

TESIS

**“GEOLOGI DAN KARAKTERISTIK MINERALISASI EMAS
DI PEGUNUNGAN RUMBIA BARATLAUT, BOMBANA”**

***GEOLOGY AND CHARACTERISTICS OF GOLD
MINERALIZATION IN NORTH WEST RUMBIA MOUNTAIN,
BOMBANA***

**TAKDIR
D062192001**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

PENGAJUAN TESIS

“GEOLOGI DAN KARAKTERISTIK MINERALISASI EMAS DI PEGUNUNGAN RUMBIA BARATLAUT, BOMBANA”

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Sarjana Magister
pada Program Pasca Sarjana Teknik Geologi Universitas Hassanudin

Disusun dan diajukan oleh

**TAKDIR
D062192001**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS**GEOLOGI DAN KARAKTERISTIK MINERALISASI EMAS
DI PEGUNUNGAN RUMBIA BARATLAUT, BOMBANA****TAKDIR
D062192001**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal Juli 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

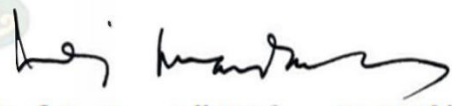
Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS, ST., MT
NIP. 1909241998021001



Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, ST., M.Phil
NIP. 1980042820051001

Ketua Program Studi
Magister Teknik Geologi



Dr. Eng. Meutia Farida, ST. MT.
NIP. 1973100320001220001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : TAKDIR
Nomor Mahasiswa : D062192001
Program Studi : Teknik Geologi

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis Geologi dan Karakteristik Mineralisasi Emas di Pegunungan Rumbia Baratlaut, Bombana adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS, ST.,MT sebagai Pembimbing Utama dan Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, ST.,M.Phil sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding (Giesed) sebagai artikel yang berjudul *Study of Geology and Gold Occurences in Serpentine Northwest Rumbia Mountains Bombana Regency Southeast Sulawesi*.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 7 Juli 2023

Yang menyatakan



Takdir

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas Rahmat dan Inayah-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan.

Adapun judul tesis ini adalah “Geologi dan Karakteristik Mineralisasi Emas di Pegunungan Rumbia Baratlaut, Bombana” yang kemudian menjadi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata Dua (S2) Teknik Geologi Universitas Hasanuddin. Penelitian ini tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

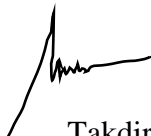
1. Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS, ST.,MT. sebagai Pembimbing Utama penulis.
2. Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, ST.,M.Phil. sebagai Pembimbing Pendamping penulis.
3. Prof Dr. Adi Tongiroh, ST., MT., Dr. Ir. Musri Ma’waleda, MT., dan Dr. Ir. Kaharuddin MS., MT. sebagai tim penguji tesis penulis.
4. Dr. Eng. Meutia Farida, ST., MT. sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.
5. Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng. sebagai Kepala Departemen Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.
6. Prof. Dr. Eng. Ir Muh. Isran Ramli ST., MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Prof. Dr. Ir Jamaluddin Jompa, MSc. sebagai Rektor Universitas Hasanuddin Makassar.
8. Kedua orang tua penulis atas doa, pengorbanan, dan motivasi mereka selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.
9. Ibu mertua penulis atas doa dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan
10. Istri penulis atas doa dan dukungan moril serta materil selama penulis menyelesaikan tulisan ini.
11. Sanak saudara penulis atas dukungan doa selama penulis menempuh pendidikan
12. Manajemen PT. Sumber Alam Mega Karya atas dukungan moril dan materil selama melakukan penelitian

13. Manajemen PT. Panca Logam Makmur yang telah mewadahi selama pengambilan data lapangan.
14. Manajemen Aserra Capital Group atas dukungan moril dan kebijaksanaan selama penulis melakukan studi dan penelitian
15. Bapak Jhon Rey atas dukungan moril dan materil selama penulis melakukan penelitian
16. Bapak Rimhot Sitohang atas dukungan motivasi dan bimbingan selama bekerja di PT. Sumber Alam Mega Karya, serta inspirasi kepada penulis untuk melakukan penelitian
17. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Geologi dan Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin atas bimbingan dan motivasi selama penulis menempuh Pendidikan
18. Rekan-Rekan Mahasiswa Program Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas dukungan moril selama melakukan penelitian
19. Bapak dan Ibu Staf Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam urusan administrasi selama perkuliahan terkhusus kepada Pengelola dan para staff Laboratorium Preparasi Batuan Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah mewadahi selama pengamatan laboratorium.
20. Semua pihak di belakang layar yang tak dapat kami sebutkan satu persatu atas segala dukungan doa dan harapan yang baik-baik dalam menyelesaikan tulisan ini.

Akhir kata semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi pribadi penulis dan bisa bermanfaat untuk kepentingan umum.

Gowa, 7 Juli 2023

Penulis,



Takdir

ABSTRAK

TAKDIR *Geologi dan Karakteristik Mineralisasi Emas di Pegunungan Rumbia Baratlaut, Bombana.* (dibimbing oleh **Asri Jaya** dan **Adi Maulana**) Berkembangnya aktifitas penduduk dalam pengambilan butiran emas di sungai-sungai di Daerah Bombana, telah menarik perhatian berbagai peneliti. Utamanya dalam menemukan sumber mineralisasi yang dapat dijadikan sebagai tipe mineralisasi khusus. Penelitian bertujuan menentukan kumpulan mineralisasi, menentukan kontrol struktur geologi terhadap batuan dan mineralisasi, dan menentukan tipe alterasi dan mineralisasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemetaan geologi, petrografi dan mineragrafi, AAS, dan ICP-MS. Batuan penyusun daerah penelitian dibagi kedalam satuan sekis, filit, marmer, dan satuan batupasir. Berdasarkan data pemboran ditemukan batuan metamorf yang terdiri atas sekis tremolit dan batuan *hornfels*. Sesar utama pada daerah penelitian adalah sesar geser Roko-Roko yang sejajar dengan sesar geser Wumbubangka. Sesar orde kedua adalah sesar yang berpasangan berarah Timurlaut dan Baratlaut dan berasosiasi dengan rekahan ekstensi relatif berarah Utara-Selatan sebagai perangkap mineralisasi vein kuarsa. Alterasi pada batuan samping sekis mika terdiri atas alterasi argilik, silisifikasi, dan serisitisasi yang berasosiasi dengan *vein* kuarsa berstruktur melembar dan pengisian sesar minor termineralisasi emas, arsenopirit, *stibnite*, dan *cinnabar*. Alterasi pada satuan filit terdiri atas alterasi silika-karbonat, silisifikasi, *clay*-silika, dan serisitisasi termineralisasi emas, arsenopirit, kalkopirit, sfalerit, kalkosit, magnetit, dan hematit dalam bentuk tekstur *replacement* dan disseminasi. Alterasi pada batuan samping sekis tremolit dan batuan *hornfels* terdiri atas silisifikasi dan alterasi *skarn* (garnet, tremolit, epidot, klorit, kuarsa, kalsit) termineralisasi kalkopirit, pirhotit, pirit, arsenopirit, dan *scheelite* dalam bentuk tekstur pengisian retakan, *vein* melembar, *replacement*, dan disseminasi. Berdasarkan kumpulan mineral alterasi, mineral bijih, tekstur mineralisasi, tekstur batuan, serta struktur geologi maka mineralisasi pada penelitian dapat digolongkan ke dalam tipe mineralisasi vein dan tipe skarn *tungsten* (W).

Kata Kunci : Geologi, *vein* melembar, *skarn*, emas, Bombana

ABSTRACT

TAKDIR *Geology and Characteristic of gold mineralization in Northwest Rumbia, Bombana.* (Supervised by **Asri Jaya** and **Adi Maulana**)

The development of population activities in extracting gold grains in rivers in the Bombana Region, has attracted the attention of various researchers. Mainly in finding sources of mineralization that can be used as a special type of mineralization. Research aims to determine the collection of mineralization, determine the control of geological structure of rocks and mineralization, and determine the type of alteration and mineralization. The methods used in this study are geological mapping, petrographic and mineragraphy, AAS, and ICP-MS. The rocks unit consist of schist units, filite, marble, and sandstone units. Based on drilling data, metamorphic rocks were found consisting of tremolite schist and hornfels rock. The main fault in the study area is the Roko-Roko shear fault which is parallel to the Wumbubangka shear fault. Second-order faults are faults that conjugated in a Northeast-Northeast and Northwest and are associated with fracturing relative north-south extensions as quartz vein hosted. Alterations in mica schist wall rocks consist of argilic, silicified, and sericite alterations associated with sheeted quartz veins and minor fault filled vein of gold, arsenopyrite, stibnite, and cinnabar. Alterations in phyllite units consist of silica-carbonate alterations, silicification, clay-silica, and sericite with gold, arsenopyrite, chalcopyrite, sphalerite, chalcocite, magnetite, and hematite as a replacement and or dissemination textures. Alterations in tremolite schist and hornfels wall rocks consist of silicification and alteration of skarn (garnet, tremolite, epidote, chlorite, quartz, calcite) with chalcopyrite, pyrrhotite, pyrite, arsenopyrite, and scheelite as a filling fractures, sheeted vein, replacement, and dissemination textures. Based on the assemblage of alteration minerals, ore minerals, mineralization textures, rock textures, and geological structures, mineralization in the research area can be classified as vein and tungsten (W) skarn type.

Key Words : Geology, sheeted vein, skarn, gold, Bombana

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Regional	3
2.2 Tinjauan Sistem Mineralisasi Emas	4
2.3 Endapan Emas terkait Intrusi	6
2.4 Model Empiris dan Model Genetik Eksplorasi.	11
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Metode Penelitian.....	16
3.4 Tahapan Penelitian	17

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Kondisi Geologi	21
4.1.1	Geomorfologi	21
4.1.2	Stratigrafi	21
4.1.3	Struktur Geologi	30
4.2	Alterasi Batuan Samping	32
4.3	Mineralisasi	36
4.4	Geokimia	42
4.5	Model hipotetik mineralisasi emas pada daerah penelitian.....	43

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran.....	46

DAFTAR PUSTAKA	47
-----------------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 2.1 Kompilasi unsur kunci dari tipe endapan emas	10
Tabel 4.1 Geokimia Mineral Bijih.....	43

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 2.1 Peta geologi regional daerah penelitian	4
Gambar 2.2 Skema penampang melintang yang menunjukkan geologi unsur kunci.....	8
Gambar 2.3 Diagram yang menunjukkan model zonasi eksplorasi	9
Gambar 2.4 Model umum mendatar dari Endapan terkait Intrusi tereduksi	13
Gambar 2.5 Paragenesis skematik dari jenis yang berkembang.....	14
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	16
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian.....	20
Gambar 4.1 Sekis mika kuarsa dalam kondisi segar	22
Gambar 4.2 Contoh batuan inti bor pada lokasi penelitian	23
Gambar 4.3 Contoh batuan inti bor pada lokasi penelitian	23
Gambar 4.4 Foto mikrografi sayatan tipis batupasir meta dan sekis muskovit.....	24
Gambar 4.5 Foto mikrografi sayatan tipis sekis tremolite.....	25
Gambar 4.6 Foto mikrografi sayatan tipis marmer.....	26
Gambar 4.7 Singkapan marmer pada punggung perbukitan Roko-Roko	26
Gambar 4.8 <i>Mud</i> serpentinit (y) menunjukkan perlapisan dengan sisipan.....	27
Gambar 4.9 Foto mikrografi sayatan tipis batuan filit dan serpentinit.....	28
Gambar 4.10 Singkapan batupasir yang memperlihatkan kontak	29
Gambar 4.11 Singkapan alluvial yang tersusun	29

Gambar 4.12 Peta Geologi dan penampang sayatan daerah penelitian.....	30
Gambar 4.13 Singkapan batuan serpentinite yang terdeformasi	31
Gambar 4.14 Alterasi argilik yang sangat ekstensif di permukaan	32
Gambar 4.15 Alterasi argilik di sekitar zona urat kuarsa	32
Gambar 4.16 Mikrofotografi alterasi skarn	33
Gambar 4.17 Mikrofotografi alterasi skarn. Epidote.....	34
Gambar 4.18 Alterasi silika-karbonat bertekstur pengisian	35
Gambar 4.19 Alterasi quartz (qz) - sericite(ser)	35
Gambar 4.20 Urat kuarsa tunggal selebar 2 cm pada dinding <i>shaft</i>	37
Gambar 4.21 Mikrofotografi sayatan poles nikol silang	37
Gambar 4.22 Mikrofotografi sayatan poles nikol silang	38
Gambar 4.23 Mikrofotografi sayatan poles nikol silang	38
Gambar 4.24 Mikrofotografi sayatan poles nikol silang	39
Gambar 4.25 Mikrofotografi sayatan poles nikol silang	39
Gambar 4.26 Bongkah batuan serpentinite termineralisasi breksi kuarsa.....	40
Gambar 4.27 Foto mikrografi sayatan poles batuan serpentinite termineralisasi.....	41
Gambar 4.28 Kartun model hipotetik mineralisasi pada lokasi penelitian.....	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya aktifitas penduduk dalam pengambilan butiran emas di sungai-sungai di Daerah Bombana, telah menarik perhatian berbagai peneliti. Utamanya dalam menemukan sumber mineralisasi yang dapat dijadikan sebagai tipe mineralisasi khusus. Hal ini berkaitan dengan kondisi Geologi Bombana yang disusun oleh berbagai macam batuan dengan umur yang berbeda, misalnya batuan metamorf.

Keterdapatannya butiran emas pada batuan sekis mika, filit, dan batuan metasedimen telah mengantar pada kesimpulan beberapa peneliti untuk tipe emas orogenik daerah Bombana. Meskipun para peneliti menggunakan metode yang modern untuk analisis sampel, namun masih memerlukan kelanjutan penelitian. Salah satu alasan bahwa saat ini telah banyak batuan yang tersingkap di permukaan yang sebelumnya belum ditemukan oleh peneliti terdahulu.

Berdasarkan singkapan berbagai jenis batuan di Daerah Bombana, merupakan alasan penelitian ini dilakukan utamanya dalam menemukan ciri khusus tipe endapan emas yang berkaitan dengan protolit batuan vulkanik dan batuan sedimen. Hasria dkk (2022), menyatakan bahwa protolit batuan metamorf di Pegunungan Rumbia berasal dari batuan sedimen, yakni batuan pelitik dan greywacke pada fasies sekis hijau dengan derajat metamorfisme mulai sangat rendah hingga sedang.

Berdasarkan uraian di atas maka saya tertarik untuk mengangkat Judul “Geologi dan Karakteristik Mineralisasi Emas di Pegunungan Rumbia Barat Laut, Daerah Bombana Sulawesi Tenggara”, guna melengkapi data eksplorasi emas dalam rangka mengoptimalkan sumberdaya dan cadangan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kumpulan mineralisasi dalam batuan sampling ?
2. Bagaimana kontrol struktur geologi terhadap batuan dan mineralisasi ?
3. Bagaimana tipe alterasi dan mineralisasi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, sebagai berikut:

1. Menentukan kumpulan mineralisasi dalam batuan sampling
2. Menentukan kontrol struktur geologi terhadap batuan dan mineralisasi
3. Menentukan tipe alterasi dan mineralisasi

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam bidang penelitian sebagai referensi dalam mengembangkan penelitian tentang konsep mineralisasi emas dalam lingkungan geologi yang sama dengan lokasi penelitian terutama di Lengan Tenggara Sulawesi.
2. Dalam bidang investasi yaitu membantu pemerintah daerah setempat dalam hal inventarisasi potensi sumberdaya mineral sehingga membuka peluang investasi dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya mineral emas khususnya di sekitar daerah penelitian.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

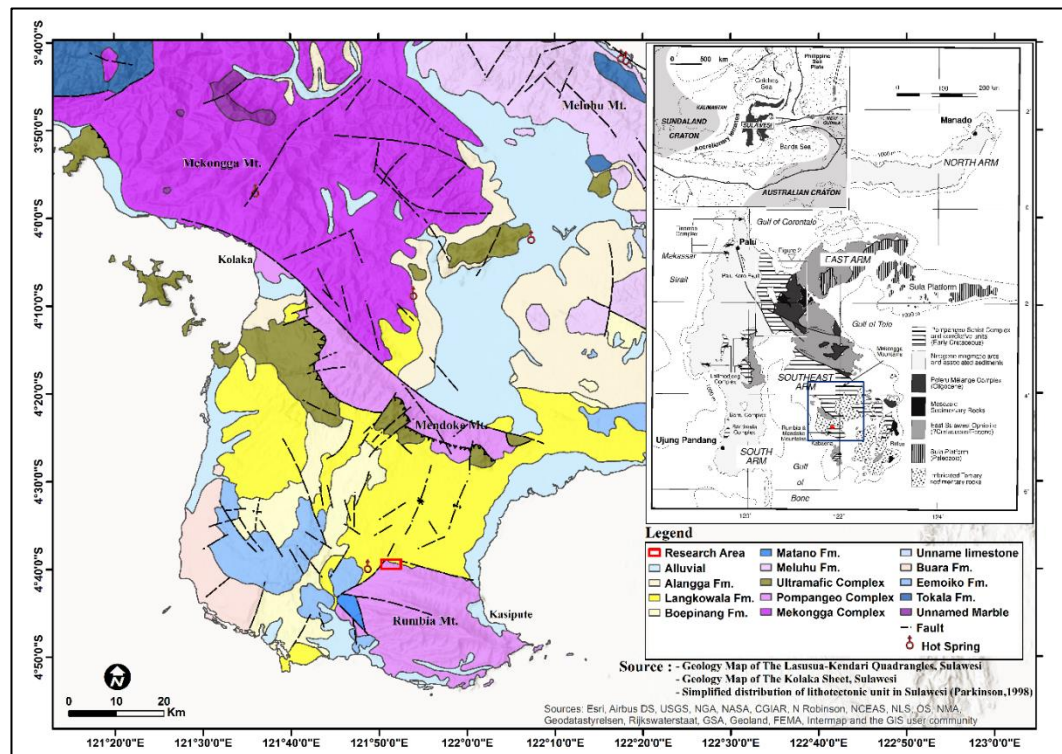
Penelitian ini dibatasi pada pembahasan karakteristik mineralisasi yang meliputi jenis batuan sampling, jenis struktur geologi, jenis alterasi, kumpulan mineralisasi, dan tekstur mineralisasi emas pada wilayah penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Wilayah penelitian terletak di bagian Baratlaut Pegunungan Rumbia. Puncak tertinggi yaitu Tangkeno Todoha (952 mdpl). Pegunungan Rumbia berarah Timur – Barat. Dari Timur ke Barat atau mendekati lokasi penelitian, menunjukkan perubahan relief dari terjal berangsur landai. Pada pegunungan Rumbia bagian Utara, sungai mengalir ke utara bertemu dengan Sungai Langkowala yang bermuara di bagian Timurlaut. Pegunungan Rumbia disusun oleh batuan Kompleks Pompangeo. Secara regional (Gambar 2.1) lokasi penelitian termasuk pada Kompleks Pompangeo (MTpn) terdiri atas sekis mika, sekis glokofan, sekis amfibolit, sekis klorit, rijang berjaspis sekis genesan, pualam, dan batugamping meta. Di Utara dan Barat Pegunungan Rumbia merupakan daerah lembah yang sangat luas yaitu Lembah Langkowala dengan vegetasi semak belukar, alang-alang dan tumbuhan bambu. Lembah langkowala disusun oleh formasi Langkowala dan formasi Oemoiko yang merupakan bagian dari himpunan endapan molasa Sulawesi. Formasi langkowala terdiri atas konglomerat, batupasir, serpih, dan setempat kalkarenit. Formasi Oemoiko terdiri atas kalkarenit, batugamping koral, batupasir, dan napal.



Gambar 2.1 Peta geologi regional daerah penelitian (T.O. Simandjuntak, Surono, & Sukido, 1993)

2.2 Tinjauan Sistem Mineralisasi Emas

Banyak yang telah dipublikasikan tentang deposit emas dalam dekade terakhir, yang mengarah pada (1) peningkatan signifikan dalam pemahaman beberapa model, (2) definisi jenis atau sub-jenis deposit baru, dan (3) pengenalan istilah baru. Namun, ketidakpastian yang signifikan tetap ada mengenai perbedaan spesifik antara beberapa jenis deposit. Akibatnya, deposit raksasa tertentu dianggap berasal dari jenis deposit yang berbeda oleh penulis yang berbeda. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan disusun dalam Tabel 2.1, tiga belas jenis deposit emas yang signifikan secara global saat ini dikenali masing-masing dengan karakteristik dan lingkungan pembentukannya sendiri yang terdefinisi dengan baik.

Model endapan terkait intrusi tereduksi (RIR) telah didefinisikan dengan lebih baik dalam dekade terakhir (Lang et al., 2000). Berbagai tipe dan kedalaman formasi telah didokumentasikan untuk endapan RIR, termasuk endapan induk intrusi dari karakter mesozonal hingga epizonal, dan lebih jauh sedimen host

ekuivalen mesozonal (Gambar 2.2, Tabel 2.1). Endapan tipe sedimen host berhubungan dengan tipe stokwork dan disseminasi sedimen hosted dari Robert et al. (1997), serta endapan emas *thermal aureole* (TAG) terkait intrusi dari Wall (2000) dan Wall et al. (2004).

Kelompok terkait intrusi teroksidasi (OIR) mencakup jenis endapan emas epitermal, porfiri, dan sulfidasi tinggi yang terkenal, serta endapan jenis skarn dan tipe manto, yang terbentuk di lempeng konvergen benua dan samudera. Endapan ini paling baik dianggap sebagai komponen sistem hidrotermal besar yang berpusat pada stok porfiri tingkat tinggi, umumnya teroksidasi, menengah hingga felsik (Gambar 2.2; Tabel 2.1). Dalam dekade terakhir, hubungan genetik antara porfiri dan endapan epitermal sulfidasi tinggi telah lebih mapan (Heinrich et al., 2004 dalam Robert et al, 2007), dan telah dikemukakan bahwa endapan terbesar dari klan ini terbentuk di busur kompresi (Sillitoe dan Hedenquist, 2003 dalam Robert et al, 2007).

Tipe yang lain deposit emas yang penting secara global termasuk epitermal sulfidasi rendah dan menengah, Carlin, VMS kaya Au, dan deposit tipe Witwatersrand (Gambar 2.2). Endapan epitermal sekarang dibagi lagi menjadi kategori sulfidasi rendah, menengah, dan tinggi berdasarkan kumpulan mineralisasi dan alterasi (Sillitoe dan Hedenquist, 2003 dalam Robert et al, 2007).

Meskipun banyak endapan raksasa yang sesuai dengan salah satu model yang diuraikan di atas, banyak dari mereka memiliki karakteristik unik dan tidak mudah diklasifikasikan dalam skema yang disajikan pada Gambar 2.2 (Sillitoe, 2000b dalam Robert et al, 2007).

Oleh karena itu, kemungkinan besar penemuan besar berikutnya dapat memiliki tipe atau mineralisasi yang berbeda, atau mungkin terletak di lokasi geologi yang tidak terduga, sebuah fakta yang jelas harus diperhitungkan dalam program eksplorasi regional. Sebuah contoh yang baik adalah penemuan deposit Las Lagunas Norte di distrik Alto Chicama di Peru utara, di mana mineralisasi epitermal sulfidasi tinggi berada di batuan sedimen klastik bukannya di batuan vulkanik seperti yang digemari oleh model klasik.

2.3 Endapan Emas Terkait Intrusi Reduksi (RIR)

Karakteristik kunci dari deposit terkait intrusi tereduksi baru-baru ini diringkas oleh Hart, 2005 Robert et al., (2007). Mineralisasi biasanya memiliki kandungan sulfida yang rendah, sebagian besar <5 vol %, dengan kumpulan mineral bijih tereduksi yang biasanya terdiri dari arsenopirit, pirhotit dan pirit dan tidak memiliki magnetit atau hematit. Kumpulan logam menggabungkan emas dengan Bi, W, As, Mo, Te, dan/atau Sb yang bervariasi tinggi tetapi logam dasar berkonsentrasi rendah. Endapan juga menunjukkan alterasi hidrotermal proksimal yang terbatas dan umumnya lemah.

Endapan RIR secara spasial dan temporal berasosiasi dengan intrusi meta-alumina, sub-alkali dengan komposisi intermediet hingga felsik yang menjangkau batas antara seri ilmenit dan magnetit. Elemen kunci dari model ini adalah bahwa endapan-endapan tersebut setara dengan intrusi kausatif yang terkait. Pada skala regional, endapan ini berasosiasi dengan provinsi magmatik yang terkenal dengan endapan tungsten dan/atau timahnya.

Endapan dari marga RIR dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan variasi tipe relatif terhadap kedalaman formasi dan kedekatan dengan intrusi penyebab, mirip dengan apa yang diamati dalam sistem "porfiri" terkait intrusi teroksidasi (Lang et al., 2000; Hart, 2005 dalam Robert et al., 2007; Gambar 2.2 dan 2.3; tabel 2.1). Perbedaan jenis endapan di antara klan RIR selanjutnya tercermin dalam alterasi, tipe mineralisasi, dan asosiasi logam (Tabel 2.1). Dua jenis endapan pertama adalah *intrusion hosted* dan telah terbentuk di lingkungan kedalaman *epithermal* dan *mesothermal*, dan di sini disebut sebagai endapan terkait intrusi epizonal dan mesozonal (Gambar 2.2). Jenis endapan ketiga terperangkap dalam batuan sedimen klastik dan memiliki hubungan yang lebih renggang dengan intrusi tereduksi yang disebut sebagai sedimen *hosted* terkait intrusi (Gambar 2.2, Tabel 2.1). Endapan ini terdiri dari zona-zona mineralisasi emas *stockwork* dan disseminasi dan memiliki banyak karakteristik endapan RIR, terutama asosiasi logam dan hubungan spasial dan temporal dengan intrusi yang tereduksi sedang (Wall 2000, 2004; Yakubchuk 2002 dalam Robert et al., 2007).

Jenis endapan ini memiliki signifikansi eksplorasi yang tinggi, karena termasuk deposit raksasa seperti Muruntau (Wall, 2004), Kumtor (Mao et al. 2004), dan Telfer (Rowins, 2000). Dimasukkannya deposit ini dalam klan yang berhubungan dengan intrusi, bagaimanapun, tetap kontroversial dan penulis lain lebih memasukkan mereka ke dalam klan orogenik (Goldfarb et al., 2005).

2.3.1 Endapan Intrusi Mesozonal-Hosted

Endapan ini telah dipelajari dengan baik di Yukon dan Alaska dan model untuk ini sangat maju dan diterima secara umum (Gambar 2.4, Hart 2005 dalam Robert et al., 2007). Yang terbesar dari ini biasanya dicirikan sebagai endapan urat berlembar yang dapat ditambang dalam jumlah besar dengan kadar rendah seperti Fort Knox (8 Moz) dan Vasilkovskoe (12 Moz). Emas dalam endapan ini umumnya bebas penggilingan, *non-refractory*, dan berasosiasi dengan mineral bismut (Flanigan et al. 2000 dalam Robert et al., 2007). Telurium dan tungsten juga merupakan asosiasi elemen yang umum. Endapan urat berlembar ini umumnya terletak di tepi atau zona atap dari granodioritik ekuigranular kecil hingga intrusi granit. Intrusi ini biasanya metaluminous sampai peraluminous lemah, kalk-alkali, dan subalkalik dengan keadaan oksidasi yang disimpulkan menganggangi batas antara seri ilmenit dan seri magnetit (Lang et al. 2000).

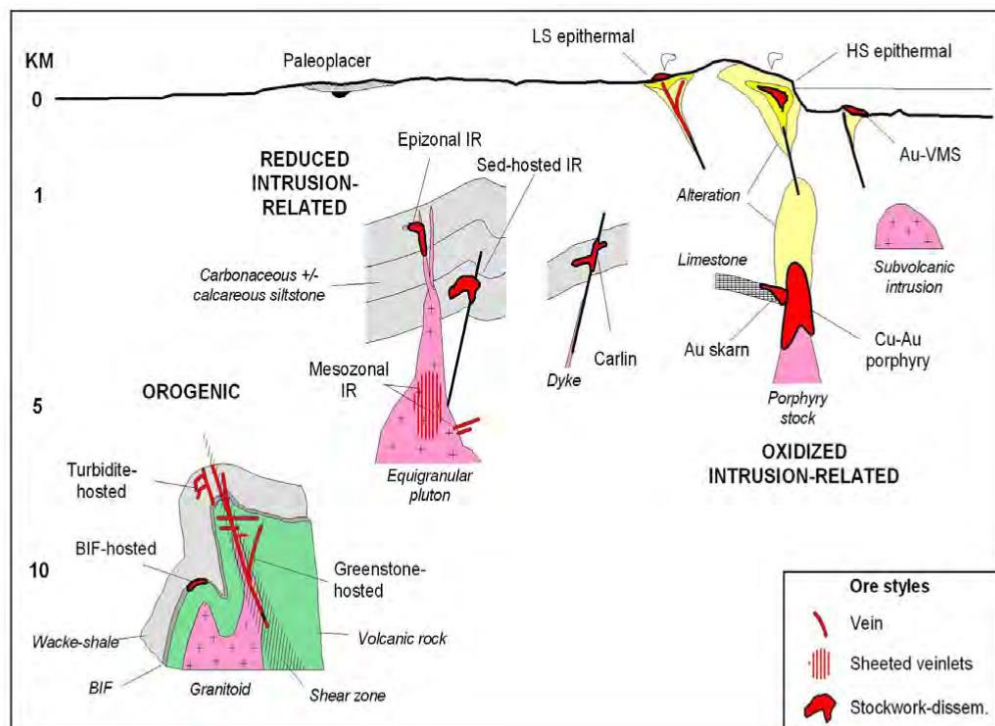
Endapan ini biasanya tidak memiliki sistem alterasi hidrotermal yang luas di sekitarnya dan biasanya terbatas pada lingkaran alterasi serisit-karbonat-feldspar yang sempit pada urat kuarsa. Namun endapan *peripheral* dan keterdapatan zona *hornfels* di lingkungan mesozonal dapat menampilkan pola distribusi yang dapat diprediksi (Gambar 2.4). Pola ini secara signifikan memperluas jejak eksplorasi deposit ini.

2.3.2 Endapan Intrusi Epizonal-Hosted

Endapan ini seperti yang ada di Kori Kollo, Brewery *Creek*, dan Donlin *Creek*, terdiri dari jejaring urat halus, hamburan sulfida atau mineralisasi urat berlembar di kompleks *dike-sill* atau kubah vulkanik. Intrusi induk memiliki karakteristik yang mirip dengan yang dijelaskan untuk endapan mesozonal, tetapi

dengan bukti penempatan yang lebih dangkal seperti massa dasar afanitik pada intrusi *dike-sill* porfiritik. Donlin *Creek* adalah yang terbesar dari deposit ini dan telah ditunjukkan oleh Baker (2002) dan Goldfarb et al. (2004) telah terbentuk pada kedalaman kurang dari 2 km. Endapan ini mungkin menunjukkan karakteristik tekstur urat tingkat dangkal seperti rongga berlapis kuarsa *drusy* yang melimpah, tekstur berlapis, *crustiform*, *cockade*, dan *bladed* (Goldfarb et al. 2004 dalam Robert et al., 2007).

Alterasi hidrotermal yang berhubungan dengan endapan intrusi epizonal *hosted* ini biasanya memiliki komponen alterasi lempung dan/atau alterasi halo skala urat halus karbonat dan serisit (Baker, 2002 dalam Robert et al., 2007).



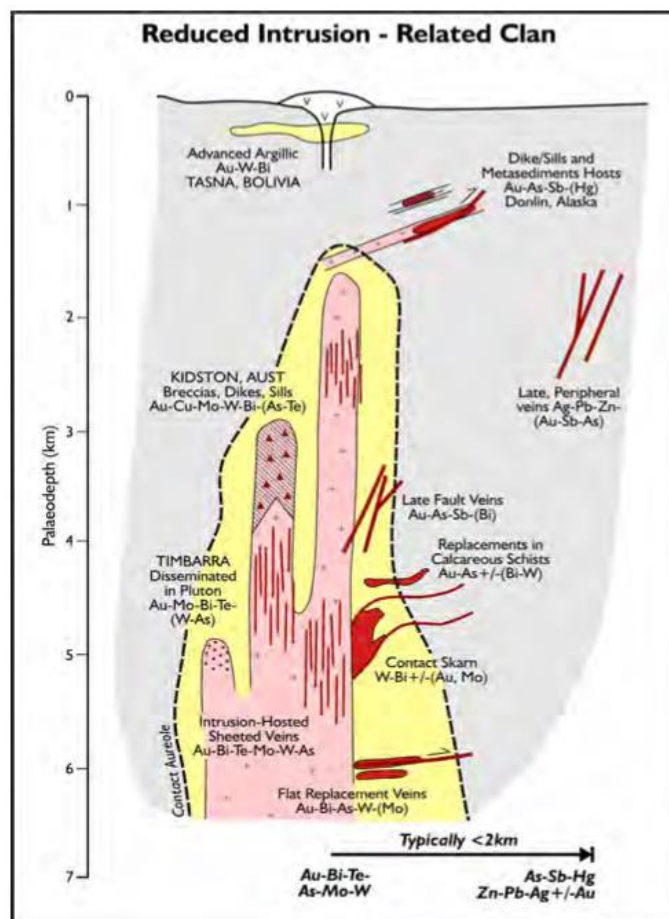
Gambar 2.2 Skema penampang melintang yang menunjukkan geologi unsur kunci dari system utama emas dan kedalaman penempatan kerak. Tercatat skala logaritma kedalaman. Dimodifikasi dari Poulsen et.al. (2000), dan Robert (2004a). Gambar dikutip dalam Robert et al, 2007.

2.3.3 Endapan sedimen hosted terkait intrusi

Beberapa penulis telah menghubungkan intrusi tereduksi dalam ruang dan waktu dengan endapan sedimen *hosted* yang besar, seperti Muruntau, Kumtor,

dan Telfer serta beberapa contoh kecil lainnya (Goldfarb et al. 2005 dalam Robert et al., 2007). Endapan ini memiliki paragenesis mineralisasi multi-tahap yang kompleks, dengan setidaknya satu tahap yang terdiri dari zona stokwork-disseminasi atau zona urat halus berlapis, dan memiliki rangkaian asosiasi logam yang konsisten dengan endapan terkait intrusi tereduksi mesozonal.

Alterasi hidrotermal pada endapan ini biasanya memiliki komponen penting dari alterasi feldspatik. Serisitisasi, karbonatisasi, dan biotisasi juga telah dicatat dan dapat meluas untuk jarak yang cukup jauh di sekitar bijih. Muruntau adalah deposit terbesar dari kelas ini (> 200 Moz) dan mineralisasi emas tahap utama terdiri dari urat kuarsa-feldspar berlembar dan berasosiasi dengan As, W, Sb, Bi, dan Mo (Wall et al., 2004 dalam Robert et al., 2007).



Gambar. 2.3 Diagram yang menunjukkan model zonasi eksplorasi untuk sistem emas terkait intrusi, dengan penekanan pada sistem di Yukon-Alaska Tapi termasuk variasi dari provinsi sistem emas terkait intrusi (Dimodifikasi dari Lang *et al.* 2000)

Tabel 2.1 Kompilasi unsur kunci dari tipe endapan emas yang berhubungan dengan intrusi (Robert et al, 2007).

Klan	Deposit Type	Key of Ore-Forming Environments		Key manifestations of deposits (by increasing proximity)	Type Example	Selected References
		Regional Scale	Local Scale			
Reduced intrusion-related	Intrusion Hosted Mesozonal	- Reduced siliciclastic sequences - Belts of moderately reduced intrusions - Common association with W-Sn+/-Mo belts	- Equigranular multiphase moderately reduced granodiorite - granite stocks and batholiths	- Early K-feldspar and later sericite carbonate alteration - Occurrences of sheeted veins and veinlets - Au>Ag, Bi, As, W, Mo signature - Au : Bi correlation	Fort Knox, Vasilkovskoe	Thompson and Newberry (2000) Lang and Baker (2001) Hart (2005)
	Intrusion Hosted Epizonal	- Reduced siliciclastic sequences - Belts of moderately reduced intrusions - Common association with W-Sn+/-Mo and/or Sb belts	- High level dykes, sills, domes of generally reduced character - Major structures	- Pervasive clay and veinlet selvage ser-py - Occurrences of sheeted veins and veinlets - Au>Ag, As, Sb +/- Hg signature	Donlin Creek Kori Kollo Brewery Creek	Lang and Baker (2001) Goldfarb et al. (2004)
	Sediment Hosted Intrusion Related	- Faulted and folded reduced siliciclastic sequences - Granitic intrusions - Crustal-scale faults	- Folds and faults - Less permeable cap rock - Nearby temporally and spatially associated moderately reduced intrusions	- Early K-feldspar alteration, later ser-carbonate - Sheeted veinlets, stockwork disseminated, vein swarms - Au>Ag, Bi, As, W, Mo signature	Muruntau Kumtor Telfer	
Oxidized Intrusion Related	Au-rich Porphyry	- Calc-alkaline to alkaline magmatic arcs - Regional arc-parallel fault - Coeval volcanic cover not abundant	- Intersection with arc-transverse structures - Hornblende/biotite-bearing, magnetite-rich, steep-sided porphyry stocks - Hydrothermal breccias	Advanced argillic (upper parts) or propylitic (around) alteration - Stockwork veinlets in altered rocks - K-silicate alteration with magnetite-bearing veinlets - Au-Ag, Cu signature	Grasberg, Far Southeast, Cerro Casale, Batu Hijau	Sillitoe (2000a) Cooke et al. (2004) Seedorff et al. (2005)
	High (intermediate) sulfidation epithermal	- Calc-alkaline to alkaline arcs; andesitic to dacitic arcs - Regional arc-parallel fault - Preserved volcanic cover	- Volcanic dome-vent complexes - Intersection with arc-transverse structures - Diatreme; hydrothermal breccias	- Advanced argillic alteration - Vuggy silica alteration - Au-Ag, As, Cu, Sb, Bi, Hg signature	Yanacocha, Pierina, Veladero Pueblo Viejo Lepanto/Victoria	Hedenquist et al. (2000) Simmons et al. (2005)
	Low sulfidation epithermal Alkalic	- Extensional settings related to island arcs and rifts - Alkaline magmatic belts - Regional faults	- Alkaline intrusive complexes - Regional faults intersecting intrusive center or caldera - Breccias (in some cases)	- Extensive carbonate alteration - Proximal inner sericite/Kfeldspar alteration - Concentrations of Au occurrences - Au>Ag, Te, V, Pb, Zn signature	Cripple Creek Porgera Emperor Ladolam	Jensen and Barton (2000)
	Low sulfidation epithermal Subalkalic	- Intra-arc to back-arc, rift-related extensional settings - Subaerial bimodal volcanic suites (basalt-rhyolite)	- Extensional to strike-slip faults - Structural intersections - Rhyolite domes (in some cases)	- Propylitic to argillic alteration, grading inward to sericite/illite-adularia - Concentration of LS-type banded veins - Au<Ag, Zn, Pb, Cu, As Hg signature	Hishikari, Round Mountain, Pajingo, Cerro Vanguardia	Hedenquist et al. (2000) Gemmill (2004) Simmons et al. (2005)

2.4 Model Empiris dan Model Genetik Eksplorasi

Salah satu model empiris sistem endapan emas terkait intrusi reduksi dibuat dari hasil penelitian tipe endapan dan keterdapatannya di daerah Yukon dan Alaska (Gambar 2.4). Sistem mineralisasi emas terkait intrusi tereduksi (RIRGS) berkembang baik pada dan sekitaran potongan kecil intrusi yang berbentuk silinder mengintrusi batuan sedimen atau batuan metasediment. Sistem ini umumnya berkembang baik disekitar intrusi yang terisolasi berukuran kurang dari 2 km. Zona atap tepat di atas intrusi bisa juga termineralisasi khususnya di area luas yang kontak dengan batuan yang reaktif. Intrusi yang berbentuk silinder atau seperti atap kupola adalah geometri utama karena aliran fluida menjadi terpusat.

Kontrol struktural yang dominan pada RIRGS adalah ekstensi yang lemah yang membentuk susunan reatakan sejajar atau vein tipis dengan ketebalan 0,1-5 cm. Retakan soliter, *fissure*, dan vein pada zona geser terjadi di pluton, di hornfels, dan sejauh beberapa km dari pluton, dan dapat mengisi struktur yang aktif saat pembentukan ruang selama penempatan intrusi (Stephens *et al.*, 2004 dalam Hart, 2007).

Fitur terakhir yang mengendalikan mineralisasi di RIRGS adalah reaktivitas kimia *country rock* (Hart *et al.*, 2000a dalam Hart, 2007). Satuan batu gamping dalam zona *aureole* adalah lokasi yang jelas untuk pembentukan skarn, dan keberadaan skarn reduksi dapat mengindikasikan intrusi yang prospektif untuk endapan vein *sheeted* yang berinduk pada intrusi dalam sistem yang lebih besar. Umumnya asosiasi skarn adalah dominan scheelite, tetapi bisa tumpang tindih dengan peristiwa mineralisasi emas (Au) temperature rendah (Mair, 2005 dalam Hart, 2007). Batuan *hornfels*, variasi *calcareous*, dan batuan induk klastik adalah induk bagi mineralisasi arsenopirit kaya emas, baik sebagai *replacement*, atau dengan diopside \pm klorit \pm skarn actinolite yang dapat tersebar luas, terjadi beberapa kilometer jauhnya dari intrusi (Hart *et al.*, 2000a; Mair *et al.*, 2006a dalam Hart, 2007).

Area yang dipengaruhi oleh interaksi fluida dari intrusi penyebab dalam RIRGS umumnya terbatas pada batas zona hornfels, yang dapat memanjang

sejauh 3 km dari tepi intrusi. Paragenesis bijih, mineralogi, dan zonasi terkait dikontrol oleh suhu cairan selama pengendapan mineral dan interaksi fluida-batuan sampling. Dengan demikian, tahapan bijih menentukan berbagai kumpulan logam yang bervariasi dalam ruang dan waktu, berkembang dengan baik dengan jaraknya yang jauh dari intrusi, dan berubah sesuai dengan sifat *country rock*. Dalam paragenesis, tahap bijih paling awal seperti yang ditandai oleh Brown et al. (2002), dan Mair et al. (2006b) berada dalam skarn yang dikembangkan pada tepi intrusi. Fitur paragenesis vein diilustrasikan secara skematis pada Gambar 2.5 dan dirangkum oleh banyak penulis termasuk Maloof et al. 2001, Marsh et al., 2003, dan Mair et al., 2006b.

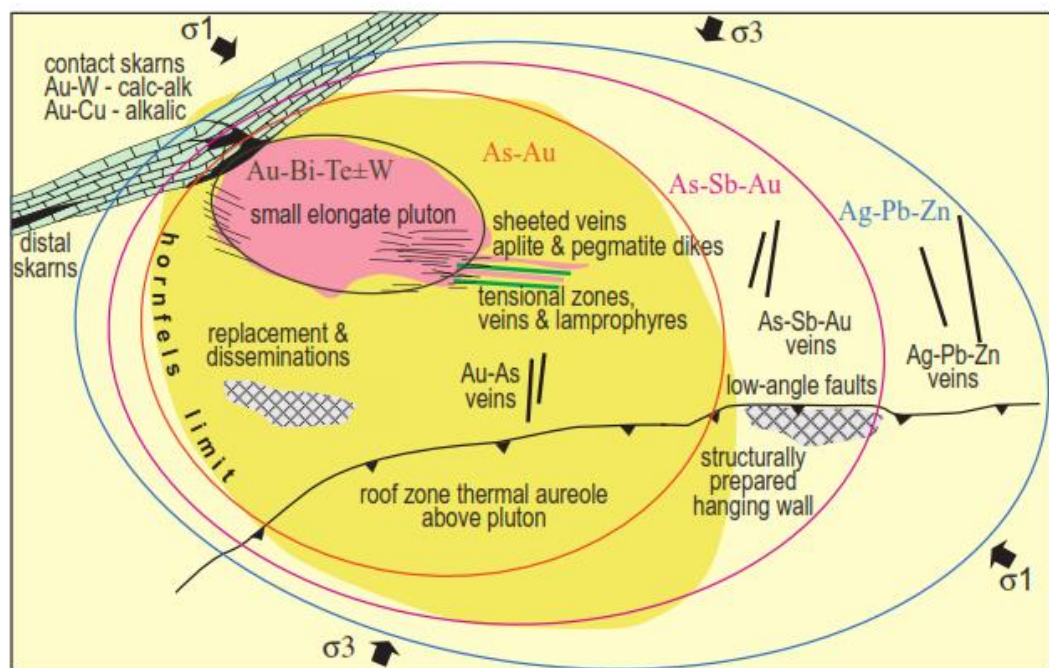
Tahap bijih awal didominasi oleh skarn piroksen-plagioklas diopsidik anhidrat suhu tinggi (650° C) yang secara lokal berisi scheelite. Suhu lebih rendah (420°C), dan kadang-kadang kumpulan skarn yang dominan biotit, zoisite, atau aktinolit mungkin mengandung *Au-bearing* di mana mereka mengandung sejumlah besar mineral sulfida. Kumpulan sulfida suhu tinggi didominasi oleh pirhotit >> kalkopirit, tetapi kumpulan suhu rendah didominasi oleh arsenopirit dengan berbagai mineral dan paduan Bi-Te-Sb-Pb-Au. Semua kumpulan silikat dengan sedikit garnet merupakan fitur dari skarn tereduksi (Meinert, 1998). Arsenopirit jauh lebih melimpah di vein yang berinduk di *country rock* (hingga 10% volume) dan umum dengan pirhotit dalam mineralisasi tipe *replacement*.

RIRGS secara geokimia dibedakan dari sistem mineralisasi terkait intrusi teroksidasi oleh dominasinya di Au berasosiasi dengan W, dan kurangnya anomali Cu. Bijih yang berinduk pada hornfels, yang mungkin berupa vein, diseminasi, atau tekstur penggantian, lebih kaya sulfida daripada bijih yang berinduk pada intrusi dan dicirikan oleh tingginya kandungan As berkorelasi dengan Au (Flannigan et al., 2000 dalam Hart 2007). Mineralisasi distal, yang terbentuk pada atau di luar batas hornfels didominasi oleh asosiasi geokimia kaya Pb-Ag-Zn atau Sb, dan biasanya terjadi sebagai vein yang mengisi sesar.

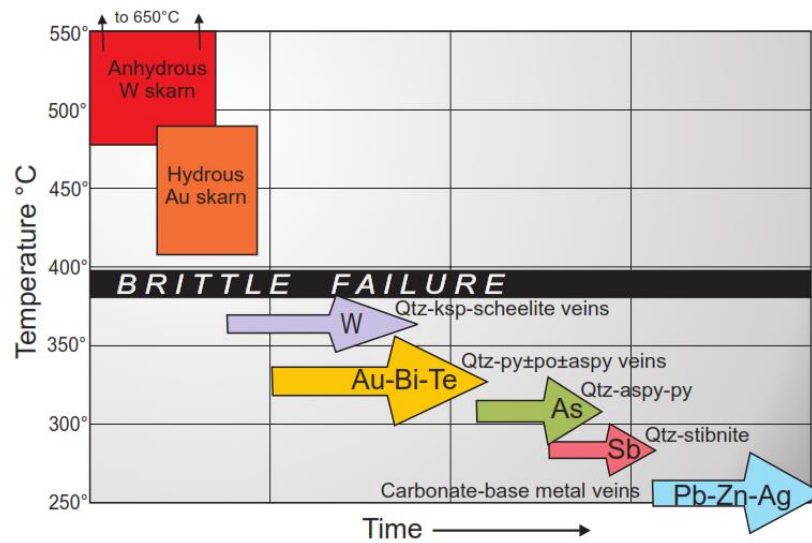
RIRGS biasanya menyimpan logam dalam tatanan intrusi-*hosted*, kontak, intrusi-proksimal, dan intrusi-distal, dan dengan demikian menunjukkan zonasi yang dapat diprediksi dari tipe endapan yang berbeda ke luar dari pusat

mineralisasi intrusi. Skarn dan tekstur penggantian umumnya intrusi proksimal dengan peningkatan kontrol struktural pada mineralisasi yang lebih *distal*. Ada juga zonasi vertikal skala kerak dengan kejadian epizonal terbentuk pada tingkat yang lebih dangkal.

Tanda logam yang dapat diprediksi mengembangkan zonasi skala luas di sekitar dan di atas pusat intrusi terutama karena efek gradien termal yang curam pada kimia fluida. Gradien dan zona logam lebih curam di sisi intrusi dan dikembangkan secara luas di atasnya. Emas (Au) serta tungsten (W) dapat membentuk bijih tetapi Au tidak secara langsung berkorelasi dengan W. Bismut dan *tellurium* diperkaya dengan bijih Au yang berinduk pada intrusi dan berkorelasi dengan Au. Pengayaan arsenik mencirikan mineralisasi yang berinduk pada *hornfels* dan membentuk anomali geokimia skala regional.



Gambarr. 2.4 Model umum mendatar dari Endapan terkait Intrusi tereduksi (RIRGS) dari Provinsi Emas Tintina. Yang perlu diperhatikan adalah luasnya berbagai tipe mineralisasi dan variasi geokimia yang dapat diprediksi ke arah luar dari pusat intrusi. Skala tergantung pada ukuran intrusi yang tersingkap, yang kemungkinan akan berkisar dari diameter 100 m hingga 5 km (Hart et al., 2002 dalam Hart, 2007).



Gambar. 2.5 Paragenesis skematik dari jenis yang berkembang dan asosiasi logam mineralisasi dalam pendinginan yang khas tipe RIRGS. Selain waktu, sumbu bawah juga bisa mewakili jarak dari sumber cairan sehingga vein As-Sb- dan Ag-Pb-Zn hampir secara eksklusif berada di luar intrusi (Brown et al., 2002, Mair et al., 2006b, Maloof et al., 2001, Marsh et al., 2003, dalam Hart, 2007).