

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berdasarkan data Badan Geologi (2019) kobalt sebagai salah satu bahan baku baterai kobalt memiliki potensi sumberdaya 2,9 miliar ton bijih dan estimasi total cadangan sebanyak 4 juta ton di Indonesia. Sumberdaya kobalt dapat dimanfaatkan untuk menunjang perkembangan dan pembangunan teknologi seperti industri baterai, konstruksi, infrastruktur, transportasi dan alat elektronik.

Batuan ultramafik merupakan salah satu batuan yang mengalami laterisasi dan dapat menghasilkan mineral bijih seperti kobalt (Co), nikel (Ni), kromit (Cr) dan magnetit (Kadariusman dkk, 2009). Laterisasi pada batuan ultramafik akan menghasilkan pembentukan profil laterit berlapis dengan laterit termuda di bagian bawah dan laterit paling tua di bagian atas. Laterisasi dipengaruhi oleh sifat batuan dasar, iklim, tektonik, dan topografi. Hal ini akan mempengaruhi ketebalan dari profil laterit yang dihasilkan (Ahmad, 2005).

Menurut Ahmad (2008) profil laterit terdiri dari zona limonit, zona transisi, zona saprolit dan zona batuan dasar. Masing-masing zona laterit mempunyai kandungan mineral dan kadar nikel serta kobalt yang terkayakan pada zona tertentu. Berkaitan dengan hal tersebut maka dilakukanlah penelitian dengan judul “Pengayaan Kobalt pada Blok X, Blok Y, dan Blok Z, PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan”.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi zona pengayaan kobalt?
2. Bagaimana sebaran zona pengayaan kobalt?
3. Bagaimana perbedaan karakteristik zona pengayaan kobalt pada Blok X, Blok Y dan Blok Z ?

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan penelitian mengenai “pengayaan kobalt pada Blok X Y dan Z Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Dengan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi zona pengayaan kobalt
2. Mengetahui sebaran zona pengayaan kobalt
3. Mengetahui perbedaan karakteristik pengayaan kobalt pada Blok “X” Blok “Y” dan Blok “Z”

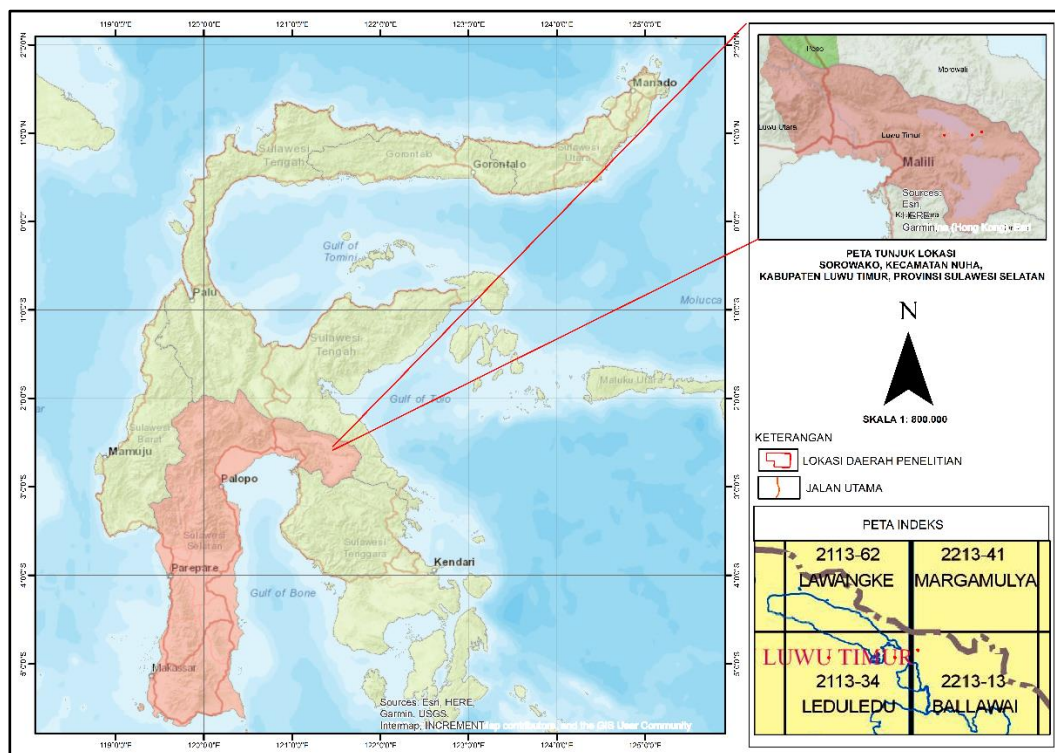
1.4. Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian penulis fokus pada zona pengayaan kobalt pada profil laterit zona limonit dan zona saprolit serta sebaran zona pengayaan kobalt pada daerah penelitian.

1.5. Lokasi Penelitian

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah kawasan PT. Vale Indonesia Tbk Daerah Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini dilakukan di Blok “X” “Y” dan “Z” yang merupakan area penambangan PT.Vale Indonesia Tbk. Pengambilan data dilakukan pada bulan Juli hingga September 2024.

Daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan transportasi darat yang ditempuh 12 jam dengan jarak sekitar ± 650 km dan dengan transportasi udara yang ditempuh sekitar 1 jam menuju daerah penelitian daerah Sorowako, Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan.



Gambar 1. Peta tunjuk lokasi daerah penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Blok X dan Blok Y termasuk dalam pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan geomorfologi, stratigrafi, tektonika dan struktur geologi regional berdasarkan Simandjuntak, dkk (2007) yang melakukan pemetaan Geologi Lembar Malili Sulawesi dengan skala 1: 250.000.

Geologi regional Lembar Malili terletak diantara koordinat 120° - 121°30' BT dan 2°00' - 3°00' LS, dan meliputi daerah seluas 21.000 Km². Lembar ini di utara dibatasi oleh Lembar Poso, di selatan oleh Lembar Kendari, Teluk Bone dan Lembar Majene, dan di barat oleh Lembar Mamuju. Bagian selatan lembar termasuk Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan, sedangkan bagian utara termasuk Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah.

2.1.1 Geomorfologi Regional

Secara morfologi daerah ini dapat dibagi atas 4 satuan : Daerah Pegunungan, Daerah Perbukitan, Daerah Karst dan Daerah Pedataran.

Daerah Pegunungan menempati bagian barat dan tenggara lembar peta. Di bagian barat terdapat 2 rangkaian pegunungan: Pegunungan Tineba dan Pegunungan Koro-Ue yang memanjang dan barat laut - tenggara, dengan ketinggian antara 700-3016 m di atas permukaan laut dan dibentuk oleh batuan granit dan malihan. Sedangkan di bagian tenggara lembar peta terdapat Pegunungan Verbeek dengan ketinggian antara 800 - 1346 m di atas permukaan laut, dibentuk oleh batuan ultramafik dan batugamping. Puncak-puncaknya antara lain G. Baliase (3016 m), G. Tambake (1838 m), Bulu Nowinokel (1700 m), G. Kaungabu (1760 m), Buhi Taipa (1346 m), Bulu Ladu (1274 m), Bulu Burangga (1032 m) dan Bulu Lingke (1209 m). Sungai-sungai yang mengalir di daerah ini yaitu S. Kataena, S. Pincara, S. Rongkong, S. Larona dan S. Malili merupakan sungai utama. Pola aliran sungai umumnya dendrit

Gambar 2. Blok X dan Blok Y termasuk dalam Peta Geologi Lembar Malili (Simandjuntak dkk, 2007)

dengan ketinggian antara 200 - 700 m di atas permukaan laut dan merupakan pebukitan yang agak landai yang terletak di antara daerah pegunungan dan daerah pedataran. Pebukitan ini dibentuk oleh batuan vulkanik, ultramafik dan batupasir. Puncak-puncak bukit yang terdapat di daerah ini di antaranya Bulu Tiruan (630 m), Bulu Tambunana (477 m) dan Bulu Bukila (645 m).

Daerah Karst menempati bagian timurlaut lembar peta dengan ketinggian antara 800 - 1700 m dari permukaan laut dan dibentuk oleh batugamping. Daerah ini dicirikan oleh adanya dolina, "Sinkhole" dan sungai bawah permukaan. Puncak yang tinggi di daerah ini diantaranya Butu Wasopute (1768 m) dan Pegunungan Toruke Empenai (1185 m).

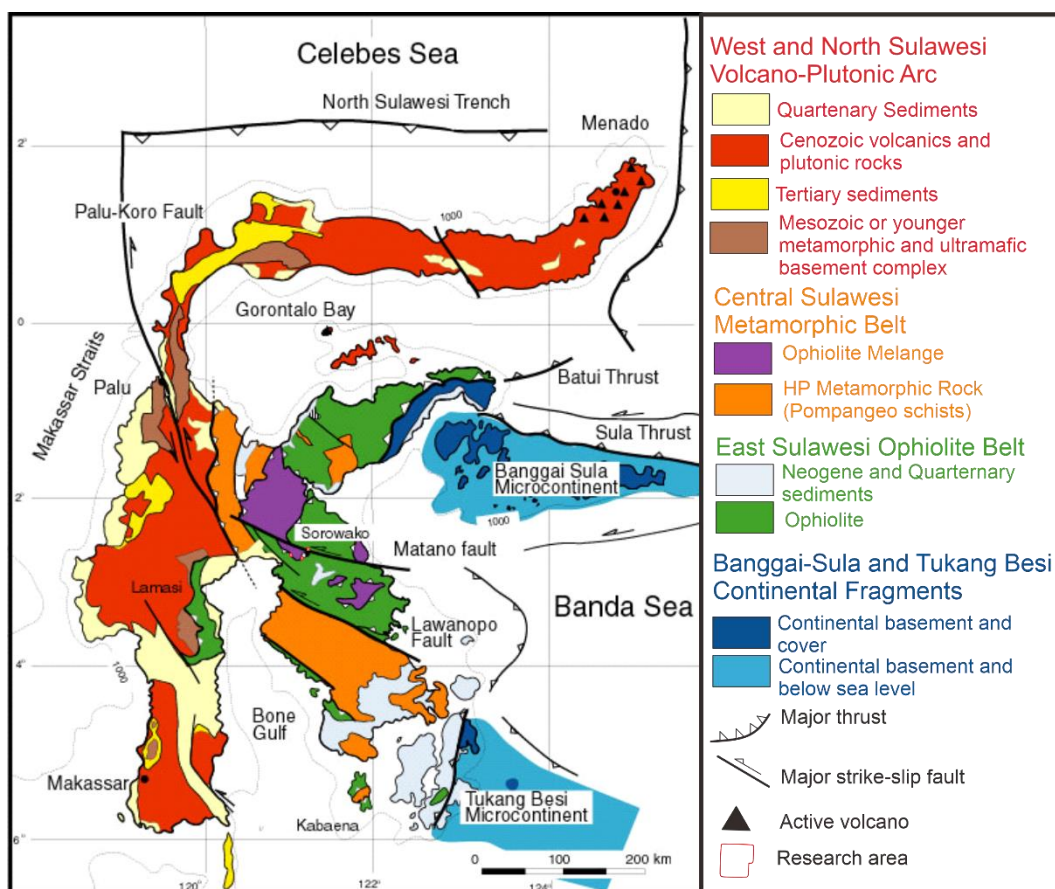
Daerah Pedataran menempati daerah selatan lembar peta, mulai dari utara Palopo, Sabbang, Masamba sampai Bone. Daerah ini mempunyai ketinggian hanya beberapa meter di atas permukaan laut dan dibentuk oleh endapan aluvium. Pada umumnya merupakan daerah pemukiman dan pertanian yang baik. Sungai yang mengalir di daerah ini diantaranya S. Pampengan, Rongkong dan S. Kebu, menunjukkan proses berkelok.

2.1.2 Stratigrafi Regional

Kadarusman (2004) pulau Sulawesi dibagi menjadi 4 mandala (Gambar 3) diantaranya Mandala Plutonik-vulkanik Sulawesi Barat, Mandala Ofiolit Sulawesi Timur, Lajur Malihan Sulawesi Tengah dan Mandala Banggai Sula – Tukangbesi.

Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan biostratigrafi, secara regional Lembar Malili termasuk Mandala Geologi Sulawesi Timur dan Mandala Geologi Sulawesi Barat, dengan batas Sesar Palu Koro yang membujur hampir utara-selatan. Mandala Geologi Sulawesi Timur dapat dibagi menjadi dua lajur (Telt): lajur batuan malihan dan lajur ofiolit Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultramafik dan batuan sedimen pelagos Mesozoikum.

Mandala Geologi Sulawesi Timur, batuan tertua adalah batuan ofiolit yang terdiri dari ultramafik termasuk harzburgit, dunit, piroksenit, wehrlit, dan serpentinit, setempat batuan mafik termasuk gabro dan basal. Di bagian barat mandala ini terdapat lajur metamorfik, Komplek Pompangeo yang terdiri dari berbagai jenis sekis hijau di antaranya sekis mika, sekis hornblenda, sekis glaukofan, filit, batusabak, batugamping terdaunkan atau pualam dan setempat breksi. Umurnya diduga tidak lebih tua dari Kapur. Di atas ofiolit diendapkan tak selaras Formasi Matano: bagian atas berupa batugamping kalsilitit, rijang radiolaria, argilit dan batulempung napalan, sedangkan bagian bawah terdiri dari rijang radiolaria dengan sisipan kalsilitit yang semakin banyak ke bagian atas. Berdasarkan kandungan fosilnya Formasi ini menunjukkan umur Kapur. Pada mandala ini dijumpai pula kompleks bawah bancuh (Melange Wasuponda), terdiri dari bongkahan asing batuan mafik, serpentinit, pikrik, rijang, batugamping terdaunkan, sekis, amfibol dan eklogit berbagai ukuran yang tertanam di dalam masa dasar lempung merah bersisik. Batuan tektonika ini tersingkap baik di daerah Wasuponda serta di daerah Ensa, Koro Mudi dan Petumbea, diduga terbentuk sebelum Tersier (Simandjuntak dkk, 1991).



Gambar 3. Pembagian mandala geologi dan tatanan tektonik pulau Sulawesi (Kadarusman dkk, 2004)

Pada Kala Miosen Akhir batuan sedimen pasca orogenesis Neogen (Kelompok Molasa Sulawesi) diendapkan tak selaras di atas batuan yang lebih tua. Kelompok ini termasuk Formasi Tomata yang terdiri dari klastika halus sampai kasar, dan Formasi Larona yang umumnya terdiri dari klastika kasar yang diendapkan dalam lingkungan laut dangkal sampai darat. Pengendapan ini terus berlangsung sampai Kala Pliosen.

Di Mendala Geologi Sulawesi Barat batuan tertua adalah Formasi Latimojong yang diduga berumur Kapur Akhir. Batuan ini terdiri dari deret flysch, perselingan antara argilit, filit, batusabak dan wake dengan sisipan rijang radiolaria dan konglomerat. Batuan ini diduga telah diendapkan di pinggiran benua Sunda. Tak selaras di atasnya diendapkan Formasi Toraja yang terdiri dari serpih, batugamping, batupasir dan konglomerat. Umurnya berjangka dari Eosen - Miosen Tengah.

ENDAPAN PERMUKAAN QI ENDAPAN DANAU : Lempung, pasir dan kerikil. Lempung menunjukkan perlapisan karena perbedaan warna dan agak mengeras, tebal lapisan antara beberapa sampai 100 mm. Pasir dan kerikil, kelabu hingga hitam, kurang padat, mengandung banyak sisa tumbuhan. Perlapisan cukup baik, dengan tebal lapisan antara beberapa hingga 20 cm. Sebaran satuan meliputi daerah di selatan Danau Poso,

sekitar Danau Matano, Danau Mahalona dan Danau Towuti. Tebal satuan diperkirakan puluhan meter.

Oal ALUVIUM : lumpur, lempung, pasir, kerikil dan kerakal. Satuan ini merupakan endapan sungai, rawa dan pantai. Sebarannya meliputi dataran di utara Teluk Bone, Rampi dan Leboni yang terletak di bagian barat laut lembar, daerah Somba Limu di timur Danau Poso, sepanjang lembah S. Laa di bagian timur laut lembar, serta daerah Bungku yang terletak di sebelah barat Danau Matano

2.1.3 Struktur Regional

Struktur geologi Lembar Malili memperlihatkan ciri kompleks tumbukan dari pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi dua kelompok yang sangat berbeda, yaitu Alohton yang terdiri dari Ofiolit dan Malihan, sedangkan Autohton terdiri dari batuan gunungapi dan pluton Tersier dari pinggiran Sundaland, serta kelompok Molasa Sulawesi (Simandjuntak dkk, 2007).

Struktur-struktur geologi yang penting di daerah ini adalah sesar, lipatan, dan kekar. Secara umum sesar yang terdapat di daerah ini berupa sesar naik, sesar sungkup, sesar geser, dan sesar turun, yang diperkirakan sudah mulai terbentuk sejak Mesozoikum. Beberapa sesar utama tampaknya aktif kembali. Sesar Matano dan Sesar Palu Koro merupakan sesar utama berarah barat laut – tenggara dan menunjukkan gerak mengiri. Diduga kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya Bersatu di bagian barat laut. Di duga pula kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya Bersatu di bagian barat laut. Diduga pula kedua sesar tersebut terbentuk sejak Oligosen dan bersambungan dengan Sesar Sorong sehingga merupakan suatu sistem Sesar Transform. Sesar lain yang lebih kecil berupa tingkat pertama dan atau kedua yang terbentuk bersamaan atau setelah sesar utama tersebut.

Pada Kala Oligosen, Sesar Sorong yang menerus ke Sesar Matano dan Palu Koro mulai aktif dalam bentuk sesar transcurrent. Akibatnya mikrokontinen Banggai Sula bergerak ke arah barat dan terpisah dari benua Australia. Lipatan yang terdapat di daerah ini dapat digolongkan ke dalam lipatan lemah, lipatan tertutup, dan lipatan tumpang-tindih, sedangkan kekar terdapat dalam hampir semua jenis batuan dan tampaknya terjadi dalam beberapa periode.

Pada Kala Miosen Tengah, bagian timur kerak samudera di Mandala Sulawesi Timur yakni Lempeng Banggai Sula yang bergerak ke arah barat tersorong naik (terobduksi). Di bagian barat lajur penunjaman dan busur luar tersesar sungkupkan di atas busur gunungapi, mengakibatkan ketiga Mandala tersebut saling berhimpit.

Kelurusan Matano sepanjang 170 km dinamakan berdasarkan nama danau yang dilaluinya yakni danau Matano. Analog dengan sesar Palu Koro sesar Matano ini merupakan sesar mendatar sinistral, membentang membelah timur Sulawesi dan bertemu kira-kira disebelah utara Bone, pada kelurusan Palu-Koro. Sesar-sesar sistem Riedel berkembang dan membentuk sistem rekahan umum. Sepanjang sesar mendatar ini terdapat juga cekungan tipe pull apart. Yang paling nyata adalah Danau Matano dengan batimetri sekitar 600 m dan dikontrol oleh sesar-sesar normal yang menyudut terhadap kelurusan Matano. Medan gaya yang diamati di lapangan memperlihatkan bahwa tekanan umumnya horizontal dan berarah tenggara – barat laut didampingi tarikan

timur laut – barat daya. Sesar Matano bermuara di Laut Banda pada cekungan dan teluk Losoni sebagai *pull apart basin* dan menerus ke laut sampai ke utara anjakan bawah laut Tolo

2.2 Geologi Regional

Blok Z termasuk dalam pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan geomorfologi, stratigrafi, tektonika dan struktur geologi regional berdasarkan Simandjuntak, dkk (2011) yang melakukan pemetaan Geologi Lembar Bungku Sulawesi dengan skala 1: 250.000.

Lembar Bungku secara geografi dibatasi oleh 121°30' - 123°00' BT, dan 2°00' - 3°00' LS, yang meliputi daerah seluas 4.500 km². Bagian selatan berbatasan dengan Lembar Kendari; barat, Lembar Malili; utara, Lembar Poso dan Lembar Batui; dan timur, Lembar Kep. Sula.

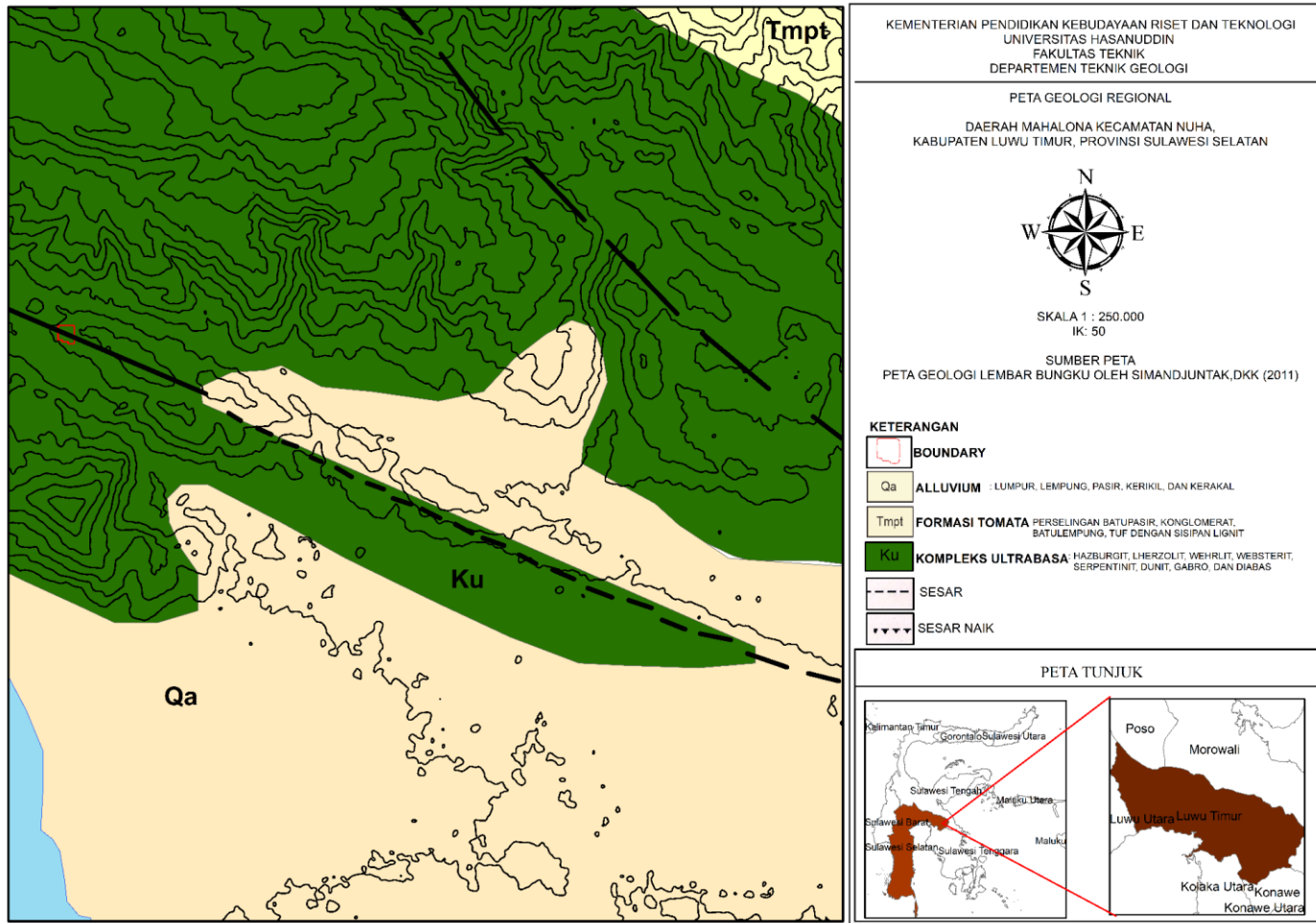
2.2.1 Geomorfologi Regional

Morfologi pada daerah ini terbagi menjadi lima satuan, di antaranya dataran rendah, dataran menengah, perbukitan menggelombang, karst dan pegunungan (Simandjuntak, dkk. 2011). Morfologi dataran rendah memiliki ketinggian antara 0 - 50 meter di atas muka laut. Menempati daerah sepanjang pantai timur, terkecuali di pantai dekat desa Todua, Tabo dan Lalompe. Morfologi ini disusun oleh endapan sungai, pantai dan rawa.

Morfologi dataran menengah memiliki ketinggian di atas 300 meter di atas muka laut. Menempati daerah pantai timur Danau Towuti di sekitar Desa Tokalimbo dan Desa Tonsea, juga daerah yang terletak di antara Danau Mahalona dan Bulu Biniu. Morfologi ini disusun oleh endapan danau. Morfologi perbukitan menggelombang, memiliki ketinggian antara 100 - 400 meter di atas muka laut. Menempati daerah sebelah utara Pegunungan Verbeek, antara Sungai Ongkaya dan Sungai Bulu Mbelu, daerah sekitar Lamona, daerah sekitar Bahu Mahoni, sekitar Kampung Tabo serta di sekitar Bulu Talowa.

Morfologi ini disusun oleh batuan sedimen dan Formasi Tomata. Morfologi karst, memiliki ketinggian antara 400 - 800 meter di atas muka laut, adanya perbukitan kasar, sungai bawah tanah dan dolina menjadi penciri terhadap morfologi ini. Menempati daerah Sungai Ongkaya, Sungai Tetambahu, antara Sungai Bahu Mbelu dan Sungai Wata, antara Sungai Ambuno mengarah ke tenggara sampai sekitar Gunung Wahombaja, dan daerah perbukitan selatan membentang serta Pegunungan Wawoombu di barat sampai Pegunungan Lalompa di timur. Morfologi ini disusun oleh batuan karbonat dan Formasi Tokala, Matano dan Salodik.

Morfologi Pegunungan, memiliki ketinggian lebih dari 700 meter di atas muka laut. Menempati lebih dari setengah daerah lembar ini, di antaranya pegunungan sekitar punggung pemisah air Bulu Karoni yang mengarah baratlaut - tenggara, serta punggung pemisah air Wawoombu yang mengarah baratdaya - timurlaut. Puncak terdiri dari Bulu Lampesu (1068 mdpl) dan Bulu Karoni (1422 mdpl). Morfologi ini disusun oleh batuan ultramafik.



Gambar 4. Blok Z termasuk dalam Peta Geologi Regional Lembar Bungku (Simandjuntak dkk, 2011).

2.2.2 Stratigrafi Regional

Menurut Sukamto (1975) menyatakan bahwa pulau Sulawesi dan sekitarnya dibagi menjadi 3 Mandala Geologi di antaranya; Mandala Geologi Sulawesi Barat yang dicirikan dengan terdapatnya jalur gunung api Paleogen, Intrusi Neogen dan sedimen Mesozoikum. Mandala Geologi Sulawesi Timur yang dicirikan oleh terdapatnya batuan Ofiolit berupa batuan Ultramafik Peridotit, Harzburgit, Dunit, Piroksenit dan Serpentin yang diperkirakan berumur Kapur.

Mandala Geologi Banggai Sula yang dicirikan oleh batuan dasar berupa Metamorf, batuan plutonik yang bersifat granitis berumur Trias dan Batuan Sedimen Mesozoikum. Menurut Simandjuntak (1993) dan Moss Pulau Sulawesi dapat dibagi menjadi 4 Mandala (Gambar 3) di antaranya yaitu Mandala Plutono- vulkanik Sulawesi Barat, Mandala Ofiolit Sulawesi Timur, Lajur Malihan Sulawesi Tengah, Mandala Banggai Sula-Tukangbesi

Satuan batuan di Lembar Bungku dapat dikelompokkan dalam dua mandala, yaitu Mandala Banggai-Sula dan Mandala Sulawesi Timur (Sukamto, 1975). Mandala Banggai-Sula mencakup Formasi Tokala (TR Jt) tersusun di antaranya atas batugamping klastika dengan sisipan batupasir sela, diperkirakan umurnya Trias - Jura Awal. Formasi Tokala ditindih secara selaras oleh Formasi Nanaka (Jn) yang tersusun atas konglomerat, batupasir kuarsa mikaan, serpih dan lensa batubara yang diperkirakan umurnya Jura Akhir. Formasi Masiku (KJn) terdiri dari batusabak, filit, batupasir, batugamping, berumur Jura Akhir – Kapur Awal. Formasi Salodik (Tems) diendapkan pada Eosen Akhir - Miosen Awal terdiri atas kalsilit, batugamping pasir dan batupasir (Simandjuntak, dkk., 1993).

Mandala Sulawesi Timur mencakup Kompleks Ultramafik (Ku) yang hingga kini umumnya dianggap yang tertua. Batuannya tersusun harzburgit, lherzolit, wehrilit, websterilit, serpentin, dunit dan gabro. Secara tektonik Kompleks Ultramafik menindih satuan batuan yang berumur Mesozoikum, baik itu dari Mandala Banggai-Sula atau juga Mandala Sulawesi Timur. Formasi Matano (Km) tersusun atas kalsilit hablur bersisipan napal, serpih dan rijang yang diduga umurnya Kapur Akhir. Formasi Matano secara tak selaras tertindih oleh Formasi Tomata (Tmpt) yang tersusun dari atas batupasir, lempung, tufa, dan konglomerat dengan sisipan lignit, yang diperkirakan umurnya Miosen Akhir - Pliosen. Pada beberapa tempat terdapat aluvium (Qa) yang menindih secara tak selaras Formasi Tomata. Aluvium berupa endapan sungai, pantai rawa dan danau, terdiri dari atas kerikil, kerakal, pasir lempung dan sisa tumbuhan. Endapan muda tersebut diduga umurnya Plistosen – Holosen (Simandjuntak, dkk., 1993).

2.2.3 Struktur Regional

Sesar dan lipatan Struktur merupakan struktur utama di daerah ini. Sesar meliputi sesar turun, sesar geser, sesar naik dan sesar sungkup yang diduga berlangsung sejak Mesozoikum (Simandjuntak, dkk., 1993). Sesar Matano sebagai sesar utama dengan arah barat-laut-tenggara menunjukkan gerakan mengiri yang diduga bersambung dengan Sesar Sorong. Keduanya merupakan satu sistem sesar lurus yang diduga telah terbentuk sejak Oligosen. Kelanjutannya diperkirakan pada Sesar Palu-

Koro yang juga menunjukkan gerakan mengiri (di luar Lembar Bungku; yang diperkirakan masih aktif). Sesar lain di daerah ini lebih kecil yang merupakan sesar tingkat kedua atau mungkin tingkat ketiga. Lipatan yang terdapat di Lembar ini tergolong lipatan terbuka, tertutup, dan pergentengan.

Struktur geologi Lembar Bungku memperlihatkan ciri kompleks tumbukan dari pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi dua kelompok yang sangat berbeda, yaitu Alohton yang terdiri dari Ofiolit dan Malihan, sedangkan Autohton terdiri dari batuan gunungapi dan pluton Tersier dari pinggiran Sundaland, serta kelompok Molasa Sulawesi (Simandjuntak, dkk., 1991). Beberapa sesar utama tampaknya aktif kembali. Sesar Matano dan Sesar Palu Koro merupakan sesar utama berarah baratlaut – tenggara dan menunjukkan gerak mengiri. Diduga kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya Bersatu di bagian baratlaut. Di duga pula kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang, keduanya Bersatu di bagian baratlaut. Diduga pula kedua sesar tersebut terbentuk sejak Oligosen dan bersambungan dengan Sesar Sorong sehingga merupakan suatu sistem Sesar Transform. Sesar lain yang lebih kecil berupa tingkat pertama dan atau kedua yang terbentuk bersamaan atau setelah sesar utama tersebut.

Pada Kala Oligosen, Sesar Sorong yang menerus ke Sesar Matano dan Palu Koro mulai aktif dalam bentuk sesar transcurrent. Akibatnya mikrokontinen Banggai Sula bergerak ke arah barat dan terpisah dari benua Australia. Lipatan yang terdapat di daerah ini dapat digolongkan ke dalam lipatan lemah, lipatan tertutup, dan lipatan tumpang-tindih, sedangkan kekar terdapat dalam hampir semua jenis batuan dan tampaknya terjadi dalam beberapa periode.

Pada Kala Miosen Tengah, bagian timur kerak samudera di Mandala Sulawesi Timur yakni Lempeng Banggai Sula yang bergerak ke arah barat tersorong naik (terobduksi). Di bagian barat lajur penunjaman dan busur luar tersesar sungkupkan di atas busur gunungapi, mengakibatkan ketiga Mandala tersebut saling berhimpit. Kelurusan Matano sepanjang 170 km dinamakan berdasarkan nama danau yang dilaluinya yakni danau Matano. Analog dengan sesar Palu Koro sesar Matano ini merupakan sesar mendatar sinistral, membentang membelah timur Sulawesi dan bertemu kira-kira disebelah utara Bone, pada kelurusan Palu-Koro. Sesar-sesar sistem Riedel berkembang dan membentuk sistem rekahan umum. Sepanjang sesar mendatar ini terdapat juga cekungan tipe pull apart. Yang paling nyata adalah Danau Matano dengan batimetri sekitar 600 m dan dikontrol oleh sesar-sesar normal yang menyudut terhadap kelurusan Matano. Medan gaya yang diamati di lapangan memperlihatkan bahwa tekanan umumnya horizontal dan berarah tenggara - baratlaut didampingi tarikan timur laut - barat daya. Sesar Matano bermuara di Laut Banda pada cekungan dan teluk Losoni sebagai pull apart basin dan menerus ke laut sampai ke utara anjakan bawah laut Tolo.

2.3 Batuan Ultramafik

Batuan ultramafik kaya akan mineral mafik (*ferro-magnesian*) seperti olivin, piroksen, dan amfibol. Hampir semua batuan ultramafik mengandung kurang dari 45% silika (namun, ortokrosenit murni diklasifikasikan sebagai batuan ultramafik tetapi

mengandung hampir 60% silika). Batuan ultramafik memiliki indeks warna lebih dari 70. Batuan ultramafik umumnya tidak memiliki feldspar (Ahmad, 2001).

Menurut Ahmad (2001) batuan ultramafik diklasifikasikan sebagai berikut.

1. Peridotit, umumnya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri atas harzburgit, lherzolit, wehrlit, dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral-mineral holokristalin dengan ukuran medium-kasar, dan berbentuk anhedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksen. Mineral aksesorinya berupa plagioklas, hornblende, biotit, dan garnet.
2. Piroksenit, kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral hampir sepenuhnya adalah piroksen. Dalam hal ini piroksenit diklasifikasikan lebih lanjut kedalam orthopiroksen dan clinopiroksen.
3. Hornblendit, merupakan batuan ultramafik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya hornblend.
4. Dunit, merupakan batuan yang hampir murni (90-100%), umumnya hadir sebagai forsterit atau krisolit, terdapat sebagai sill atau korok-korok halus (dalam dimensi kecil). Menurut Ahmad (2002), dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesit olivin), mineral aksesorinya meliputi kromit, magnetit, ilmenit, dan spinel. Pembentukan olivin berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap membentuk massa olivin anhedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivin murni (dunit) membuktikan bahwa larutan magma berkomposisi olivin memisah dari larutan lain.
5. Serpentin, merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal pada batuan ultramafik, dimana mineral olivin dan piroksen jika alterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin sangat umum memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit (Ahmad, 2002). Serpentin dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Di bawah pegunungan tengah samudera (*mid oceanic ridge*) pada temperatur <500°C.

2.4 Endapan Laterit

Endapan hasil pelapukan atau yang sering disebut dengan *weathering* atau residual deposit adalah endapan yang terbentuk akibat adanya proses pelapukan dari batuan yang mengandung bijih mineral yang ekonomis secara kimia yang tidak mengalami transportasi dan membentuk soil disebut dengan laterit (Maulana, 2013). Endapan ini dicirikan oleh melimpahnya unsur besi dan aluminium hidroksida karena dua unsur ini adalah unsur yang tidak larut akibat adanya proses pelapukan.

Endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah *humid, warm*, maupun tropik dan kaya akan mineral lempung yang bersifat *kaolinitic* serta Fe^{3+} dan Al^{3+} *oxide/hydroxide*. Endapan ini umumnya menampilkan bidang perlapisan sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembapan tanah yang naik ke atas permukaan (Maulana, 2013).

Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya bauksit dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group element* (PGE). Zona saprolit merupakan bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan fabrik dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxide* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya sulfida dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam *chalcophile* dan unsur-unsur alkalin. Bagian bawah dari zona saprolit ini dicirikan dengan terurainya mineral-mineral feldspar dan ferromagnesian, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (*kaolinite* dan *halloysite*) (Maulana, 2013).

Menurut Ahmad (2008) batuan ultramafik dan laterit yang dihasilkan adalah sistem multikomponen yang ditunjukkan pada proses kimia dan pelapukan fisik yang terus-menerus. Fase mineral baru dan kimia baru terus terbentuk yang stabil secara tepat dalam lingkungan yang berubah. Proses laterisasi pada dasarnya dikendalikan oleh dua faktor yaitu

1. Sifat kimia tertentu dari masing-masing unsur itu sendiri (geokimia)
2. Kondisi lingkungan yang berlaku diantaranya suhu, curah hujan, kondisi batuan, PH dan lain-lain.

Tabel 1. Peran beberapa elemen selama proses pelapukan (Ahmad, 2008)

Element	Exists in the ultramafics as	Role during lateritic weathering
Ca	Cpx > Opx > Oliv	<i>Highly mobile. Leached away</i>
Na	<i>Very little</i>	<i>Highly mobile. Leached away</i>
Mg	Oliv > Opx > Cpx	<i>Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals</i>
K	<i>Very little</i>	<i>Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals</i>
Si	Oliv > Opx > Cpx	<i>Highly mobile. Mostly leached away. Some stays behind as clay minerals and silica boxwork.</i>
Mn	Oliv > Opx > Cpx	<i>Semi-mobile. Forms oxide (pyrolusite) and hydroxides (manganite, pyrochroite & psilomelane)</i>
Co	Oliv > Opx > Cpx	<i>Semi-mobile. Follows manganese</i>
Ni	Oliv > Opx > Cpx	<i>Semi-mobile. Forms nickel serpentine, nickel talc, nickel chlorite and nickel clays</i>
Al	Oliv > Opx > Cpx	<i>Non-mobile. Stays behind as boehmite, bauxite & gibbsite</i>
Cr	Oliv > Opx > Cpx	<i>Non-mobile. Stays behind as chromite</i>

Fe	Oliv > Opx > Cpx	<i>Non-mobile. Stays behind as oxides (hematite & maghemite) and hydroxides (turgite, goethite, hydrogoethite, limonite, ferrihydrite, xanthosiderite & esmeraldaite)</i>
----	------------------	---

2.5 Nikel Laterit

Endapan nikel laterit terbentuk dari hasil proses pelapukan yang intensif di daerah tropis pada batuan yang mengandung nikel seperti dunit (olivin), peridotit (olivin dan piroksen), serpentinit. Proses pelapukan pada batuan asal tersebut (laterisasi) menyebabkan nikel berubah menjadi larutan dan diserap oleh mineral – mineral oksida besi yang membentuk garnierit pada lapisan saprolit (Golightly, 1981 dalam Maulana 2013).

Proses laterisasi pada endapan nikel laterit diartikan sebagai proses pencucian pada mineral yang mudah larut dan mineral silika dari profil laterit pada lingkungan yang bersifat asam, hangat, dan lembap, serta membentuk konsentrasi endapan hasil pengayaan proses laterisasi pada unsur Fe, Cr, Al, Ni, dan Co (Maulana, 2013).

Air permukaan yang mengandung CO₂ dari atmosfer dan terkayakan kembali oleh material-material organik di permukaan meresap ke bawah permukaan tanah sampai pada zona pelindian (*leaching zone*), tempat terjadinya fluktuasi air tanah berlangsung. Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya CO₂ akan mengalami kontak dengan zona saprolit yang masih mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti olivin/serpentin dan piroksen. Unsur Mg, Si, dan Ni akan larut dan terbawa sesuai dengan aliran air tanah dan akan membentuk mineral-mineral baru pada proses pengendapan kembali. Endapan besi yang bersenyawa dengan oksida akan terakumulasi dekat dengan permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel, dan silika akan tetap tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung. Rangkaian proses ini merupakan proses pelapukan dan pelindian/*leaching* (Maulana, 2013).

Pada proses pelapukan lebih lanjut magnesium (Mg), Silika (Si), dan Nikel (Ni) akan tertinggal di dalam larutan selama air masih bersifat asam. Tetapi jika dinetralisasi karena adanya reaksi dengan batuan dan tanah, maka zat-zat tersebut akan cenderung mengendap sebagai mineral hidrosilikat (Ni-magnesium *hydrosilicate*) yang disebut mineral garnierit [(Ni,Mg)₆Si₄O₁₀(OH)₈] atau mineral pembawa Ni.

Adanya suplai air dan saluran untuk turunnya air, dalam hal ini berupa kekar atau rekahan pada batuan, maka Ni yang terbawa oleh air akan turun ke bawah, lambat laun akan terkumpul di zona ketika air sudah tidak dapat turun lagi dan tidak dapat menembus batuan dasar (*bedrock*). Ikatan dari Ni yang berasosiasi dengan Mg, SiO₂, dan H akan membentuk mineral garnierit. Apabila proses ini berlangsung terus-menerus maka yang akan terjadi adalah proses pengayaan supergen/*supergen enrichment*. Zona pengayaan supergen ini terbentuk di zona saprolit (*saprolite zone*). Dalam satu penampang vertikal profil laterit dapat juga terbentuk zona pengayaan yang lebih dari

satu, hal tersebut dapat terjadi karena muka air tanah yang selalu berubah-ubah, terutama bergantung dari perubahan musim.

Di bawah zona pengayaan supergen terdapat zona mineralisasi primer yang tidak terpengaruh oleh proses oksidasi maupun pelindian, yang sering disebut sebagai zona batuan dasar (*bedrock*) (Maulana, 2013).

2.6.1 Jenis Endapan Nikel Laterit

Ahmad (2008) membedakan tiga jenis endapan nikel laterit pada satu profil pelapukan sebagai berikut.

1. Endapan oksida
Endapan nikel laterit oksida terjadi pada bagian atas profil pelapukan di zona ferruginous. Nikel sebagian besar terjadi pada struktur *goethite/limonite* dimana umumnya menggantikan Fe. Beberapa nikel mungkin ada terkait dengan asbolane dan *lithiophorite* (hidroksida mangan). Pengayaan nikel di endapan oksida umumnya kurang dari jenis lainnya.
2. Endapan lempung
Pada beberapa nikel laterit endapan nikel diikat di lempung *smectite-nontronite*. Endapan tersebut umumnya diasosiasikan dengan medan yang dialirkan dengan buruk dan iklim basah/kering. Horison semacam itu umumnya berada di bawah zona ferruginous dan di atas zona saprolit. Pengayaan nikel diendapan smectite umumnya diantara endapan oksida dan saprolit.
3. Endapan saprolit (silikat atau garnierit)
Endapan ini umumnya terkait dengan medan yang dikeringkan dengan baik, umumnya dengan endapan oksida yang dikembangkan di bagian atas profil pelapukan. Pada endapan nikel saprolit atau silikat, nikel dalam bentuk *nickeliferous serpentin*, *nickeliferous talc* dan *nickeliferous chlorite*. Dalam silikat ini, nikel menggantikan Mg sebagai yang terakhir dikeluarkan dari mineral aslinya.

2.6.2 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit

Ahmad (2005) membagi beberapa faktor yang mempengaruhi atau mengontrol nikel laterit. Sebagai berikut.

1. Sifat batuan dasar
Dalam ultramafik, pengayaan nikel tergantung pada kandungan olivin dari batuan karena olivin adalah mineral utama yang mengandung nikel. Dunit dan harzburgit yang membawa persentase olivin yang lebih tinggi menghasilkan endapan dengan kadar yang relatif lebih tinggi. Kehadiran piroksen, khususnya klinto-piroksen, mengurangi jumlah asli nikel yang tersedia selama proses pelapukan kimia
2. Iklim
Faktor iklim yang sesuai sangat penting dalam pengembangan laterit. Faktor-faktor ini termasuk suhu yang relatif tinggi dan curah hujan yang sering. Keduanya berhubungan dengan iklim tropis. Suhu akan mempengaruhi kecepatan penguraian mineral. Curah hujan menyediakan media yang diperlukan untuk hidrolisis larutan dan presipitasi.

3. Tektonik

Tektonisme memiliki dampak terbesar pada kecepatan proses pelapukan kimia dan konsentrasi residu berlangsung. Tektonik dalam bentuk patahan, geser, rekahan, menyediakan saluran untuk air tanah merusak struktur mineral dan menghilangkan bahan terlarut. Serta menyediakan luas permukaan batuan untuk bereaksi dengan air tanah.

4. Morfologi dan topografi

Memberikan pengaruh yang kuat pada tingkat pelapukan dan akumulasi residu. Pengaruh ini diberikan melalui proses penyerapan air, pemindahan substansi zat terlarut, erosi profil laterit seperti

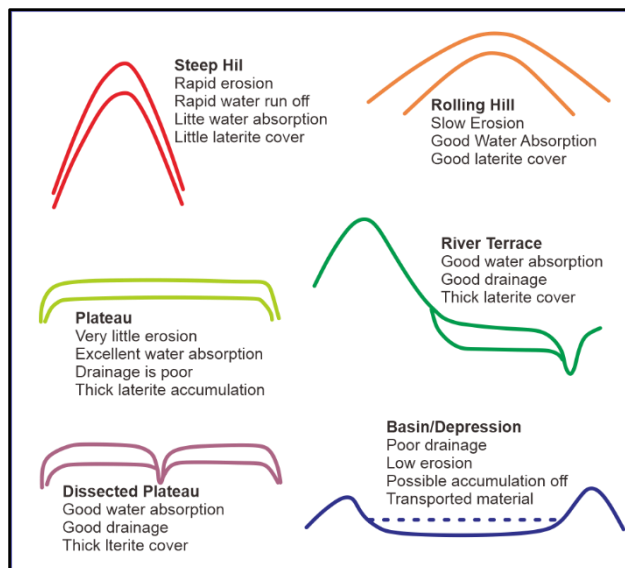
- 1) *Run off* air hujan ke dalam profil laterit. Di lereng yang curam sebagian besar air hujan mengalir dan menembus batu, dominan pelapukan fisik dibanding dengan pelapukan kimia dan di lereng yang landai air hujan dapat meresap ke tanah.
- 2) Tingkat aliran sub permukaan dan pelepasan bahan terlarut. Daerah yang lebih tinggi dan curam memiliki drainase yang lebih baik dibanding daerah dataran rendah hingga datar.
- 3) Tingkat erosi memperlihatkan permukaan baru pada pelapukan kimia dan menghilangkan akumulasi residu < 20° untuk mempertahankan laterit dari erosi.

Agar sisa residu laterit tidak tererosi maka diperlukan kecepatan akumulasi dari erosi. (Tabel 2) dan (Gambar 5) menggambarkan secara kualitatif pembentukan laterit dengan tingkat lereng topografi.

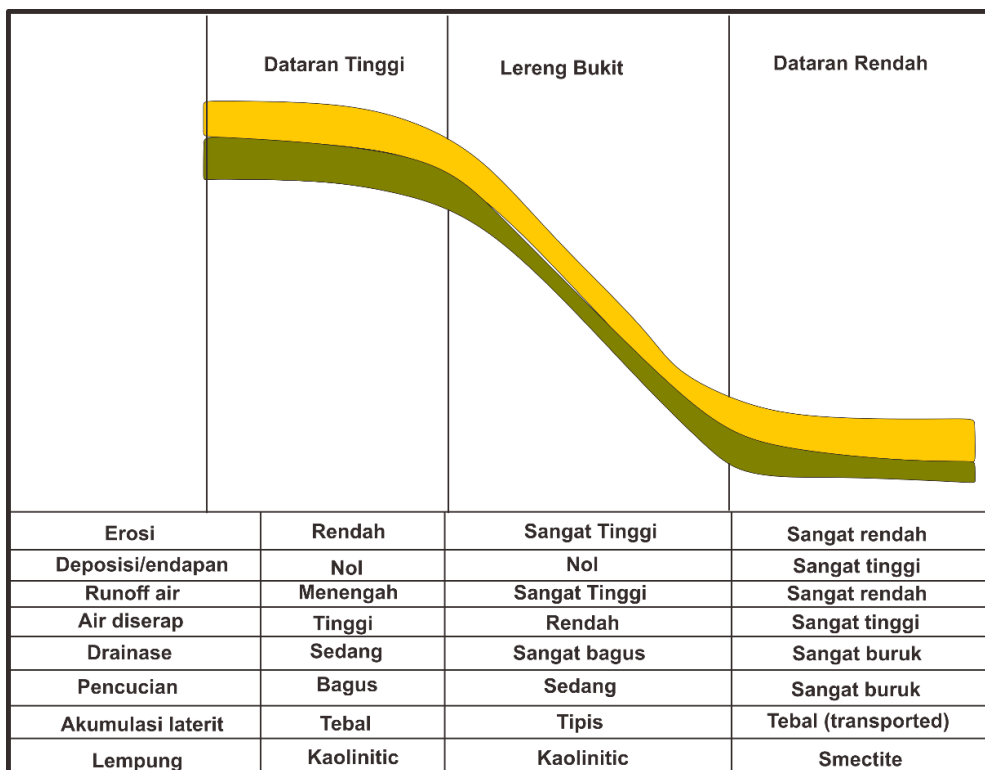
Tabel 2. keseimbangan antara pembentukan laterit dan erosi laterit (Ahmad, 2008).

	Daerah datar	Kemiringan sangat curam	Kemiringan sedang	Daerah bawah datar
Penyerapan air hujan	Tinggi	Rendah	Sedang	Tinggi
Pemindaian material terlarut	Sedang/cukup	Rendah, karena penyerapan air hujan	Tinggi	Rendah, drainase yang buruk
Erosi residu	Rendah	Sangat tinggi	Sedang	Sangat rendah
Akumulasi bersih residu insitu	Tinggi karena pembentukan laterit tinggi dan rendah erosi	Rendah (tingkat pembentukan rendah; pemindahan tingkat tinggi)	Rendah – sedang (pembentukan tinggi dan pemindahan sedang)	Tinggi, (pembentukan dan pemindahan rendah)
Akumulasi laterit yang tertransportasi	-	-	Tanah bergerak pelan dapat menebal di sisi bukit	Signifikan

Topografi dan tingkat pelapukan kimia pada akhirnya mengendalikan ketebalan profil laterit yang mewakili keseimbangan antara laterit baru yang terbentuk di dasar profil dan laterit tua yang terkikis di bagian atas profil (Gambar 6).



Gambar 5. Bentuk lahan sederhana antara bentuk lahan dan proses laterisasi (Ahmad, 2006)



Gambar 6. Diagram komposit topografi laterit (Ahmad, 2008)

Tabel 3. Kemiringan lereng menurut Ahmad (2009)

Kelas	
0-4	<i>Plateau</i>
5-20	<i>Rolling Hill</i>
>20	<i>Steep Hill</i>

Bentuk lahan yang ideal untuk pengembangan laterit nikel yang tebal dan bermutu tinggi meliputi terasering, dataran tinggi, dan lereng bukit yang landai. Secara umum gradien kemiringan harus kurang dari 20% untuk retensi efektif tanah laterit. Terlihat bahwa laterit ekonomi masih ada di lereng saat ini hingga 30%. Pada kemiringan lereng yang lebih tinggi, dan di bawah curah hujan yang tinggi, tanah laterit mulai terkikis dengan sangat cepat dan nikel mulai tercuci dengan cepat.

Pelapukan kimia batuan ultramafik disertai dengan fraksinasi elemen-elemen ke dalam jenis air-larut dan air-tidak larut. Elemen air-larut akhirnya dikeluarkan dari sistem pelapukan sementara elemen air-tidak larut tertinggal sebagai pengayaan residu. Proses pelapukan kimia pada akhirnya menghasilkan pembentukan profil laterit berlapis dengan laterit termuda di bagian bawah dan laterit paling tua di bagian atas (Ahmad, 2008).

2.6.3 Profil Laterit

Menurut Ahmad (2008) profil laterit dibagi menjadi 4 zona (Gambar 6) sebagai berikut.

1. Zona Ferruginous di bagian atas (Limonit)

Zona ini disebut juga zona Limonit atau zona oksida. Pada zona ini konsentrasi residu elemen tidak bergerak mencapai nilai maksimum, komponen yang tidak dapat larut (Ca, Na, K, Mg, Si). Bagian atas zona ferruginous kaya akan goethite dan bagian bawahnya terdiri dari oksida besi yang terhidrasi dan dikelompokkan dalam "*Limonite*". Mineral yang tidak larut dapat bertahan di zona ini (spinel, magnetit, maghemite, dan talk primer)

2. Zona Transisi (*intermediate*)

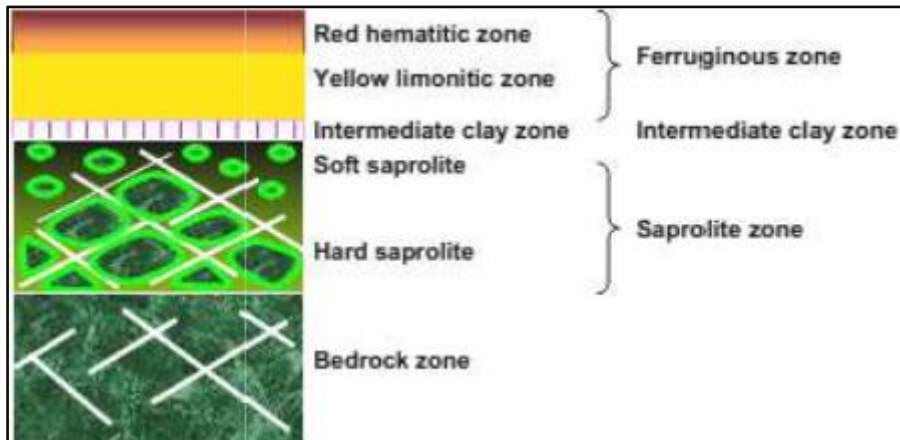
Zona ini berada diantara limonit bagian bawah dan saprolit bagian atas. Zona ini mengandung lempung smektit lunak dan kuarsa. tekstur sisa batuan induk dapat dikenali dengan adanya fragmen batuan induk. Ukuran material antara lempung hingga pasir halus. Umumnya singkapan zona ini terdapat pada lereng bukit yang relatif datar.

3. Zona Saprolit

Zona ini adalah zona perubahan/alterasi batuan dasar dimana proses pelapukan kimia berlangsung paling aktif. Zona ini tekstur, struktur dan mineral batuan induk dapat dikenali. Pada peridotit tidak terserpentinisasi, saprolisasi terbatas pada permukaan boulder karena batuan segar sulit dilalui oleh air. Pada peridotit terserpentinisasi saprolisasi berlanjut melalui sebagian massa besar batuan karena pada waktu yang sama batuan yang lunak memungkinkan akses ke larutan air. Zona saprolit dibagi menjadi zona rendah kasar (*rocky*) dan zona atas halus (lunak).

4. Zona Batuan Dasar

Zona ini terdiri dari batuan dasar yang relatif tidak berubah di bagian bawah profil pelapukan. Zona ini pelapukan yang baru dimulai sepanjang rekahan dan kekar-kekar batuan. Batuan mempertahankan *density* dan karakter keseluruhannya.



Gambar 7. Zona dalam profil laterit (Ahmad, 2008)