

TUGAS AKHIR

GEOKIMIA REGOLITH BATUAN ULTRAMAFIK DAN BATUAN INTRUSI DAERAH JEPPEE KABUPATEN BARRU PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh :

**DIABRI SAMUEL
D061181332**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

TUGAS AKHIR

GEOKIMIA REGOLITH BATUAN ULTRAMAFIK DAN BATUAN INTRUSI DAERAH JEPPEE KABUPATEN BARRU PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh :

**DIABRI SAMUEL
D061181332**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

GEOKIMIA REGOLITH BATUAN ULTRAMAFIK DAN BATUAN INTRUSI DAERAH JEPPEE KABUPATEN BARRU PROVINSI SULAWESI SELATAN

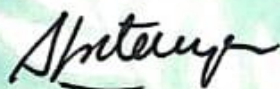
Disusun dan diajukan oleh :

DIABRI SAMUEL
D061181332

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 19 November 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19050928200003 1 002

Pembimbing Pendamping



A. Bahrul Hidayah, S.T., M.T.
NIP. 19880630 202101 5 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 19771214 200501 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Diabri Samuel

NIM : D061181332

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*GEOKIMIA REGOLITH BATUAN ULTRAMAFIK DAN BATUAN INTRUSI
DAERAH JEPPEE KABUPATEN BARRU PROVINSI SULAWESI SELATAN*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

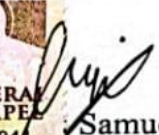
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 3 Desember 2024

Yang Menyatakan


Samuel



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Geokimia Regolith Batuan Ultramafik Dan Batuan Intrusi Daerah Jeppee Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan** dengan baik.

Penyusunan laporan pemetaan ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan doa kepada penulis dalam menghadapi setiap tantangan, sehingga pada kesempatan ini penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng sebagai ketua Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Adi Tonggiroh, ST., M.T., sebagai dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan arahan dan masukan dalam pembuatan laporan ini.
3. Bapak A. Bahrul Hidayah, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing pendamping yang telah banyak memberikan waktu dan masukan dalam penelitian ini.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil., dan Bapak Safruddim, S.T., M.Eng., sebagai dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk mengevaluasi hasil Tugas Akhir penulis.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya dan pengajarannya.
6. Seluruh Staf Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
7. Kedua orangtua penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa yang terbaik bagi penulis.
8. Teman-teman Teknik Geologi angkatan 2018 yang telah berjuang bersama dari awal perkuliahan.
9. Saudara-saudara di KMKO Teknik dan KMKO Geologi yang selalu menjadi keluarga dalam persekutuan.
10. Pihak-pihak lain yang tidak sempat penulis sebutkan yang juga telah turut membantu dalam penyusunan proposal penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan. Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, 3 Desember 2024

Penulis

ABSTRAK

Secara administratif daerah penelitian termasuk ke dalam Daerah Jeppée Kecamatan Barru, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis daerah penelitian terletak pada $119^{\circ} 38' 52,716''$ – $119^{\circ} 40' 41,191''$ Bujur Timur dan $4^{\circ} 23' 47,816''$ – $4^{\circ} 25' 24,202''$ Lintang Selatan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi geokimia pada regolith yang terbentuk pada daerah penelitian.

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu pengambilan data lapangan berupa pengambilan sampel yang kemudian dianalisis secara petrografi dan geokimia. Analisis petrografi menggunakan klasifikasi batuan beku dan metamorf serta analisis geokimia menggunakan analisis XRF (*X-Ray Fluorescence Spectrometry*).

Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa profil regolith yang terbentuk pada daerah penelitian merupakan profil regolith yang tidak ideal. Regolith 1 tersusun atas lapisan *saprock*, *saprolite* dan lapisan *mottled zone*, regolith 2 tersusun atas lapisan *saprolite* dan *mottled zone*, regolith 3 tersusun atas lapisan *saprock* dan *mottled zone*. Berdasarkan hasil analisis geokimia pada regolith batuan intrusi terjadi pengayaan unsur dan senyawa FeO, Fe₂O₃, Cr₂O₃, K₂O, TiO₂, dan MnO terjadi pada lapisan *saprolith* serta pada lapisan *pedolith* tidak terjadi pengayaan unsur yang signifikan. Pada regolith batuan ultramafik pengayaan dari unsur dan senyawa Ni, FeO, Fe₂O₃, Al₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂, Co, MnO, dan SO₃ terjadi pada lapisan *saprolith* dan unsur dan senyawa Ni, FeO, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O, Cr₂O₃, TiO₂, Co, MnO, dan SO₃ terkayakan pada lapisan *pedolith*. Transportasi dari unsur dan senyawa SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO dan Cr₂O₃ berlangsung dari regolith batuan intrusi menuju regolith batuan ultramafik yang menyebabkan peningkatan signifikan unsur dan senyawa tersebut pada regolith batuan ultramafik.

Kata Kunci : Geokimia, Batuan Ultramafik, Batuan Intrusi, Regolith

ABSTRACT

Administratively, the research area is included in Jeppee District, Barru Regency, South Sulawesi Province. Geographically the study area is located at 119° 38' 52.716" – 119°40'41,191" East Longitude and 4° 23' 47.816" – 4° 25' 24,202" South Latitude. The research with the title "Geochemistry of Ultramafic Rock Regolith and Intrusion Rock of Jeppee Area, Barru Regency, South Sulawesi Province" was intended to determine the geochemical conditions of regolith formed in the research area.

The method used in this research is field data collection in the form of sampling which is then analyzed petrographically and geochemical analysis. Petrographic analysis using igneous rock classification and geochemical analysis using XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometry) analysis.

From the analysis, it is concluded that the regolith profile formed in the study area is a regolith profile that is not ideal. Regolith P1 is composed of saprock, saprolite and mottled zone layers, regolith P2 is composed of saprolite and mottled zone layers, regolith P3 is composed of saprock and mottled zone layers. Based on the results of geochemical analysis on intrusion rock regolith FeO, Fe₂O₃, Cr₂O₃, K₂O, TiO₂, and MnO elements are generally enriched in the saprolith layer and in pedolith layer there is no significant enrichment. In the ultramafic rocks regolith, enrichment of Ni, FeO, Fe₂O₃, Al₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂, Co, MnO, and SO₃ elements occurs in the saprolith layer and Ni, FeO, Fe₂O₃, Al₂O₃, K₂O, Cr₂O₃, TiO₂, Co, MnO, and SO₃ elements are enriched in the pedolith layer. Transportation of SiO, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, and Cr₂O₃ occur from the intrusion rock regolith to ultramafic rocks regolith, which caused an significant increase in these elements in the ultramafic rocks regolith.

Keyword: *Geochemical, Intrusion Rock, Ultramafic Rock, Regolith*

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ivvii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	2
1.6 Manfaat Penelitian	3
1.7 Peneliti Terdahulu.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
3.1 Geologi Regional	5
3.1.1 Geomorfologi Regional	5
3.1.2 Stratigrafi Regional.....	6
3.1.3 Struktur Regional.....	7
3.2 Geokimia Regolith.....	8
3.3 Struktur Regolith.....	14
3.4 Pengaruh Bentang Alam Pada Regolith.....	16
3.5 Pelapukan Batuan Ultramafik	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Tahapan Penelitian.....	23

3.2.1	Tahap Persiapan.....	23
3.2.2	Tahap Penelitian Lapangan	24
3.2.3	Tahap Analisis Laboratorium	24
3.2.4	Tahap Pengolahan Data	25
3.2.5	Tahap Penyusun Laporan	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Geomorfologi Daerah Penelitian	27
4.2	Batuan Ultramafik dan Instrusi	28
4.3	Profil Regolith.....	30
4.4	Geokimia Regolith.....	34
4.4.1	Batuan Dasar.....	34
4.4.2	Profil Regolith	36
4.4.3	Pelapukan Kimia.....	44
4.5	Transportasi Unsur.....	46
BAB V PENUTUP		50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta tunjuk lokasi penelitian.....	3
Gambar 2 Peta geologi regional lokasi penelitian (Sukamto, 1982)	8
Gambar 3 Faktor utama pengontrol pelapukan dan komposisi regolith (Scott, 2011).....	9
Gambar 4 Bowen reaction series dan stabilitas mineral terhadap pelapukan (Scott, 2011)	10
Gambar 5 Tipe-tipe reaksi kimia pada proses pelapukan (Mcqueen, 2008 dalam Scott, 2011)	11
Gambar 6 Kondisi Eh dan pH pada tabel air	11
Gambar 7 Pola dispersi kimia oleh pelapukan (Alexandre, 2021)	12
Gambar 8 Profil regolith ideal (Eggleton, 2001)	16
Gambar 9 Gambaran bentang alam perbukitan yang terbentuk akibat proses-proses geologi dan pengaruhnya pada pembentukan regolith (didasarkan pada bentang alam regolith pada dataran tinggi timur dan lereng barat Australia) (Taylor, 2009 dalam Scott, 2011).	17
Gambar 10 Lanskap 2 didasarkan pada beberapa situs bentang alam pada daerah Yilgran Craton WA dan daerah Mt Isa, Queensland (Taylor, 2009 dalam Scott, 2011)	18
Gambar 11 Profil lapukan batuan ultramafik yang digeneralisasi (Scott, 1990 dalam Scott, 2011)	20
Gambar 12 Profil lapukan batuan mafik yang digeneralisasi (Scott & Martinez 1990 dalam Scott, 2011)	20
Gambar 13 Gambar diagram alir metode penelitian	26
Gambar 14 Kenampakan satuan geomorfologi perbukitan denudasional	27
Gambar 15 Kenampakan gully erosion (kiri) dan debris slide (kanan) pada daerah penelitian.....	28
Gambar 16 Kenampakan residual soil (kiri) dan transported soil (kanan) yang tebal pada daerah penelitian	28
Gambar 17 Kenampakan singkapan batuan peridotit pada stasiun 3 di daerah Bulu Sabangnairi.....	29

Gambar 18 Kenampakan mikroskopis peridotit pada sayatan DS/JPE/BD3 dengan komposisi mineral olivine (Olv), serpentin (Srp), dan opaq (Opq)	29
Gambar 19 Kenampakan singkapan batuan dasit pada stasiun 1 di daerah Jeppee	30
Gambar 20 Kenampakan mikroskopis peridotit pada sayatan DS/JPE/BD1 dengan komposisi mineral plagioklas (Pg, orthoklas (Ort), sanidin (Sn), dan opaq (Opq)	30
Gambar 21 Kenampakan lapangan profil regolith P1 pada stasiun 1 di daerah Jeppee ..	31
Gambar 22 Sketsa profil regolith P1	31
Gambar 23 Kenampakan lapangan profil regolith P2 pada stasiun 2 di daerah Jeppee ..	32
Gambar 24 Sketsa profil regolith P2	32
Gambar 25 Kenampakan lapangan profil regolith P3 pada stasiun 3 di daerah Bulu Sabangnairi.....	33
Gambar 26 Sketsa profil regolith P3	33
Gambar 27 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD1 dan SP1 dengan konsentrasi rata-rata >1% wt oksida.....	37
Gambar 28 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD1 dan SP1 dengan konsentrasi rata-rata <1% wt oksida.....	37
Gambar 29 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD1 dan PD1 dengan konsentrasi rata-rata >1% wt oksida.....	38
Gambar 30 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD1 dan PD1 dengan konsentrasi rata-rata <1% wt oksida.....	38
Gambar 31 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD2 dan SP2 dengan konsentrasi rata-rata >1% wt oksida.....	40
Gambar 32 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD2 dan SP2 dengan konsentrasi rata-rata <1% wt oksida.....	40
Gambar 33 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD2 dan PD2 dengan konsentrasi rata-rata >1% wt oksida.....	41
Gambar 34 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD2 dan PD2 dengan konsentrasi rata-rata <1% wt oksida.....	41
Gambar 35 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD3 dan SP3 dengan konsentrasi rata-rata >1% wt oksida.....	43

Gambar 36 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD3 dan SP3 dengan konsentrasi rata-rata <1% wt oksida.....	43
Gambar 37 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD3 dan PD3 dengan konsentrasi rata-rata >1% wt oksida.....	44
Gambar 38 Diagram perbandingan kandungan unsur dan senyawa pada BD3 dan PD3 dengan konsentrasi rata-rata <1% wt oksida.....	44
Gambar 39 Plot diagram A – CN – K (berdasarkan Nesbit & Young, 1982 dalam Sampinpanya, 2014) dari sampel tiap lapisan regolith daerah penelitian	46
Gambar 40 Perbandingan tren kandungan Fe, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , dan SiO ₂ antara regolith 1, 2, dan 3.....	47
Gambar 41 Perbandingan tren kandungan Fe, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , dan SiO ₂ antar lapisan pada regolith 1, 2, dan 3	47
Gambar 42 Perbandingan tren kandungan Ni, Cr ₂ O ₃ , TiO ₂ , dan MnO antara regolith 1, 2, dan 3.....	48
Gambar 43 Perbandingan tren kandungan Ni, Cr ₂ O ₃ , TiO ₂ , dan MnO antar lapisan regolith 1, 2, dan 3	48
Gambar 44 Proses transportasi unsur Fe, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ , TiO ₂ , dan MnO dari regolith batuan intrusi menuju regolith peridotit	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Urutan pelapukan untuk mineral berbutir sangat halus (Ollier, 1984).....	10
Tabel 2 Contoh perbedaan tahapan dan lingkungan dispersi	12
Tabel 3 Komposisi kimia batuan beku (Tonggiroh, 2019).....	19
Tabel 4 Hasil pelapukan mineral secara umum dalam pengaruh CO ₂ dan H ₂ O (Tonggiroh, 2019)	21
Tabel 5 Hasil analisis geokimia unsur utama (Major Element) pada batuan dasar P1, P2, dan P3 (Lab. Geokimia PT. Jasa Mutu Mineral Indonesia)	34
Tabel 6 Klasifikasi batuan beku berdasarkan kandungan silika (Le Maitre et al., 1989 dalam Rollinson, 1993)	35
Tabel 7 Hasil analisis geokimia unsur dan senyawa utama (Major Element) pada profil regolith 1 (Lab. Geokimia PT. Jasa Mutu Mineral Indonesia).....	36
Tabel 8 Hasil analisis geokimia unsur dan senyawa utama (Major Element) pada profil regolith 2 (Lab. Geokimia PT. Jasa Mutu Mineral Indonesia).....	39
Tabel 9 Hasil analisis geokimia unsur dan senyawa utama (Major Element) profil regolith 3 (Lab. Geokimia PT. Jasa Mutu Mineral Indonesia).....	42
Tabel 10 Perhitungan CIA (Chemical Index of Alteration) pada regolith daerah penelitian	45

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
%	Persen
>	Lebih dari
<	Kurang dari
°	Derajat
‘	Menit
“	Detik
//-Nikol	Nikol Sejajar
X-Nikol	Nikol Silang
BD1	Batuan Dasar 1 (Dasit)
BD2	Batuan Dasar 2 (Peridotit)
BD3	Batuan Dasar 3 (Peridotit)
BT	Bujur Timur
Bt	Biotit
Px	Piroksen
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
LS	Lintang Selatan
km	Kilometer
m	meter
Ol	Olivin
Opq	Opaq
Ort	Orthoklas
P1	Profil Regolith 1
P2	Profil Regolith 2
P3	Profil Regolith 3
PD1	Lapisan <i>Pedolith</i> Profil 1
PD2	Lapisan <i>Pedolith</i> Profil 2
PD3	Lapisan <i>Pedolith</i> Profil 3

Pg	Plagioklas
SP1	Lapisan <i>Saprolith</i> Profil 1
SP2	Lapisan <i>Saprolith</i> Profil 2
SP3	Lapisan <i>Saprolith</i> Profil 3
Sn	Sanidin
Srp	Serpentin
ST	Stasiun
Temt	Tersier Eosen Miosen Tonasa
Ub	Batuan Ultrabasa
XRF	<i>X-Ray Fluorescence Spectrometry</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Sulawesi terbentuk melalui proses tektonik yang sangat kompleks. Pulau Sulawesi dibagi menjadi 4 mandala berdasarkan keadaan litotektoniknya yaitu Mandala Barat yang merupakan jalur magmatik bagian ujung timur Paparan Sunda, Mandala Tengah yang merupakan sabuk metamorfik dari bagian blok Australia, Mandala Timur yang merupakan sabuk ofiolit dari segmen kerak samudera, serta Fragmen Kontinental Baggai-Sula dan Tukang Besi yang merupakan pecahan benua yang bergeser dari *New Guinea*. Pada Mandala Timur segmen kerak benua ini umumnya terdiri dari batuan ultramafik yang mengalami pengangkatan akibat dari proses tektonik. Batuan ultramafik ini juga tersingkap luas di beberapa bagian Sulawesi Selatan sehingga salah satu fenomena geologi yang menarik untuk diteliti dan dipelajari.

Batuan ultramafik merupakan batuan yang mengandung komposisi kimia basa yang tinggi, sehingga dalam pelapukannya mengalami lateritisasi. Mineral penyusun dari batuan ini umumnya olivin, piroksen, hornblende, dan mika. Kemunculan ultramafik di lapangan dapat terjadi secara berasosiasi dengan intrusi berlapis, tubuh batuan kecil serta kemunculan batuan tektonik dalam skala besar. Dalam lateritisasi juga mengalami transportasi, karenanya regolith dapat menjelaskan sumber batuan secara *in situ* maupun bongkah dari ultramafik.

Regolith merupakan material yang tidak kompak yang terdiri dari tanah, kerakal, kerikil hingga boulder. Dalam penggunaannya regolith kadang disamakan dengan tanah, namun dalam eksplorasi geokimia regolith digunakan dalam pencarian mineral petunjuk berdasarkan komposisi materialnya. Regolith sangat berguna dalam eksplorasi karena menjelaskan tentang keberadaan mineral atau komposisi kimianya. Karenanya regolith menjelaskan tentang kemungkinan mineral petunjuk mengalami perpindahan atau transportasi, yang dikenal dengan nama dispersi mineral. Pelapukan batuan menghasilkan perubahan ukuran batuan dari ukuran terbesar yaitu: bongkah hingga lempung. Pelapukan batuan kadang bersifat *in situ* atau denudasional dan kadang pula bersifat *transported* atau batumannya bukan merupakan singkapan, melainkan telah mengalami transportasi

kemudian melapuk. Tentunya untuk membuktikan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian terhadap karakteristik geokimia dari regolith. Oleh karena itu penulis mengadakan penelitian mengenai geokimia dari regolith batuan intrusi dan ultramafik pada Daerah Jeppee, Kecamatan Barru, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana profil regolith yang pada daerah penelitian?
2. Bagaimana komposisi kimia dari profil regolith pada daerah penelitian?
3. Bagaimana geokimia unsur yang mengalami transportasi pada regolith daerah penelitian?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah mengetahui geokimia dari profil regolith batuan intrusi dan ultramafik daerah penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui profil regolith yang terbentuk pada daerah penelitian
2. Mengetahui komposisi kimia dari profil regolith daerah penelitian
3. Mengetahui geokimia transportasi unsur dari regolith daerah penelitian

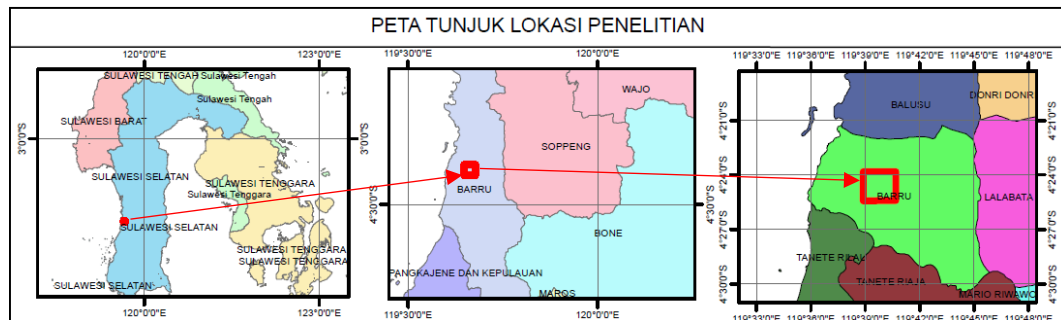
1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini berfokuskan pada identifikasi geokimia pada profil regolith pada Daerah Jeppee Kecamatan Barru, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan berdasarkan data hasil XRF (X-Ray fluorescence) yang kemudian diolah menggunakan *software Arcgis 10.8* dan *Microsoft Excel*.

1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian termasuk ke dalam Daerah Jeppee Kecamatan Barru, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis daerah penelitian terletak pada 119°38'52,716"E – 119°40'41,191"E Bujur Timur dan 4°23'47,816"S – 4°25'24,202"S Lintang Selatan. Daerah ini terpetakan dalam Peta

Lembar Geologi Berskala 1 : 50.000 Lembar Barru No. 2011-61 terbitan BAKOSURTANAL edisi 1 tahun 1991. Daerah penelitian dapat ditempuh melalui jalur darat dengan menggunakan kendaraan roda dua atau empat. Jarak tempuh dari Kampus Teknik Unhas Gowa ke daerah penelitian yaitu ± 90 Km dengan waktu tempuh sekitar 4 jam perjalanan.



Gambar 1 Peta tunjuk lokasi penelitian

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan acuan dan informasi mengenai geokimia profil regolith dari batuan intrusi dan batuan ultramafik daerah Jeppee.

1.7 Peneliti Terdahulu

Adapun peneliti yang pernah melakukan penelitian di lokasi ini baik yang bersifat lokal maupun regional sebagai berikut :

1. Sarasin (1901), melakukan penelitian geografi dan geologi di Pulau Sulawesi.
2. Van Bemmelen (1949), meneliti tentang Evolusi zaman tersier dan Kuartar Sulawesi bagian Selatan.
3. Rab Sukamto (1982), melakukan pemetaan geologi regional berskala 1:250.000 Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat.
4. Marlina A.Elburg dan Jhon Foden (1998), melakukan penelitian tentang pengaruh tektonik terhadap perubahan variasi geokimia batuan di Sulawesi Selatan.
5. Adi Tonggiroh dkk. (2014), melakukan penelitian geokimia batuan dasit pada ultramafik ofiolit Sulawesi dan lempung karbonatan Formasi Tonasa Kabupaten Barru Sulawesi Selatan.

6. Uswatun Khoriyah (2022), melakukan penelitian “Analisis Geokimia Pelapukan Dan Alterasi Batuan Ultramafik Daerah Palakka, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan”.
7. Zul A. Y. Zainal (2023), melakukan penelitian “Studi Geokimia Batuan Dasit Sungai Barru Kecamatan Barru, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan”.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Geologi Regional

3.1.1 Geomorfologi Regional

Di daerah Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat terdapat dua baris pegunungan yang memanjang hampir sejajar pada arah utara-barat laut dan terpisahkan oleh lembah Sungai Walanae. Pegunungan yang barat menempati hampir setengah luas daerah, melebar di bagian selatan (50 km) dan menyempit di bagian utara (22 km). Puncak tertingginya 1694 m, sedangkan ketinggian rata-ratanya 1500 m. Pembentuknya sebagian besar batuan gunungapi. Di lereng barat dan di beberapa tempat di lereng timur terdapat topografi karst, pencerminan adanya batugamping. Di antara topografi karst di lereng barat terdapat daerah perbukitan yang dibentuk oleh batuan Pra-Tersier. Pegunungan ini di barat daya dibatasi oleh dataran Pangkajene-Maros yang luas sebagai lanjutan dari dataran di selatannya.

Pegunungan yang di timur relatif lebih sempit dan lebih rendah, dengan puncaknya rata-rata setinggi 700 m, dan yang tertinggi 787 m. Juga pegunungan ini sebagian besar berbatuan gunungapi. Bagian selatannya selebar 20 km dan lebih tinggi, tetapi ke utara menyempit dan merendah, dan akhirnya menunjam ke bawah batas antara Lembah Walanae dan dataran Bone. Bagian utara pegunungan ini bertopografi karst yang permukaannya sebagian berkerucut. Batasnya di timur laut adalah dataran Bone yang sangat luas, yang menempati hampir sepertiga bagian timur. Lembah Walanae yang memisahkan kedua pegunungan tersebut di bagian utara selebar 35 km, tetapi di bagian selatan hanya 10 km. Di tengah terdapat Sungai Walanae yang mengalir ke utara Bagian selatan berupa perbukitan rendah dan di bagian utara terdapat dataran aluvium yang sangat luas mengelilingi Danau Tempe (Sukamto, 1982)

3.1.2 Stratigrafi Regional

Secara regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat yang dipetakan oleh Rab. Sukanto dan Supriatna S. (1982), dengan stratigrafi daerah penelitian sebagai berikut:

Batuan Ultrabasa (Ub): terdiri dari peridotit, sebagian besar terserpentinkan, berwarna hijau tua sampai hijau kehitaman; kebanyakan terbreksikan dan tergerus melalui sesar naik ke arah barat daya; pada bagian yang pejal terlihat struktur berlapis, dan di beberapa tempat mengandung buncak dan lensa kromit; satuan ini tebalnya tidak kurang dan 2500 m, dan mempunyai sentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya.

Formasi Tonasa (Temt): terdiri dari batugamping koral pejal sebagian terhablurkan. Berwarna putih dan kelabu muda; batugamping bioklastika dan kalkarenit. Berwarna putih coklat muda dan kelabu muda. sebagian berlapis baik, berselingan dengan napal globigerina tufaan; bagian bawahnya mengandung batugamping berbitumen, setempat bersisipan breksi batugamping dan batugamping pasir; di dekat, Malawa, daerah Camba terdapat batugamping yang mengandung glaukonit, dan di beberapa tempat di daerah Ralla ditemukan batugamping yang mengandung banyak sepaian sekis dan batuan ultramafik; batugamping berlapis sebagian mengandung banyak foraminifera besar.

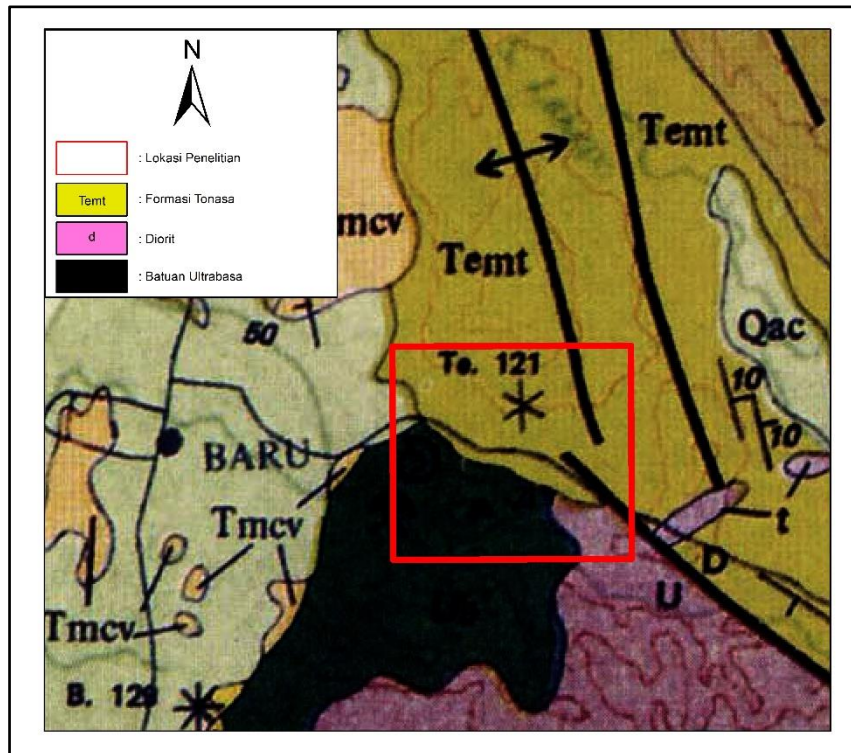
Fosil dari batuan Formasi Tonasa telah dikenali oleh D. Kadar (Hubungan tertulis 1971, 1973), Reed & Malicoat (M.W. Kots, hubungan tertulis, 1972), Purnamaningsih (hubungan tertulis, 1973, 1974), dan oleh Sudiyono (hubungan tertulis, 1973). Fosil yang dikenali termasuk: *Dictyoconus* sp., *Asterocyclus* sp., *An. matanzensis* COLE, *Biplanispira* sp., *Discocyclus* sp., *Nummulites* sp., *N. ataticus* LEYMERIE. *N. pangaronensis* (VERBEEK), *Fasciolites* sp., *F. oblonga* D'ORBIGNY, *Alveolinella* sp., *Orbitolites* sp., *Pellatispira* sp., *P. madarasi* HANTKEN, *P. orbitoidae* PROVALE. *P. provaleae* YABE, *Spiroclypeus* sp., *S. tidoenganensis* VAN DER VLERK. *S. verinicularis* TAN, *Globorotalia* sp., *Gl. centralis* CUSHMAN & BERMUDEZ, *Gl. mayeri* CUSHMAN & ELLISOR, *Gl. obesa* BOLLI, *Gl. preamenardii* CUSHMAN & STAINFORTH. *Gl. siakensis* (LE ROY), *Globoquadrina altispira* (CUSHMAN & JARVIS), *Gn. dehiscens* (CHAPMAN-PARR COLLINS) Hantkenina *alabamensis* CUSHMAN, *Heterostegina* sp., *H. bornensis* VAN DER VLERK, *Austrotrillina*

bowcbini (SCHLUMBERGER), *Lepidocyclina* sp., *L. cf. Omphalus* TAN, *L. Ephippioides* JONES, *L. sumatrensis* (BRADY), *L. parva* OPPENOORTH, *Iniogypsina* sp., *Globigerina* sp., *G. venezuelana* HEDBERG, *Globigerinoides* sp., *Gd. altiapertura* BOLLI, *Gd. immaturus* LE ROY, *Gd. Subquadratus* BRONNI- MANN, *Gd. trilobus* (REUSS), *Orbulina bilobata* (D'ORBIGNY). *O. suturalis* BRONNIMANN, *O. universa* D'ORBIGNY, *Opercuna* sp., *Amphistegina* sp. dan *Cycloclypeus* sp. Gabungan fosil ini menunjukkan kisaran umur dari Eosen Awal (Ta.2) sampai Miosen Tengah (Tf), dan lingkungan neritik dangkal hingga dalam dan laguna. Ditemukan juga fosil-fosil foraminifera yang lain serta ganggang, koral dan moluska dalam formasi ini. Tebal formasi ini diperkirakan tidak kurang dari 3000 m; menindih selaras batuan Formasi Malawa, dan tertindih tak selaras batuan Formasi Camba; diterobos oleh sill, retas, dan stok batuan beku yang bersusunan basal, trakit, dan diorit.

3.1.3 Struktur Regional

Akhir kegiatan gunungapi Miosen Awal itu diikuti oleh tektonik yang menyebabkan terjadinya permulaan terban Walanae yang kemudian menjadi cekungan tempat pembentukan Formasi Walanae. Peristiwa ini kemungkinan besar berlangsung sejak awal Miosen Tengah, dan menurun perlahan selama sedimentasi sampai Kala Pliosen. Menurunnya Terban Walanae dibatasi oleh dua sistem sesar normal, yaitu sesar Walanae yang seluruhnya nampak hingga sekarang di sebelah timur, dan sesar Soppeng yang hanya tersingkap tidak menerus di sebelah barat. Selama terbentuknya terban Walanae, di timur kegiatan gunungapi terjadi hanya di bagian selatan sedangkan di barat terjadi kegiatan gunungapi yang hampir merata dari selatan ke utara, berlangsung dari Miosen Tengah sampai Pliosen. Sesar utama yang berarah utara – barat laut terjadi sejak Miosen Tengah, dan tumbuh sampai setelah Pliosen. Perlipatan besar yang berarah hampir sejajar dengan sesar utama diperkirakan terbentuk sehubungan dengan adanya, tekanan mendatar berarah kira-kira timur – barat pada waktu sebelum akhir Pliosen. Tekanan ini mengakibatkan pula adanya sesar sungkup lokal yang menyasarkan batuan pra-kapur Akhir di Daerah Bantimala yang kemudian tertekan melawati batuan tersier. Penyesaran yang relatif lebih kecil di bagian timur Lembar Walanae dan di bagian barat

pegunungan barat yang berarah barat laut – tenggara dan merencong, kemungkinan besar terjadi oleh gerakan mendatar ke kanan sepanjang sesar besar (Sukamto, 1982).



Gambar 2 Peta geologi regional lokasi penelitian (Sukamto, 1982)

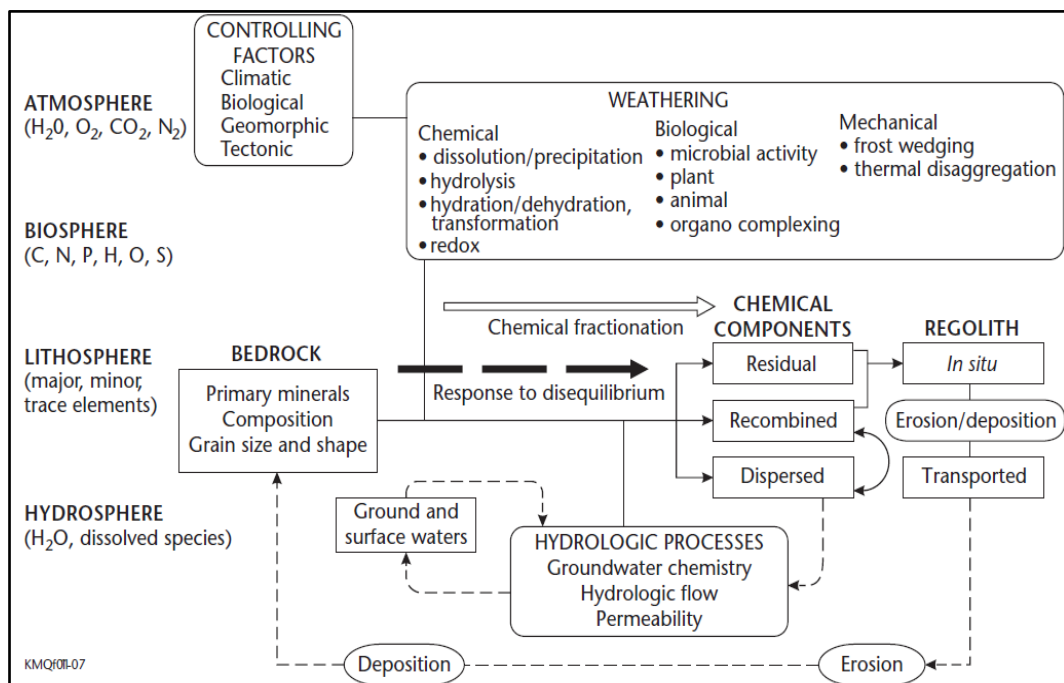
3.2 Geokimia Regolith

Regolith didefinisikan sebagai lapisan tutup tanah yang tidak terkonsolidasi atau tersementasi ulang yang menutupi batuan dasar secara koheren sebagai hasil dari proses pelapukan, erosi, pengangkutan, pengendapan material yang lebih tua (Eggleton, 2001). Regolith tersusun material lepas hasil dari pelapukan berupa batuan dan *soil* yang tidak terkonsolidasi dan terletak diatas batuan dasar. Perubahan unsur kimia pada batuan seiring waktu menyebabkan material hancur menjadi ukuran yang lebih kecil dan membentuk lapisan baru yang berbeda dari batuan dasar. Pada regolith sering ditemukan sumberdaya geologi seperti aluminium, besi, tanah liat, dan unsur tanah jarang (Rafferty, 2018).

Ketika batuan mengalami pelapukan secara kimiawi, sebagian mineralnya berubah menjadi menjadi kumpulan mineral baru yang stabil. Unsur-unsur yang terkandung terdistribusi pada mineral yang resisten, membentuk mineral baru atau

dibawa oleh larutan. Perubahan unsur pada profil pelapukan ini dalam beberapa kasus menghasilkan endapan mineral yang ekonomis (Mcqueen, 2008 dalam Scott, 2011).

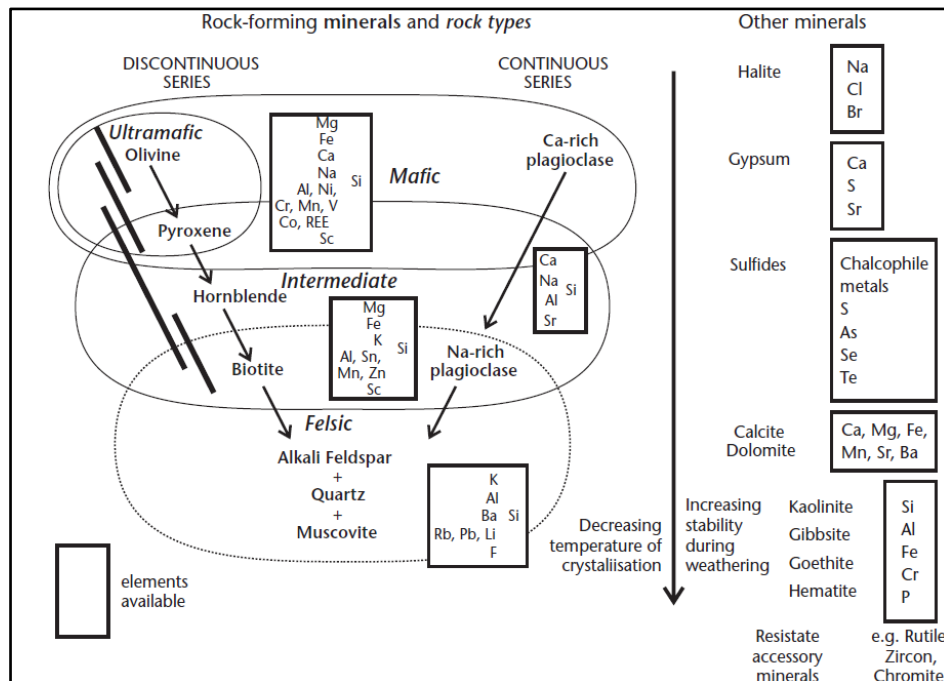
Regolith tersusun atas air, mineral, senyawa terlarut, biota, koloid, dan gas. Seluruh komponen ini dapat ditelusuri dari konstituen unsurnya. Eksplorasi geokimia regolith umumnya dilakukan dengan menentukan kelimpahan unsur serta keberadaan unsur jejak. Data geokimia pada regolith dapat digunakan secara luas, seperti untuk menentukan material regolith yang berbeda, memperkirakan tingkat pelapukan dan pelarutan kimia, mengetahui jenis dari batuan induk, serta untuk menentukan lingkungan kimia yang spesifik (Scott, 2011).



Gambar 3 Faktor utama pengontrol pelapukan dan komposisi regolith (Scott, 2011)

Pelapukan batuan melibatkan modifikasi fisik, kimia, dan biologi dari tubuh batuan. Indikasi kerentanan mineral terhadap pelapukan dapat dilihat dari rasio silika terhadap kation lain dalam struktur mineralnya. Semakin tinggi rasio kation yang dapat digantikan oleh hidrogen maka makin rentan mineral tersebut terhadap pelapukan. Mineral yang relatif stabil terhadap pelapukan umumnya merupakan mineral silikat yang terbentuk pada rangkaian pembentukan mineral pada *Bowen reaction series*. Mineral-mineral mafik lebih muda terlapukan daripada mineral felsik, sehingga elemen-elemen

pada mineral mafik umumnya lebih dulu terlepas daripada elemen pada mineral plagioklas, alkali feldspar, dan mika selama proses pelapukan.

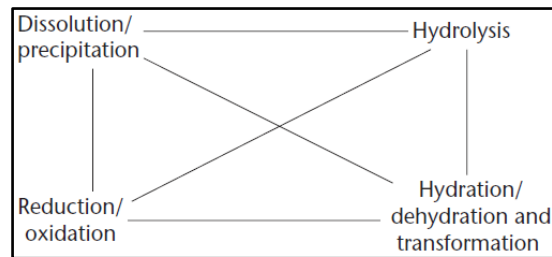


Gambar 4 Bowen reaction series dan stabilitas mineral terhadap pelapukan (Scott, 2011)

Tabel 1 Urutan pelapukan untuk mineral berbutir sangat halus (Ollier, 1984)

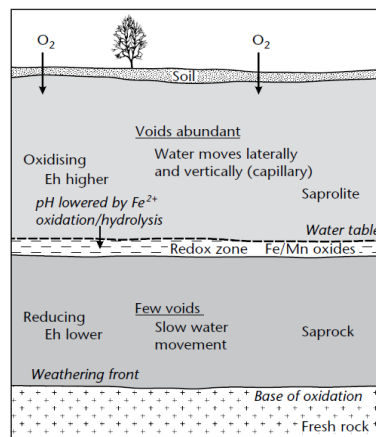
Mineral Primer	Mudah larut, tidak terlapukkan atau sebagai deposit sekunder	Gypsum (halite)
		Kalsit (aragonit, dolomit)
	Mudah dan cepat lapuk	Olivin, hornblende (diopsit)
		Biotit (klorit, glaukonit)
Mineral Sekunder	Lambat lapuk	Albit (mikroklin, anortit)
		Kuarsa
		Illite (muskovit)
		Mika hidroksida
	Sangat lambat lapuk	Montmorilonit
		Kaolinit
		Gibbsite
		Hematit (geotit, limonit)
		Anatase (rutil, ilmenite, korundum)

Proses utama dalam pelapukan kimia batuan melibatkan penggantian ion yang mudah larut dengan proton (ion hidrogen) dan oksidasi dari beberapa elemen. Kation yang mudah larut pada permukaan dan air tanah ialah Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , dan K^+ . Reaksi pelapukan kimia ini terbagi menjadi empat reaksi utama, yaitu pelarutan/presipitasi, hidrolisis, hidrasi/dehidrasi, transformasi, serta reduksi dan oksidasi.



Gambar 5 Tipe-tipe reaksi kimia pada proses pelapukan (Mcqueen, 2008 dalam Scott, 2011)

Tabel air sangat mempengaruhi batas fisika dan kimiawi suatu profil pelapukan yang memisahkan zona jenuh air dengan lapisan yang mengandung air. Pada profil lapukan yang stabil zona tabel air ini umumnya terbentuk pada *saprock* atau pada bagian bawah zona *saprolith*. Kedalaman dari tabel air tergantung pada kondisi geomorfologi serta faktor hidrologi. Dibawah zona tabel air memiliki kondisi reduksi (rendah Eh), pergerakan air umumnya lambat pada pori-pori batuan dan rekahan. Diatas zona tabel air, gas (termasuk oksigen pada atmosfer) memiliki akses lebih besar pada regolith yang cenderung menyebabkan kondisi oksidasi (tinggi Eh). Perubahan Eh disekitar zona tabel air umumnya menghasilkan zona reaksi redoks yang ditandai dengan presipitasi dari Fe dan Oksida Mn. Pelepasan hidrogen dapat menyebabkan berkurangnya pH (Scott, 2011).

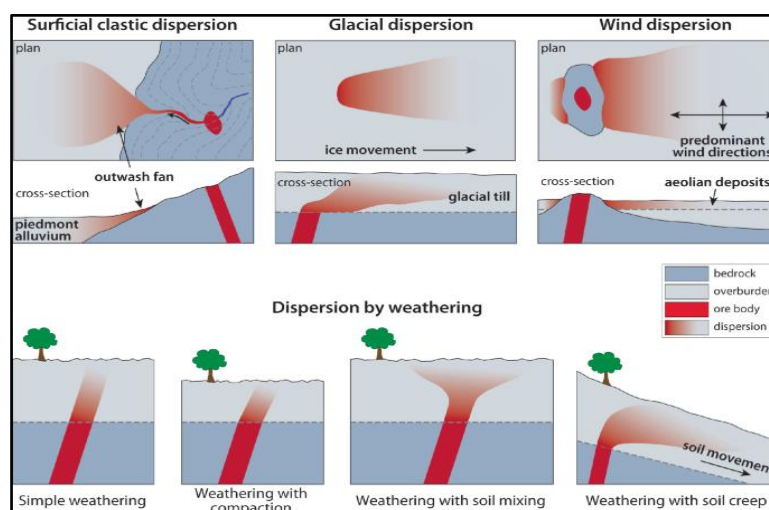


Gambar 6 Kondisi Eh dan pH pada tabel air

Pada siklus transformasi geokimia skala besar, sejumlah kecil material di bumi tidak mempertahankan ciri utamanya, namun cenderung untuk terdistribusi kembali, terfraksinasi, dan tercampur dengan material lainnya. Proses ini, ketika atom dan partikel bergerak menuju lokasi yang baru disebut dispersi geokimia. Dispersi dapat terjadi pada permukaan dan pada kedalaman bumi. Sesuai dengan lingkungan geokimianya, dispersi dibagi menjadi dispersi primer dan dispersi sekunder. Dispersi primer mencakup seluruh proses yang mengarah pada penempatan unsur-unsur selama pembentukan endapan bijih, tanpa memandang bagaimana pembentukan bijih tersebut. Dispersi sekunder berupa redistribusi pola primer oleh proses selanjutnya, seperti pelapukan, erosi, dan proses hidromorfik yang umumnya terjadi pada lingkungan permukaan (Rose, 1979).

Tabel 2 Contoh perbedaan tahapan dan lingkungan dispersi

Tahapan Dispersi	Lingkungan	
	Kedalaman Bumi	Permukaan
Primer	Difusi logam pada batuan dinding disekitar deposit hidrotermal selama pengendapan bijih	Presipitasi dari jejak logam pada endapan volkanogenik di lantai samudra
Sekunder	Difusi logam dari endapan bijih dalam proses metamorfisme	Pelapukan endapan bijih sulfida



Gambar 7 Pola dispersi kimia oleh pelapukan (Alexandre, 2021)

Hubungan genetika antara berbagai daerah tropis dan subtropis menyediakan kerangka dimana dispersi geokimia dapat dijelaskan dan menjadi dasar perbandingan antar daerah. Klasifikasi yang umum digunakan untuk pembagian setiap iklim / morfoklimatik pada daerah yang terlapukkan didasarkan pada relief, kondisi iklim dan zona morfoklimatik, derajat perservasi profil regolith, alterasi terkini, pembentukan dan akumulasi mineral, dan keterdapatan *overburden* alami. (Butt, 1992). Kriteria dalam penentuan klasifikasi didasarkan pada beberapa hal berikut:

1. Profil

Pada area dengan relief sedang – rendah, erosi fisik umumnya lambat dan tidak efisien sehingga regolith tebal dapat terbentuk dan regolith yang sudah ada dapat dipertahankan sebagian atau sepenuhnya. Dispersi geokimia umumnya didominasi oleh mekanisme kimia yang aktif saat ini ataupun pada masa lampau. Pada area dengan relief sedang – tinggi, tingkat erosi fisik melampaui pelapukan kimia bahkan dalam iklim lembab menghalangi pengawetan atau pembentukan regolith yang tebal. Dispersi geokimia pada area ini didominasi oleh proses fisikal yang aktif.

2. Kondisi iklim dan zona morfoklimatik

Hal ini mempengaruhi aktivitas pelapukan dan proses dispersi, termasuk pembentukan soil dari regolith yang tersingkap. Jumlah curah hujan secara kuat mempengaruhi derajat perubahan pada profil akibat oleh *leaching* dan presipitasi.

3. Derajat preservasi regolith

Hal ini sangat menentukan pentingnya karakteristik geokimia dan mineralogi yang diwarisi dari kejadian pelapukan sebelumnya, seperti terjadinya pengayaan Al, Fe, Ni, dan Au atau terjadinya penipisan dari Na, K, Ca, Mg, Cu, dan Zn. Derajat preservasi ini juga menentukan sifat dari material residual pada bagian profil teratas, apakah merupakan *soil* atau tertimbun dibawah *overburden* yang tertransportasi.

4. Alterasi terkini

Alterasi kimia pada regolith dapat terjadi pada iklim saat ini atau ketika periode menengah terjadi pelapukan lampau, termasuk perubahan kondisi pelapukan akibat tektonisme atau perubahan iklim.

5. Pembentukan atau akumulasi mineral

Merupakan konsekuensi dari perubahan derajat *leaching*. Peningkatan *leaching* dapat menyebabkan terjadinya alitisasi, yaitu pembentukan gibbsite dari kaolinit atau langsung dari mineral aluminosilikat primer. Pada kondisi yang lebih kering, smectites dapat terbentuk daripada kaolinite dan silika serta alkali tanah dapat dipertahankan pada pembentukan soil, umumnya sebagai semen.

6. Keterdapatan *overburden* alami

Material yang terbentuk pada permukaan lapisan umumnya sangat penting dalam penentuan media sampel eksplorasi. Ada kemungkinan tidak terdapatnya *overburden*, sehingga batuan dasar lapuk yang tidak tertransformasi, batuan dasar segar atau *overburden* merupakan insitu (sebagai residual *soil*), tertransportasi (alluvium, pasir eolian, talus), atau campuran semi residual.

3.3 Struktur Regolith

Berdasarkan Speight dan Isbell (1990), dimodifikasi oleh Pain et al. (1991) dalam Ollier (1996) tingkat lapukan regolith terbagi menjadi:

1. *Unweathered* : tidak ada tanda pelapukan pada regolith. Umumnya ditemukan pada tipe regolith sedimenter.
2. *Slightly weathered* : ditemukan jejak alterasi dan pengotoran besi. Batuan dasar saling mengikat dan rekahan-rekahan kecil. Sedikit kehilangan feldspar serta terdapat material tanah yang mengisi ruang diantara partikel kasar.
3. *Moderately weathered* : memiliki pengotoran besi yang kuat serta material tanah hingga 50%. Batuan dasar saling mengait dan berbentuk rectangular serta kebanyakan feldspar telah hilang.
4. *Highly weathered* : memiliki pengotoran besi yang kuat dengan material tanah mencapai lebih dari 50%. Batuan dasar lepas dan membundar, hampir seluruh feldspar telah hilang. Terdapat banyak rekahan mikro dan bongkah batuan memiliki lapisan lapukan yang tebal.
5. *Very highly weathered* : terbentuk dari dekomposisi dari batuan akibat dari proses eksogenik. Material masih menampilkan struktur asalnya. Tersusun sepenuhnya dari material tanah. Batuan dasar sangat jarang dan umumnya bundar.

6. *Completely weathered* : tidak terdapat struktur asalnya dan tidak terdapat batuan dasar. Tersusun sepenuhnya oleh material tanah.

Pembentukan struktur dari regolith bergantung pada sejauh mana pelapukan mengubah komposisi batuan dasar. Profil yang berkembang baik menunjukkan adanya zonasi vertikal dari dasar hingga permukaan. Pada profil regolith yang ideal, zona-zona yang terbentuk berupa:

- zona lapukan batuan dasar yang masih mempertahankan tekstur dari batuan dasar,
- zona yang kaya material lempung atau zona plasmik berpasir dimana tekstur dari batuan dasar telah hancur,
- zona ferruginous yang mengandung bauksit atau residu silika,
- lapisan soil,
- serta lapisan permukaan yang tersusun dari material yang resisten.

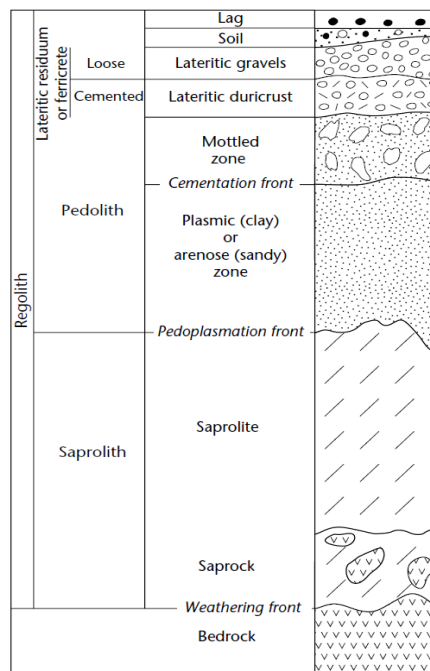
Setiap lapisan pada profil regolith ini memiliki struktur kimia tersendiri dengan variasi ketebalan tiap lapisan beragam, mulai dari beberapa meter sampai puluhan meter. Tergantung pada jenis batuan dasar dan keadaan morfologi, beberapa bagian dari lapisan profil mungkin tidak terbentuk. Material-material yang paling segar terletak pada bagian yang paling dekat dengan batuan dasar dan material yang mengalami pelapukan yang paling lama berada pada bagian paling atas.

Lapisan *saprock* merupakan zona dengan tingkat alterasi mineral paling rendah. Mineral yang terlapukan berkisar kurang dari 20% yang umumnya mempertahankan bukti dari pelapukan terbaru. Pada kondisi lembab dengan tingkat asam dan oksidasi tertentu mineral sulfida dan karbonat umumnya yang pertama hancur. Akibatnya sulfur terus akan berkurang sehingga elemen yang terdapat pada sulfida (As, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Ni, Zn) akan ikut terlarut atau membentuk mineral sekunder. Elemen yang terdapat pada unsur karbonat (Ca, Fe, Mg, Mn, Sr) juga akan terlepas atau habis. Mineral ferromagnesium yang teralterasi akan melepas sebagian Fe dan Mg serta menghasilkan kandungan *trace element*.

Perubahan komposisi kimia terjadi lebih masif pada lapisan *saprolith* dengan lebih dari 20% mineral teralterasi. Penghancuran berkelanjutan dari mineral ferromagnesium dan feldspar menyebabkan berkurangnya Mg, Ca, Na, K dan

penyimpanan unsur Si serta Al pada produk hasil alterasi seperti mineral kaolinit dan silika sekunder. Selanjutnya bagian *saprolith* yang teralterasi (umumnya bagian atas *saprolith* yang terlarut) ditandai dengan teralterasinya mineral-mineral paling resisten serta hancurnya mineral sekunder secara berkelanjutan yang menyebabkan pelepasan selanjutnya dan potensi pelarutan dari Mg, Fe, Co, Cu, Cr, Ni dan Zn serta terjadinya pengayaan Al dan Si. Alterasi mineral, pelarutan kimia dan pertumbuhan mineral sekunder menyebabkan hancurnya tekstur utama batuan dan menghasilkan lapisan *pedolith*.

Lapisan *pedolith* mengandung zona lempung atau zona kaya kuarsa (pengayaan unsur Al dan Si yang relatif pada batuan dasar dan zona *mottled* (oksida besi yang lebih gelap terpisah dari mineral lempung yang lebih pucat). Kuarsa dan mineral resisten lainnya umumnya dipertahankan, menghasilkan pengayaan residual Si dan elemen seperti B, Cr, Hf, Nb, Rb, REE, Th, Ti, V, W dan Zr (Scott, 2011).



Gambar 8 Profil regolith ideal (Eggleton, 2001)

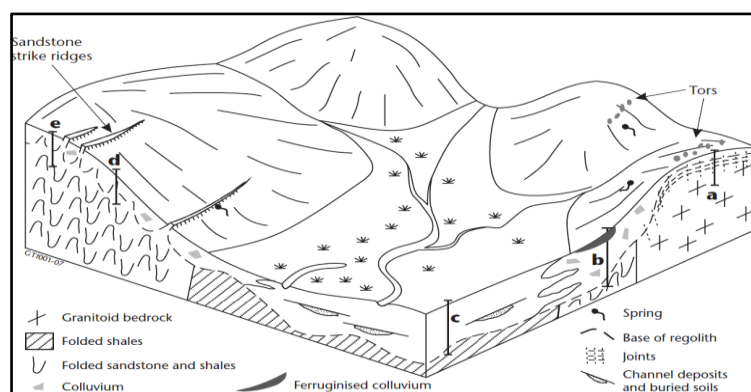
3.4 Pengaruh Bentang Alam Pada Regolith

Iklim sangat berpengaruh pada pembentukan bentang alam. Dalam pembentukan bentang alam, iklim mempengaruhi perpindahan material atau perubahan lanskap dalam suatu periode tertentu, bisa dalam periode tahunan, dekade, abad atau epoch. Dalam

menentukan paleoklimatologi terdapat berbagai aspek yang harus diperhatikan seperti temperatur, presipitasi, dan larutan. Berdasarkan klasifikasi Kloppe paleoklimatologi terbagi menjadi 5, yaitu iklim *tropic rain*, *arid*, *temperatur rain*, *boreal forest and snow*, dan *polar cold* (Lamb, 1972).

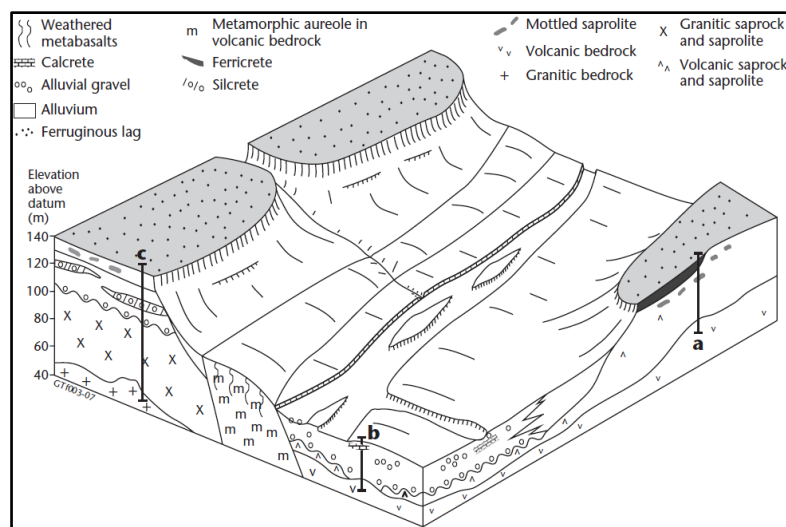
Pembentukan bentang alam juga sangat dipengaruhi oleh proses pelapukan. Dalam pembentukannya material hasil lapukan adanya yang tertransportasi dan ada yang teralterasi pada tempatnya dan kemudian membentuk regolith. Dalam evolusi regolith, tipe bentang alam sangat berpengaruh seperti bentang alam perbukitan dan lembah. (Taylor, 2001)

Bentang alam berbukit umumnya tersusun dari beberapa bukit yang dipisahkan oleh lembah yang kecil dengan sungai sedang sampai besar serta dataran banjir. Bukit-bukit ini umumnya terbentuk dari batuan dasar yang resisten. Regolith yang terbentuk pada bentuk bentang alam ini mengandung material *in situ* dan material yang tertransportasi. Pada tipe bentang alam ini pelapukan menembus kedalam batuan dasar pada rekahan-rekahan dan ditutupi oleh lapisan *saprock* yang mineralnya telah mulai teralterasi. Regolith pada bagian tercuram memiliki regolith yang tipis akibat erosi yang masif. Pada bagian lereng yang rendah, regolith terbentuk relatif tebal akibat akumulasi dari material lapukan. Proses utama yang membentuk regolith pada bentang alam ini berasosiasi dengan pelapukan (fisika dan kimia), aliran air permukaan, pergerakan lateral material lapukan akibat gravitasi, pergerakan air tanah (baik secara vertikal dan horizontal), serta aktivitas organisme.



Gambar 9 Gambaran bentang alam perbukitan yang terbentuk akibat proses-proses geologi dan pengaruhnya pada pembentukan regolith (didasarkan pada bentang alam regolith pada dataran tinggi timur dan lereng barat Australia) (Taylor, 2009 dalam Scott, 2011).

Pada bentang alam berbentuk lembah, umumnya terdiri dari beberapa mesa yang dipisah oleh lembah utama dan beberapa lembah kecil. Lembah utama memiliki dataran banjir yang luas dan mesa dibatasi oleh tebing yang jelas namun kecil. Lembah utama memanjang mengikuti batuan dasar, dengan sungai yang mengalir dekat ke punggung rendah. Mesa rendah di kedua sisi lembah didasari oleh regolith yang dalam dan ditutupi oleh lapisan *ferruginous*. Lembah aluvial diantara mesa terbentuk dari material regolith yang tertransportasi dari lembah utama dan lereng bukit (Taylor, 2009).



Gambar 10 Lanskap 2 didasarkan pada beberapa situs bentang alam pada daerah Yilgran Craton WA dan daerah Mt Isa, Queensland (Taylor, 2009 dalam Scott, 2011)

3.5 Pelapukan Batuan Ultramafik

Unsur mayor yang terdapat pada batuan beku seperti SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O , H_2O^+ , dan P_2O_5 bereaksi secara kimiawi pada kondisi hidrasi dan non hidrasi. Pada batuan beku asam proses kimia substitusi terjadi saat SiO_2 dan MnO menyubstitusi Al_2O_3 , TiO_2 , dan FeO . Sedangkan pada batuan beku basa FeO tersubstitusi oleh Al_2O_3 sehingga kuantitas kadarnya meningkat. Senyawa silikat pada batuan granit meningkat dan menurun pada batuan peridotit, sedangkan sebaliknya kandungan magnesium oksida meningkat pada batuan peridotit dan menurun pada batuan granit. Proses substitusi kedua unsur major ini dapat dijumpai dalam rekahan batuan ultrabasa (Tonggiroh, 2019).

Tabel 3 Komposisi kimia batuan beku (Tonggiroh, 2019)

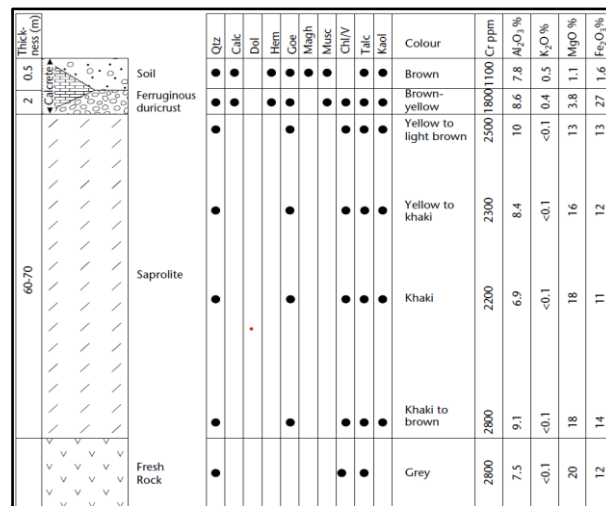
Oksida	Granit (%)	Diorit (%)	Gabro (%)	Peridotit (%)
SiO ₂	72,08	51,86	48,36	43,54
TiO ₂	0,37	1,50	1,32	0,81
Al ₂ O ₃	13,86	16,40	16,84	3,99
Fe ₂ O ₃	0,86	2,73	2,55	2,51
FeO	1,72	6,97	7,92	9,8
MnO	0,06	0,18	0,18	0,21
MgO	0,52	6,21	8,06	34,02
CaO	1,33	3,40	11,07	3,46
Na ₂ O	3,08	3,36	2,26	0,56
K ₂ O	0,46	1,33	0,56	0,25
H ₂ O ⁺	0,53	0,80	0,64	0,76
P ₂ O ₅	0,18	0,35	0,24	0,05

Pelapukan kimia cenderung mengubah struktur mineral menjadi struktur kristal yang melembar atau poligonal seperti pada mineral lempung. Infiltrasi dari H₂O seiring berjalannya waktu merusak struktur kristal dan merubah mineraloginya. Faktor pelapukan kimia yang sering mempengaruhi batuan yaitu hidrolisis, oksidasi, karbonisasi, hidrasi, serta anion dan kation dalam larutan.

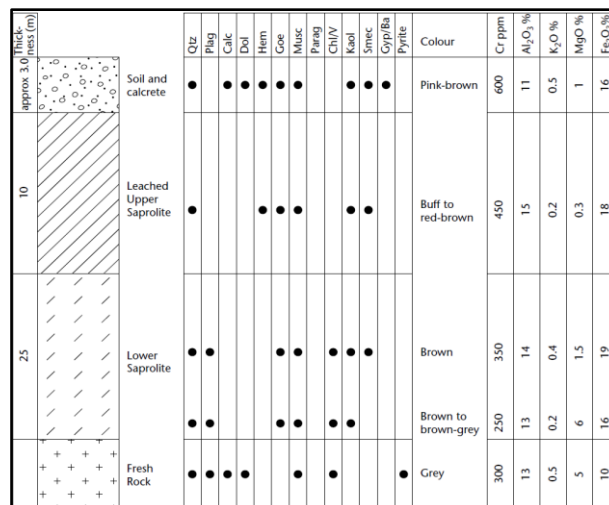
Batuan ultramafik tersusun atas mineral olivin dan piroksen, tapi sering juga telah terjadi serpentinisasi atau alterasi menjadi klorit-amfibol atau *talc* dengan kadar Mg tinggi dan Al yang rendah. Pelapukan kimia pada olivin dan serpentin menghasilkan lempung smectite pada *saprolith*. Fe dari olivin dan magnetite membentuk goethite dan pada bagian atas profil lapukan membentuk hematite.

Batuan mafik merupakan batuan beku yang tersusun oleh dominan plagioklas dan mineral ferromagnesian (olivine, piroksen, amfibol, biotit, dan klorit) serta mineral lainnya termasuk kuarsa. Proses pelapukan yang panjang menyebabkan plagioklas dan klorit hilang sepenuhnya serta membentuk banyak mineral lempung (kaolinit dan smectites) dan goetit/hematit. Mineral larut berupa K dan Mg hilang akibat dari pelarutan

pada bagian atas *saprolith*. Terjadi juga pengayaan Al dan Fe serta beberapa mineral jejak pada zona ini (Scott, 2011).

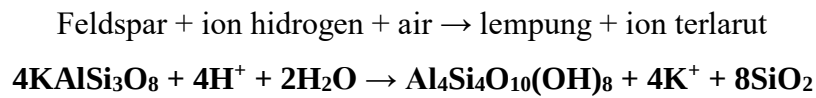


Gambar 11 Profil lapukan batuan ultramafik yang digeneralisasi (Scott, 1990 dalam Scott, 2011)

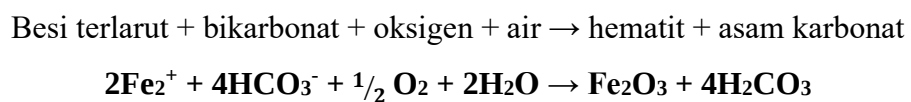
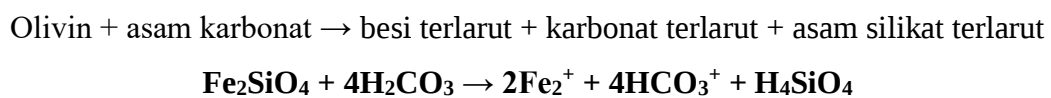


Gambar 12 Profil lapukan batuan mafik yang digeneralisasi (Scott & Martinez 1990 dalam Scott, 2011)

Pada batuan ultramafik pelapukan kimia yang sering dijumpai merupakan hasil dari proses hidrolisis dan oksidasi. Pembentukan kelompok mineral kaolinit pada batuan umumnya berkaitan dengan proses hidrolisis. Proses ini terjadi ketika ion hidronium pada air bereaksi dengan mineral yang mudah lapuk sehingga terjadi pergantian ion dalam struktur atom mineral.



Proses oksidasi terjadi ketika pelarutan unsur besi membentuk oksida besi dalam silikat ferromagnesian. Mineral olivin yang bereaksi dengan asam karbonat membentuk besi terlarut, karbonat terlarut, dan asam silikat terlarut. Pengaruh oksigen dan air pada besi terlarut membentuk mineral hematit.



Tabel 4 Hasil pelapukan mineral secara umum dalam pengaruh CO₂ dan H₂O
(Tonggiroh, 2019)

Mineral Asal	Hasil Utama (Padat)	Hasil Lainnya (Larutan)
Feldspar	Mineral lempung	Ion (Na ⁺ , Ca ⁺⁺ , K ⁺), SO ₂
Mineral Ferromagnesium (termasuk biotit dan mika)	Mineral lempung	Ion (Na ⁺ , Ca ⁺⁺ , K ⁺ , Mg ⁺⁺), SO ₂ , Fe oksida
Muskovit	Mineral lempung	Ion-ion (K ⁺), SO ₂
Kuarsa	Butiran Pasir	
Kalsit		Ion-ion (Ca ⁺⁺ , HCO ₃)

Menurut teori Ruxton rasio perbandingan SiO₂ dan Al₂O₃ adalah 2:1. Penentuan ini menggunakan metode xrf dan xrd, yang menjelaskan bahwa mineral yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan beku asam dan intermediet adalah kaolin dan atau *allophane*. Pada iklim basah mobilitas unsur pada batuan beku menyebabkan berkurangnya silika dan aluminium secara cepat (Ruxton, 1968).

Akumulasi besi dioksida pada batuan mafik dan ultramafik dapat menghasilkan zona ferruginous yang tersusun dari ferricrete (jika disemen oleh besi oksida) atau residu ferruginous (jika kurang terkonsolidasi). Akumulasi dari aluminium oksida dapat membentuk zona bauksit dan presipitasi silika larut membentuk akumulasi SiO_2 murni dari silcrete (Ollier, 1996).