

# **SKRIPSI**

## **PERBANDINGAN ANTARA METODE POLIGON, *INVERSE DISTANCE WEIGHTING*, DAN *ORDINARY KRIGING* PADA ESTIMASI SUMBERDAYA TIMAH ALUVIAL, DAN ANALISIS SEBARAN ENDAPANNYA**

(Studi Kasus: Blok X, Laut Tanjung Gunung, PT Timah Tbk, Bangka Tengah,  
Provinsi Kepulauan Bangka Belitung)

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUHAMMAD SYAHRUL RAMADHAN**

**D62116018**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PERBANDINGAN ANTARA METODE POLIGON, *INVERSE DISTANCE WEIGHTING*, DAN *ORDINARY KRIGING* PADA ESTIMASI SUMBERDAYA TIMAH ALUVIAL, DAN ANALISIS SEBARAN ENDAPANNYA

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD SYAHRUL RAMADHAN**  
**D62116018**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 1 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197303142000121001


Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.

NIP. 196604091997031002

Ketua Program Studi,

  
Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T.  
NIP. 197111282005011002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Syahrul Ramadhan  
NIM : D62116018  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**PERBANDINGAN ANTARA METODE POLIGON, *INVERSE DISTANCE WEIGHTING*,  
DAN *ORDINARY KRIGING* PADA ESTIMASI SUMBERDAYA TIMAH  
ALUVIAL, DAN ANALISIS SEBARAN ENDAPANNYA**

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 1 Februari 2021

Yang menyatakan

  
  
Muhammad Syahrul Ramadhan

## ABSTRAK

Pulau Bangka merupakan satu dari sekian banyak daerah di Indonesia yang memiliki potensi sumberdaya mineral yang cukup banyak. Salah satunya adalah endapan timah. Penyebaran timah di Pulau Bangka merupakan kelanjutan dari *Tin Mayor South East Asian Tin Belt*. Endapan timah merupakan komoditas utama dalam eksplorasi endapan mineral logam di Pulau Bangka yang membuat Indonesia merupakan salah satu negara penghasil timah terbesar di dunia. Salah satu perusahaan pertambangan bijih timah di Bangka Belitung adalah PT Timah Tbk yang mengeksplorasi dan mengestimasi sumberdaya mineral yang dilanjutkan dengan proses perhitungan cadangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya sumberdaya timah aluvial dan menganalisis sebaran timah aluvial dengan mempertimbangkan genesis endapan timah aluvial pada sungai purba. Pada penelitian ini dilakukan estimasi sumberdaya dengan menggunakan metode poligon, *inverse distance weighting*, dan *ordinary kriging* untuk mengetahui metode yang tepat berdasarkan kondisi geologi, genesis endapan, dan mineralisasi dari endapan yang diestimasi. Berdasarkan hasil estimasi dari tiga kategori kelas sumberdaya (terukur, tertunjuk dan tereka) dengan metode poligon didapatkan total sumberdaya endapan timah aluvial sebesar 8732 ton Sn, dengan metode *inverse distance weighting* sebesar 8627 ton Sn, dan dengan metode *ordinary kriging* sebesar 8752 ton Sn. Sebaran timah pada lokasi penelitian banyak terkonsentrasi pada bagian punggung (hulu) sungai purba, semakin jauh dari hulu menunjukkan konsentrasi endapan timah aluvial semakin sedikit. Dari hasil analisis besarnya sumberdaya dan sebaran timah aluvial, maka metode estimasi yang paling optimal dilakukan adalah metode *ordinary kriging*.

Kata Kunci: Timah aluvial, estimasi sumberdaya, metode poligon, *inverse distance weighting*, *ordinary kriging*.

## **ABSTRACT**

*Bangka Island is one of the many regions in Indonesia that has a lot of mineral resource potential. One of them is tin deposit. The distribution of tin deposit in Bangka Island is a continuation of the Tin Mayor South East Asian Tin Belt. Tin deposits are the main commodity in the exploration of metal mineral deposits on Bangka Island, which makes Indonesia one of the largest tin producing countries in the world. One of the tin ore mining companies in Bangka Belitung is PT Timah Tbk which is exploring and estimating this mineral resource for calculation of its reserves. This study aims to determine the amount of alluvial tin resources and to analyze the distribution of alluvial tin by considering the genesis of alluvial tin deposits in ancient rivers. In this study, resource estimation was carried out using polygon methods, inverse distance weighting, and ordinary kriging in order to determine the appropriate method based on geological conditions, genesis deposit, and mineralization of the estimated deposits. Based on the estimation results of the three resource class categories (measured, indicated, and inferred), by the polygon method, the total alluvial tin deposit resource is 8732 tonnes, by the inverse distance weighting method is 8627 tonnes, and by the ordinary kriging method is 8752 tonnes. The distribution of tin at the research location is mostly concentrated on the ridge (up stream) of ancient rivers, which is the farther from the upper coarse, the less of the concentration of the alluvial tin deposits. From the results of the analysis of the amount of resources and the distribution of alluvial tin deposit, the most optimum estimation method used is ordinary kriging method.*

*Keywords: Alluvial Tin, resource estimation, polygon method, inverse distance weighting, ordinary kriging.*

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim,*

*Assalamualaikum warahmataullahi wabarakatuh*

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan nikmat-Nya kepada kita semua untuk terus menuntut ilmu sebagai bentuk ketaatan kepada sang pemilik ilmu pengetahuan. Shalawat serta salam atas junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW, manusia terbaik yang senantiasa ruku' dan sujud kepada Allah SWT dalam rangka menegakkan panji-panji kebenaran di muka bumi ini.

Skripsi dengan judul " Perbandingan antara Metode Poligon, *Inverse Distance Weighting*, dan *Ordinary Kriging* pada Estimasi Sumberdaya Timah Aluvial, dan Analisis Sebaran Endapannya " (Studi kasus: Blok X Laut Tanjung Gunung, Bangka Tengah, Bangka Belitung PT Timah Tbk) akhirnya dapat diselesaikan dengan baik melalui dinamika yang mendalam dilalui dalam proses penyusunan skripsi ini.

Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan serta ilmu yang bermanfaat. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat dan semoga dicatat sebagai sebutir kebaikan oleh Allah SWT.

Penyusunan skripsi tidak akan berlangsung tanpa ada bantuan dari orang-orang hebat yang telah memfasilitasi penulis untuk menyusun skripsi ini mulai dari tahap pengolahan data di perusahaan sampai selesai. Olehnya itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak PT Timah Tbk, khususnya kepada Bapak Novhy Gumelar selaku pembimbing penulis yang senantia memberikan ilmu dan arahan, Bapak Ciputra selaku kepala bidang P2P Unit Produksi Laut Bangka yang telah memfasilitasi penulis sehingga dapat melakukan kegiatan Skripsi di divisi eksplorasi, Bapak Gilang Putra Bahana, Bapak Satrio Gahara selaku pegawai di bidang Validasi yang senantiasa

memberikan ilmu yang bermanfaat dari tahap awal pengolahan data, Bapak M. Muchtar Arifin yang telah memfasilitasi penulis dan juga senantiasa berbagi ilmu dan pengalaman terkait industri pertambangan, Bapak Wahyu Hidayat yang juga memberikan fasilitas kepada penulis pada saat kegiatan tugas akhir di PT Timah Tbk.

Terima kasih pula penulis sampaikan kepada Bapak Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D. selaku Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT. selaku Pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga, pikiran serta memberikan ilmu yang bermanfaat dan motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih yang tiada henti kepada Bapak Syafaruddin dan Ibu Rosnaeni atas segala doa yang telah dipanjatkan, ridho yang senantiasa diberikan serta rasa cinta yang tiada henti diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Terima kasih pula penulis haturkan kepada Kakak Muhammad Nur Fajri dan Adik Muhammad Taufiq Hidayat atas segala bantuan, semangat dan doa yang tulus yang diberikan kepada penulis.

Terima kasih pula kepada teman-teman Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2016 (Rockbolt 2016). Terima kasih pula penulis sampaikan kepada organisasi tercinta Persatuan Mahasiswa Tambang Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (PERMATA FT-UH).

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, penulis menyampaikan permohonan maaf atas semua kekurangan yang dijumpai dalam proses penyusunan skripsi ini.

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Gowa, Oktober 2020

Penulis

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian.....	3
1.6 Lokasi Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Geologi Regional .....	8
2.2 Endapan Timah Aluvial.....	12
2.3 Klasifikasi Sumberdaya Mineral .....	14
2.4 Data Spasial.....	16
2.5 Metode Estimasi Sumberdaya .....	18
2.6 Variogram dan Semivariogram.....	25



BAB III	METODE PENELITIAN.....	30
3.1	Sumber Data .....	31
3.2	Metode Pengolahan Data .....	31
3.3	Bagan Alir Penelitian.....	38
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	40
4.1	Analisis Statistik .....	40
4.2	<i>String, Wireframe</i> dan <i>Assign</i> .....	41
4.3	<i>Top Cut</i> .....	42
4.4	Hasil Variogram Model .....	42
4.5	Hasil Estimasi Sumberdaya Metode Poligon .....	45
4.6	Hasil Estimasi Sumberdaya Metode <i>Inverse Distance Weighting</i> .....	46
4.7	Hasil Estimasi Sumberdaya Metode <i>Ordinary kriging</i> .....	46
4.8	Analisis Sebaran Endapan Timah Aluvial .....	47
BAB V	PENUTUP.....	53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	.....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian .....	5
2.1 Penampang klasifikasi endapan aluvial (Smirnov,1976).....	13
2.2 Endapan kaksa dan mincan (Tjia, 1989).....	13
2.3 Hubungan antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan .....	16
2.4 (A) Data Geostatistik (B) Data Area .....	17
2.5 Metode estimasi sumberdaya menggunakan poligon (Hartman, 1992). .....	18
2.6 Metode estimasi sumberdaya dengan IDW (Arifuddin Idrus, 2007). .....	21
2.7 Komponen Variogram (Goovaets, 1997).....	27
2.8 Semivariogram (Goovaets, 1997) .....	29
3.1 Input data <i>collar</i> .....	32
3.2 Input data <i>assay</i> .....	33
3.3 Tampilan blok model kosong pada <i>micromine</i> 2018.....	34
3.4 Tampilan <i>assign wireframe</i> pada <i>micromine</i> 2018 .....	35
3.5 Tampilan <i>top cut</i> pada <i>micromine</i> 2018 .....	36
3.6 Bagan alir penelitian .....	39
4.1 Histogram penentuan nilai <i>bottom cut</i> .....	40
4.2 Histogram data kaksa .....	42
4.3 Histogram data kaksa <i>top cut</i> .....	43
4.4 Variogram model .....	44
4.5 Proses pembentukan endapan timah aluvial .....	47
4.6 Penampang proses pembentukan timah aluvial.....	48
4.7 Peta kedalaman batuan dasar 2D .....	50

4.8	Peta kedalaman batuan dasar 3D .....	50
4.9	Peta sebaran timah aluvial menggunakan metode <i>kriging</i> .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Data statistik penentuan nilai <i>bottom cut</i> .....	41
4.2 Statistik data kaksa.....	42
4.3 Data kaksa <i>top cut</i> .....	44
4.6 Hasil estimasi sumberdaya metode poligon .....	45
4.7 Hasil estimasi sumberdaya menggunakan metode idw.....	46
4.8 Hasil estimasi sumberdaya menggunakan metode <i>ordinary kriging</i> .....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Data <i>collar</i> .....	57
B Data <i>assay</i> .....	58
C Peta lubang bor .....	59
D Blok metode poligon .....	60
E Blok model <i>inverse distance weighting</i> .....	61
F Blok model <i>ordinary kriging</i> .....	62
G Blok sumberdaya <i>inverse distance weighting</i> .....	63
F Blok sumberdaya <i>ordinary kriging</i> .....	64

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Endapan timah di dunia umumnya terdiri sekitar 20 % endapan primer dan 80 % endapan sekunder atau endapan dari hasil pelapukan endapan primer. Keterdapatannya endapan timah pun tidak berada pada semua negara. Keterdapatannya endapan timah di Asia Tenggara membentang dari daratan Cina, Birma, Thailand, Malaysia hingga Indonesia (Ramadhan, 2015).

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan sumberdaya logam yang cukup besar di dunia, seperti seperti emas, tembaga, dan timah (Kavaleris et al., 1992). Khusus untuk bijih timah, endapannya banyak tersebar di pulau Sumatera, khususnya di pulau Bangka dan sebagian di Kalimantan. Endapan timah ini berasosiasi dengan batuan granitoid, serta terkait dengan keberadaan zona kolisi Indonesia yang termasuk ke dalam kawasan Sabuk Timah Asia Tenggara. Penyebaran timah di Pulau Bangka merupakan kelanjutan dari *Tin Mayor South East Asian Tin Belt* (Crow dan van Leeuwen, 2005).

Pulau Bangka merupakan satu dari sekian banyak daerah di Indonesia yang memiliki potensi sumberdaya bijih timah yang besar. Endapan timah tersebut merupakan komoditas utama dalam eksplorasi endapan mineral logam di Pulau Bangka yang membuat Indonesia merupakan salah satu negara penghasil timah terbesar di dunia. (Ali et al., 2017). Salah satu perusahaan pertambangan bijih timah di Bangka Belitung adalah PT Timah Tbk. Perusahaan ini melakukan eksplorasi endapan timah aluvial dan melakukan estimasi sumberdaya timah tersebut. Estimasi sumberdaya merupakan hal

yang sangat penting sebelum dilakukan proses penambangan karena berkaitan dengan jumlah sumberdaya yang terdapat di suatu daerah yang berimplikasi pada nilai investasi.

Dalam melakukan estimasi sumberdaya dibutuhkan metode yang tepat sesuai dengan kondisi geologi, genesis endapan, dan mineralisasi dari endapan logam tersebut. Olehnya itu, penulis mengangkat penelitian tentang estimasi sumberdaya timah aluvial dan mencoba menganalisis genesis pembentukan endapan timah aluvial di daerah penelitian (pulau Bangka).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Estimasi sumberdaya merupakan hal yang sangat vital dilakukan sebelum dilakukannya kegiatan penambangan, karena dari hasil estimasi inilah yang akan dievaluasi untuk menentukan ke proses selanjutnya yaitu perhitungan cadangan. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukanlah penelitian perbandingan antara metode poligon, *inverse distance weighting*, dan *ordinary kriging* sehingga dapat diketahui tonase sumberdaya timah aluvial dan juga sebaran timah aluvial dengan mempertimbangkan genesis endapan timah aluvial pada sungai purba.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas, yaitu:

1. Mengestimasi tonase sumberdaya timah aluvial dengan membandingkan antara metode poligon, *inverse distance weighting*, dan *ordinary kriging* pada PT Timah Tbk.
2. Menganalisis sebaran timah aluvial dengan mempertimbangkan genesis endapan timah aluvial pada sungai purba.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagi perusahaan

Sebagai bahan pertimbangan kepada perusahaan dalam memilih metode yang akan digunakan dalam mengestimasi sumberdaya timah aluvial pada PT Timah Tbk.

2. Bagi kalangan akademik

Bahan pembelajaran/referensi dalam menambah wawasan mengenai metode estimasi sumberdaya timah aluvial dengan menggunakan metode poligon, metode *inverse distance weighting*, dan *ordinary kriging*.

## 1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Tahap studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang meliputi pengumpulan dan pengkajian berbagai teori dan referensi mengenai topik penelitian yang dapat mendukung jalannya penelitian. Kajian ini ditinjau melalui buku, jurnal penelitian, prosiding, artikel ataupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan topik penelitian.

2. Tahap perumusan masalah

Perumusan masalah dilakukan untuk menentukan masalah yang akan diteliti dan menjadi batasan dalam melakukan penelitian



### 3. Tahap orientasi lapangan dan pengambilan data

Orientasi lapangan dilakukan di daerah PT Timah Tbk. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil beberapa data seperti data *assay* dan *collar*. Data ini merupakan data sekunder.

### 4. Tahap pengolahan data

Data yang telah diperoleh dari hasil pengambilan data kemudian dianalisis untuk mengestimasi sumberdaya mineral daerah penelitian. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software micromine* 2018 untuk memudahkan dalam mengestimasi sumberdaya dengan membandingkan antara metode poligon, *inverse distance weighting*, dan *ordinary kriging*.

### 5. Tahap penyusunan laporan tugas akhir

Penyusunan laporan tugas akhir merupakan kegiatan mengumpulkan keseluruhan data yang didapatkan dan disusun dalam bentuk laporan akhir.

### 6. Tahap seminar dan penyerahan laporan tugas akhir

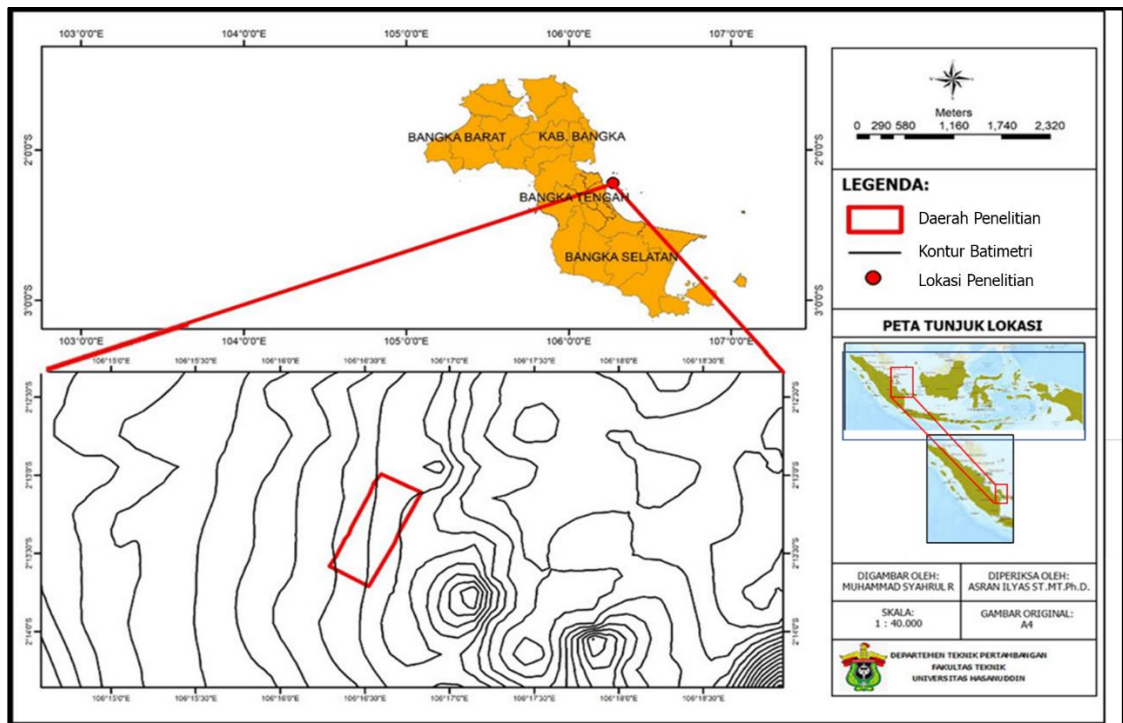
Laporan hasil penelitian akan dipresentasikan dalam seminar hasil. Koreksi dan saran pada saat seminar akan digunakan untuk merevisi kembali laporan yang telah diseminarkan.

## **1.6 Lokasi Penelitian**

Secara administratif PT Timah Tbk terletak di Kota Pangkalpinang, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Lokasi PT Timah Tbk dapat ditempuh dengan menggunakan pesawat komersil dengan waktu sekitar 4 jam dari kota Makassar ke Pangkalpinang, kemudian dilanjutkan dengan jalur darat menggunakan kendaraan roda 4 (empat) dari Bandar Udara Depati Amir di kota Pangkalpinang menuju ke kantor PT Timah Tbk.

Lokasi penambangan PT Timah Tbk berjarak sekitar 17 km dari kantor pusat PT Timah Tbk. Lokasi penambangan terletak di Laut Tanjung Gunug, Kecamatan Pangkalan

Baru, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Lokasi penelitian dapat dicapai dengan menggunakan kendaraan roda 4 (empat) dengan waktu tempuh sekitar 27 menit, kemudian dilanjutkan dengan jalur laut menggunakan perahu sekitar 15 menit menuju lokasi penambangan. Peta tunjuk lokasi penelitian diperlihatkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Regional**

##### 2.1.1 Fisiografi Pulau Bangka

Pulau Bangka termasuk ke dalam gugusan pulau yang berada di Paparan Sunda (*Sunda Shelf*), di mana pulau-pulau ini dahulunya merupakan bagian dari Daratan Sunda (*Sunda Land*). Bagian dari Daratan Sunda yang kini dikenal sebagai Paparan Sunda tersusun oleh Pulau Bangka bersama dengan Pulau Belitung, Lingga dan Singkep, Kepulauan Natuna, Anambas, Tambelan, Riau, Karimata, Karimunjawa dan Bawean. Akibat dari proses peneplainasi yang berlangsung dalam jangka waktu yang lama, banyak dari tinggian pada pulau-pulau ini lapuk dan tererosi. Hal ini dibuktikan dengan tebalnya profil tanah yang dapat dijumpai di pulau-pulau ini. Selain proses peneplainasi, fenomena naik turun muka air laut yang terjadi pada zaman Kuartar juga mengakibatkan gugusan pulau ini terpisah oleh perairan dangkal seperti sekarang. Meskipun sekarang pulau-pulau ini dipisahkan oleh perairan dangkal, susunan dari pulau-pulau ini terlihat mengindikasikan arah struktur utama yang menghubungkan Asia Tenggara dengan tiga pulau besar yang termasuk dalam Daratan Sunda yakni Pulau Jawa, Sumatera dan Kalimantan. Pulau dengan luas 11.534,142 km<sup>2</sup> ini dikelilingi oleh Pulau Sumatera dan Selat Bangka di sebelah baratdaya, Pulau Belitung di sebelah timur, Pulau Kalimantan di sebelah timurlaut, Kepulauan Riau di sebelah baratlaut, Pulau Anambas dan Laut Cina Selatan di sebelah utara serta Laut Jawa di sebelah tenggara.

Secara fisiografi Pulau Bangka merupakan pulau terbesar dalam Paparan Sunda (*Sunda Shelf*) dan merupakan Sunda Peneplain, dicirikan oleh daerah berbukit dengan

ketinggian batuan dasar yang membatasi Cekungan Sumatra Selatan di bagian timur dan Cekungan Sunda di bagian utara (Van Bemmelen, 1949).

### 2.1.2 Tektonik dan Struktur Geologi Regional

Melihat Pulau Bangka dari koridor tektoniknya, evolusi tektonik dari Pulau Bangka sangat berkaitan erat dengan pembentukan inti benua Asia Tenggara yang juga dikenal sebagai Daratan Sunda (*Sunda Land*). Pulau Bangka sebagai bagian dari blok Indocina–Malaya Timur (*Indochina–East Malaya block*) berasal dari bagian timurlaut Gondwana. Blok benua ini mulai memisahkan diri dari Gondwana pada Silur Akhir dan bergerak hingga membentuk kerangka dari Asia Tenggara pada Devon Awal (Metcalf, 2011).

Berdasarkan kerangka tektonik Asia Tenggara pada Resen, terlihat bahwa blok Indocina–Malaya Timur dibatasi oleh batas-batas tektonik di sekelilingnya. Di bagian timur, blok ini berbatasan dengan blok Kalimantan baratdaya (*Southwest Borneo block*). Di bagian selatan dan barat, blok ini berbatasan dengan blok Sibumasu, sedangkan di bagian utara, blok ini berbatasan dengan blok Cina Selatan (*South China block*). Blok-blok tersebut, bersama dengan blok Burma Barat (*West Burma block*) dan blok Sumatera Barat (*West Sumatra block*) membentuk daratan Sunda.

Evolusi tektonik dari pembentukan daratan Sunda telah dimulai semenjak Silur Akhir hingga Jura (Metcalf, 2011). Pada Silur Akhir, terjadi fenomena *rifting* pada batas timurlaut Gondwana yang menyebabkan blok Cina Selatan, Tarim, Indocina dan Cina Utara berpisah dari Gondwana (Metcalf, 1996 dalam Metcalf, 2011). *Rifting* yang terjadi memicu pembukaan laut PaleoTetis pada Devon Awal hingga Devon Tengah yang dibuktikan dengan keberadaan endapan rijang radiolarian laut dalam pada zona sutur. Pada Karbon Awal, blok Cina Selatan dan Indocina–Malaya Timur telah teramalgamsi sepanjang zona sutur Song Ma, membentuk blok yang dinamakan daratan Cathaysia (*Cathaysia land*). Hal ini ditandai dengan kemiripan fauna pada zaman tersebut (Laveine et al., 1999 dalam Metcalf, 2011). Pada Karbon Akhir hingga Perm Awal, blok Sibumasu

mulai melepaskan diri dari barat laut Gondwana dan bergerak ke arah utara. Hal ini mengakibatkan laut Paleo-Tetis tertutup dan mensubduksi daratan Cathaysia. Subduksi ini menyebabkan terjadinya *back-arc spreading* yang menghasilkan pembentukan busur Sukhotai ke arah barat sebagai busur kepulauan pada Perm Akhir. Namun, akibat dari desakan subduksi laut Paleo-Tetis, busur tersebut terdorong ke arah timur, menyebabkan *back arc collapse* berupa kolisi antara busur Sukhotai dan daratan Cathaysia membentuk zona sutur Jinghon, Nan-Uttaradit dan Sra Kaeo pada akhir Perm (Metcalf, 2011). Pada Trias Awal, penutupan laut Paleo-Tetis yang diikuti dengan kolisi antara blok Sibumasu dan busur Sukhotai menghasilkan zona sutur Changnin-Menglian, Inthanon dan Bentong-Raub. Selain itu, pada masa ini juga terjadi pergerakan *transcurrent* barat laut dari blok Burma Barat dan barat daya Borneo akibat pembukaan laut Meso-Tetis ke arah utara dan pergerakan laut Paleo-Pasifik ke arah barat. Kedua blok tersebut kemudian teramalgamasi dengan blok Sibumasu pada Jura. Pulau Bangka yang posisinya berada di barat daya dari blok Indocina-Malaya Timur membuat Pulau tersebut sangat dekat dengan perbatasan daratan Cathaysia dan blok Sibumasu. Kedua blok ini dibatasi oleh zona sutur Bentong-Raub (*Bentong-Raub Suture Zone*) yang terbentuk di Trias Awal dan memanjang sepanjang Semenanjung Malaya (Malaya Peninsula) (Metcalf, 2000). Menurut Katili (1967), menjelaskan bahwa pada batuan metamorf dan sedimen di Bangka Utara terdapat adanya perlipatan silang akibat dua buah deformasi. Deformasi pertama mengakibatkan lipatan dengan arah barat laut - tenggara, umurnya sulit ditentukan dengan pasti. Struktur lipatan berarah timurlaut - barat daya (orogen II) disebabkan oleh deformasi pada Jura Atas. Orogen yang kedua ini menghilangkan jejak orogen yang lebih tua. Struktur lipatan ini kemungkinan merupakan hasil tumbukan lempeng yang ada pada barat Sumatera karena wilayah Bangka relatif stabil atau tidak terlalu terganggu oleh pergerakan tektonik karena posisinya yang berada di *back volcanic arc*.

### 2.1.3 Stratigrafi Regional

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Bangka Utara, Sumatera, maka geologi daerah Bangka Utara dapat dibagi sebagai berikut.

1. Aluvium berupa endapan permukaan yang terdiri dari bongkah, kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut, masa Kenozoikum Zaman Kuartar yang berumur Holosen.
2. Formasi Ranggung berupa perselingan batupasir, batulempung dan batulempung tufaan dengan sisipan tipis batu lanau dan bahan organik, berlapis baik, dengan struktur sedimen berupa perlapisan sejajar dan perlapisan silang siur dengan tebal 150 m. Fosil yang dijumpai antara lain *moluska*, *ammonia*, *quineloculina sp*, dan *triloculina sp*, menunjukkan umur relatif tidak lebih tua dari Miosen Akhir. Lingkungan pengendapan diduga fluviatil sampai peralihan. Lokasi tipe Ranggung, dapat dikorelasikan dengan Formasi Kasai di daerah Sumatera. Formasi Ranggung terdapat di daerah masa Kenozoikum, Zaman Tersier berumur Pliosen.
3. Formasi Tanjung Genting berupa perselingan batupasir malih, batupasir, batupasir lempungan dan batupasir dengan lensa batugamping, setempat dijumpai oksida besi. Berlapis baik, terlipat kuat, terkekarkan dan tersesarkan, dengan tebal lapisannya 250 m - 1.250 m. Di dalam batugamping ditemui fosil *montlivaultia molukkana*, *peronidella G*, *Entrochus sp* dan *Encrinus sp*. Kumpulan fosil ini menunjukkan umur Trias, dengan lingkungan pengendapan diperkirakan laut dangkal. Lokasi keterdapatannya di Tanjung Genting dan dapat dikorelasikan dengan Formasi Bintan. Formasi ini diterobos oleh Granit Kelabat dan menindih tak selaras Kompleks Pemali.
4. Granit Klabat berupa batuan, granodiorit, adamalit, diorit dan diorit kuarsa, serta dijumpai retas aplit dan pegmatit. Terkekarkan dan tersesarkan dan menerobos

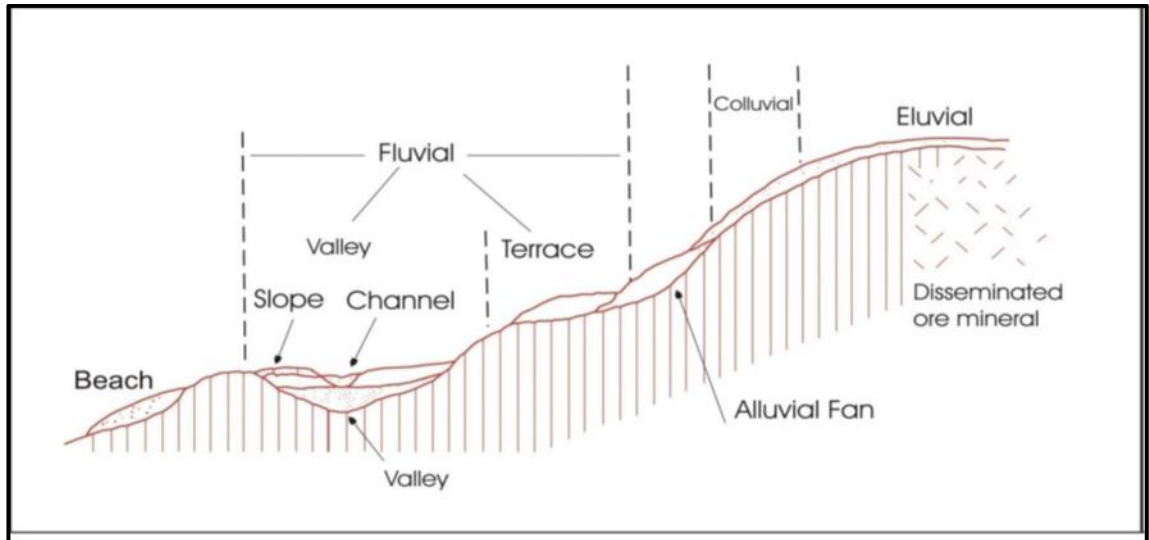
Diabas Penyabung. Umur dari analisa radiometri menunjukkan umur  $217 \pm 5$  atau Trias Akhir hingga Jura pada Masa Mesozoikum.

5. Diabas Penyabung, berupa batuan diabas, terkekarkan dan tersesarkan, diterobos oleh granit klabat dan menerobos Kompleks Malihan Pemali. Umur diperkirakan pada usia Perem atau Trias hingga Jura pada Masa Mesozoikum.
6. Kompleks Pemali berupa filit dan sekis dengan sisipan kuarsit dan lensa batu gamping terkekarkan, terlipat, tersesarkan dan diterobos oleh granit klabat, dijumpai fosil berumur Perem pada batugamping di dekat Air Duren sebelah selatan - tenggara Pemali. Umur satuan diduga Perem pada Masa Paleozoikum Paleosen, dengan lokasi tipe di daerah Pemali.

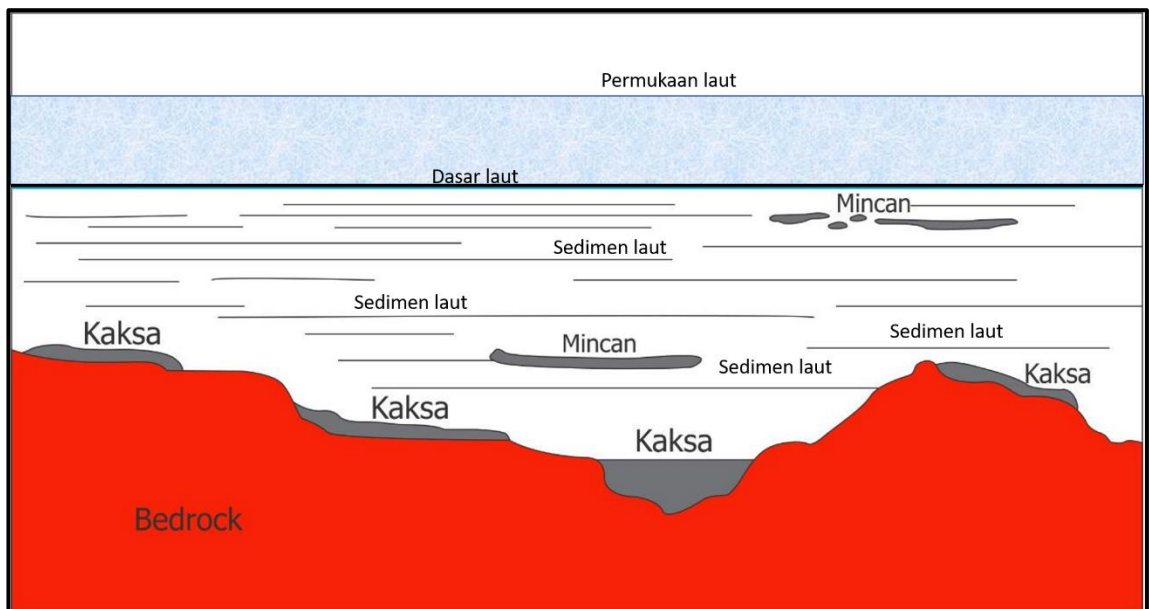
## **2.2 Endapan Timah Aluvial**

Endapan timah aluvial adalah hasil rombakan dari batuan induk yang mengalami pelapukan, transportasi dan sedimentasi tetapi belum mengalami pembatuan (Smirnov, 1976). Pembahasan perihal endapan timah aluvial menjadi sangat penting di dalam dunia pertambangan timah, hal ini disebabkan awal mula ditemukannya timah adalah timah pada aluvial dan sampai saat ini produksi terbesar PT Timah Tbk adalah hasil penambangan pada endapan aluvial baik aluvial darat maupun laut. Endapan timah aluvial biasa disebut dengan timah sekunder. Endapan aluvial merupakan endapan yang relatif berumur muda (Kuarter) yang berada di atas batuan dasar yang jauh lebih tua (Tersier atau pra Tersier). Keterdapatannya timah di dalam endapan aluvial inilah yang menjadikan paradigma eksplorasi timah berkembang dimulai teori *mother rock hunting* dan teori *valey hunting*. Dalam dunia pertambangan di Indonesia pada endapan timah aluvial ada yang dikenal dengan istilah kaksa dan mincan. Kaksa merupakan lapisan endapan timah aluvial yang kaya dengan mineral kassiterit ( $\text{SnO}_2$ ) yang terletak di atas batuan dasar (*bed rock*), sedangkan mincan merupakan lapisan endapan timah aluvial

yang terbentuk secara berulang setelah terbentuknya lapisan kaksa (Osberger, 1965). Penampang klasifikasi endapan aluvial dapat dilihat pada Gambar 2.1. Model lapisan kaksa dan mincan dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.1 Penampang klasifikasi endapan aluvial (Smirnov,1976).



Gambar 2.2 Lapisan kaksa dan mincan (Tjia, 1989).

Teori tersebut berkembang karena untuk mendapatkan endapan aluvial yang kaya akan potensi mineral timah maka harus ada sumber yang menghasilkan mineral tersebut selanjutnya harus ada proses pelapukan, erosi dan transportasi serta yang terpenting



adalah adanya tempat terjadinya akumulasi. Dengan demikian tidak semua endapan aluvial kaya akan kandungan timah, dengan kata lain tidak semua lembah menjadi perangkap timah yang ekonomis. Dengan kata lain bahwa kita akan mendapatkan timah aluvial jika terpenuhi tiga kriteria yaitu adanya batuan sumber pembawa timah, media transportasi, dan tempat akumulasi.

### **2.3 Klasifikasi Sumberdaya Mineral**

Sumberdaya mineral adalah suatu konsentrasi atau keterjadian dari material yang memiliki nilai ekonomi pada atau di atas kerak bumi, dengan bentuk, kualitas dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekan yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi dan kemenerusan dari sumberdaya mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasar bukti-bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik, termasuk pengambilan contohnya. Sumberdaya mineral dikelompokkan lagi berdasar tingkat keyakinan geologinya, ke dalam kategori tereka, tertunjuk dan terukur (KCFI, 2017).

#### **1. Sumberdaya mineral tereka**

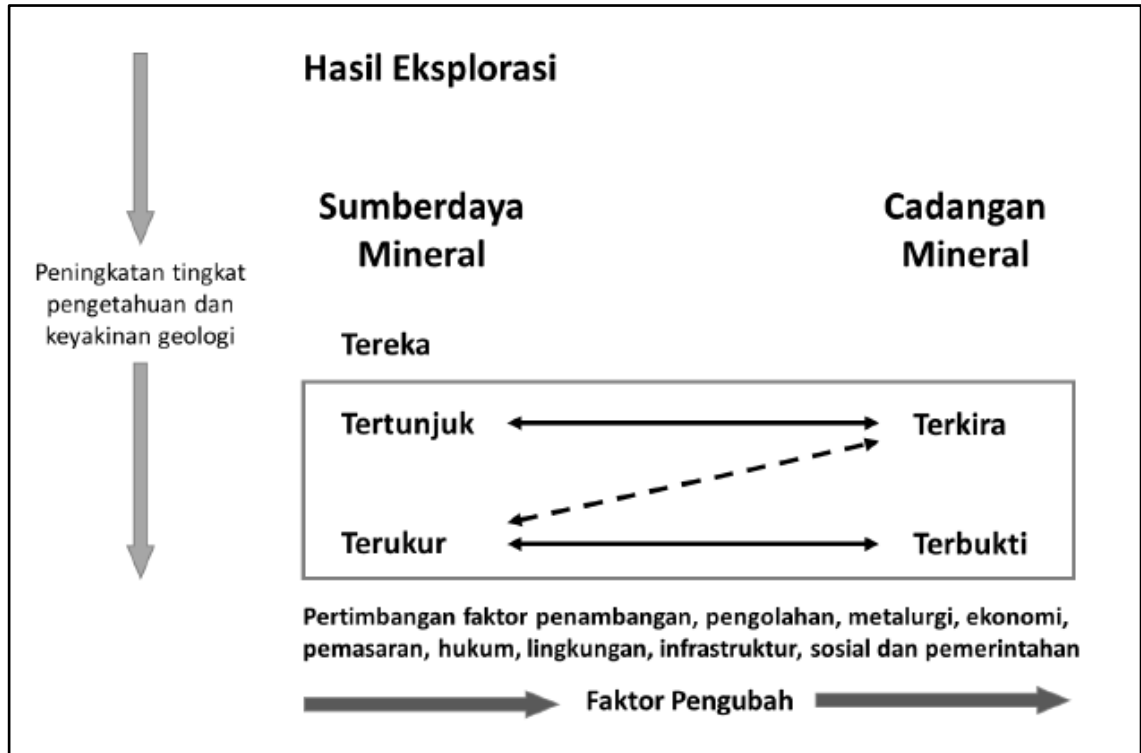
Sumberdaya mineral tereka merupakan bagian dari sumberdaya mineral dimana kuantitas dan kualitas kadarnya diestimasi berdasarkan bukti-bukti geologi dan pengambilan contoh yang terbatas. Bukti geologi tersebut memadai untuk menunjukkan keterjadiannya tetapi tidak memverifikasi kemenerusan kualitas atau kadar dan kemenerusan geologinya. Sumberdaya mineral tereka memiliki tingkat keyakinan lebih rendah dalam penerapannya dibandingkan dengan sumberdaya mineral tertunjuk dan tidak dapat dikonversi ke cadangan mineral. Sangat beralasan untuk mengharapkan bahwa sebagian besar sumberdaya mineral tereka dapat ditingkatkan menjadi sumberdaya mineral tertunjuk sejalan dengan berlanjutnya eksplorasi.

## 2. Sumberdaya mineral tertunjuk

Sumberdaya mineral tertunjuk merupakan bagian dari sumberdaya mineral di mana kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan, bentuk, dan karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang cukup untuk memungkinkan penerapan faktor-faktor pengubah secara memadai untuk mendukung perencanaan tambang dan evaluasi kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan conto dan pengujian yang cukup detail dan andal, dan memadai untuk mengasumsikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitas di antara titik-titik pengamatan. Sumberdaya mineral tertunjuk memiliki tingkat keyakinan yang lebih rendah penerapannya dibandingkan dengan sumberdaya mineral terukur dan hanya dapat dikonversi ke cadangan mineral terkira.

## 3. Sumberdaya mineral terukur

Sumberdaya mineral terukur merupakan bagian dari sumberdaya mineral di mana kuantitas, kadar atau kualitas, kerapatan, bentuk, karakteristik fisiknya dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang memadai untuk memungkinkan penerapan faktor-faktor pengubah untuk mendukung perencanaan tambang detail dan evaluasi akhir dari kelayakan ekonomi cebakan tersebut. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan conto dan pengujian yang detail dan andal, dan memadai untuk memastikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitasnya di antara titik-titik pengamatan. Sumberdaya mineral terukur memiliki tingkat keyakinan yang lebih tinggi penerapannya dibandingkan dengan sumberdaya mineral tertunjuk ataupun sumberdaya mineral tereka. Sumberdaya mineral terukur dapat dikonversi ke cadangan mineral terbukti atau cadangan mineral terkira (KCFI, 2017). Hubungan umum antara hasil eksplorasi sumberdaya mineral dan cadangan mineral dapat dilihat pada gambar Gambar 2.3.

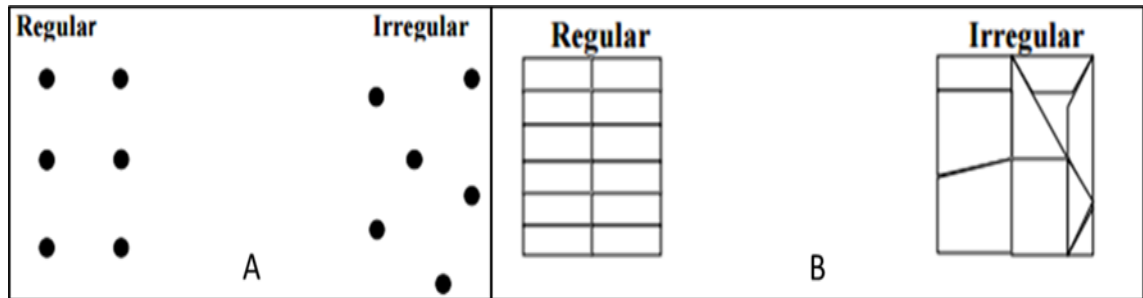


Gambar 2.3 Hubungan umum antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral (KCMI, 2017).

## 2.4 Data Spasial

Data spasial adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran suatu lokasi. Data spasial merupakan data dependen karena berasal dari lokasi spasial yang berbeda yang mengindikasikan ketergantungan antara nilai pengukuran dengan lokasi (Cressie, 1993).

Data spasial memiliki lokasi spasial yang beraturan (*regular*) dan tak beraturan (*irregular*). Data spasial merupakan salah satu model data dependen (variabel tak bebas), karena data spasial dikumpulkan dari lokasi berbeda yang mengindikasikan ketergantungan antara pengukuran data dan lokasi. Data spasial mempunyai dua bagian penting yang membuatnya berbeda dari data yang lain, yaitu informasi lokasi (spasial) dan informasi deskriptif (atribut). Data spasial dibagi menjadi tiga tipe mendasar yaitu data geostatistik (*geostatistical data*), data area (*lattice area*), dan pola titik (*point pattern*) (Cressie, 1993). Berikut merupakan gambar beserta penjelasannya (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 (A) Data geostatistik (B) Data area.

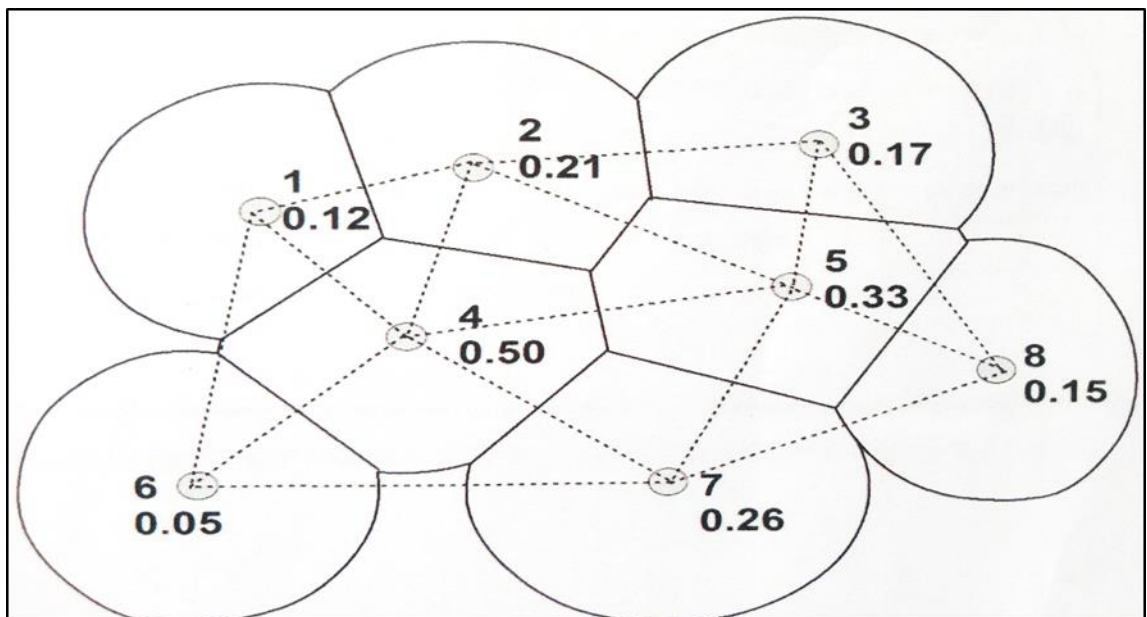
1. Data geostatistik (*geostatistical*) mengarah pada data sampel yang berupa titik, baik beraturan (*regular*) atau tak beraturan (*irregular*) dari suatu distribusi spasial kontinu.
2. Data area (*lattice data*) terdiri dari dua bentuk, yaitu berupa *unit regular* dan *unit irregular* yang didukung pula oleh informasi lingkungan dan dihubungkan dengan batas-batas tertentu. Data area sendiri berhubungan dengan wilayah spasial, merupakan kumpulan data atribut diskrit yang merupakan hasil pengukuran pada wilayah tertentu. Data area merupakan sebuah konsep dari garis tepi dan persekitaran (*neighbour*).
3. Pola titik (*point pattern*) adalah pola yang muncul dari variabel yang dianalisis pada lokasi kejadian. Sampel yang digunakan adalah sampel yang tak beraturan (memiliki jarak yang berbeda). Lokasi pola titik diperoleh berdasarkan pada posisi koordinat kartesius ( $x, y$ ) dari titik yang diamati sedangkan data pola titik spasial diperoleh dari informasi atribut pada objek yang bersesuaian. Hal penting pada analisis data pola titik adalah untuk mengetahui hubungan ketergantungan antar titik. Maksudnya adalah untuk mengetahui apakah lokasi titik-titik yang menjadi objek penelitian membentuk kluster atau *regular*, sehingga dapat dilihat apakah terjadi ketergantungan antar titik atau tidak.

## 2.5 Metode Estimasi Sumberdaya

Metode untuk estimasi sumberdaya umumnya bergantung pada keadaan geologi endapan, metode eksplorasi, keakuratan data dan nilai koefisien variasi, manfaat serta tujuan estimasi sumberdaya. Dalam mengestimasi sumberdaya mineral biasanya digunakan berbagai metode seperti metode poligon, metode *inverse distance weighting* (IDW), dan metode *kriging*.

### 2.5.1 Metode Poligon

Metode poligon disebut juga metode daerah pengaruh (*area of influence*). Pada metode ini semua faktor ditentukan untuk suatu titik tertentu pada endapan mineral, diekstensikan sejauh setengah jarak dari titik di sekitarnya yang membentuk suatu daerah pengaruh. Batas daerah pengaruh terluar dari poligon ini bisa hanya sampai pada titik-titik bor terluar saja (*included area*), atau diekstensikan sampai sejauh setengah jarak (*extended area*) (Hartman, 1992).



Gambar 2.5 Metode estimasi sumberdaya menggunakan poligon (Hartman, 1992).

Estimasi sumberdaya dengan metode poligon dapat dilakukan dengan:

1. Setiap lubang bor ditentukan suatu batas daerah pengaruh yang dibentuk oleh garis-garis berat antara titik tersebut dengan titik-titik terdekat di sekitarnya.
2. Masing-masing daerah atau blok diperlakukan sebagai suatu poligon yang mempunyai kadar dan ketebalan yang konstan yaitu sama dengan kadar dan ketebalan titik bor di dalam poligon tersebut.
3. Sumberdaya endapan diperoleh dengan menjumlahkan seluruh tonase tiap blok/ poligon, sedangkan kadar rata-ratanya dihitung memakai pembobotan tonase.

#### 2.5.2 Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Metode IDW merupakan suatu cara penaksiran yang telah memperhitungkan adanya hubungan letak ruang (jarak), merupakan kombinasi linear atau harga rata-rata pembobotan (*weighting average*) dari titik-titik data yang ada disekitarnya. Suatu cara penaksiran di mana harga rata-rata suatu blok merupakan suatu kombinasi linear atau harga rata-rata pembobotan (*weighting average*) dari data lubang bor di sekitar blok tersebut. Nilai data-data hasil taksiran tersebut merupakan nilai rata-rata pembobotan (*weighting average*) dari data sampel yang telah ada (Bankes et al., 2003). Dalam penaksiran data kadar dilakukan teknik-teknik pembobotan yang ada pada umumnya didasarkan pada:

1. Letak grid yang atau blok yang akan ditaksir terhadap letak data sampel.
2. Kecenderungan penyebaran kualitas data.
3. Orientasi setiap sampel yang menunjukkan hubungan letak ruang antar sampel.
4. Untuk mendapatkan efek penghalusan (pemerataan) data, dilakukan faktor pangkat. Pilihan dari pangkat yang digunakan (titik bor 1, titik bor 2, titik bor 3, dst) yang berpengaruh terhadap hasil taksiran. Semakin tinggi pangkat yang digunakan, hasilnya semakin mendekati metode poligon sampel terdekat.

5. Dalam metode ini, komputer memeriksa jarak antara sampel dari kumpulan blok dan menolak data yang berada diluar radius tertentu dan ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Annels, 1991).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}} \quad (1)$$

dimana,

Z = Kadar taksiran (%)

n = Jumlah data

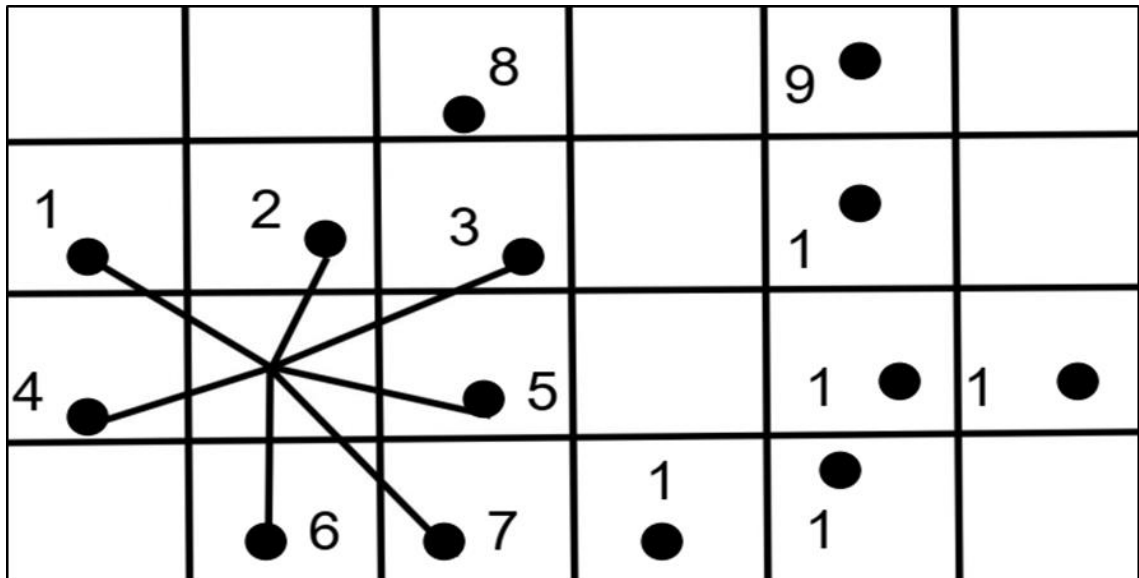
i = Kadar ke-i (%)

$d_i$  = Spasi Antar Titik Taksiran dengan Titik ke-i yang Ditaksir (m)

k = Pangkat (*script*)

$Z_i$  = Kadar awal (%)

Pangkat "k" biasanya bervariasi antara 1, 2, 3, dan seterusnya. Metode ini hanya berlaku ketika sampel dalam area pencarian tertentu dan dilakukan secara berulang-ulang dan biasanya dilakukan dengan komputerisasi (Annels, 1991). Data di dekat blok memperoleh bobot lebih besar, sedangkan data jauh dari blok bobotnya lebih kecil. Bobot ini berbanding terbalik dengan jarak data dari blok yang ditaksir. Metode ini hanya memperlihatkan jarak dan belum memperlihatkan efek pengelompokan data, sehingga data dengan jarak yang sama namun mempunyai sebaran yang berbeda masih akan memberikan hasil yang sama sehingga tidak memberikan korelasi ruang antara titik data dengan titik data yang lain. Metode IDW yang digunakan yaitu di mana kadar dibagikan pada blok-blok terdekat dengan jarak tertentu untuk tiap titik pengambilan sampel seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 2.6 Metode estimasi sumberdaya dengan IDW (Idrus, 2007).

Suatu penyederhanaan yang akan dilakukan dalam pembahasan IDW ini akan mempertimbangkan blok-blok lebih sebagai nilai titik dari pada sebagai volume dengan memperlakukan blok sebagai titik (*point*). Kadar blok dapat dihitung rata-rata berdasarkan jarak dari pusat blok ke titik sekelilingnya, apalagi blok ini dibagi menjadi blok-blok yang lebih kecil sehingga estimasinya dapat dilakukan untuk setiap sub blok dan hasilnya dapat dijumlahkan.

### 2.5.3 Metode *Kriging*

Pada tahun 1950, peneliti pertambangan bernama Daniel Gerhardus (DG) Krige, merancang metode interpolasi untuk menentukan struktur bijih emas. Dia menginterpolasi suatu kandungan bijih emas berdasarkan data sampel. Dari sini *kriging* dijadikan sebuah nama metode interpolasi atas penemuannya tersebut.

G. Matheron memperkenalkan metode *kriging* dalam menonjolkan metode khusus dalam *moving average* terbobot (*weighted moving average*) yang meminimalkan variansi dari hasil estimasi. *Kriging* menghasilkan *best linear unbiased estimation* (BLUE) dari variabel yang ingin diketahui nilainya. Hasil prediksi *kriging* lebih akurat daripada metode regresi. Sebab, metode ini mampu membaca *error* yang berkorelasi, sehingga



dapat diketahui nilai kedekatannya (Kleijnen *and* Van Beers, 2004).

*Estimator kriging*  $\hat{Z}(s)$  dapat dirumuskan sebagai berikut (Bohling, 2005):

$$\hat{Z}(s)-m(s)=\sum_{a=1}^n \lambda_a (Z(s_i)-m(s_i)) \quad (2)$$

dimana,

$s_i, s_i$  : lokasi untuk estimasi dan salah satu lokasi dari data yang berdekatan, dinyatakan dengan  $i$

$m(s)$  : nilai ekspektasi dari  $Z(s)$

$m(s_i)$  : nilai ekspektasi dari  $Z(s_i)$

$\lambda_i$  : faktor bobot

$n$  : banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi.

$Z(s)$  diperlakukan sebagai bidang acak dengan suatu komponen *trend*,  $m(s)$  dan komponen sisa atau error  $e(s) = (Z)(s)-m(s)$ . Estimasi *kriging* yang bersifat sisa pada  $s$  sebagai penjumlahan berbobot dari sisa data disekitarnya. Nilai  $\lambda_i$  diperoleh dari kovariansi atau semivariogram, dengan diperlukan komponen karakteristik sisa (Bohling, 2005).

Tujuan *kriging* adalah untuk menentukan nilai  $\lambda_i$  yang meminimalkan variansi pada estimator, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma^2=\text{var} [\hat{Z}(s)-(Z)(s)] \quad (3)$$

Tiga pokok dalam estimasi *kriging* yang bergantung pada model dengan sifat acak yaitu *simple kriging*, *ordinary kriging*, dan *universal kriging* (Bohling, 2005; Goovaerts, 1998).

#### 1. *Simple Kriging*

*Simple kriging* merupakan metode *kriging* dengan asumsi bahwa rata-rata (*mean*) dari populasi telah diketahui dan bernilai konstan. Pengolahan dari metode *simple kriging* adalah dengan cara data spasial yang akan diduga dipartisi menjadi beberapa bagian.

## 2. Ordinary Kriging

*Ordinary kriging* merupakan metode yang diasumsikan rata-rata (*mean*) dari populasi tidak diketahui, dan pada data spasial tersebut tidak mengandung *trend*. Selain tidak mengandung *trend*, data yang digunakan juga tidak mengandung pencilan.

## 3. Universal Kriging

Universal kriging merupakan metode *kriging* yang dapat diaplikasikan pada data spasial yang mengandung *trend* atau data yang tidak stasioner.

### 2.5.4 Metode *Ordinary Kriging*

*Ordinary kriging* dikenal sebagai teknik *kriging* linear karena menggunakan kombinasi linier terbobot dari data yang tersedia untuk proses estimasi (Isaaks and Srivastava, 1989). Metode *ordinary kriging* merupakan metode *Kriging* yang menghasilkan *estimator* yang bersifat BLUE. Hal tersebut berarti mempunyai variansi terkecil dibanding estimator lain. Data yang digunakan pada metode *ordinary Kriging* merupakan data spasial dengan rata-rata populasi tidak diketahui dan diasumsi bersifat stasioner.

Bobot *ordinary kriging* memenuhi sifat tak bias dengan  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$  dengan  $n$  adalah jumlah sampel yang diketahui. Parameter tambahan  $m$  merupakan *Lag range multiplier* yang digunakan untuk meminimalkan galat *kriging*. Nilai bobot *ordinary kriging* dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y(s_1, s_1) & Y(s_1, s_2) & \dots & Y(s_1, s_n) & 1 \\ Y(s_2, s_1) & Y(s_2, s_2) & \dots & Y(s_2, s_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ Y(s_n, s_1) & Y(s_n, s_2) & \dots & Y(s_n, s_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Y(s_1, s_0) \\ Y(s_2, s_0) \\ \vdots \\ Y(s_n, s_0) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

dimana,

$\lambda_{(1,2,\dots,n)}$  : vektor pembobot ke  $s_i$

$\gamma$  : semivariogram antara titik  $(s_{1..n}, s_{1..n})$  yang terdapat pada jarak sebesar  $h$

*Ordinary kriging* berhubungan dengan prediksi spasial dengan 2 asumsi (Cressie, 1990), yaitu:

1. Asumsi Model

$$Z(s) = \mu + e(s), \quad s \in R \text{ dan } \mu \text{ tidak diketahui} \quad (5)$$

2. Asumsi Prediksi

$$\hat{Z}(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s) \text{ dengan } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (6)$$

dimana,

$Z(s)$  : Peubah acak bebas

$\mu$  : Ekspektasi peubah acak  $Z(s)$

$e(s)$  : Nilai *error* pada  $Z(s)$

$R$  : Bilangan *real*

$N$  : Banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi

Karena koefisien dari hasil penjumlahan prediksi linier adalah 1 dan memiliki syarat tak bias maka  $E\hat{Z}(s) = \mu = E Z(s) = Z(s)$ , untuk setiap  $\mu \in R$  dan karena  $Z(s)$  merupakan suatu konstanta maka  $E Z(s) = Z(s)$  terdapat *estimator error*  $e(s)$ , pada setiap lokasi merupakan perbedaan antara nilai estimasi  $\hat{Z}(s)$  dengan nilai sebenarnya  $Z(s)$  yang dinyatakan sebagai berikut:

$$e(s) = \hat{Z}(s) - Z(s) \quad (7)$$

dimana,

$e(s)$  : *Estimator error*

$\hat{Z}(s)$  : Nilai estimasi

$Z(s)$  : Nilai sebenarnya

Dengan  $E e(s)=0$ . Selisih  $\hat{Z}(s)- Z(s)$  disebut dengan galat estimasi atau bias.

Bobot  $\lambda_i, i=1,2,\dots,n$  ditentukan berdasarkan kriteria:

1. Tak bias:  $[\hat{Z}(s)- Z(s)] = 0$
2. Variansi:  $\text{var}[\hat{Z}(s)- Z(s)]$  minimum

Dengan menggunakan persamaan (10) dapat dibuktikan bahwa  $\hat{Z}(s)$  merupakan *estimator* tak bias yaitu:

$$E e(s) = E \hat{Z}(s) - E Z(s) \quad (8)$$

dengan  $E e(s)=0$ , maka diperoleh:

$$E \hat{Z}(s) = Z(s) \quad (9)$$

## 2.6 Variogram dan Semivariogram

Variogram adalah grafik variansi terhadap jarak (*lag*) sedangkan semivariogram adalah setengah kuantitas dari semivariogram (Cressie, 1993). Variogram menentukan ukuran dari variansi yang digunakan untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi tidak ada kolerasinya. Estimasi variogram memiliki peran yang menentukan, misalnya dalam penentuan nilai-nilai optimal dari bobot setiap sampel. Cara yang paling alami untuk membandingkan dua nilai,  $Z(x)$  dan  $Z(x+h)$  pada dua poin  $x$  dan  $x+h$  pada nilai yang mutlak seharusnya mempertimbangkan nilai rata-rata  $[Z(x)-Z(x+h)]$  (Cressie, 1993).

1. Variogram eksperimental

Variogram eksperimental adalah variogram yang diperoleh dari data yang diamati. Variogram didefinisikan sebagai berikut:

$$2\gamma(h) = E[Z(x)-Z(x+h)]^2 \quad (10)$$

## 2. Semivariogram eksperimental

Semivariogram eksperimental adalah nilai dugaan yang diperoleh dari penarikan sampel di lapangan. Variogram eksperimental dibuat berdasarkan nilai korelasi spasial antara dua buah variabel yang dipisahkan oleh suatu jarak ( $h$ ) tertentu.

Semivariogram eksperimental dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (11)$$

dimana,

- $\gamma(h)$  : Semivariogram eksperimental
- $x_i$  : Lokasi titik sampel
- $Z(x_i)$  : Nilai observasi pada lokasi  $x_i$
- $h$  : Jarak antara dua titik sampel
- $x_i+h$  : Pasangan titik sampel yang berjarak  $h$
- $N(h)$  : Banyak pasangan data yang memiliki jarak  $h$ .

Setelah diperoleh nilai semivariogram eksperimental, maka dapat dihitung parameter-parameter yang akan digunakan untuk perhitungan semivariogram teoritis. Beberapa parameter yang digunakan untuk mencari nilai dalam semivariogram teoritis adalah *nugget effect*, *sill*, dan *range*.

### 1. *Range*

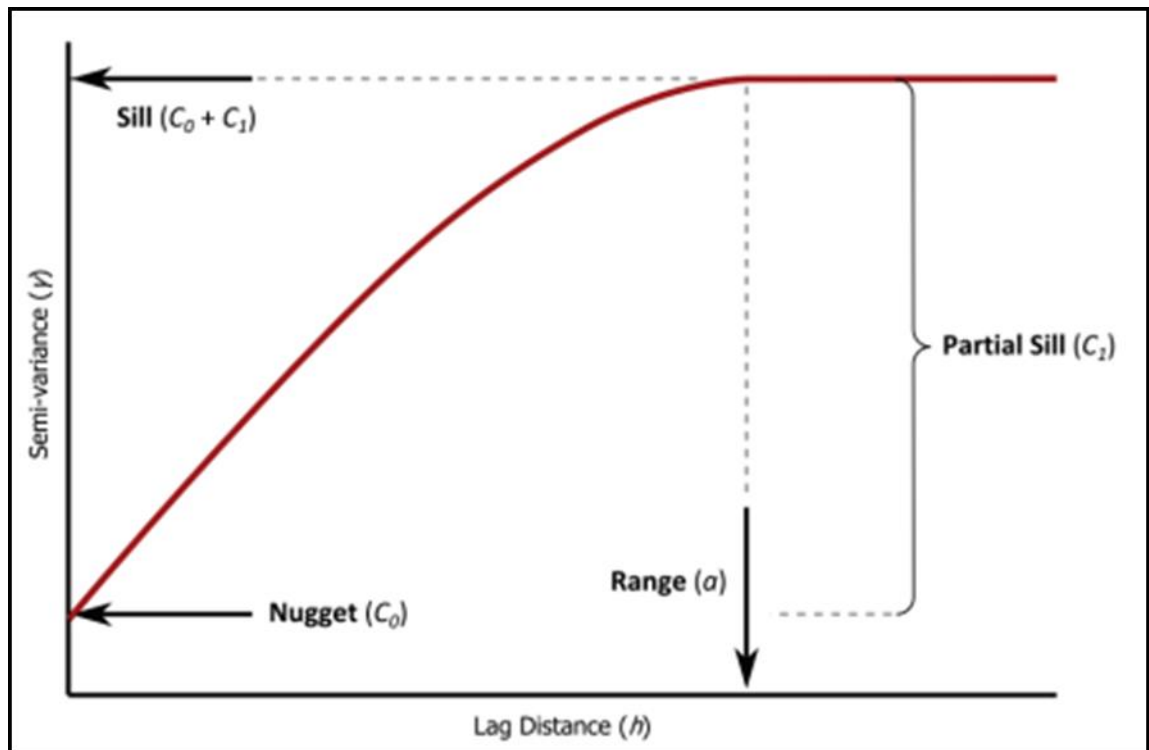
*Range* adalah jarak dimana variogram merupakan sebuah dataran tinggi (Isaaks and Srivastava, 1989). Jarak yang dimaksud adalah variogram harus mencapai nilai *sill*.

### 2. *Sill*

*Sill* adalah masa stabil suatu variogram dalam mencapai *range*. Variogram menjadi suatu wilayah yang datar yaitu ragamnya tidak mengalami suatu kenaikan (Isaaks and Srivastava, 1989).

### 3. *Nugget Effect*

Kediskontinuan pada pusat variogram terhadap garis vertikal yang melompat dari nilai 0 pada pusat nilai variogram dengan pemisahan jarak terkecil disebut dengan *nugget effect* (Isaaks and Srivastava, 1989).



Gambar 2.7 Komponen Variogram (Goovaerts, 1997).

Setelah memperoleh nilai dari ketiga parameter di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai semivariogram teoritis. Nilai yang diperoleh dari semivariogram teoritis akan digunakan untuk membandingkan nilai antara semivariogram eksperimental dengan teoritis. Selanjutnya dipilih model mana yang memiliki nilai paling kecil, yang nantinya akan digunakan untuk melakukan pendugaan data spasial. Berikut adalah beberapa model semivariogram teoritis yang digunakan sebagai pembanding (Micromine, 2014):

1. Model *Spherical (Sph)* adalah bentuk linear dengan kecepatan perubahan *slope* untuk mencapai *sill*. Model *spherical* digunakan dalam estimasi kualitas kadar.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0+C & \left[ \left(\frac{3h}{2a}\right) - 0,5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] \\ C_0+C & \end{cases} \quad h \leq a \text{ dan untuk } h > a \quad (12)$$

dimana,

$h$  : Jarak lokasi sampel

$C_0+C$  : *Sill*, yaitu nilai semivariogram untuk jarak pada saat besarnya konstan

$a$  : *Range*, yaitu jarak pada saat nilai semivariogram mencapai *sill*.

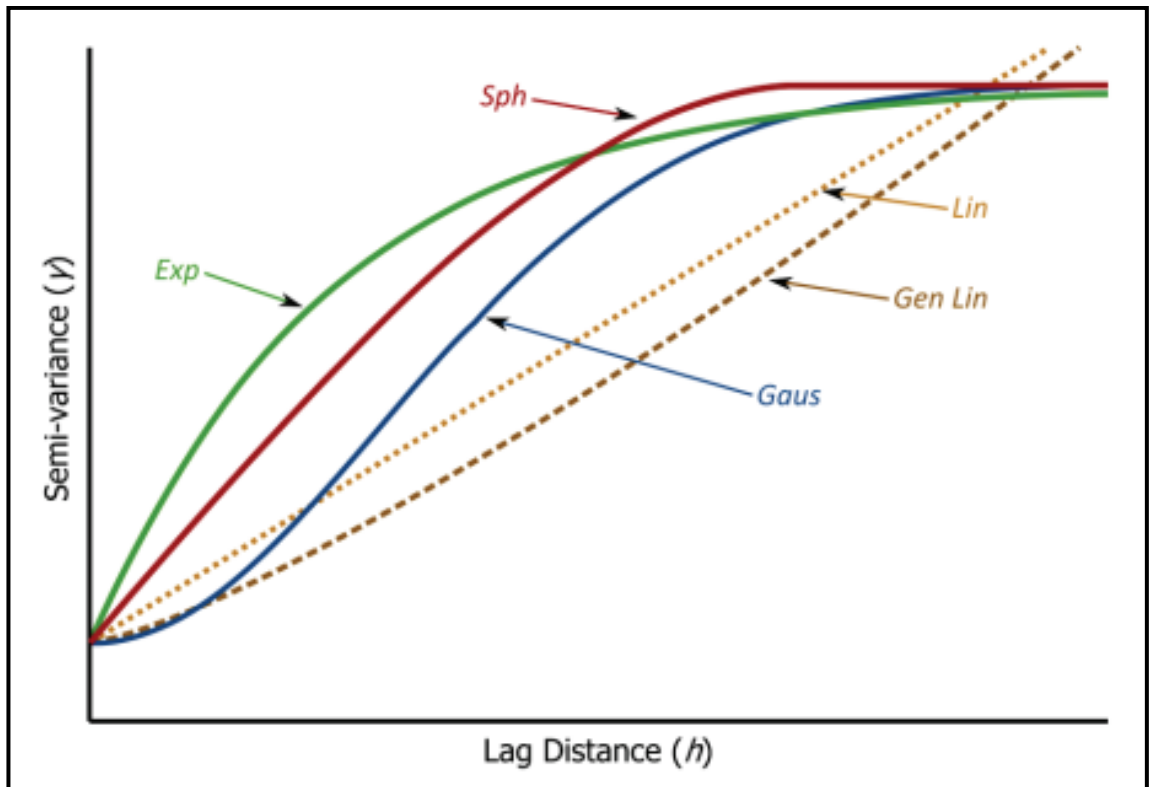
2. Model *Exponential (Exp)* adalah model yang memiliki lengkungan lebih besar dibandingkan dengan model *spherical* dan menunjukkan perubahan *slope* secara bertahap hingga mencapai *sill*. Model *exponential* digunakan dalam estimasi kualitas kadar.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad (13)$$

3. Model *Gaussian (Gaus)* merupakan model yang berbentuk parabolik yang secara bertahap perubahan *slope* akan mencapai *sill*. Model *Gaussian* digunakan untuk perhitungan kontaminasi air dan udara.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[ 1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \right] \quad (14)$$

4. *Linear (Lin)* dan *General Linear (Gen Lin)* merupakan model yang tidak mencapai *sill*. *General Linear* digunakan untuk elevasi topografi dan ketebalan *seam* batubara.



Gambar 2.8 Semivariogram (Goovaerts, 1997).