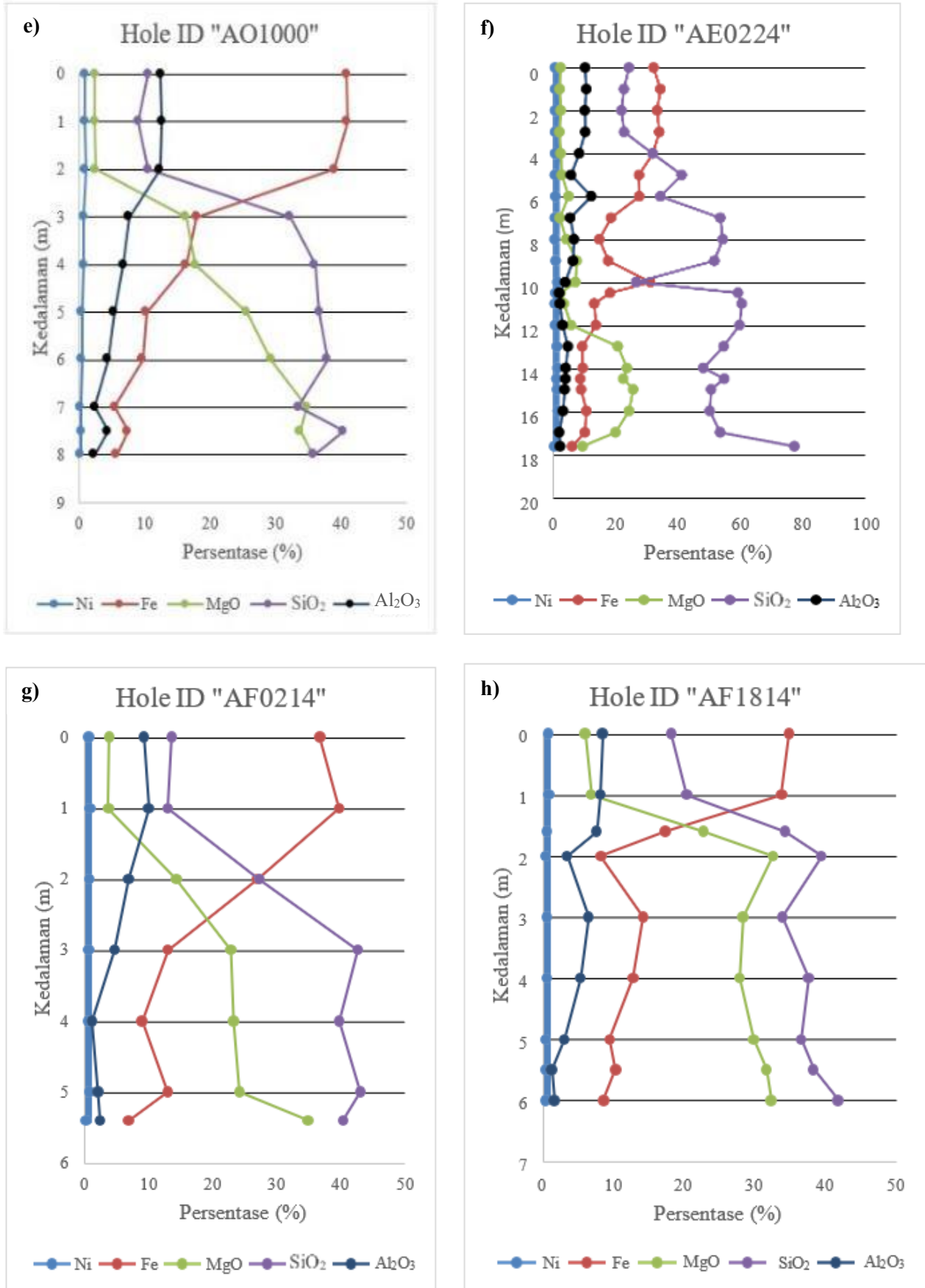
Kadar unsur Ni mengalami peningkatan seiring bertambahnya kedalaman, dan memiliki kadar paling tinggi pada zona saprolit. Hal ini terjadi karena unsur Ni bersifat *semi-mobile*, akan terlarutkan oleh air hujan yang bersifat agak asam. Kemudian akan terjadi proses infiltrasi ke dalam tanah dan terjadi pengkonsentrasian kembali ketika unsur Ni bertemu dengan airtanah yang bersifat basa. Proses pengkonsentrasian unsur Ni pada suatu kedalaman tertentu biasa disebut proses *supergent enrichment*.

Penurunan kadar unsur Ni terjadi ketika telah mencapai zona batuan dasar. Hal tersebut terjadi karena kandungan unsur Ni di batuan ultramafik hanya berkisar antara 0,06 – 0,39% (Ahmad, 2001).

2. MgO

Senyawa MgO mempunyai kecenderungan yang sama seperti unsur Ni karena unsur Mg bersifat *mobile*. Kadar senyawa MgO akan





Gambar 11. Grafik hubungan kedalaman dengan persentase unsur dan senyawa pada 8 titik bor. a) Bor AR2000; b) Bor AR1000; c) Bor AQ2000; d) Bor AN1000; e) Bor AO1000; f) Bor AE0224; g) Bor AF0214; h) Bor AF1814.

mengalami peningkatan seiring bertambahnya kedalaman.

3. SiO₂

Senyawa SiO₂ memiliki kecenderungan sama seperti senyawa MgO karena unsur Si bersifat *mobile*. Seiring bertambahnya kedalaman, maka akan terjadi peningkatan kadar senyawa SiO₂.

4. Fe

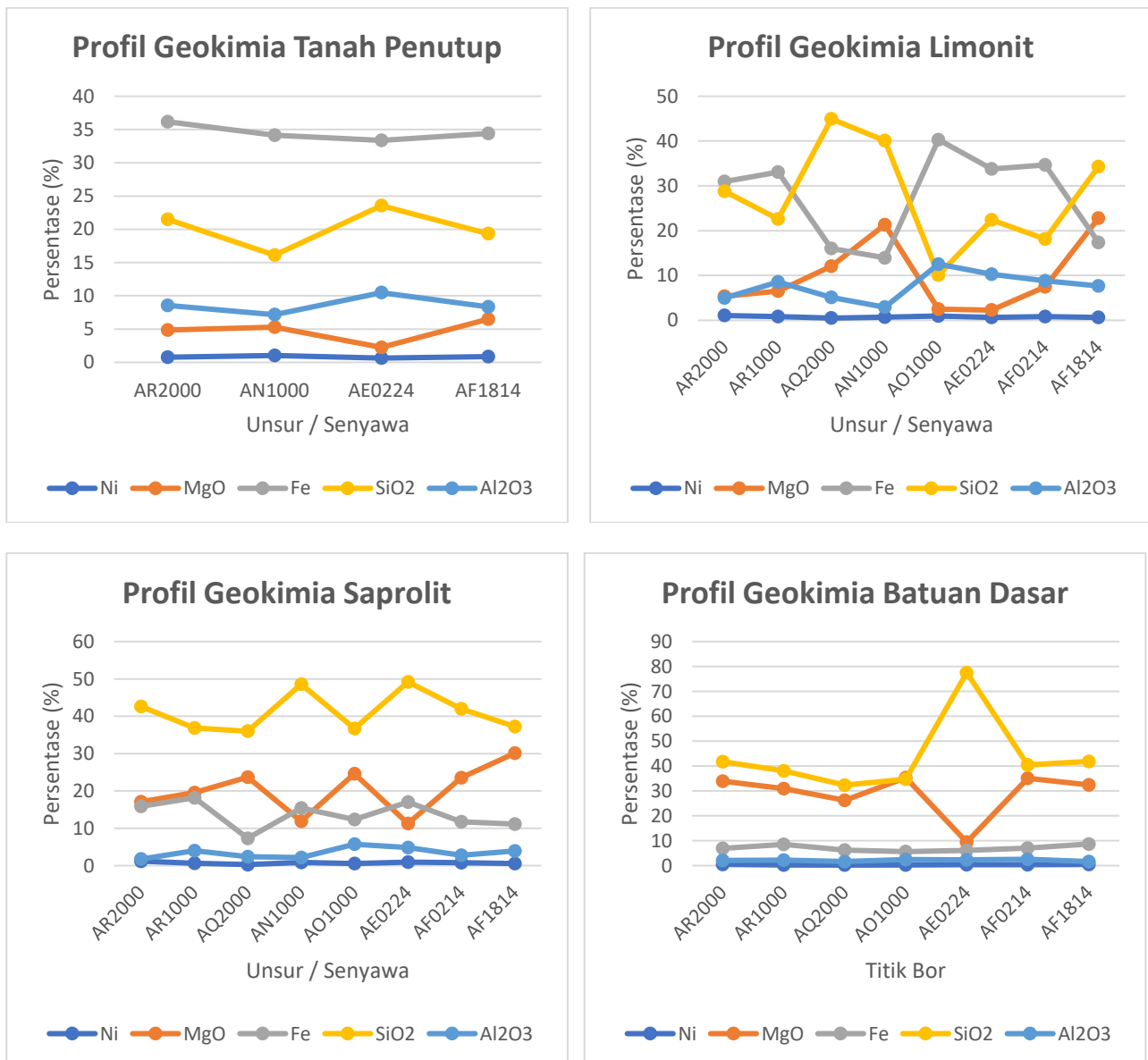
Berbeda dari unsur Ni dan senyawa MgO, unsur Fe memiliki kecenderungan mengalami penurunan kadar seiring bertambahnya kedalaman. Hal ini terjadi karena unsur Fe bersifat *immobile*. Proses pengkonsentrasian unsur Fe menjadi endapan hasil oksidasi membentuk mineral hematit (Fe₂O₃). Selain itu,

juga dapat terjadi hidrasi antara unsur besi dengan airtanah (basa/OH⁻) sehingga membentuk mineral goetit (Fe₂O·H₂O).

5. Al₂O₃

Senyawa Al₂O₃ memiliki kecenderungan sama seperti unsur Fe karena unsur Al bersifat *immobile*. Semakin bertambahnya kedalaman, maka semakin rendah kadar senyawa Al₂O₃.

Selanjutnya, berdasarkan data kadar geokimia dari 8 titik bor setelah diklasifikasikan ke dalam 4 zona profil laterit, dapat diketahui adanya anomali kadar suatu unsur / senyawa pada suatu titik bor (**Gambar 12**).



Gambar 12. Profil geokimia unsur dan senyawa setiap zona profil laterit pada 8 titik bor.

Pada Gambar 12, dapat diketahui bahwa kadar SiO_2 pada zona limonit titik bor AQ2000 menunjukkan kadar yang lebih tinggi dibandingkan pada zona saprolit dan batuan dasar. Hal itu dapat diinterpretasikan bahwa tingkat pelapukan yang terjadi pada titik bor AQ2000 kurang intensif, sehingga senyawa SiO_2 belum tertransportasikan ke zona yang lebih dalam. Hal tersebut juga didukung bahwa kadar Ni pada zona saprolit di titik bor AQ2000 tergolong paling rendah dibandingkan pada titik bor lainnya.

Selain itu, pada zona saprolit dan batuan dasar di titik bor AN1000 dan AE0224, terdapat anomali kadar SiO_2 yang sangat tinggi, namun memiliki kadar MgO yang sangat rendah dibandingkan dengan titik bor lainnya. Kadar SiO_2 yang sangat tinggi tersebut menandakan adanya akumulasi silika yang mengisi di sepanjang zona rekahan terbuka. Pada endapan laterit, silika diasosiasikan sebagai *box-work* (berbentuk lembaran dan melensa) yang dijumpai pada zona limonit dan saprolit. Silika *box-work* tersebut umumnya berbentuk sub-horizontal dan terbentuk selama pembentuk nikel laterit, serta mengindikasikan adanya presipitasi silika pada zona akuifer (Ahmad, 2009; Wibowo dkk., 2017).

Adanya anomali kadar SiO_2 yang tinggi namun memiliki kadar MgO yang rendah, dapat diinterpretasikan bahwa pada kedua titik bor tersebut dijumpai zona rekahan yang sangat intensif dan umumnya terjadi pada material berukuran halus (endapan laterit). Sebaliknya, pada material keras (batuan dasar / fragmen batuan), umumnya memiliki kadar SiO_2 yang rendah dan MgO yang tinggi (Wibowo dkk., 2017).

KESIMPULAN

Geomorfologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 satuan, yaitu Satuan Bentuklahan Struktural Pegunungan Sangat Terjal, Satuan Bentuklahan Denudasional Bergelombang Miring, dan Satuan Bentuklahan Fluvial Datar – Bergelombang Miring. Litologi pada daerah penelitian tersusun atas Satuan Harzburgit, Satuan Dunit, dan Endapan Aluvial.

Profil laterit terbagi menjadi 4 zona yaitu tanah penutup (*top soil*), limonit, saprolit, dan batuan dasar (*bedrock*). Kadar unsur Ni pada zona tanah penutup antara 0,619 – 1,028%, zona limonit antara 0,426 – 1,186%, zona saprolit antara 0,204 – 1,631%, dan zona batuan dasar antara 0,162 – 0,583%.

Unsur Ni paling tinggi berada di zona saprolit karena unsur ini bersifat *semi-mobile*. Senyawa MgO dan SiO_2 bersifat *mobile*, sehingga kadarnya meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Sebaliknya, unsur Fe dan senyawa Al_2O_3 bersifat *immobile*, menunjukkan penurunan kadar seiring bertambahnya kedalaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada PT. Sumber Mineral Abadi (PAM Group) atas kesempatan yang telah diberikan di dalam pengambilan data, baik berupa pemetaan geologi, pemerian inti bor, data analisis laboratorium, maupun pengambilan sampel batuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W. (2001). *Nickel Laterites: A Training Manual, Chemistry, Mineralogy & Formation of Ni Laterites*. Property of PT INCO for Laterite Ore Manual.
- Ahmad, W. (2009). *Nickel Laterite: Fundamentals of Chemistry, Mineralogy, Weathering Process, Formation and Exploration*. Property of PT ValeInco-VITSL (Unpublished).
- Australia Department of Industry, Innovation and Science. (2018). *Resources and Energy Quaterly March 2018*.
- Gleeson, A.S., Butt, M.R.C., Elias, M. (2003). *Nickel Laterites: A Review, SEG (Society of Economic Geologist)*. Newsletter, No. 54.
- Golightly, J.P. (1981). *Nickeliferous Laterite Deposits*. Economic Geology 75th Anniversary volume: 710–735.
- Hall, R. & Wilson, M. E. J. (2000). *Neogene Sutures in eastern Indonesia*. Journal of Asian Earth Sciences, 18, 781–808.

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). *Peluang Investasi Nikel Indonesia*. esdm.go.id diakses pada tanggal 26 April 2022.
- PT. Sumber Mineral Abadi. (2020). Klasifikasi Kadar Nikel PT Sumber Mineral Abadi. Morowali Utara: PT Sumber Mineral Abadi.
- Simandjuntak, T.O., Rusmana, E., Surono, dan Supandjono, J.B. (1991). *Peta Geologi Lembar Malili, Sulawesi, skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Surono. (1995). *Sedimentology of the Tolitoli Conglomerate Member of the Langkowala Formation, Southeast Sulawesi, Indonesia*. Journal of Geology and Mineral Resources, GRDC Bandung, Indonesia 5, pp. 1–7.
- Van Zuidam. (1983). *Guide to Geomorphological Aerial Photographic Interpretation and Mapping*. ITC. Enschede The Netherlands.
- Wentworth, C.K. (1922). *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments*. "Journal of Geology", Vol. 30, No. 5, pp. 377-392.
- Whitney, D.L. dan Evans, B.W. (2010). *Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals*, American Mineralogist, Vol. 95, pp. 185-187.
- Wibowo, S., Rosana, M.F., dan Haryanto, A.D. (2017). Bulletin of Scientific Contribution, Vol. 15 No.2, Agustus 2017, pp. 101-110.