

KARAKTERISTIK BATUAN ULTRAMAFIK DAERAH TAMAINUSI, KECAMATAN SOYO JAYA, KABUPATEN MOROWALI UTARA, PROVINSI SULAWESI TENGAH

Muhammad Firman Asdar¹, Ali Okto^{1*}, La Ode Ngkoimani¹

¹ Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo, Kendari, Sulawesi Tenggara

*Email korespondensi: aliokto.geologi@uho.ac.id

Tel: +62-822-9381-6303

SARI

Daerah penelitian terletak di wilayah IUP PT.Cipta Utama Maranti Kecamatan Soyo Jaya, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Batuan Ultramafik terhampar luas di bagian Timur dan Tenggara Sulawesi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik batuan ultramafik berdasarkan analisis petrografi dan geokimia. Hasil analisis petrografi menunjukkan batuan di daerah ini termasuk jenis batuan ultramafik yang terdiri dari dunit, hazburgit, dan klinopiroksenit. Mineral utamanya didominasi olivin dan piroksen serta mineral sekunder yang tersusun atas serpentin, magnetit dan garnet. Analisis geokimia batuan ultramafik pada daerah ini termasuk dalam kelompok peridotit gabro berdasarkan perbandingan unsur total alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) dan silika (SiO_2) yang terbentuk pada tatanan tektonik *mid oceanic ridge* dengan seri magma toleitik. Seri ini dicirikan tinggi kandungan unsur MgO dan FeO serta rendahnya kandungan Al_2O_3 .

Katakunci: Ultramafik, petrografi, toleitik, *mid oceanic ridge*, Morowali Utara

ABSTRACT

The research area is located in the IUP area of PT. Cipta Utama Maranti, Soyo Jaya District, North Morowali Regency, Central Sulawesi Province. Ultramafic rocks lie widely in the eastern and southeastern parts of Sulawesi. This research aims to determine the characteristics of ultramafic rocks based on petrographic and geochemical analysis. The results of the petrographic analysis show that the ultramafic rocks in this area consist of dunite, harzburgite, and clinopyroxene. The main minerals are dominated by olivine and pyroxene, and the secondary minerals are composed of serpentine, magnetite, and garnet. Geochemical analysis of ultramafic rocks in this area belongs to the gabbro peridotite group based on a comparison of the total elements of alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) and silica (SiO_2) formed in the mid-oceanic ridge tectonic order with a tholeiitic magma series. Tholeiitic magma series is characterized by a high content of MgO and FeO elements and a low content of Al_2O_3 .

Keywords: Ultramafic, petrography, tholeiitic, mid-oceanic ridge, North Morowali

1 Pendahuluan

Berdasarkan tatanan stratigrafi dan perkembangan tektoniknya, Sulawesi dapat dibagi menjadi empat mandala geologi yaitu Lajur gunung api Sulawesi Barat membentang mulai Lengan Selatan sampai ke Lengan Utara Sulawesi, Lajur Malihan Sulawesi Tengah, Lajur ofiolit Sulawesi Timur, dan Kepingan Benua yang membentang di bagian Timur Sulawesi. Setelah keempat mandala geologi tersebut bertemu terjadilah perenggangan yang membentuk cekungan tempat Molasa Sulawesi diendapkan. Lajur Ofiolit Sulawesi Timur di bagian Timur Sulawesi

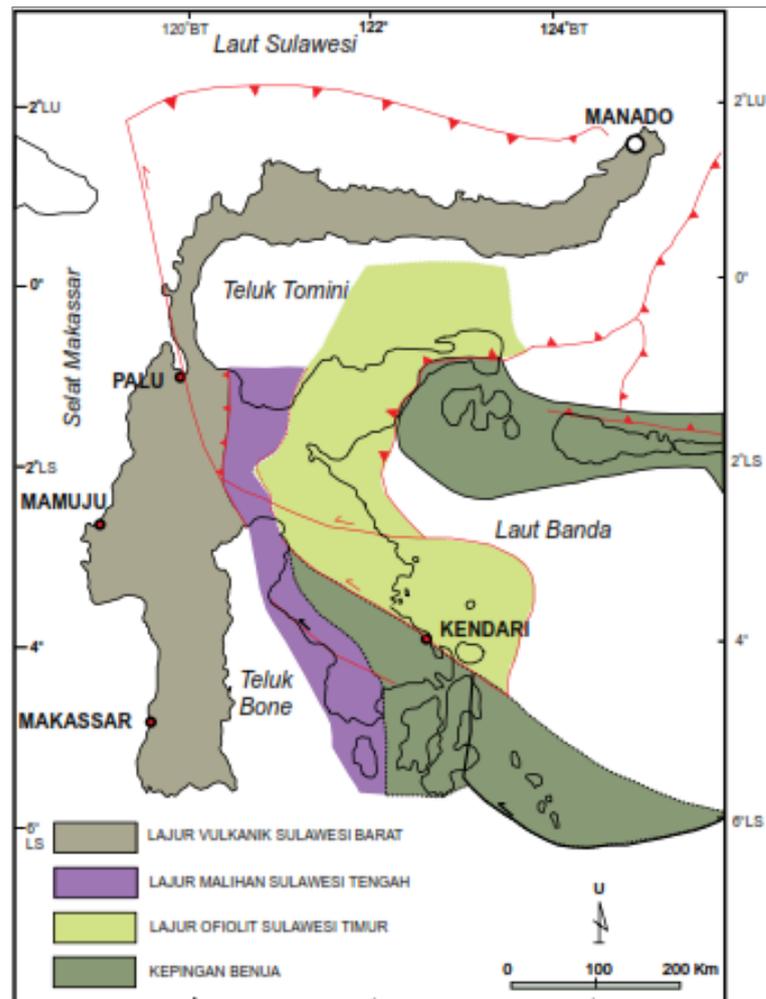
terdiri atas batuan mafik dan ultramafik terdiri atas peridotit, piroksenit, mikrogabro dan basalt. Batuan sedimen laut dalam (Formasi Matano) tersusun oleh batugamping, serpih, dan rijang radiolaria (Panggabean dan Surono, 2011). Batuan ultramafik di Sulawesi terdapat sebagai tubuh ofiolit yang menutupi sebagian besar dari bagian Tengah hingga Tenggara Pulau Sulawesi yang masuk dalam *East Sulawesi Ophiolite* (ESO) (Maulana, 2015, Kadarusman dkk., 2004). Batuan ultramafik adalah batuan yang kaya akan mineral mafik (ferro-magnesian) seperti olivin, piroksen dan amfibol dan memiliki indeks warna lebih dari 70% (Ahmad, 2006). Batuan felsik dan mafik adalah batuan beku yang dikategorikan berdasarkan kandungan silikanya. Dalam skema klasifikasi kandungan silika yang diketahui secara umum, batuan dengan silika lebih dari 65% disebut *felsic*, batuan dengan kandungan silika antara 55%-65% disebut intermediet, batuan dengan kandungan silika 45%-55% adalah mafik dan batuan yang kandungan silika kurang dari 45% adalah ultramafik (Rafferty, 2012). Ahmad (2001) mengklasifikasikan batuan ultramafik yang terdiri atas dunit, piroksenit, serpentinit, dan peridotit. Kebanyakan batuan ultramafik merupakan batuan ultrabasa dan sebagian besar ultrabasa juga ultramafik. Sebagian besar batuan ultramafik awalnya peridotit, terbentuk di mantel atas dan berubah menjadi serpentinit baik sebagian atau seluruhnya oleh fluida kerak selama perjalanannya ke posisi tektonik saat ini. Batuan ultramafik di bagian kerak bumi yang tampak khas terdapat tubuh relatif kecil di jalur sempit orogen sedang hingga kuat (Wyllie, 1970).

2 Geologi

Lengan Timur tersusun oleh batuan malihan dan sedimen serta ofiolit yang merupakan hasil proses pencuatan (*obduction*) selama Miosen (Smith dan Silver, 1991 dalam (Surono, 2013). Surono (1998) menyebutkan bahwa jalur malihan dan sedimen penutupnya tersebut sebagai Mintakat Benua, sedangkan batuan ofiolitnya merupakan Lajur Ofiolit Sulawesi Timur (Gambar 1). Bagian timur Sulawesi ini memanjang mulai Ujung Timur Lengan Timur, Sisi Timur Bagian Tengah, Lengan Tenggara Sulawesi, Muna-Buton sampai ke Kepulauan Tukang Besi di Ujung Tenggara. Secara geologi bagian Timur Sulawesi ini disusun oleh tiga kelompok besar batuan, yang masing-masing dibentuk oleh kondisi dan waktu geologi yang berbeda-beda. Ketiga kelompok besar itu adalah Kepingan Benua, Kompleks Ofiolit dan Molasa Sulawesi (Surono, 2013).

Adanya beberapa fase tektonik yang terjadi selama dan sesudah proses penyatuan ketiga mandala geologi menyebabkan terbentuknya struktur geologi yang cukup rumit di daerah ini. Sesar, lipatan maupun struktur geologi lainnya dihasilkan dalam beberapa generasi yang berbeda. Sesar naik utama yang dapat diamati di daerah ini adalah sesar naik berarah hampir Utara - Selatan, termasuk sesar yang memisahkan Mandala Sulawesi Barat dengan Mandala Sulawesi Timur (Sesar Poso) dan juga Sesar Wekuli. Sesar Wekuli merupakan batas antara kompleks ofiolit Sulawesi Timur dan Kompleks Batuan Malihan Sulawesi Tengah yang dicirikan oleh kelurusan lembah melengkung. Ofiolit merupakan *hanging wall* dan batuan malihan sebagai *foot wall-nya*. Sesar ini diduga terbentuk bersamaan dengan Sesar Naik Poso dan Sesar Naik Batui yang terjadi pada Neogen (Surono dan Hartono, 2013). Disamping itu juga dijumpai zona sesar mendatar besar (Sesar Palu-Koro) yang berarah Barat Laut – Tenggara. Sesar ini diduga masih aktif sampai sekarang. Lipatan yang dijumpai merupakan hasil dari beberapa generasi yang

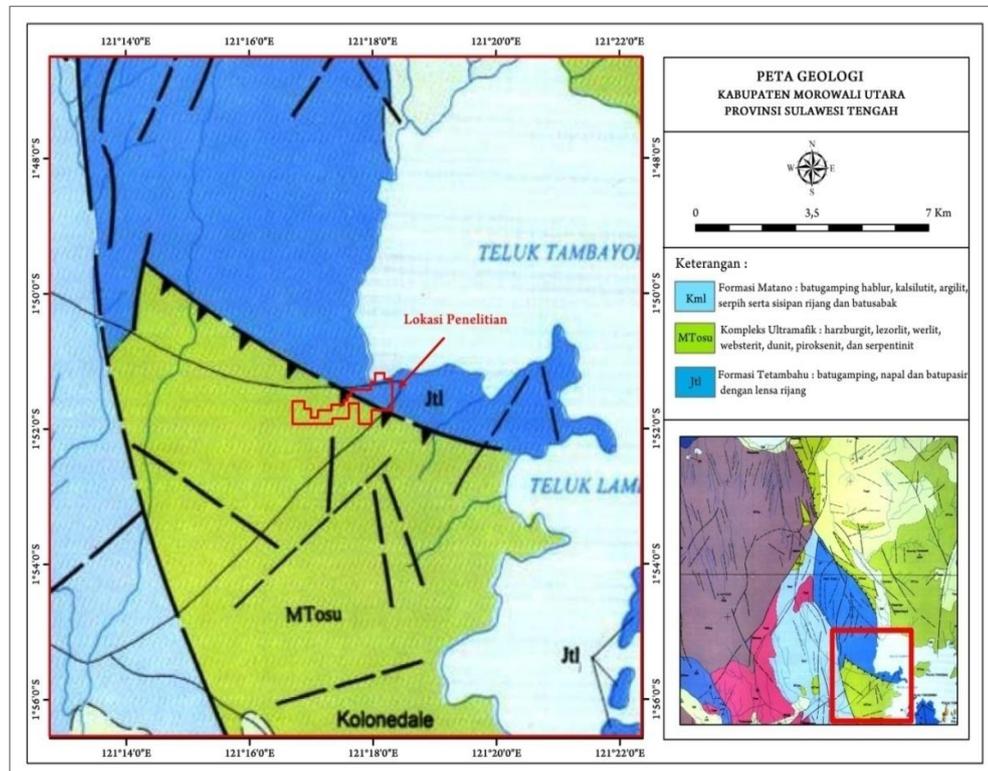
berbeda sehingga memberikan bentuk dan pola yang berbeda dari lipatan tegak sampai rebah, dari lipatan tertutup sampai terbuka. Diduga paling tidak ada empat generasi pembentukan lipatan (Simandjuntak dkk., 1997).



Gambar 1 Pembagian mandala geologi di Pulau Sulawesi dan sekitarnya (Surono dan Hartono, 2013)

Daerah penelitian telah dipetakan secara regional yang masuk ke dalam geologi regional lembar Poso (Gambar 2) yang tersusun dalam tiga kelompok batuan yaitu Formasi Matano, Formasi Tetambahu, dan Kompleks Ultramafik tetapi umumnya didominasi oleh Kompleks Ultramafik. Kompleks Ultramafik (Mtosu) terdiri atas harzburgit, lherzolit, wherlit, websterit, dunit, piroksenit, dan serpentin. Satuan ini diduga telah mengalami pengalihempatan sejak Kapur hingga Miosen Tengah. Formasi Matano (Kml) terdiri atas batugamping hablur, kalsilitit, argilit, sisipan rijang, dan batusabak. Batugamping mengandung fosil *Heterohelix sp.*, sedangkan rijang mengandung radiolaria. Fosil-fosil tersebut menunjukkan umur Kapur Akhir dan lingkungan pengendapan laut dalam 1000 m. Formasi Tetambahu (Jtl) terdiri atas batugamping, napal, batupasir dengan lensa rijang. Berdasarkan kandungan fosil moluska dan amonit dalam kalsilitit maka umur formasi ini adalah Jura Akhir, sedangkan lensa rijang yang mengandung

radiolaris mungkin menunjukkan lingkungan pengendapan laut dalam. Tebal formasi mencapai 500m (Simandjuntak dkk., 1997).



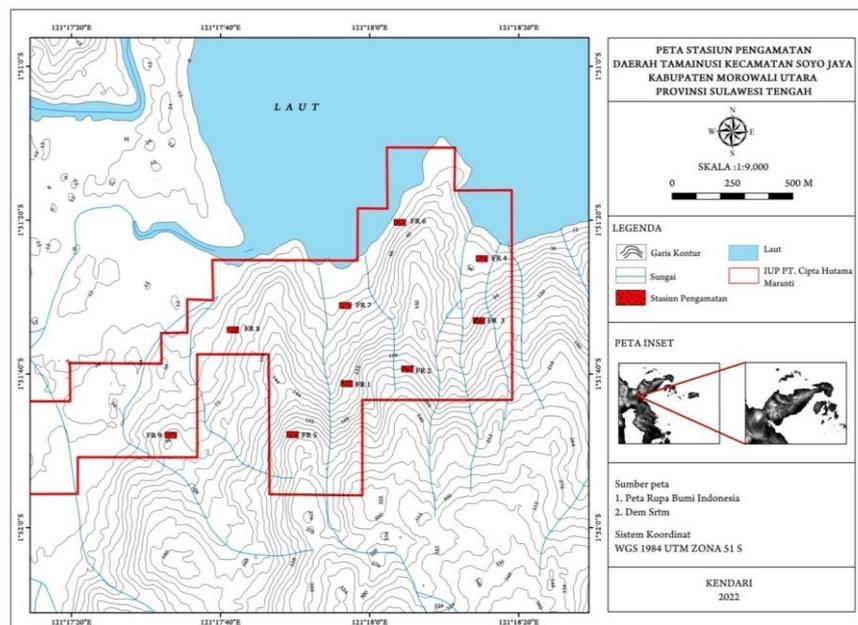
Gambar 2 Peta geologi lembar Poso modifikasi dari Simandjuntak dkk. (1997)

3 Metode Penelitian

Prosedur penelitian merupakan tahapan sistematis yang mencakup semua kegiatan penelitian, mulai dari tahap awal hingga selesainya penelitian. Tahap pertama adalah tahap persiapan, tahap ini merupakan tahapan dari kegiatan penelitian sebelum melakukan pengambilan data-data lapangan yaitu berupa pengurusan administrasi, melengkapi perlengkapan penelitian, serta studi pustaka dengan mempelajari literatur dari publikasi peneliti terdahulu pada daerah penelitian, seperti geologi regional daerah Morowali Utara, batuan ultramafik secara umum yang mencakup mineralogi dan geokimianya.

Tahap kedua yaitu tahap pengambilan dan pengumpulan data. Hasil tahap ini meliputi pengambilan dan pengumpulan data primer dan data sekunder. Kedua data ini dikumpulkan baik secara langsung di lapangan maupun data yang telah tersedia pada perusahaan ataupun instansi terkait yang berhubungan dengan daerah penelitian. Data primer yaitu data yang diambil di lapangan berupa sampel *coring* batuan dasar sebanyak lima sampel. Pengambilan data litologi sampel batuan berupa data koordinat titik sampel, foto sampel, dan deskripsi litologi secara megaskopis di lapangan. Data sekunder yang diambil pada penelitian ini berupa data geologi regional, peta rupa bumi Indonesia, data DEM (*Digital Elevation Model*) dan kawasan wilayah izin usaha pertambangan.

Tahapan terakhir yaitu pengolahan dan analisis data primer yang telah diperoleh. Pengolahan data primer berupa analisis petrografi dan geokimia yang dilakukan pada lima sampel batuan dasar dari pengeboran. Dalam analisis petrografi dilakukan dengan pengamatan sampel sayatan tipis pada mikroskop polarisasi dengan parameter pendeskripsian berupa warna, tekstur, kristalisasi, dan granularitas, bentuk mineral, relasi, struktur, dan komposisi mineral. Analisis ini dilakukan dengan menentukan jumlah persentase mineral olivin, ortopiroksen, dan klinopiroksen pada sayatan. Selanjutnya dilakukan normalisasi dari ketiga mineral tersebut terhadap mineral aksesorisnya. Normalisasi ini dimaksudkan untuk menentukan klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan [Streckeisen \(1976\)](#). Analisis geokimia unsur utama (*major element*) menggunakan metode XRF (*X-ray fluorescence*) untuk mengetahui unsur utama batuan selanjutnya ditentukan klasifikasi jenis batuan berdasarkan kandungan silika dan alkali ([Middlemost, 1994](#)) untuk mendukung data petrografi. Penentuan jenis magma juga dilakukan dengan menggunakan Klasifikasi [Irvine dan Baragar \(1971\)](#) dan penentuan asal magma pada batuan ultramafik menggunakan diagram triplot [Pearce dkk. \(1977\)](#).



Gambar 3 Peta stasiun pengamatan

4 Hasil dan diskusi

4.1 Analisis Petrografi

Peneliti membagi analisis megaskopis menjadi 9 sampel (**Gambar 3**). Pada sampel tersebut, sampel untuk analisis petrografi sebanyak 5 sampel batuan yang representatif pada daerah penelitian. Sampel dengan kode FR 1, FR 2, FR 3, FR 4 dan FR 5 merupakan sampel yang dianalisis mikroskopis. Sebelum dilakukan analisis mikroskopis terlebih dahulu dilakukan analisis megaskopis. Berdasarkan identifikasi batuan secara megaskopis batuan daerah penelitian termasuk dalam peridotit dan septinit (**Gambar 4**). Berdasarkan ciri fisiknya memperlihatkan tekstur kristalinitas holokristalin, granularitas faneritik, bentuk mineral euhedral-anhedral, serta

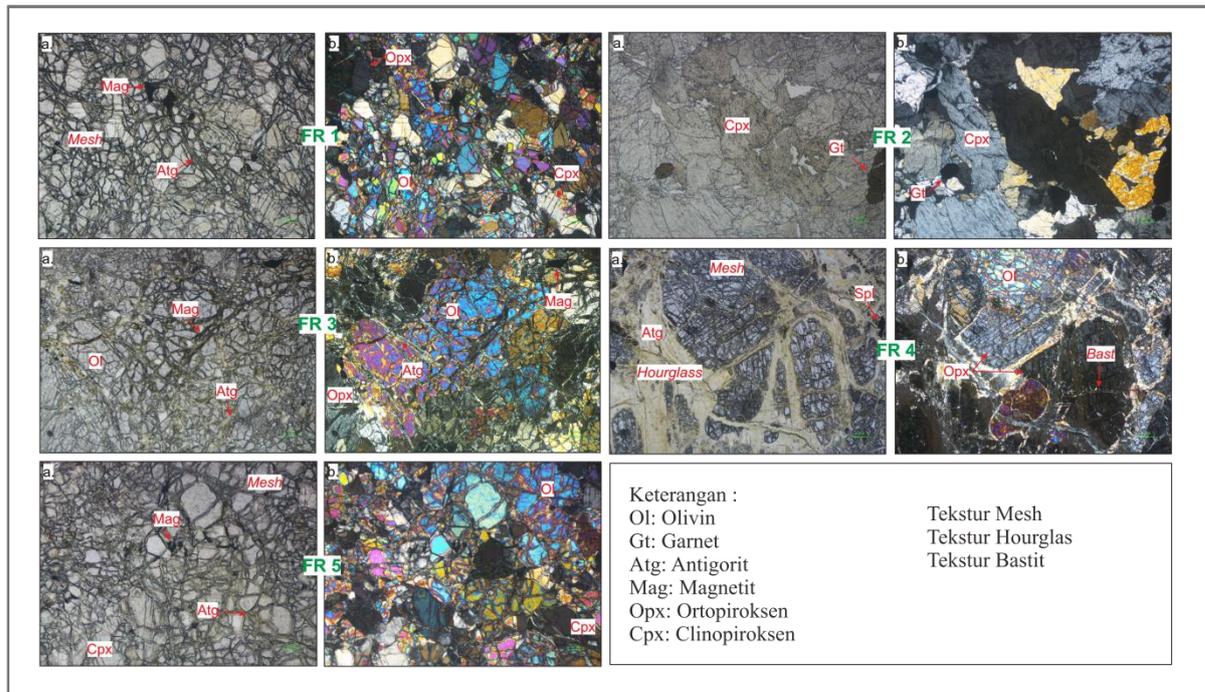
relasi inequigranular. Komposisi mineralnya tersusun atas mineral primer olivin dan piroksin serta mineral sekunder seperti serpentin dan magnetit. Hasil analisis mikroskopis dari lima sampel tersebut, batuan daerah penelitian termasuk jenis batuan ultramafik yang terdiri atas dunit, klinopiroksenit, dan hazburgit (**Gambar 5**).



Gambar 4 Kenampakan megaskopis sampel coring batuan stasiun FR1, FR2, FR 3, FR 4 dan FR 5

Identifikasi mikroskopis terhadap kelima sampel batuan memperlihatkan warna absorpsi tidak berwarna (*colourless*), relief tinggi, pleokrisme lemah, warna interferensi orde 1 (*high interference*). Tekstur batuan kristalinitas holokristalin, granularitas faneritik, bentuk kristal euhedral-anhedral, ukuran mineral 0,1-3 mm, relasi inequigranular. Secara umum komposisi mineral penyusun batuan tersusun atas olivin, piroksen, serpentin (antigorit), garnet, dan mineral magnetit (**Error! Reference source not found.**). Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada sayatan FR 1 didominasi mineral olivin, sebagian kecil mineral ortopiroksen (enstatit), klinopiroksen (augit), antigorit dan magnetit. Batuan ini memperlihatkan tekstur umum *xenomorphic granular* serta tekstur khusus poikilitik. Struktur *mesh* teramati sepanjang tepi dan permukaan mineral olivin. Sampel FR 2 didominasi mineral klinopiroksen (diopsid) serta sebagian kecil mineral garnet. Struktur *kinked* dan *lamella* hadir pada klinopiroksen. Kehadiran mineral garnet menggambarkan batuan telah mengalami metamorfisme. Umumnya diopsid berasosiasi dengan wollastonit garnet (Sutarto dkk., 2019). Sampel FR 3 dan FR 5 didominasi oleh mineral olivin serta sebagian kecil mineral ortopiroksen (hyperstene) dan klinopiroksen (augit) sebagai mineral utama batuan ultramafik. Olivin yang hadir mengelilingi ortopiroksen dan klinopiroksen memperlihatkan tekstur poikilitik. Struktur *lamella* terlihat pada piroksen. Antigorit yang hadir menggantikan olivin membentuk struktur *mesh* dan magnetit yang mengisi urat antigorit mengindikasikan batuan telah mengalami alterasi. Pengamatan pada sampel FR 4 memperlihatkan batuan telah mengalami serpentinisasi tingkat tinggi dicirikan kehadiran antigorit pada olivin yang membentuk struktur *mesh* dan *hourglass* serta bastit pada

ortopiroksen yang umumnya mengikuti arah belahan mineral ortopiroksen (Sufriadin dkk., 2009).



Gambar 5 Kenampakan sayatan tipis 5 batuan stasiun FR 1, FR2, FR 3, FR 4 dan FR 5 yang memperlihatkan kehadiran mineral utama olivin, ortopiroksen, clinopiroksen serta mineral sekunder antigorit, magnetit dan garnet

Tabel 1 Komposisi mineral terhadap lima sampel batuan pada analisis petrografi

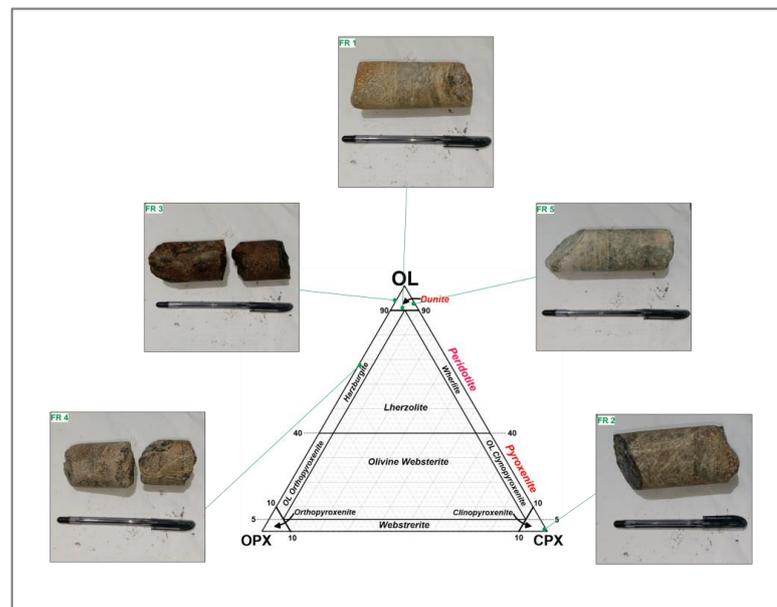
Nama Mineral	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4	FR-5
Olivin (Ol)	90	-	94	18	93
Orthopiroksen (Opx)	4	-	6	32	-
Klinopiroksen (Cpx)	5	98	-	-	7
Serpentin (Srp)	10	-	5	50	10
Opaq	1	2	2	1	1
Nama Batuan					
	Dunite	Clinopyroxenite	Dunite	Harzburgite	Dunite

Berdasarkan hasil analisis mikroskopis, batuan daerah penelitian termasuk batuan ultramafik terdiri atas tiga jenis batuan yaitu dunit, clinopiroksenit dan harzburgite, berdasarkan persentase mineral olivin, ortopiroksen, dan klinopiroksen yang telah dinormalisasi (**Gambar 6**).

4.2 Analisis Geokimia

Dari analisis geokimia dapat diketahui unsur-unsur utama pada batuan seperti SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO₃, CaO, MgO, Na₂O, TiO₂, P₂O₅, dan K₂O. Dari analisis unsur-unsur tersebut dapat diketahui jenis batuan dan sifat magma batuan yang merupakan hasil analisis X-RAY fluorescence

(XRF) (**Tabel 2**). Berdasarkan hasil analisis geokimia batuan terhadap lima sampel batuan pada daerah penelitian menunjukkan trend FeO, MgO tinggi serta rendah akan unsur CaO dan Al₂O₃ sebagai ciri dari batuan ultramafik. Kandungan SiO₂ dan MgO yang tinggi pada sampel batuan tersebut juga mencerminkan kandungan mineralnya didominasi oleh mineral olivin dan juga piroksen sebagai mineral utama penyusun batuan ultramafik (Rafferty, 2012). Sampel FR 2 yang menunjukkan trend tinggi kandungan FeO dan MgO menggambarkan batuan belum mengalami serpentinisasi.



Gambar 6 Hasil plot lima sampel pada diagram triplot, berdasarkan persentase mineral olivin, ortopiroksen, dan klinopiroksen menunjukkan batuan dunit, klinopiroksenit dan harzburgit

Tabel 2. Hasil analisis geokimia senyawa mayor menggunakan XRF

Senyawa (%)	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4	FR-5
NiO	0.23	0.28	0.26	0.26	0.23
FeO	8.34	9.42	8.84	8.13	8.43
CoO	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	< 0.01
MgO	35.49	37.46	35.71	38.07	34.87
Al ₂ O ₃	2.9	1.65	2.17	1.11	2.96
SiO ₂	40.47	39.66	41.33	41.55	40.24
P ₂ O ₅	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SO ₃	0.04	0.01	0.02	< 0.01	0.04
K ₂ O	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
CaO	2.75	1.89	1.76	0.94	2.95
TiO ₂	0.03	0.01	0.02	< 0.01	0.03
Cr ₂ O ₃	0.32	0.41	0.32	0.35	0.35
MnO	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07
CuO	< 0.01	< 0.01	0.01	< 0.01	< 0.01

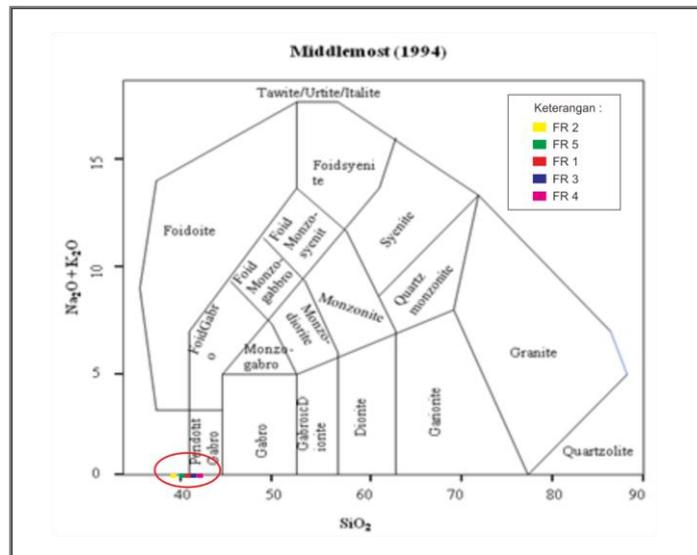
ZnO < 0.01 < 0.01 < 0.01 < 0.01 < 0.01

4.2.1 Jenis Batuan

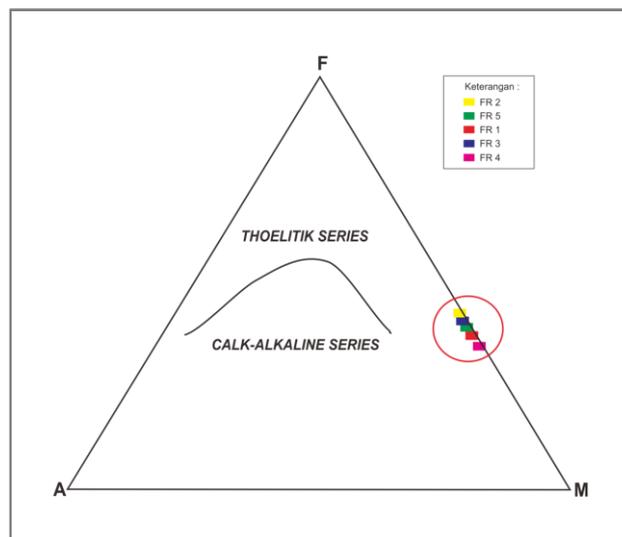
Penentuan jenis batuan menggunakan klasifikasi [Middlemost \(1994\)](#). Klasifikasi ini didasarkan melalui perbandingan persen berat kandungan total alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) dan silika (SiO_2). Kandungan oksida mayor batuan digunakan sebagai pembanding dan pendukung data hasil petrografi. Hasil plotting lima sampel batuan daerah penelitian termasuk jenis batuan peridotit gabro (**Gambar 7**). Berdasarkan hal tersebut batuan di daerah penelitian termasuk batuan ultramafik dan ultrabasa berdasarkan data analisis petrografi dan geokimia dimana mineralnya didominasi oleh mineral-mineral mafik dan mengandung kurang dari 45% unsur SiO_2

4.2.2 Klasifikasi Seri Magma

[Irvine dan Baragar \(1971\)](#) membagi seri magma menggunakan diagram segitiga **AFM**, **A** untuk kandungan alkali ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$), **F** untuk oksida besi ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan **M** (MgO) untuk magnesium. Klasifikasi seri magma terdiri atas dua bagian seri yakni alkali basalt dan sub-alkali basalt. Alkali basalt merupakan seri magma yang tidak jenuh silika dan kaya akan alkali, sedangkan sub-alkali basalt merupakan seri dengan kandungan jenuh silika. Secara umum sub alkali basalt terbagi menjadi seri high alumina atau kalk-alkali atau tinggi alumina dan seri rendah kalium atau biasa disebut seri *low K* atau *thoelitik basalt*. Hasil plotting terhadap lima sampel batuan (**Gambar 8**) menunjukkan bahwa magma pembentuk batuan daerah penelitian termasuk ke dalam seri magma thoelitik. Pada seri ini kandungan potassium dan alkali total sangat rendah dan tinggi kandungan magnesium. Batuan dengan seri *thoelitik* relatif kecenderungan tinggi akan nilai besi di awal diferensiasi sedangkan golongan kalk-alkalin akan menunjukkan pengayaan alkali maupun silika dan cenderung memotong diagram dan menekan pengayaan Fe pada awal diferensiasi. Deret *thoelitik* sangat umum dijumpai pada tatanan tektonik berupa zona pemekaran lantai samudera atau biasa disebut *mid oceanic ridge (MOR)*. Hal ini ditandai K_2O yang rendah dan kaya akan komposisi feromagnetik seperti MgO dan FeO .



Gambar 7. Hasil plot terhadap lima sampel batuan untuk menentukan tipe batuan berdasarkan klasifikasi Middlemost (1994)

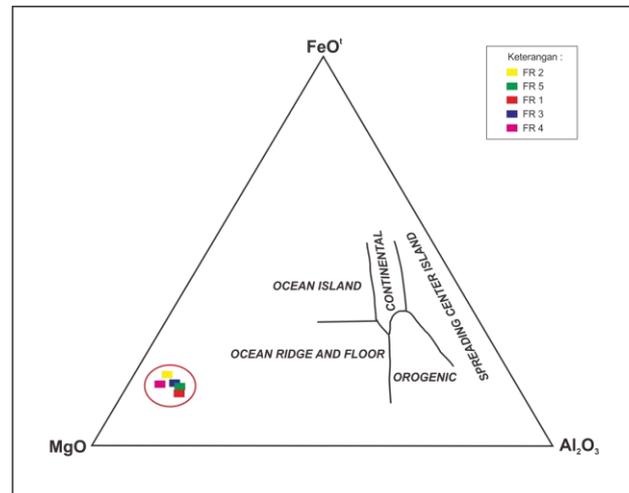


Gambar 8 Hasil plotting lima sampel untuk penentuan seri magma (Irvine dan Baragar, 1971)

4.2.3 Klasifikasi Asal Magma

Penentuan asal magma dapat ditentukan menggunakan diagram triplot (Pearce dkk., 1977). Diagram ini membandingkan oksida FeO^t , MgO dan Al_2O_3 dalam bentuk diagram segitiga (Gambar 9). Batuan yang kaya akan MgO dan FeO dan rendah Al_2O_3 akan terbentuk pada tatanan tektonik *oceanic ridge and floor* dan *oceanic island*, sedangkan batuan yang kaya akan alumina dan FeO akan terbentuk pada tatanan tektonik *continental*, *orogenic* atau *spreading centre island*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Soeria-Atmadja (1974) dalam (Panggabean dan Surono, 2011) yang menganalisis unsur utama dan unsur tanah jarang terhadap beberapa contoh sampel batuan lherzolite di sekitar Danau Matano diduga Lajur Ophiolit Sulawesi Timur

berasal dari punggung tengah samudera (*mid oceanic ridge*). Hal ini sejalan dengan analisis petrografi dan geokimia batuan daerah penelitian hasil plotting terhadap lima sampel batuan menunjukkan batuan di daerah penelitian termasuk tatanan tektonik *mid oceanic ridge* (MOR).



Gambar 9 Hasil plotting lima sampel penentuan asal magma dengan diagram triplot

5 Kesimpulan

Berdasarkan analisis mikroskopis menunjukkan daerah penelitian tersusun atas 3 jenis batuan yaitu dunit, klinopiroksenit, dan hazburgit. Analisis geokimia unsur utama berdasarkan perbandingan unsur total alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) dan silika (SiO_2). Batuan daerah penelitian termasuk kelompok batuan peridotit gabro terbentuk pada tatanan tektonik *mid oceanic ridge* (MOR) pada seri magma toelitik dicirikan kandungan unsur MgO dan FeO yang tinggi serta rendahnya kandungan unsur Al_2O_3 .

Referensi

- Ahmad, W. 2001. Nickel laterites: Chemistry, Mineralogy & formation of Ni Laterits. VITSL INCO, Ltd, Training Manual.
- Ahmad, W. 2006. Fundamentals of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes and Laterite Formation. ITSL INCO, Ltd, Training Manual.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A. 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8(5), pp. 523-548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Kadarusman, A., Miyashita, S., Maruyama, S., Parkinson, C. D. & Ishikawa, A. 2004. Petrology, geochemistry and paleogeographic reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia. Tectonophysics, 392(1-4), pp. 55-83. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.04.008>
- Maulana, A. 2015. An overview of geochemical trapping system for CO₂ sequestration study in the ultramafic rock from Sulawesi, Indonesia. The 2nd Makassar International Conference on Civil Engineering, Makassar. Universitas Hasanuddin. pp. 1-7.

- Middlemost, E. A. K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3-4), pp. 215-224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Panggabean, H. & Suroño 2011. Tektono-Stratigrafi Bagian Timur Sulawesi. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 21(5), pp. 239-248.
- Pearce, T. H., Gorman, B. E. & Birkett, T. C. 1977. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 36(1), pp. 121-132. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(77\)90193-5](https://doi.org/10.1016/0012-821x(77)90193-5)
- Rafferty, J. P. 2012. *Rocks*. New York, Britannica Educational Publishing.
- Simandjuntak, T., Suroño & Supandjono, J. B. 1997. Peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi, skala 1:250.000. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Strecheisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews*, 12(1), pp. 1-33. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(76\)90052-0](https://doi.org/10.1016/0012-8252(76)90052-0)
- Sufriadin, Idrus, A., Pramumijoyo, S., Wardana, I. W., Nur, I. & Suharto. 2009. Serpentinisasi pada batuan ultramafik dan implikasinya terhadap eksplorasi endapan nikel laterit. *International Conference Earth Science and Technology, 2009 Yogyakarta*. Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada. pp. 161-168.
- Suroño 1998. Geology and origin of The Southeast Sulawesi Continental Terrane, Indonesia. *Media Teknik*, 3, pp. 33-42.
- Suroño 2013. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi* (2 ed.). Bandung, Badan Geologi.
- Suroño & Hartono, U. 2013. *Geologi Sulawesi* (1 ed.). Jakarta, LIPI Press.
- Sutarto, Soesilo, J. & Yudiantoro, D. F. 2019. *Mineralogi Optik*. Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Wyllie, P. J. 1970. Ultramafic Rocks and the Upper Mantle. *Mineral Society of America Special Paper*, 3, pp. 3-32.