

## PENGEZONAN BATUAN DAN PENABURAN MINERAL BIJIH DALAM LONGGOKAN SKARN DI BUKIT BOTAK: KAJIAN DARI SEGI PETROLOGI, MINERALOGI BIJIH DAN GEOKIMIA

S.H. Goh<sup>1</sup>, G.H. Teh<sup>2</sup> & Mohd Rozi Bin Umor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Geologi, Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam  
Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600, Bangi, Selangor

&  
<sup>2</sup>Department of Geology  
Universiti Malaya  
50603 Kuala Lumpur

**Abstrak:** Kajian pengelasan longgokan skarn di Bukit Botak dilakukan dengan berdasarkan data petrologi, mineralogi bijih dan geokimia. Secara keseluruhannya, longgokan ini boleh dikelaskan kepada jenis skarn kalsik yang biasanya didominasi dengan piroksen, wollastonit dan garnet. Lubang gerudi M15 sedalam 391 m dipilih dari bahagian zon A yang kaya dengan Cu dan Au. Sebanyak 36 sampel keratan nipis dan 32 sampel irisan gilap telah disediakan untuk kajian petrologi dan mineralogi bijih. Sebanyak 58 sampel telah dipilih untuk analisis AAS dan ICP bagi 17 unsur logam yang utama. Skarn yang dicerap dalam lubang gerudi M15 dapat dibahagikan kepada dua bahagian, bahagian A yang kaya dengan mineral bijih (45 – 65 %) dan bahagian B yang kurang mineral bijih (3 -15 %). Bahagian A terdiri sepenuhnya daripada eksoskarn piroksen (zon 1), dan bahagian B dibahagikan kepada empat zon yang utama, zon 2 dan zon 3 terdiri daripada hornfels dan hornfels yang kaya kuarza. Zon 4 adalah terdiri daripada skarnoid yang nipis dan zon 5 adalah jenis eksoskarn garnet yang berselang lapis dengan hornfels. Manakala zon 6 merupakan batuan batolitos metasedimen bagi skarn ini, iaitu batuan filit yang berasal dari Lapisan Seri Jaya. Hasil kajian menunjukkan kebanyakan mineral bijih menumpu dalam zon eksoskarn piroksen berbanding dengan eksoskarn garnet dan hornfels. Emas didapati wujud dalam kepekatan yang tinggi dalam eksoskarn piroksen dan sangat sedikit dalam eksoskarn garnet dan hornfels. Manakala, kehadiran timah adalah tertumpu dalam hornfels sahaja, dan tidak di kesani dalam eksoskarn piroksen. Di samping itu, Satu model pembentukan batuan skarn telah dicadangkan bagi longgokan Bukit Botak, ia terdiri daripada 5 peringkat yang utama, iaitu I) penerobosan magma yang menghasilkan hornfels; II) penyusupan larutan hidroterma yang membentuk endoskarn dan eksoskarn piroksen; III) penyusupan yang seterusnya membentuk proksimal eksoskarn garnet; IV) penyejukan berlaku dan proses “retrograde” bermula, mineral mula mengendap; V) pengendapan emas dalam telentang.

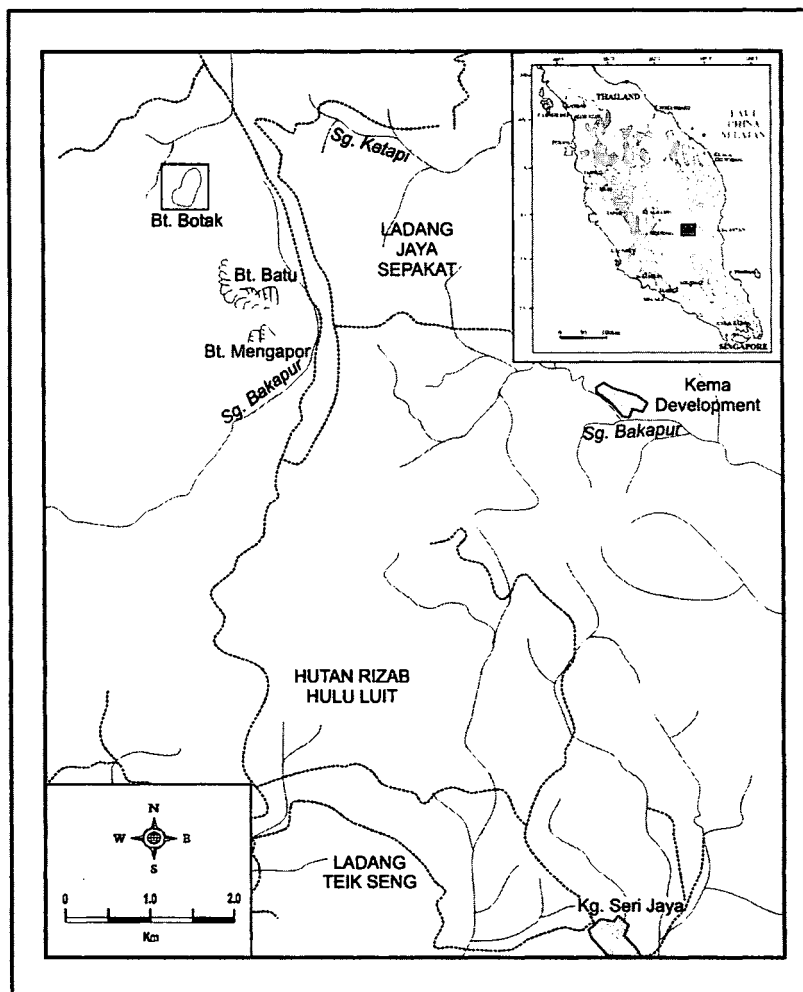
**Abstract:** Categorization study at Bukit Botak skarn deposit is based on petrology, ore mineralogy and geochemical studies. Generally, the deposit can be categorized as calcic skarn which is dominated by pyroxene, wollastonit and garnet. A borehole M15 as deep as 391 m was selected from zone A which is rich with Cu and Au. 36 samples of thin sections and 32 samples of polished thin sections were prepared for petrology and ore mineralogy studies. Among all the samples, 58 samples were selected for AAS and ICP analysis on key metal elements. The observed skarn of borehole M15 can be divided into 2 sections, section A is rich of ore minerals (45 – 65%) and section B is lack of ore minerals (3 -15 %). Section A is mainly includes pyroxene exoskarn (zone 1) whereas section B is inclusive of 4 key zones. Zone 2 and 3 are hornfels and quartz-rich hornfels. Zone 4 is thin skarnoid and zone 5 is type of garnet exoskarn interbedded with hornfels. Zone 6 is metasedimentary batholiths of the skarn, which is phyllite from Seri Jaya Beds. The study showed that most ore minerals are distributed in pyroxene exoskarn compared to garnet exoskarn and hornfels. Similarly, gold is found with high concentration in pyroxene exoskarn and minor in garnet exoskarn and hornfels. Meanwhile, tin is distributed in hornfels only and almost not found in pyroxene exoskarn. On the other hand, a model of skarn formation is proposed for Bukit Betake deposit. It contains 5 important stages as following, I) the intrusion of pluton form hornfels; II) infiltration of hydrothermal forms endoskarn and pyroxene exoskarn; III) further infiltration forms proximal garnet exoskarn; IV) cooling effect encourages retrograde process and precipitation of ore minerals; V) gold precipitate in veins.

### PENGENALAN

Longgokan skarn Bukit Botak atau lebih dikenali sebagai Longgokan Bukit Mengapor terletak sejauh 20 km ke arah utara dari pekan Maran (Rajah 1). Ia merupakan longgokan skarn yang paling besar di Semenanjung Malaysia pada masa kini. Longgokan ini telah diterokai oleh Jabatan Kajibumi Malaysia (GSM)

pada tahun 1981, dan kajian yang seterusnya dilakukan pada tahun 1986, 1990 dan 1993. Malaysia Mining Corporation Berhad. (MMC) juga turut menjalankan kajian eksplorasi yang menyeluruh pada tahun 1983 sehingga 1988, dengan empat fasa eksplorasi yang membelanjakan RM 22.5 juta.

Longgokan logam bes di Bukit Botak terbentuk dalam skarn piroksen-garnet, dengan penerobosan batuan granitoid (Lepar Granodiorit) ke dalam jujukan batu kapur dan syal yang berusia Permian. Selang lapis batuan



Rajah 1: Peta lokasi kawasan kajian di Bukit Botak, Pahang.

volkanik yang dinamakan sebagai tuff Luit juga wujud dalam jujukan batuan Permian ini. Rajah 2 menunjukkan peta geologi dan struktur bagi kawasan kajian dan sekitarnya.

Menurut Kajian GSM, satu anomali yang agak berpotensi telah dijumpai dan ditandakan sebagai anomali GC 8108 dengan keluasan 260 km persegi. Ia merupakan anomali pelbagai unsur Pb-Zn-Cu-Mo-Sn, dengan anomali yang lebih rendah dalam Fe-W-As. Berdasarkan kehadiran anomali Cu-Mo yang ketara di kawasan ini, Lee (1990) menafsirkan longgokan ini sebagai longgokan skarn profir yang berasosiasi rapat dengan retakan isian molibdenum.

MMC (1987) telah membahagikan longgokan skarn ini kepada tiga zon yang utama berdasarkan kepada keputusan data lubang gerudi. Zon A terletak di bahagian tenggara Bukit botak, meliputi kawasan seluas 66 hektar dan terdiri dari skarn yang kaya dengan Cu-Au. Zon B terletak di bahagian barat-daya Bukit Botak, terdiri daripada skarn yang kaya dengan Cu-Ag dan meliputi keluasan 36 hektar. Zon C pula terletak di bahagian utara Bukit Botak dan terdiri daripada tanah atau gossan yang kaya dengan Cu-Ag, ia meliputi kawasan seluas 61 hektar.

Rajah 3 menunjukkan pembahagian zon di sekitar kawasan Bukit Botak dan juga lokasi lubang gerudi yang dipilih dalam kajian (Gunn, et. al., 1993).

## KAEDAH KAJIAN

Sebanyak 165 lubang gerudi telah digali oleh MMC di sekitar kawasan longgokan Bukit Botak, dengan jumlah panjang 51,725.93 m teras gerudi yang telah dikumpul. Dalam kajian ini, dua lubang gerudi telah dipilih dari zon A disebabkan zon ini adalah zon yang kaya dengan Au berbanding dengan zon lain. Lubang gerudi lain yang terletak di atas zon B dan zon C juga dirujuk dalam kajian ini, seperti yang dikaji oleh Enggong (2004) dan MMC (1987) (Rajah 3).

Kajian ini dilakukan dari segi pengenalan litologi, petrologi, mineralogi bijih dan geokimia. Sebanyak 36 sampel keratan nipis telah di kutip dari lubang gerudi M15 untuk kajian petrologi, sampel ini dipilih dari teras sampel yang mempunyai sifat-sifat yang berlainan. Di samping itu, 32 sampel gilapan nipis juga dipilih untuk kajian mineralogi bijih.

## Pengezonan Batuan Dan Penaburan Mineral Bijih Dalam Longgokan Skarn Di Bukit Botak

Kajian geokimia dilakukan dengan kaedah AAS dan ICP, sebanyak 58 sampel telah dikutip dari lubang gerudi M15 untuk analisis kandungan unsur major dan unsur minor. Unsur yang dianalisis dengan kaedah AAS-ICP adalah termasuk Au (emas), As (arsenik), Bi (bismut), Sn (timah), Ni (nikel), Mo (molibdenum), Fe (besi), Cr (Kromium), Co (Kobalt), Sb (antimoni), Mn (mangan), W (tungsten), Zn (zink), Cu (kuprum), Pb (plumbum), Ag (perak) dan U (Uranium). Analisis korelasi di antara unsur-unsur ini dilakukan dengan menggunakan program komputer STASTICA, untuk mengetahui corak taburan dan kadar asosiasi antara unsur-unsur ini.

### PERBINCANGAN

Perbincangan dibahagikan kepada dua bahagian, iaitu pengezonan longgokan skarn di Bukit Botak dan korelasi analisis bagi unsur-unsur logam. Berdasarkan kepada keputusan di atas dan juga hasil kajian yang dilakukan oleh Enggong (2004) dan MMC (1987), satu model pembentukan skarn bagi kawasan Bukit Botak dihasilkan.

### LUBANG GERUDI M15

Lubang gerudi M15 terletak pada 6112 U dan 42609 T, 550 m ke arah SST dari puncak Bukit Botak, ia digerudi secara tegak dari permukaan sehingga mencapai kedalaman 391 m, teras gerudi yang dapat dikumpul adalah sepanjang 291 m bermula dari kedalaman 100 m ke 391 m.

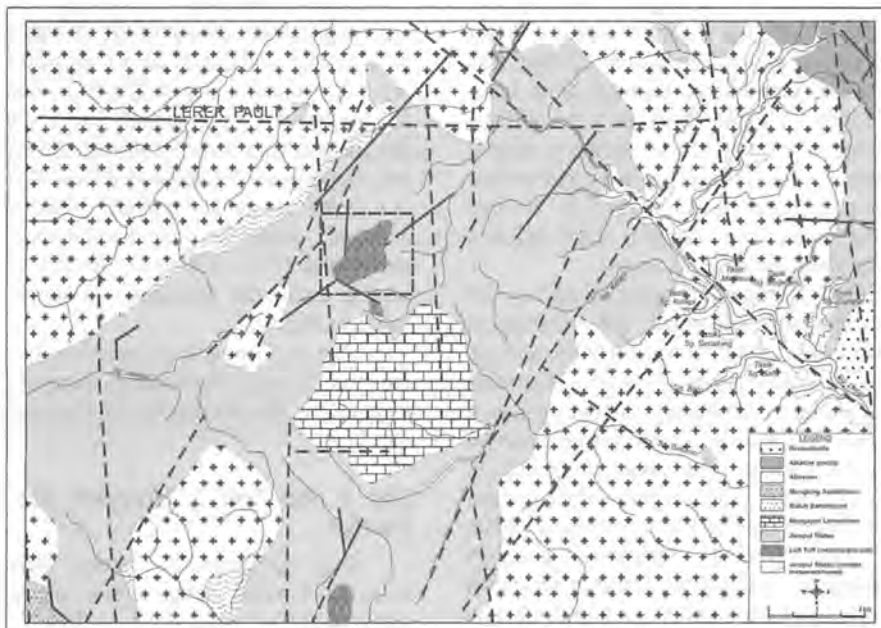
Bahagian atas lubang gerudi ini adalah terdiri daripada tanah terluluhawa dan bahan gossan yang longgar, justeru itu tiada sampel yang dapat dikutip. Bahagian yang bawah didominasi oleh skarn-diopsid dan

diikuti oleh hornfels, skarnoid dan skarn-garnet. Lapisan skarn-diopsid adalah lebih tebal berbanding dengan lapisan skarn-garnet dan hornfels, ketebalan maksimum yang dijumpai adalah 100 m. Manakala, skarn-garnet biasanya nipis dan berjulat dari 2 hingga 8 m dan sering kali terletak di bahagian bawah zon skarn-diopsid. Sebahagian dari skarn adalah bersaiz halus dan berada di antara hornfels metamorf tulin dan skarn metasomatik bersaiz kasar, maka ia dikenali sebagai skarnoid. Ia adalah nipis (3 - 13 m) dan sering kali berselang lapis dengan batuan hornfels yang agak tebal, berjulat dari 8 m sehingga 53 m. Selain daripada itu, satu lapis batuan filit setebal 8 m juga dijumpai pada kedalaman 380 m. Ia ditafsirkan sebagai batuan batolitos sedimen kepada hornfels dan skarn yang disebut di atas. Rajah 4 menunjukkan penerangan bagi batuan dalam lubang gerudi M15 dari segi litologi, petrologi, mineralogi bijih, geokimia, dan juga jenis longgokan batuan dan corak penaburan emas dalam batuan. Manakala, Rajah 5 menunjukkan corak penaburan unsur-unsur logam dalam lubang gerudi M15.

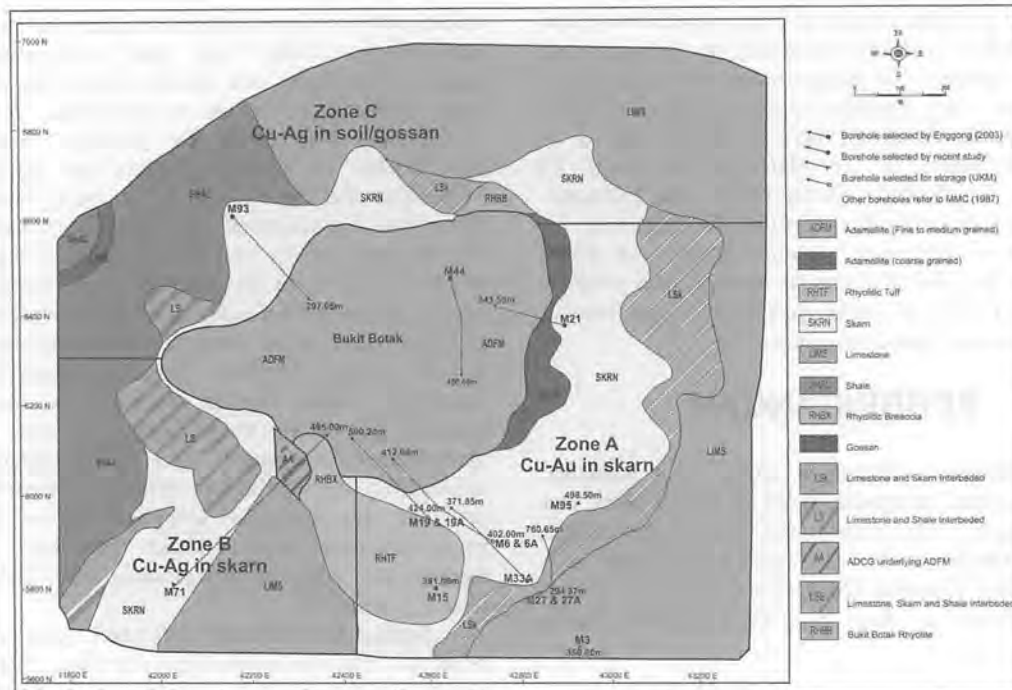
Berdasarkan tafsiran dari data yang dikumpul, sebanyak enam zon batuan dapat dibezakan dalam lubang gerudi ini. Batuan dalam setiap zon ini mempunyai sifat-sifatnya yang tersendiri dan akan dibincang secara berasingan.

#### Zon 1: Eksoskarn Piroksen

Zon ini terletak pada bahagian yang paling atas dalam longgokan, iaitu pada kedalaman 100 sehingga 201 m. Zon ini biasanya terdiri daripada batuan yang berwarna kelabu kehijauan dan kelabu keperangan, bersaiz sederhana dan mengandungi kandungan mineral bijih yang tinggi, dari 45 hingga 65 % yang berwarna kuning gangsa dan kuning emas (Rajah 6). Zon ini juga sering



Rajah 2: Peta geologi dan struktur di kawasan kajian, Bukit Botak, Pahang (selepas Lee, 1990).



Rajah 3: Peta geologi lubang gerudi yang menunjukkan pembahagian zon dan juga lokasi lubang gerudi yang dikaji atau dirujuk (selepas MMC, 1987).

dipotong oleh telerang karbonat yang terdiri daripada kalsit dan dolomit, berjulat dari beberapa cm sehingga ke 60 cm tebal.

Dari segi petrologi, batuan ini didominasi dengan kuarza (20 - 30 %), diopsid (10 - 15 %), wollastonit (3 - 10 %), andalusit, staurolit, tremolit dan klorit. Ia juga mengandungi sedikit talkum, vesuvianit, augit, epidot dan mineral mika yang lain. Terdapat dua jenis telerang kuarza yang dapat dikenali dalam zon ini, iaitu telerang fasa awal yang terdiri daripada kuarza berbutiran kasar dan mengandungi sedikit mineral bijih, dan telerang fasa kedua yang terdiri daripada kuarza berbutir lebih halus dan berasosiasi dengan karbonat. Piroksen yang terdapat dalam zon ini hampir semuanya terdiri daripada diopsid dengan sedikit hedenbergit. Mineral ini biasanya bersaiz dari sederhana sehingga kasar, berjulat dari 0.2 - 1.4 mm (Rajah 7). Ia biasanya akan ditindih oleh mineral wollastonit, tremolit dan juga mineral legap.

Kajian mineral bijih menunjukkan zon ini didominasi oleh pirotit, diikuti oleh pirit, kalkopirit, sfalerit, magnetit, arsenopirit, molibdenum, stibnit, telurid dan bismutinit. Mineral reja adalah terdiri daripada kuarza, karbonat mineral skarn dan mineral perubahannya. Dua generasi pirotit dapat dikenali dalam zon ini, iaitu pirotit generasi awal meliputi peratus mineral bijih yang paling banyak dalam zon ini dan didapati sentiasa berasosiasi dengan arsenopirit. Pirotit generasi kedua sering dijumpai dalam telerang kuarza dan karbonat. Kalkopirit biasanya dijumpai dalam kumpulan yang masif, butiran tersendiri atau wujud secara eksolusi dengan sfalerit. Selain daripada itu, sfalerit juga dijumpai dalam kumpulan yang masif, butiran tersendiri dan juga butiran yang bertaburan rawak. Magnetit dijumpai agak banyak dalam zon ini.

wujud secara kumpulan yang masif dan tumbuh dalam celah-celah mineral skarn. Magnetit sering dipotong oleh pirotit dan kalkopirit, yang menunjukkan pembentukan mineral ini adalah lebih awal daripada pirotit dan kalkopirit. Pirit pula dijumpai mengalami penggantian oleh pirotit dan kalkopirit dan menunjukkan pembentukan pada fasa awal dalam proses pembentukan mineral sulfida (Rajah 8).

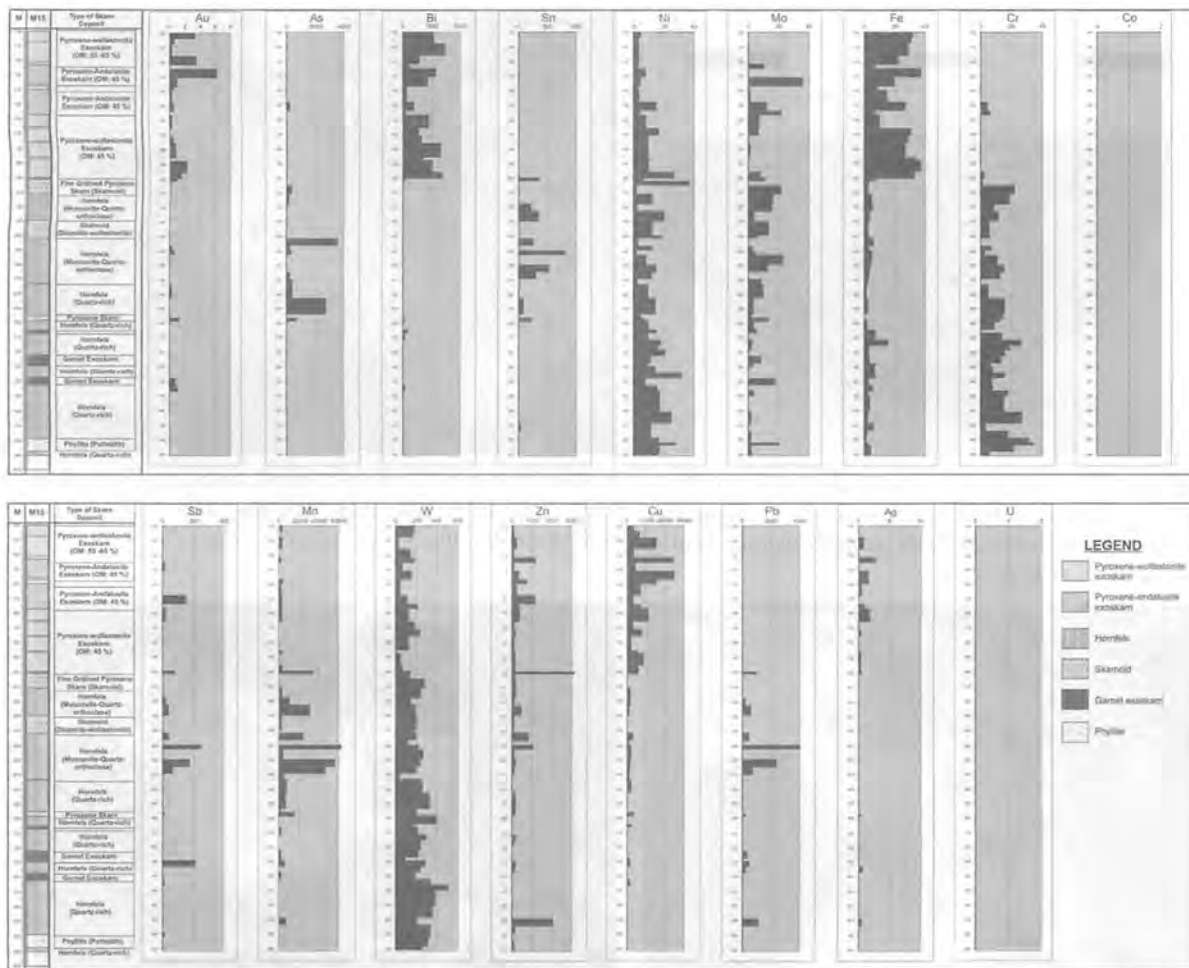
Pada kedalaman 123 hingga 156 m, terdapat satu lapisan piroksen eksoskarn yang berketebalan 33 m dan kaya dengan andalusit (20 %), diopsid (15 %) staurolit (5 %) dan mineral legap (55 %). Zon ini mencatatkan kandungan Au yang sangat tinggi sehingga 6.263 ppm dan merupakan zon anomali bagi Au dalam lubang gerudi ini. Keputusan ini menunjukkan, kehadiran Au dalam eksoskarn mungkin berkait rapat dengan kehadiran andalusit. Andalusit yang hadir biasanya wujud sebagai porfiroblas (0.5 - 1.8 mm), dengan keratan rentas yang bersegi empat dan mengandungi kepungan karbonat yang banyak (Rajah 9).

Zon ini mengandungi kandungan Fe, Cu, Bi, Ag dan Au yang tinggi berbanding dengan zon lain, diikuti dengan Zn, Mo, Ni dan W yang sederhana dan sedikit Sb dan Mn.

### Zon 2 dan Zon 3: Hornfels dan Hornfels Kaya Kuarza

Bagi pembentukan batuan skarn, batuan asalnya mestilah bersifat telap untuk membenarkan bendalir metasomatik melaluinya. Jika batuan asalnya tidaktertelap, maka proses metamorfisme terma akan berlaku dan membentuk batuan hornfels. Di samping pembentukan skarn dalam batuan karbonat dari Lapisan

## Pengezonan Batuan Dan Penaburan Mineral Bijih Dalam Longgokan Skarn Di Bukit Botak



Rajah 5: Corak penaburan 17 unsur logam dalam lubang gerudi M15, longgokan Bukit Botak.

Seri Jaya, hornfels juga terbentuk dalam batuan syal berkapur yang tidak telap. Batuan ini biasanya berwarna kelabu, kelabu cerah dan kelabu kehijauan dan berbutiran halus (Rajah 10).

Terdapat dua jenis hornfels yang dapat dikenali dalam jujukan batuan ini. Hornfels pertama yang dikenali sebagai zon 2 (201 - 273 m) adalah didominasi oleh muskovit, kuarza dan ortoklas, dan sedikit biotit dan talkum (Rajah 11). Kandungan mineral bijih adalah sangat sedikit dalam zon ini, meliputi 3 hingga 15 % daripada batuan. Secara umumnya terdiri daripada pirotit, kalkopirit, kasiterit, sfalerit, stibnit, galena dan molibdenit. Zon ini biasanya berselang lapis dengan lapisan skarnoid yang nipis dan berada di antara zon piroksin eksoskarn dan garnet eksoskarn.

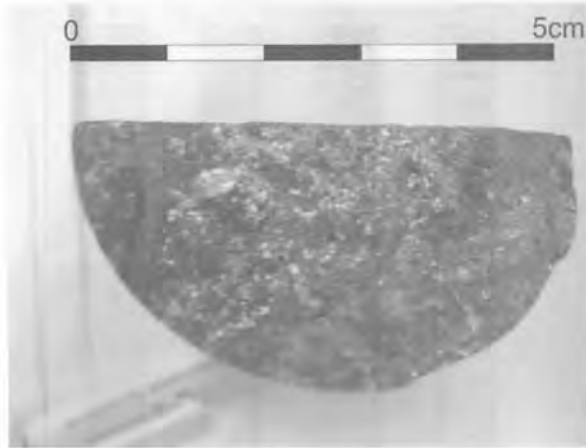
Zon 3 (273 - 322 m) adalah terdiri daripada batuan hornfels yang kaya dengan kuarza, dengan isipadu berjulat 65 hingga 85 %. Terdapat dua jenis kuarza yang berbeza, pertama yang bersaiz butiran halus dan wujud bersama-sama dengan matrik hornfels yang lain. Keduanya bersaiz butiran kasar dan sentiasa wujud dalam kumpulan yang masif, membentuk tekstur seperti porfiroblas. Zon hornfels ini mengadungi kandungan logam bijih yang lebih rendah berbanding dengan zon 2, berjulat dari 3 hingga 5 %. Mineral bijih yang didapati

cuma terdiri daripada pirotit, sfalerit dan molibdenit. Kasiterit, galena dan stibnit yang dapat dijumpai dalam zon 2 hampir tidak wujud dalam zon ini.

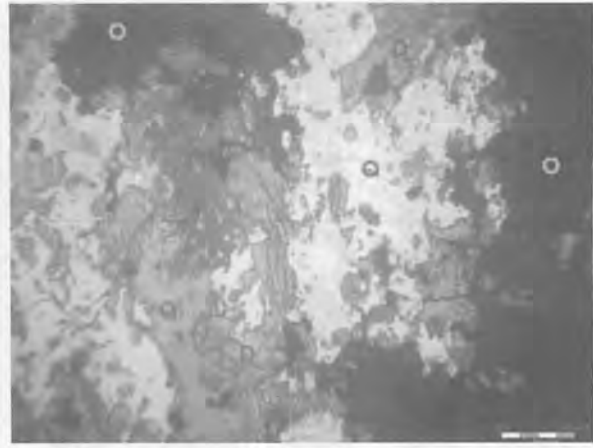
Hasil kajian geokimia menunjukkan unsur seperti As, Sn, Sb dan Pb hanya hadir dalam kedua-dua zon ini sahaja terutamanya dalam zon 2, unsur-unsur ini tidak dijumpai dalam zon lain. Manakala Au, Bi, Cu dan W adalah sangat sedikit dalam kedua-dua zon ini.

### Zon 4: Skarnoid

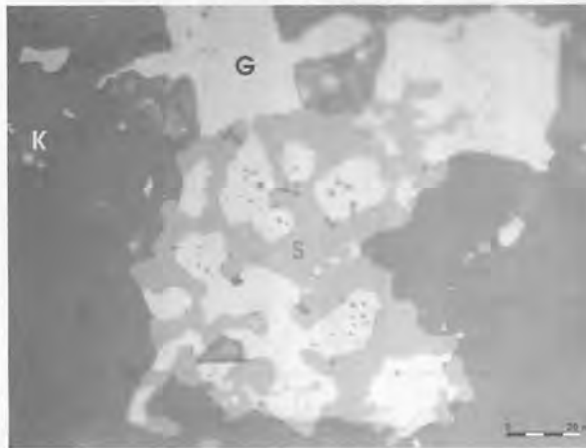
Skarnoid adalah batuan yang terbentuk hasil dari proses metamorf dan metasomatik. Kawasan Bukit Botak telah mengalami kedua-dua proses ini dan menghasilkan batuan skarnoid yang berbutiran halus, dan biasanya wujud dalam lapisan yang nipis dan terselit dalam batuan hornfels. Batuan ini biasanya berwarna perang kelabu dan hijau kelabu, dengan komposisi mineral terdiri daripada kuarza, ortoklas, kalsit, diopsid, wollastonit dan sedikit garnet dan epidot. Kandungan mineral bijih adalah hampir sama dengan batuan hornfels yang mengepungnya, begitu juga dengan sifat geokimia yang tidak menunjukkan sifat yang menonjol, disebabkan lapisan skarnoid ini adalah nipis dan berketebalan dari 3 hingga 13 m.



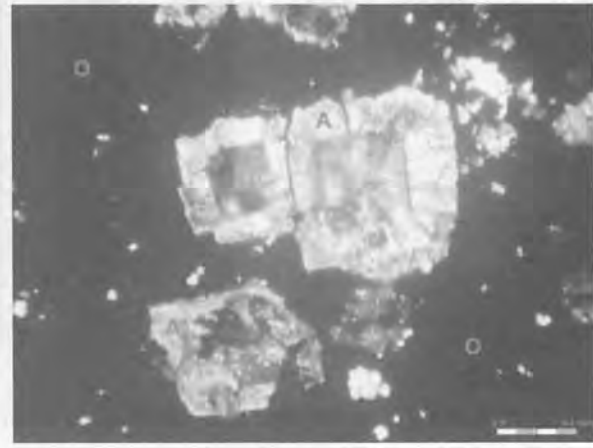
**Rajah 6:** Sampel tangan piroksen eksoskarn (104 m) yang berwarna kelabu kehijauan, mengandungi kandungan 65 % mineral bijih yang berwarna kuning gangsa dan kuning keemasan.



**Rajah 7:** Diopsid (D) dalam matrik kuarza (Q) yang diisi oleh mineral legap (O), sample dari M15, pada kedalaman 102 m.



**Rajah 8:** Mineral gratonit (G) yang baru dikenali di kawasan kajian, menunjukkan eksolusi dengan sfalerit (S), kalkopirit (K) wujud dalam bentuk yang halus dan bertaburan, pada kedalaman 201 m.



**Rajah 9:** Bentuk andalusit (A) yang tipikal, porfiroblas dengan keratan rentas yang hampir bersegi empat dan berbentuk intan dikepungi oleh mineral legap (O), perhatikan terdapat banyak kepungan yang memusat pada zon segi empat pada bahagian tengah hablur, kedalaman 133 m.

### Zon 5: Eksoskarn Garnet

Zon garnet ini terletak pada kedalaman 322 hingga 342 m, terdiri daripada lapisan yang nipis (2 hingga 8 m) dan berselang lapis dengan batuan hornfels yang kaya-kuarza. Batuan ini biasanya berwarna perang, perang kemerahan dan kehijauan, didominasi oleh garnet (20 - 70 %), diopsid, wollastonit, kuarza dan kalsit. Garnet yang dijumpai dalam batuan ini adalah jenis grosular dan andradit. Kadang-kala, kedua-dua jenis garnet ini wujud bersama dalam satu hablur garnet, di mana grosular membentuk terasnya yang isotropik dan andradit membentuk pinggirnya yang bersifat birefrigen (Rajah 13). Garnet yang berwarna perang dan perang kemerahan menunjukkan bahawa masa pembentukan skarn adalah panjang, di mana hablur garnet telah mengalami beberapa fasa pengulangan kimia semasa pertumbuhan garnet

(Szumigala, 1987). Sebagai contoh, garnet perang yang kaya dengan besi terbentuk sebelum garnet perang yang kurang besi, dan proses ini akan berulang.

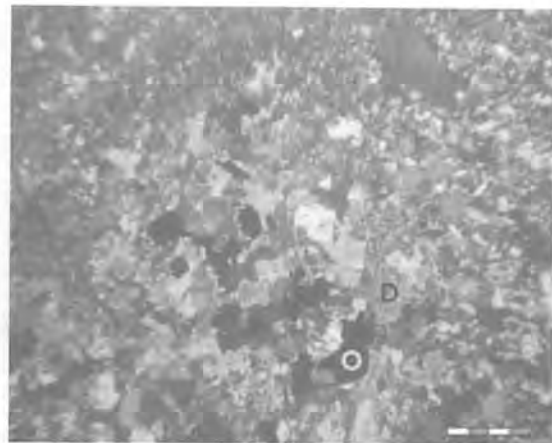
Mineral bijih hanya terdiri 10 % daripada batuan ini, biasanya berwarna perak kelabu dan terdiri daripada pirotit, kalkopirit, sfalerit, galena, stibnit dan molibdenum. Hasil kajian geokimia menunjukkan zon ini mengandungi tungsten, nikel dan kromium yang agak tinggi. Sedikit Au, Sn, Sb dan Cu juga dikesan dalam batuan ini.

### Zon 6: Batuan Metasedimen

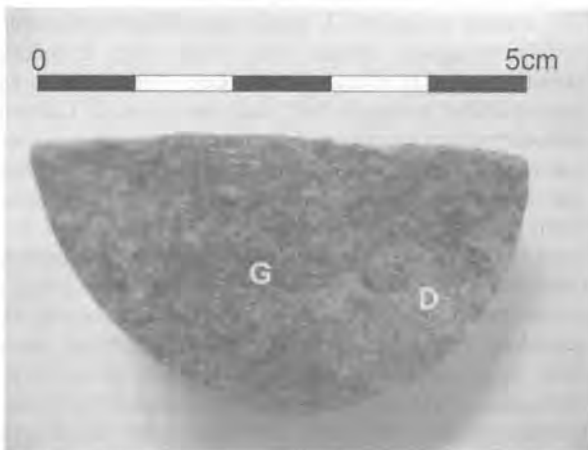
Batuan metasedimen yang dijumpai dalam lubang gerudi ini adalah sangat nipis, berketebalan 8 m dan terletak di bahagian bawah antara kedalaman 379 m sehingga 387 m. Kedudukan yang begitu hampir dengan batuan rejahan dan juga kehadiran hornfels pada bahagian atas dan bawahnya mencadangkan bahawa lapisan ini



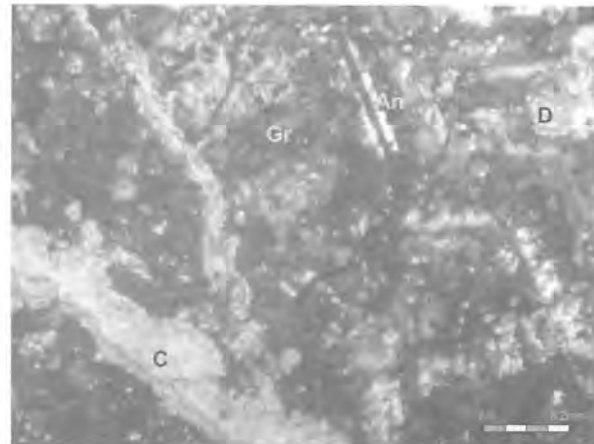
**Rajah 10:** Sampel hornfels dari zon 2, pada kedalaman 257 m, perhatikan kandungan mineral bijih adalah kurang dalam batuan ini (3-15 %).



**Rajah 11:** Batuan ini didominasi dengan kriptohablur yang terdiri daripada kuarza, muskovit, biotit, kalsit dan dolomit. Perhatikan sedikit diopsid (D) wujud di bahagian tengah gambar ini, sedikit mineral legap (O) yang wujud bertaburan di sekitar diopsid.



**Rajah 12:** Sampel garnet eksoskarn pada kedalaman 307 m, perhatikan bahagian yang berwarna perang kemerahan adalah terdiri daripada garnet (G) dan bahagian hijau adalah terdiri daripada piroksen (D).



**Rajah 13:** Grosular (garnet) yang kasar, dipotong oleh beberapa set telerang karbonat (C) yang beralun, diopsid bersaiz (D) halus biasanya dikepong dalam jasad garnet. Perhatikan grosular (Gr) membentuk teras yang isotropik dan andradit (An) membentuk pinggirnya yang birefringen. Sampel dari 342 M.

adalah batuan metasedimen yang terlindung daripada proses metasomatik disebabkan oleh ketebalannya dan juga ketaktelapannya.

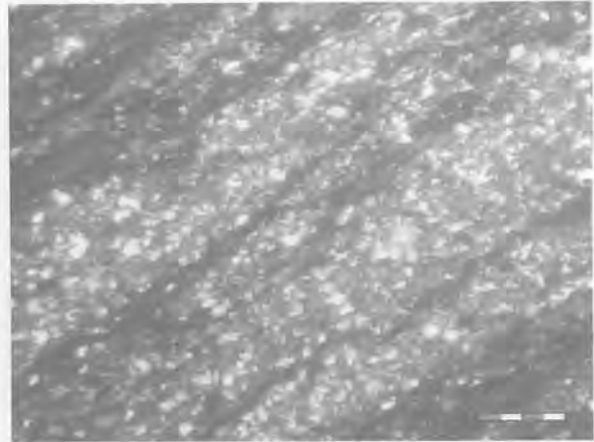
Batuan filit ini berwarna kelabu hingga kelabu gelap, terdiri daripada muskovit, serisit dan kuarza yang bersaiz butiran halus dan teratur selari dalam foliasi bergelombang (Rajah 14 dan 15). Kandungan mineral bijihnya adalah sangat kurang, sekitar 3 % dan terdiri daripada pirotit, sfalerit dan molibdenum. Secara geokimia, batuan ini mengandungi kandungan W, Ni, dan Cr yang agak tinggi. Walaubagaimanapun, Au, As, Sn, Cu dan Ag tidak dapat dikesan dalam zon ini.

## MODEL PEMBENTUK SKARN DAN MINERAL BIJAH DI BUKIT BOTAK

Berdasarkan hasil kajian penulis dalam pengenalan zon-zon batuan skarn di longgokan Bukit Botak, dan juga rujukan dari Lee (1990) mengenai geologi dan geologi struktur di kawasan ini, maka satu model pembentukan skarn dihasilkan. Ia dapat dibahagikan kepada lima peringkat yang utama, iaitu I) penerobosan magma yang menghasilkan hornfels; II) penyusupan larutan hidroterma yang membentuk endoskarn dan eksoskarn piroksen; III) penyusupan yang seterusnya membentuk proksimal eksoskarn garnet; IV) penyejukan berlaku dan



**Rajah 14:** Batuan filit yang berfoliasi pada kedalaman 379 m.



**Rajah 15:** Batuan filit yang mengandungi muskovit, kuarza dan sedikit ortoklas yang bertabur selari dalam foliasi bergelombang.

proses merosot (retrograde) bermula, mineral mula mengendap; V) pengendapan emas dalam telang. Model pembentukan skarn dan mineral di Bukit Botak seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 16.

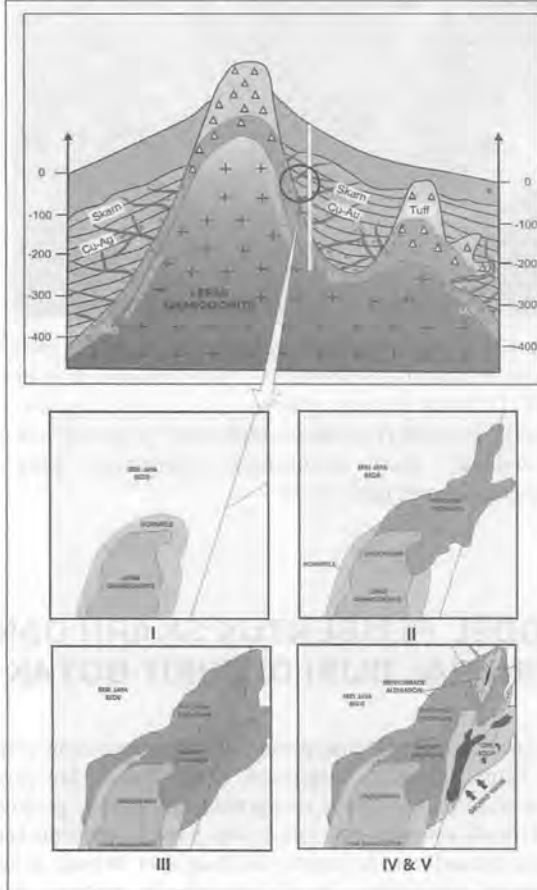
Pada peringkat I, Granodiorit Lepar menerobosi batuan metasedimen semasa Trias-Tengah. Suhu yang tinggi menyebabkan berlaku metamorfisme terma pada

batuan Lapisan Seri Jaya dan proses isokimia berlaku. Syal berkapur yang tidak telap diubah kepada hornfels dan batuan karbonat diubah kepada marmar.

Dalam peringkat II, penyusupan hidroterma terus berlaku mengikut retakan atau sesar yang terbentuk akibat tegasan dari arah BUB (Lee 1990), dan juga tegasan akibat pengangkatan jasad penerobosan. Larutan hidroterma juga menyusup dalam sempadan sedimen atau zon-zon lain yang telap. Larutan hidroterma ini bentuk zon endoskarn dan eksoskarn, membentuk himpunan skarn-progred yang terdiri daripada garnet-piroksen dan sedikit amfibol akibat tindakbalas proses metasomatik (Meinert, 1998). Zon endoskarn terletak pada pinggir batuan penerobosan, manakala eksoskarn terbentuk di sekeliling zon telap metasedimen, lingkarannya akan terus mengembang sekiranya larutan hidroterma terus dibekalkan. Pada pinggir liputan metasomatik ini, batuan berbutiran halus yang mirip dengan hornfels tetapi kaya dengan piroksen terbentuk. Ia adalah zon skarnoid (zon 4) seperti yang dijumpai dalam lubang gerudi M15.

Pada peringkat III, penyusupan larutan hidroterma yang seterusnya menyebabkan pembentukan eksoskarn yang kaya dengan garnet (zon 5) pada bahagian dalam eksoskarn yang kaya dengan piroksen. Peringkat ini masih dalam proses progred dan permineralan mula berlaku pada akhir peringkat ini. Magnetit merupakan mineral bijih yang paling awal terbentuk tetapi wujud dalam gred yang rendah.

Semasa proses penyejukan dalam jasad penerobosan, bekalan larutan hidroterma akan berhenti dan proses "retrograde" mula berlaku. Peringkat IV dan peringkat V biasanya berlaku bersama-sama, dan kadang kala peringkat V berlaku selepas peringkat IV. Dalam peringkat ini, proses "retrograde" akan mengubah mineral skarn progred, menyebabkan pembentukan mineral suhu rendah seperti klorit, epidot dan amfibol. Semasa proses "retrograde" ini, kebanyakan mineral akan terbentuk termasuk emas yang biasanya terbentuk pada fasa akhir (Ciobanu and Cook, 2004). Proses retrograde ini adalah sangat penting, kerana ia akan memecat dan melonggok semula mineral bijih gred rendah yang terbentuk semasa proses progred.



**Rajah 16:** Model pembentukan longgokan skarn di Bukit Botak.



## KESIMPULAN

Longgokan Bukit Botak adalah terdiri daripada skarn kalsik berjenis skarn-Au berasosiasi dengan skarn-Fe. Semua batuan skarn dalam lubang gerudi M15 adalah terdiri daripada jenis eksoskarn dan tiada batuan endoskarn. Batuan eksoskarn terdiri daripada eksoskarn piroksen yang tebal dan eksoskarn garnet yang nipis. Kebanyakan mineral bijih menumpu dalam zon eksoskarn piroksen berbanding dengan eksoskarn garnet ataupun hornfels. Emas didapati wujud dalam kepekatan yang tinggi dalam eksoskarn piroksen dan sangat sedikit dalam eksoskarn garnet dan hornfels. Manakala, kehadiran timah adalah tertumpu dalam hornfels sahaja, dan tidak dalam eksoskarn piroksen.

## PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Wan Fuad Wan Hassan, Prof. Hamzah Mohamed dan En. Enggong Anak Aji yang sama-sama menjayakan kajian ini. Pembantu makmal di Universiti Kebangsaan Malaysia dan Universiti Malaya dalam batuan kerja makmal. Dan akhirnya kepada pihak MMC yang memberi kerjasama dalam sepanjang kajian ini.

## RUJUKAN

Ciobanu, C.L. & Cook, N.J., 2004. Skarn textures and a case study: the Ocna de Fier-Dognecea orefield, Banat, Romania. *Ore Geology Reviews* 24 (2004). 315-370.

Enggong Anak Aji, 2004. *Permineralan tembaga di Bukit Botak, Mengapor, Pahang Darul Makmur*. Tesis Sarjana. Universiti Kebangsaan Malaysia (tidak diterbitkan).

Gunn, A. G., Paul, P.S. and Zulkipli, C.K. 1993. *Geochemical and Mineralogical Studies of gold in the Mengapor deposit, Pahang, Malaysia*. 43p.

Lee, A.K. 1990. Geology and mineral resources of the Hulu Lepar area, Pahang Darul Makmur. *District Memoir 22, Geological Survey of Malaysia*. 99p.

Malaysian Mining Corporation Berhad, 1987. Mengapor Base Metal Prospect. *Exploration report Covering Phase 1, 2 and 3 Investigations*. Kuala Lumpur April 1987. 24p.

Meinert, L.D., 1998. Application of skarn deposit zonation models to mineral exploration. *Explor. Min. Geol.* 6, 185-208.

Szumigala, D. J., 1987. Geology of zinc-lead skarn deposits in the Tin Greek Area. *Report of Investigations 87-5. State of Alaska*, Department of Natural Resources Division of Geological and Geophysical Surveys. 21p.

*Manuscript received 2 April 2005*