

BAB II

KEADAAN UMUM

2.1 Kondisi Umum

2.1.1 Lokasi Kesampaian Daerah

Halmahera Utara merupakan salah satu kabupaten dari Provinsi Maluku Utara yang memiliki kekayaan sumber daya mineral berharga yang melimpah. Saat ini tidak kurang dari 150 perusahaan tambang terdaftar yang beroperasi di wilayah Provinsi Maluku Utara, baik izin penambangan Kontrak Karya dan Izin Usaha Pertambangan. Salah satu izin kontrak karya wilayah tersebut yaitu kontrak karya PT Nusa Halmahera Minerals, yang bergerak dalam usaha penambangan dan pengolahan biji emas, terletak di Desa Tabobo Kecamatan Malifut Kabupaten Halmahera Utara Provinsi Maluku Utara.

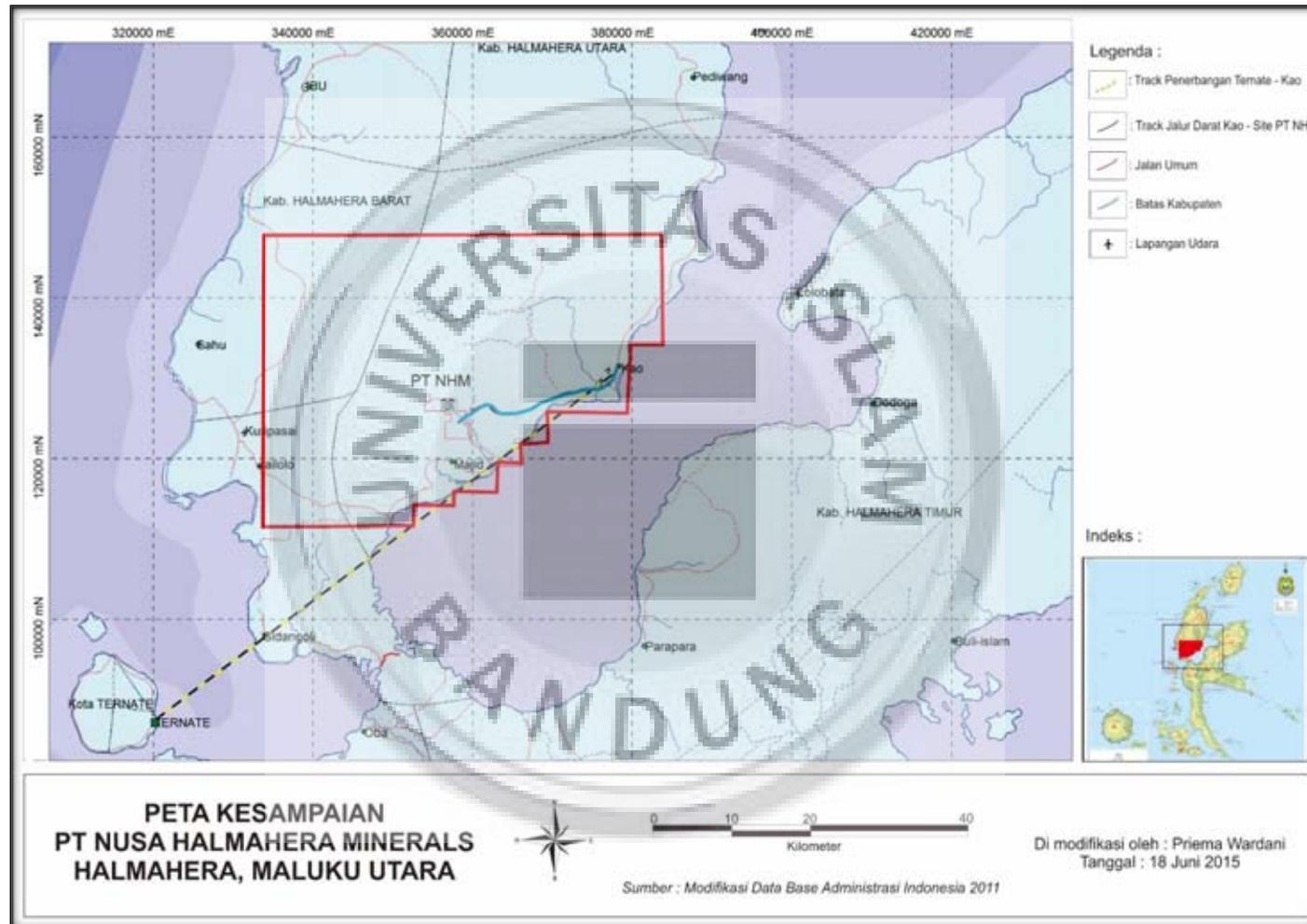
Tambang Emas (*gold mine*) PT Nusa Halmahera Mineral yang dikenal dengan Gosowong Site berada di belahan timur bagian utara Pulau Halmahera, Provinsi Maluku Utara. Secara geografis terletak pada 127°30'00" BT – 128°00'00" BT dan 1°00'00" LU – 1°30'00" LU sekitar 55 km disebelah timur laut Kota Ternate.

Kesampaian daerah penelitian dapat ditempuh dengan menggunakan jalur udara dari Bandara Soekarno Hatta Cengkareng (Jakarta) menuju Bandar Udara Sultan Ba'abulah (Ternate) dengan waktu tempuh sekitar 3,5 jam.

Perjalanan selanjutnya (dari Bandar Udara Sultan Ba'abullah) juga dilakukan dengan jalur udara menggunakan pesawat Twin Otter (Airfast) menuju pulau Halmahera (*Site* PT NHM), jarak lurus dari Ternate menuju pulau Halmahera adalah ± 55 km dengan waktu tempuh ±15 menit. Selain jalur udara untuk menuju daerah penelitian dapat ditempuh juga dengan jalur laut dan darat dengan waktu perjalanan

± 5 - 6 jam. Pada Gambar 2.1 terlihat bahwa dari Bandara Sultan Ba'abullah Ternate menuju Bandara Kobok lintasan berbentuk garis lurus, yang menandakan dilalui dengan jalur udara. Sedangkan dari Bandara Kobok menuju lokasi penambangan PT NHM menggunakan jalur darat.





Gambar 2.1
Peta Kesampaian Daerah Site PT Nusa Halmahera Mineral

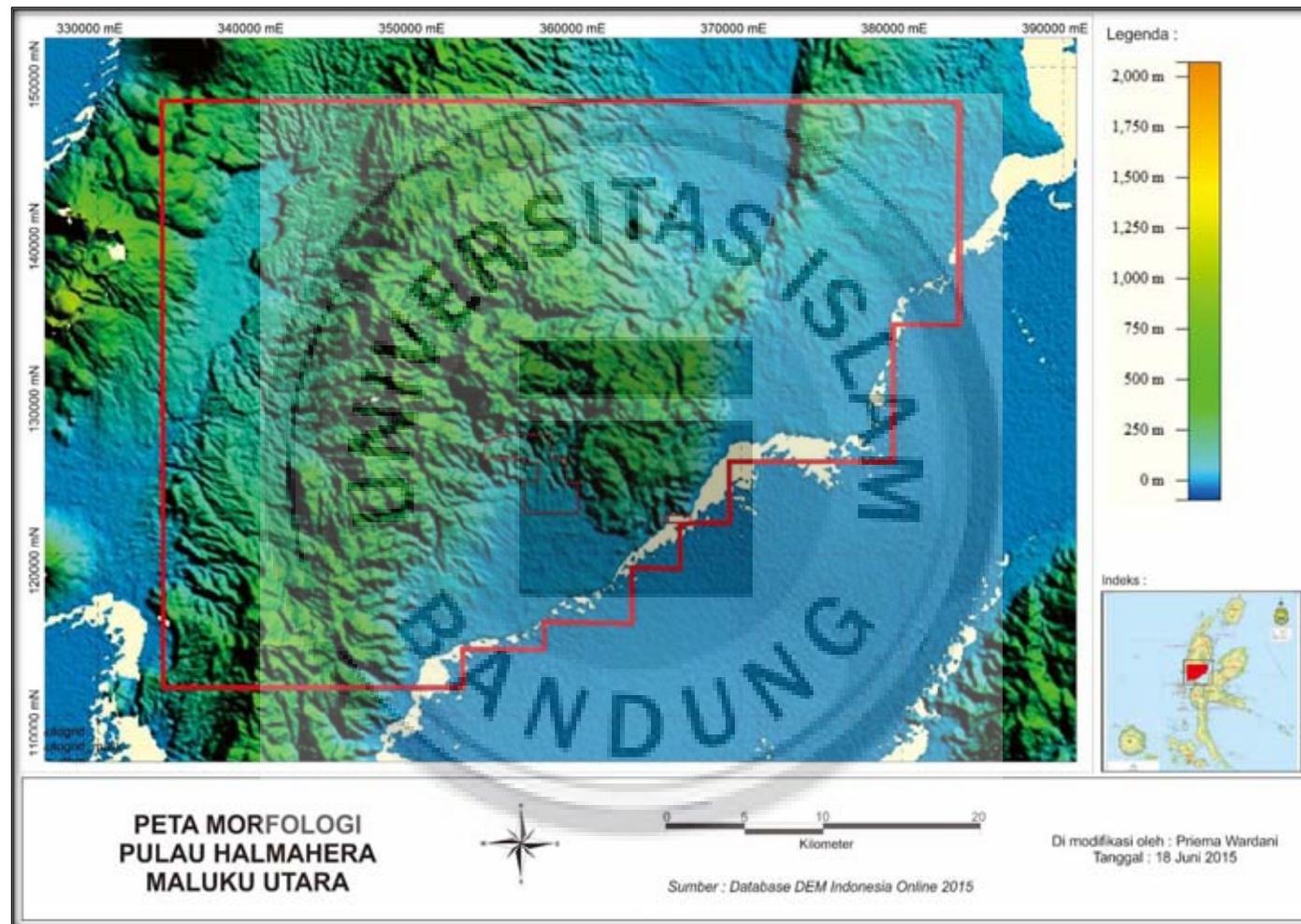
2.1.2 Keadaan Topografi dan Morfologi

Tambang PT NHM terdiri dari wilayah perbukitan bergelombang sedang hingga bergelombang rendah, dengan elevasi 0-200 m yang memiliki bentuk lembah "V", dengan pola aliran sungai "dendritic" (bercabang) dan pola aliran parallel, yang menandakan daerah tersebut dipengaruhi oleh struktur geologi. Secara umum lokasi penelitian yang berada di Pulau Halmahera ini memiliki kondisi daerah berupa pegunungan, namun di beberapa tempat terdapat dataran-dataran landai. Halmahera Utara adalah salah satu kabupaten dari Provinsi Maluku Utara. Provinsi Maluku Utara memiliki kondisi topografi beraneka ragam mulai dari datar, landai, curam dan sangat curam dengan bentuk wilayah mulai bentuk pantai, teras berbukit dan pegunungan (Gambar 2.2). Topografi yang dominan adalah kelas lereng curam yaitu seluas $\pm 1.707.983,23$ Ha atau sebesar 52,39% dari luas keseluruhan. Secara rinci kondisi kelas lereng dan bentuk topografi di Provinsi Maluku Utara dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Kelas Lereng dan Bentuk Topografi di Wilayah Maluku Utara

Kelas Lereng	Luas (Ha)	Persentase (%)	Bentuk
Datar (0-8%)	482.983,6	14,81	Pantai
Landai (8-15%)	279.595,1	8,58	Teras
Agak Curam (15-25%)	128.380,1	3,94	Perbukitan
Curam (25-45%)	1.707.983,2	52,39	Perbukitan
Sangat Curam (>45%)	661.400	20,29	Pegunungan

Sumber : Profil Maluku Utara (dephut.go.id)



Gambar 2.2
Peta Morfologi Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara

2.1.3 Iklim

Iklim di kawasan penelitian adalah tropis basah dengan temperatur maksimum tahunan rata-rata adalah 28°C, dan sedikit variasi sepanjang tahun. Temperatur maksimum tahunan rata-rata tertinggi adalah 29°C dan temperatur minimum tahunan rata-rata terendah adalah 27°C. Kelembaban relatif harian rata-rata 88,5%.

Kabupaten Halmahera Utara dipengaruhi oleh iklim laut tropis yang terdiri atas dua musim, yaitu:

1. Musim hujan pada bulan November sampai dengan Februari
2. Musim kemarau pada bulan April sampai dengan bulan Oktober

Curah hujan di wilayah Kabupaten Halmahera Utara dalam kurun waktu sepuluh tahun kebelakang berkisar antara 2.038-3.275 mm per tahun serta dengan rata-rata curah hujan tahunan sekitar 2.882 mm per tahun.

2.2 Kondisi Geologi

2.2.1 Tatanan Geologi Regional

Halmahera dan pulau-pulau sekitar Indonesia bagian timur merupakan konfigurasi busur kepulauan sebagai hasil tumbukan lempeng dibagian barat Pasifik. Pulau ini dicirikan oleh *double arc system*, dibuktikan oleh vulkanik di lengan barat dan non vulkanik di Lengan timur (Wahyu Hidayat, 2012). Kondisi geologi dan tektonik Halmahera cukup unik, karena pulau ini terbentuk akibat pertemuan tiga lempeng yaitu : Eurasia, Pasifik dan Indo – Australia. Dibagian selatan Halmahera terdapat zona sesar Sorong yang merupakan *strike slip fault* (JA Katili, 1974). Sepanjang zona sesar ini Halmahera bergerak ke arah barat bersamaan dengan lempeng Indo – Australia (Hamilton, 1979).

Mandala tektonik Halmahera Timur (Gag, Gebe, Weda dan Waigeo) dicirikan dengan ragam batuan ultra basa, sedangkan Halmahera Barat (Morotai, Bacan, dan Obi) oleh batuan gunungapi. Zona perbatasan antara kedua mandala tersebut terisi oleh batuan Formasi Weda yang terlipat dan tersesarkan. Struktur lipatan berupa *sinklin* dan *antiklin* terlihat pada Formasi Weda berumur Miosen Tengah - Pliosen Awal. Sumbu lipatan berarah utara-selatan, timur laut-barat daya dan barat laut tenggara. Struktur sesar terdiri dari sesar normal dan sesar naik, umumnya berarah utara-selatan dan barat laut-tenggara (Bessho, 1944).

Kegiatan tektonik wilayah penelitian dimulai pada kapur akhir dan awal tersier, dicirikan oleh adanya komponen batulempung dan batuan ultrabasa di dalam konglomerat yang membentuk Formasi Dorosagu. Akibat dari perkembangan tektonik tersebut, maka Maluku Utara dan Pulau Halmahera serta pulau-pulau sekitarnya dikelompokkan menjadi tiga wilayah tektonik. Masing-masing wilayah ini berbeda dari segi fisiografi, kelompok batuan yang membentuknya, stratigrafi, struktur dan perkembangan tektonik (T. Apandi & D. Sudana, 2000). Yaitu :

1. Mandala Geologi Halmahera Timur

Wilayahnya meliputi lengan timur laut dan tenggara Pulau Halmahera. Ciri mandala ini adalah adanya batuan ofiolet yang telah mengalami imbrikasi dengan sedimen laut dalam berumur jura dan kapur (pra-tersier). Batuan kompleks ofiolet terdiri dari peridotit, gabro, diabas dan basal (Bessho, 1944). Peridotit umumnya telah mengalami serpentinisasi sedang dan seluruh kelompok telah mengalami gesekan serta breksiasi. Sedimen laut dalam yang terletak di lengan timur Halmahera terdiri dari persilangan batulanau dan batuserpih dengan *interklasi* (penyisipan) baturijang radiolarit, batugamping, dan batupasir

gampingan. Batuan ofiolet dan sedimen laut dalam ini ditutupi oleh batuan sedimen klastik dan karbonat berumur tersier yang juga telah mengalami imbrikasi dengan batuan ofiolet. Struktur batuan diwilayah ini menunjukkan pengaruh tektonik kompresional.

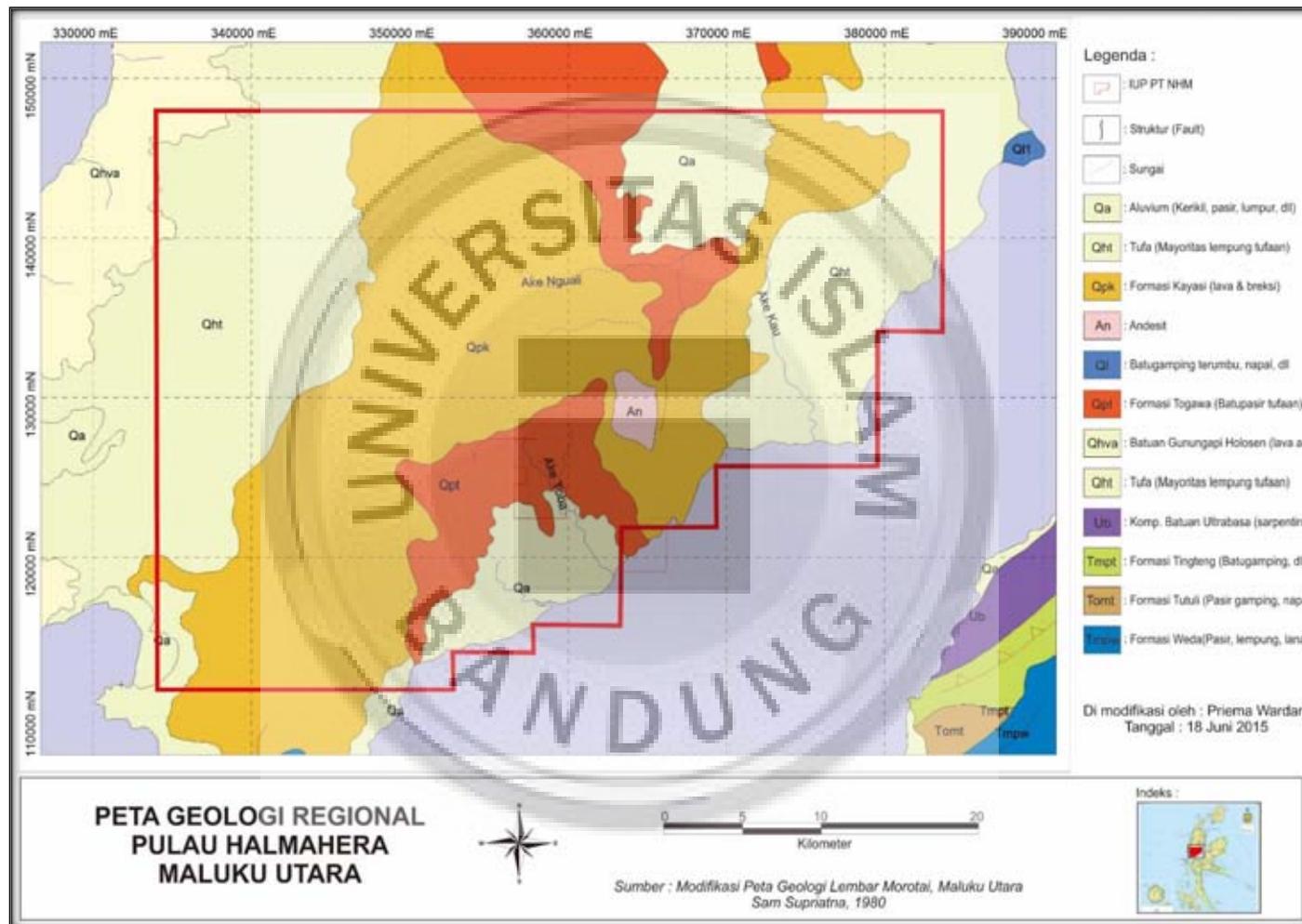
2. Mandala Geologi Halmahera Barat

Wilayah meliputi : Pulau Morotai dibagian Utara, dan selatan pulau Halmahera dan deretan pulau-pulau gunung api dibagian barat seperti pulau Bacan sampai pada pulau Obi bagian selatan. Dicitrakan oleh perkembangan ekstensif batuan gunungapi karena sejak tersier awal merupakan busur gunungapi. Batuan gunungapi ini berumur oligosen-miosen yang tersebar luas diwilayah ini, yang berlangsung pada lingkungan laut dan secara bertahap melalui proses pengangkatan beralih ke lingkungan terestial. Batuan gunungapi ini umumnya telah mengalami propilitisasi dan hancur, mengandung urat-urat kuarsa kecil (*veinlets*) silika dan karbonat, antara lain terdiri dari batupasir, batulempung, napal dan batugamping.

3. Mandala Geologi Talaut - Tifore

Wilayah bagian barat ini sebagian besar terdiri dari Pegunungan bawah laut seperti kepulauan Talaud di Sulawesi Utara dan pulau-pulau Tifore di Maluku Utara, dicirikan oleh batuan ofiolit berumur paleogen yang berasosiasi dengan melange dan ditutupi oleh perlapisan tebal sedimen klastik tufaan dan karbonat berumur miosen tengah-pliosen. Batuan di wilayah ini telah mengalami tektonik kompresional.

Secara umum keadaan geologi regional disekitar lokasi IUP PT Nusa Halmahera Mineral (PT NHM) dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3
Peta Geologi Regional Kabupaten Halmahera Maluku Utara

2.2.2 Geologi Daerah Penelitian

Geologi daerah Kao Teluk termasuk dalam mandala geologi Halmahera Barat yang tersusun oleh batuan gunungapi vulkanik sejak pra tersier awal yang telah menjadi alur lintasan busur gunungapi.

Batuan gunungapi ini berumur oligosen - miosen yang tersebar luas di wilayah ini. Berlangsung pada lingkungan laut yang secara bertahap melalui proses pengangkatan beralih ke lingkungan terestial. Batuan gunungapi ini umumnya telah mengalami propilitisasi dan hancur, mengandung urat – urat kuarsa kecil (*veinlets*) silika dan karbonat, antara lain terdiri dari batupasir, batulempung, napal dan batugamping (Sam Supriatna, 1980).

Penyebaran mineralisasi Gosowong sangat dipengaruhi oleh sesar normal yang berarah Barat Laut Tenggara dengan *dip* kearah Timur Laut dan kontak *lithologi* antara andesit lava dengan batuan vulkanoklastik.

Urat Gosowong terdapat dalam sistem urat *epithermal* dengan kemiringan rata-rata 45° ke arah Timur Grid (atau Timur Laut magnetik). Panjang struktur yang diketahui hingga saat ini adalah sekitar 400m dan penerusan ke arah kemiringan (*down-dip*) sekitar 300 m.

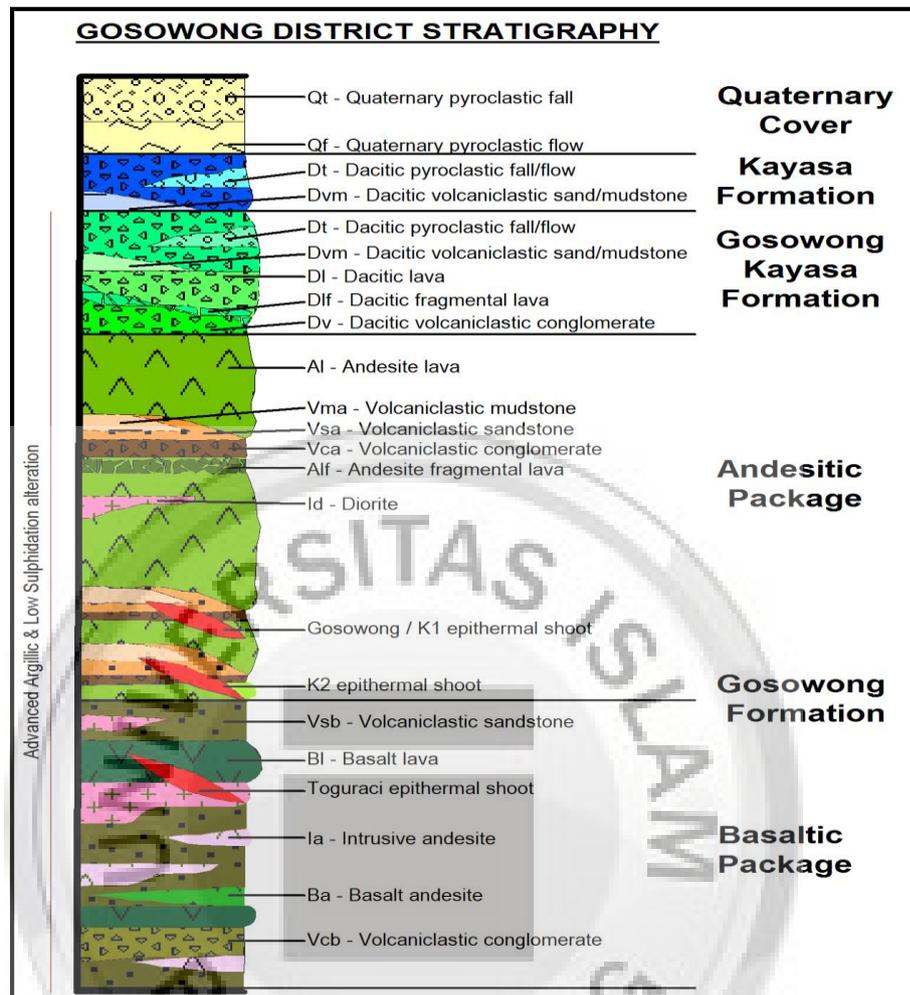
Kondisi geologi Gosowong terdiri dari batuan vulkanik dan vulkanoklastik dengan terdapat intrusi dari kuarsa-diorit. Mineralisasi emas berasosiasi dengan kuarsa-*veins epithermal*, tipe *vein* dengan struktur hasil dari lipatan dan sesar. Urat Gosowong menempati sekuen batuan andesit lava dan beragam sedimen vulkanoklastik yang terdiri atas batulempung, batulanau, batupasir halus sampai kasar dan konglomerat, ini serupa dengan batuan deposit Gosowong. Batuan vulkanik halus (batulempung) secara menyeluruh mengalami ubahan *pra-hydrothermal hematitic* dari lingkungan pelapukan paleo (*paleo-weathering*).

Pada Gambar 2.4 ditunjukkan susunan stratigrafi daerah sekitar gosowong. Mineralisasi ore dengan keadaan dip sekitar 30° - 45° . Struktur yang berupa vein ini diindikasikan sebagai pembawa aliran air tanah.

Badan bijih hampir berbentuk vertikal, dimana *ore body* ini mengikuti jalur mineralisasi kuarsa dan kuarsa adularia. Terdapat tujuh vein kuarsa utama pada tambang Toguraci, diantaranya yaitu :

- Urat Midas
- Urat Damar
- Urat Kayu Manis
- Urat Yahut
- Urat T-Fault
- Urat Jembatan, dan
- Urat Lintang.





Sumber : Technical Service Department PT Nusa Halmahera Minerals 2015

Gambar 2.4
Stratigrafi Gosowong (Sekitar Area PT NHM)

2.2.3 Genesa Endapan

Bahan galian yang terdapat pada tambang bawah tanah Toguraci PT NHM tergolong pada endapan epitermal. Endapan epitermal didefinisikan sebagai salah satu endapan dari sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal yang umumnya pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan. Endapan epitermal adalah hasil dari sistem hidrotermal yang berskala besar pada lingkungan vulkanik dalam suatu sumber panas magmatik atau sumber air meteorik. Pada umumnya endapan epitermal ini terbentuk pada

suhu yang relatif rendah antara 50 - 250°C. Zona bijih berupa urat-urat yang simpel, beberapa tidak beraturan dengan pembentukan kantong-kantong bijih, seringkali terdapat pada pipa dan *stockwork*.

Adanya kontak langsung antara penerobosan diorite secara *dike* pada batuan pengikat (basalt) menyebabkan tingginya suhu aliran air tanah. Gejala tersebut mengakibatkan terjadinya mineralisasi pada rekahan - rekahan yang kosong. Asosiasi pada endapan ini berupa mineral emas (Au) dan perak (Ag) dengan mineral penyertanya berupa mineral kalsit, mineral zeolit dan mineral kwarsa. Dua tipe utama dari endapan ini adalah *low sulphidation* dan *high sulphidation* yang dibedakan terutama berdasarkan pada sifat kimia fluidanya dan berdasarkan pada alterasi dan mineraloginya.

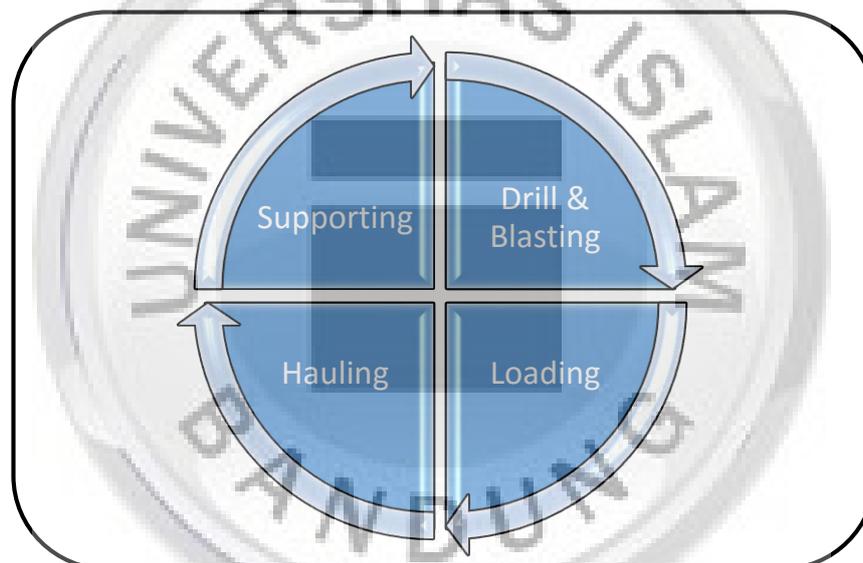
Keadaan tersebut dikarenakan pulau Halmahera dan pulau-pulau sekitar Indonesia bagian timur merupakan konfigurasi busur kepulauan sebagai hasil tumbukan lempeng dibagian barat Pasifik. Daerah tersebut merupakan pertemuan antara tiga lempeng yaitu Eurasia, Pasifik dan Indo – Australia. Memiliki keadaan geologi yang hamper kompleks dengan adanya struktur lipatan berupa sinklin dan antiklin serta struktur sesar yang terdiri dari sesar normal dan sesar naik. Keadaan tersebut menyebabkan pada tambang Toguraci PT NHM memiliki suhu air tanah yang relatif tinggi hasil kontak aktivitas tektonik yang ada pada daerah tersebut dengan air meteorik dari permukaan.

2.3 Sistem Penambangan

PT Nusa Halmahera Minerals (NHM) mempunyai dua lokasi penambangan bawah tanah dalam satu wilayah ijin usaha penambangan. Wilayah tersebut terbagi menjadi Tambang Bawah Tanah Kencana dan

Tambang Bawah Tanah Toguraci. Keduanya menggunakan sistem penambangan yang sama. Sistem penambangan tersebut dilakukan secara *full mechanized* pada penambangan urat bijih (*vein*).

Pada tambang bawah tanah PT NHM khususnya pada daerah penelitian yaitu *site Toguraci* dengan metoda penambangan *stopping hole* dan *overhand cut and fill* dimana lokasi penambangan dibuat secara *berlevel* mengikuti sebaran badan bijih. Pada Gambar 2.5 dibawah ini ditunjukkan alur kegiatan yang dilakukan PT NHM.



Sumber : Technical Service Department PT Nusa Halmahera Minerals 2015

Gambar 2.5

Mine Cycle di PT Nusa Halmahera Minerals

2.3.1 Drilling and Blasting

Tahapan sebelum dilakukannya peledakan ialah pengeboran batuan. Pengeboran batuan dilakukan berdasarkan kemajuan 3m untuk setiap 1 *cut*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan material yang sesuai dengan kapasitas *crusher* yang digunakan. Kegiatan pengeboran dilakukan untuk menyediakan lubang tembak pada proses peledakan baik peledakan produksi maupun

peledakan untuk akses penambangan. Adapun alat bor (*Jumbo Drill*) yang digunakan saat ini terdiri dari 2 tipe, yaitu:

1. Axera, tipe DO7- 260, D7- 260, D7-260
2. Quasar Face-drill (1F)

Selain itu pengeboran juga dilakukan untuk membuat lubang *drain hole* atau lubang bor untuk saluran air pada dinding serta digunakan untuk pengambilan perconto guna perhitungan kadar dari bijih atau *ore control* sehingga dapat diketahui antara material yang tergolong bijih dan non bijih (*waste*).

Pemberaian batuan dilakukan dengan cara peledakan menggunakan keadaan geometri tertentu berdasarkan ketentuan dari perusahaan. Geometri peledakan ini beracuan untuk membentuk tinggi lubang bukaan dengan rata-rata 5-5,6 meter dengan lebar rata-rata 5-5,2 meter. Sehingga dengan ukuran tersebut alat berat memungkinkan untuk beroperasi langsung di dalam tambang. Jalur kendaraan yang digunakan pada tambang ini adalah satu jalur kendaraan. Bahan peledakan yang digunakan adalah bahan peledak khusus bernama ANFA (modifikasi dari ANFO) yang tahan pada suhu tinggi (berkisar 70-75 °C) yang diproduksi PT Orica Mining Service, mengingat suhu pada tambang bawah tanah ini yang terbilang tinggi.

2.3.2 Pemuatan (*Loading*)

Aktivitas pemuatan pada tambang bawah tanah ini dilakukan dengan menggunakan alat LHD (*Load Haul Dump*) tipe Toro 1400 Loader yang secara langsung menangani material hasil peledakan yang akan dipindahkan pada tempat penyimpanan sementara (*rompad*) atau pada *stockpile* terdekat untuk mengefisiensikan jarak pengangkutan. Pada umumnya dalam satu hari terdapat

3-4 heading yang dilakukan penambangan pada tambang Toguraci, hal ini berarti terdapat 3-4 unit LHD yang beroperasi.

2.3.3 Pengangkutan (*Hauling*)

Unit yang digunakan untuk pengangkutan yaitu dengan ADT (*Articulated Dump Truck*) tipe Hitachi AH400 dengan kapasitas satu kali pengangkutan 25 ton. Penggunaan ADT pada tambang ini disesuaikan dengan keadaan tambang yang memiliki ruang gerak terbatas, sehingga dengan menggunakan *dumptruck* jenis ini dapat memaksimalkan kinerja tanpa dibatasi dengan ukuran dari lubang bukaan.

2.3.4 Penyanggaan (*Supporting*)

Penyanggaan pada tambang bawah tanah dilakukan dengan tujuan untuk membantu batuan dalam menyangga dirinya sendiri sehingga menjamin keselamatan manusia (pekerja) dan peralatan tambang pada tambang bawah tanah. Penyanggannya dilakukan dengan cara mengisi lubang bukaan bekas penambangan dengan material *waste* penambangan itu sendiri. Sistem penyanggaan yang digunakan terbagi menjadi 3 jenis yaitu :

- *Standar Supporting*, yang meliputi *Stripset (Rock bolt)*, *Wiremesh (Weldmesh)*, dan *Shootcrete*.
- *Additional Supporting*, dengan menggunakan *cabel bolt* dan *resin supporting*.
- *Filling material* pada *site* Toguraci menggunakan *waste material* atau material tidak dipergunakan pada saat penambangan, hal ini dikarenakan penambangan yang menerapkan metode tulang ikan sehingga digunakan *paste fill* yang merupakan campuran semen, tuff dan air dengan komposisi yang telah disesuaikan.

Alur penyanggan yang digunakan pada PT NHM adalah penyangga *friction bolt (splitsets)* dengan modifikasi *grouting* untuk menambah kekuatan *splitsets* yang kemudian dikombinasikan dengan *fibrecrete/shootcrete* dan *weld mesh*. Setelah proses pemuatan dan pengangkutan selesai, dilakukan pemasangan penyangga guna menghindari adanya resiko akibat runtuh. Dinding dan atap dilapisi dengan *shootcrete (fibrecrete)* terlebih dahulu dengan ketebalan tertentu (tergantung pada tipe batuan yang ada) kemudian dinding dan atap pada lubang bukaan tersebut dibor dengan diameter 45 mm sesuai dengan panjang *splitsets* yang telah ditentukan. Setelah itu, *splitsets* dipasang pada dinding lubang bukaan bersamaan dengan *weldmesh* sesuai pola yang digunakan.

2.4 Sistem Dewatering

PT Nusa Halmahera Minerals (PT NHM) menggunakan sistem *dewatering* dengan pompa tanam (*submersible pump*). Pompa-pompa tersebut digunakan untuk mengurangi *level* muka air tanah sehingga kegiatan penambangan tetap dapat dilakukan. Metoda tersebut cocok digunakan pada tambang bawah tanah ini terutama pada *site* Toguraci, hal ini karena debit aliran air tanah yang ada cukup besar berkisar antara 30-36 L/s. Berdasarkan *dewatering schematic* (lampiran B) tanggal 18 April 2015 telah terinstal 8 *submersible pump* yang digunakan untuk menurunkan *water level* pada daerah sekitar tambang bawah tanah Toguraci. Pompa yang terinstal tersebut terdiri dari empat pompa type *oddesse po-so-100-3/8.2* dengan kapasitas pemompaan 16,7 L/s serta power sebesar 22 kW yang memiliki *delivery head* hingga 69 m. Tiga pompa lainnya

bertipe oddesse po-so-100-8/8.2 dengan kapasitas pemompaan 36,1 L/s serta power sebesar 55 kW yang memiliki *delivery head* hingga 105 m.

Pompa-pompa tersebut memiliki *flow meter* masing-masing sehingga dapat diketahui seberapa besar volume air tanah yang dipompakan serta memiliki *hours meter* yang digunakan untuk mengetahui seberapa lama pompa tersebut bekerja. Air tanah yang berasal dari *submersible pump* pada lokasi tertentu akan diteruskan dan ditampung terlebih dahulu pada kolam penampungan bernama *dump tank*, kemudian diteruskan pada *fish tank* yang selanjutnya akan dipompa keluar dari tambang bawah tanah menuju permukaan. Pertimbangan lokasi penempatan *dump tank* maupun *fish tank* berdasarkan kapasitas *head* masing-masing pompa. Semua pompa yang digunakan pada beberapa lokasi pemompaan akan berujung pada *primary pump* yang digunakan untuk memompakan air dari tambang bawah tanah menuju permukaan. Pada Foto 2.1 dibawah ini terlihat *flow meter* yang digunakan untuk mengukur besarnya volume air tanah yang dipompakan keluar dari *ore body*.



Sumber : *Technical Service Department PT Nusa Halmahera Minerals 2015*

Foto 2.1

Hole dan Flow Meter Submersible Pump Type 22 kW

Geoteknik Departemen PT NHM mempunyai target penurunan muka air tanah pada beberapa lokasi pemompaan. Target penurunan ini mengacu pada rencana pembukaan level terbawah pada tambang emas tersebut, dimana ketika air tanah mencapai target level tersebut maka operasi penambangan dapat berjalan secara optimum. Pada area pengamatan TD-5010A pada level 5010 mRL mempunyai target penurunan muka air tanah hingga 4977.78 mRL sesuai dengan sumur pemompaan pada BH-04 (DC1-VD04-YW02) yang terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2
Bore Hole dan Target Area Submersible Pump

BOREHOLE NAME	TARGET AREA	PUMP TYPE
BH-01 (DC8-YW01)	Yahut @ RL 4972.67	22 kW
BH-02 (DC8-YW02)	Yahut @ RL 4972.92	22 kW
BH-03 (DC1-TD5040A)	Damar @ RL 4973.22	55 kW
BH-04 (DC1-VD04-YW02)	Damar @ RL 4977.78	22 kW
BH-05 (DC1-VD04-BW01)	Damar @ RL 4957.83	55 kW
BH-06 (DC1-VD04-YW01)	Yahut @ RL 4973.4	22 kW
BH-07 (DC1-5072)	Damar @ RL 4984.95	22 kW
BH-08 (DC1-5072)	Damar @ RL 4988.1	55 kW

Sumber : Technical Service Department PT Nusa Halmahera Minerals 2015

