



Mining & Minerals



# MATERI PERKULIAHAN PEMODELAN DAN EVALUASI CADANGAN



**Dr.Eng. Syafrizal., ST., MT**

**Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumber Daya Bumi  
Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan  
Institut Teknologi Bandung**

**25 MARET 2013**

**DISAMPAIKAN UNTUK UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

# PENDAHULUAN

- ❑ Tinjauan Umum Pemodelan dan Evaluasi Cadangan.
- ❑ Tahapan dan Faktor Penting dalam Pemodelan dan Evaluasi Cadangan.

# Tinjauan Umum

3

- **Burmeister (1989)** : Melakukan review terhadap 35 Operasi Penambangan Emas di Australian yang memulai operasi pada periode 1984 to 1987, dan menemui fakta bahwa 2/3 tidak dapat mencapai target produksi emas pada tahun pertama operasi. Penyebab utama :
  - excessive dilution,
  - inappropriate estimation techniques,
  - inadequate geological interpretation,
  - unreliable assays, and
  - inadequate drilling
- **Clow (1990)** : melakukan kajian terhadap 25 Canadian Gold Projects dan menemukan bahwa hanya 3 project yang sesuai dengan penaksiran. Penyebab utama :
  - poor data management;
  - inappropriate treatment of high-grade values;
  - lack of bulk sampling;
  - errors from application of geostatistics; and
  - inadequate assessment of dilution and mining method.



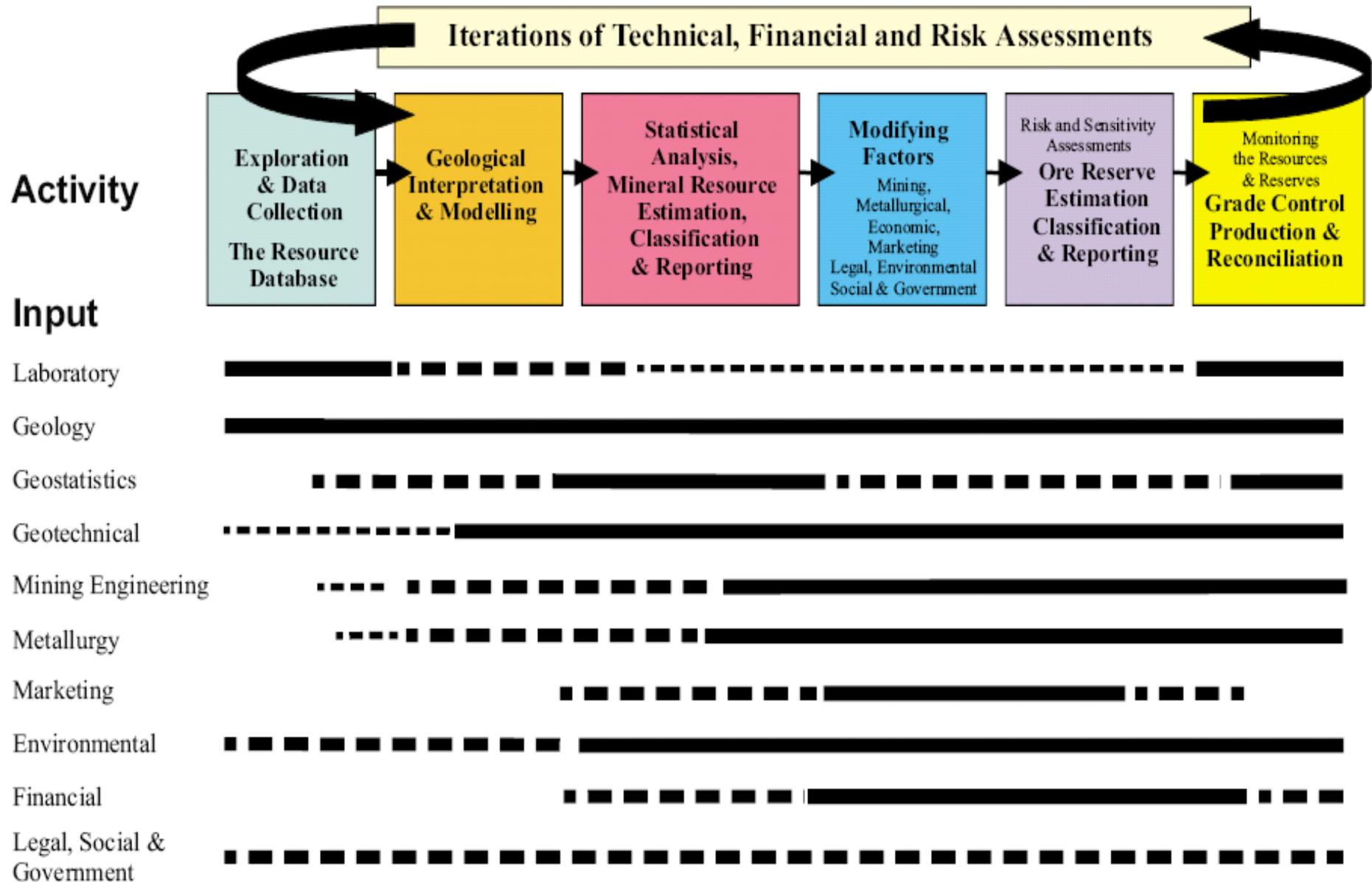
# Persyaratan Utama dalam Evaluasi dan Pemodelan Cadangan

4

- Dapat **mencerminkan secara tepat** kondisi geologi, karakteristik, dan sifat endapan,
- Dilaksanakan sesuai dengan **tujuan evaluasi**,
- Harus didasarkan pada **data faktual** yang **diolah secara objektif**,
- Harus memberikan hasil yang dapat **diuji ulang** (diverifikasi),
- Harus menghasilkan **tingkat kepercayaan** hasil perhitungan:
  - ▣ Kebenaran dan pengetahuan **dalam interpretasi badan bijih**.
  - ▣ Kepadatan data (**grid density**) yang cukup
  - ▣ **Asumsi dan pendekatan variabel** dalam interpretasi dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan teknis.
  - ▣ Pendekatan **rumus perhitungan** tidak melanggar kaidah matematika yang ada.

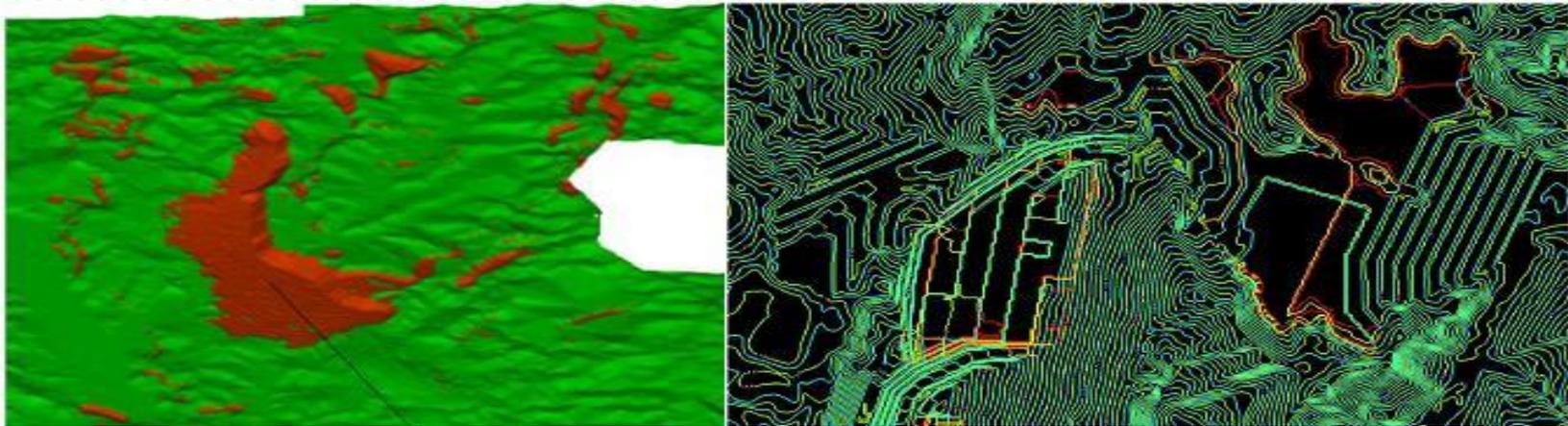


# The Ore Reserve Estimation Process

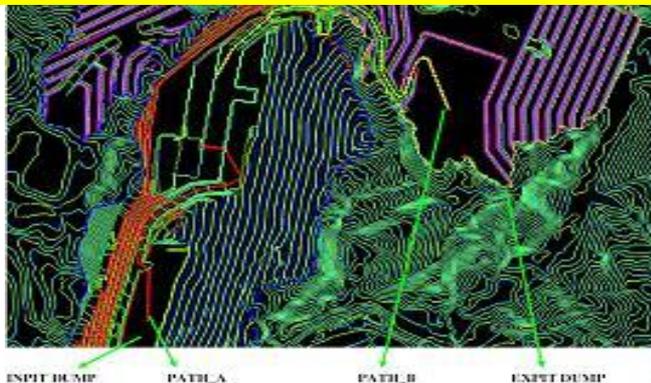


# Ilustrasi

6

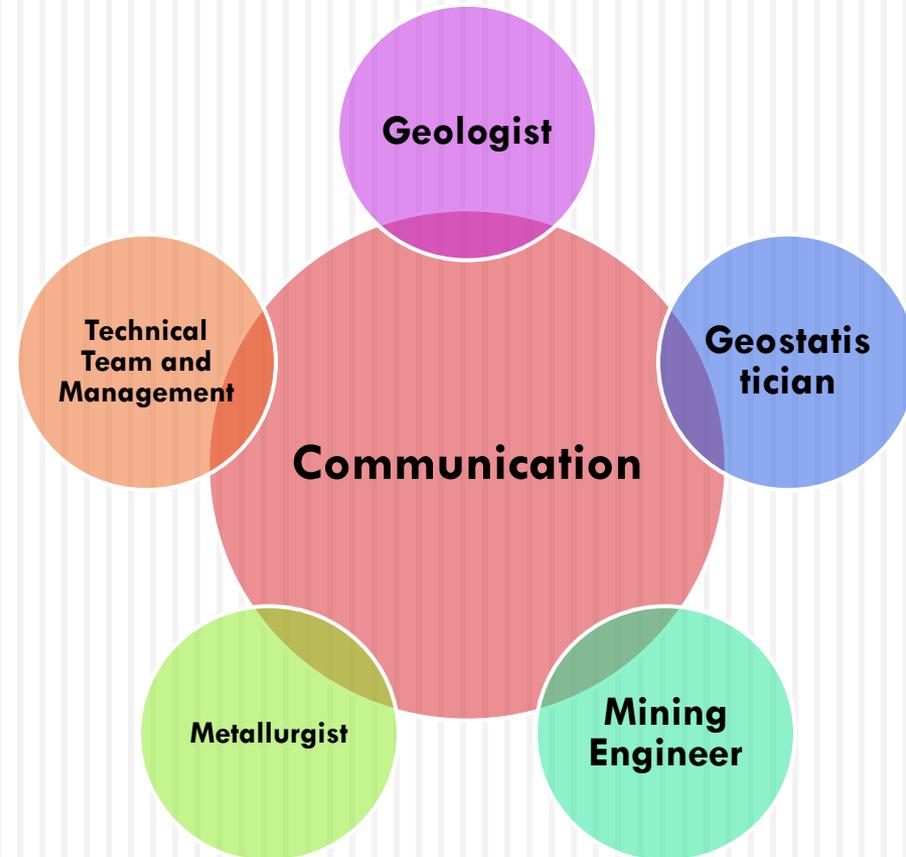
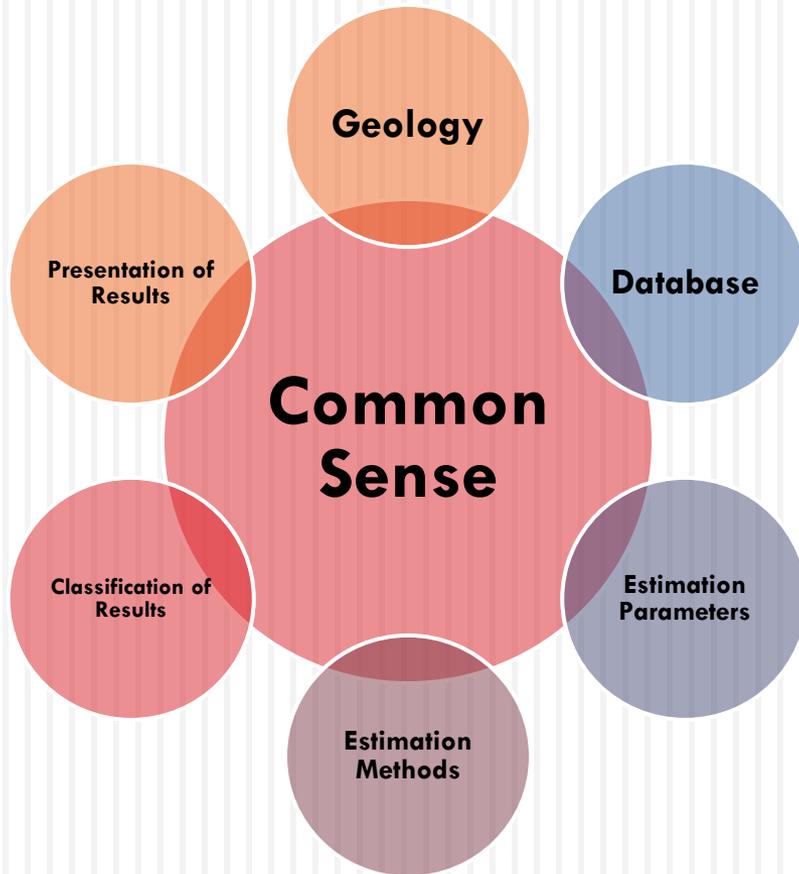


Model Geologi → Resources → Insitu Gridded Model → Pit Geometri → Pit Optimizer → Parameter Geoteknik → Mine Design (alternatif 1 s.d n) → Reserve optimisation (Insitu Reserve dan ROM Reserve) → Penjadualan



# Common Sense and Good Communication in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation

7



# Common Sense

8

- Geologi :
  - Pemahaman geologi dari deposit.
  - Pemilihan metode dan klasifikasi → Tingkat kepercayaan.
  - Interpolasi nilai harus berdasarkan kondisi geologi dan karakter deposit, bukan sebaliknya.
- Database :
  - Mencakup observasi dan pengukuran,
  - Pengecekan data dilakukan pada semua tahap (mulai dari sampling s/d hasil).
  - Sistem pengecekan yang ketat untuk kerepresentatifan, akurasi, serta presisi.
  - Ukuran dan jarak data menjadi hal yang penting yang didasarkan pada geologi, kemenerusan, serta nilai cut-off grade yang akan diaplikasikan.
- Parameter Estimasi :
  - Nilai cut-off grade harus berdasarkan kondisi keekonomian.
  - Tebal minimum, tebal maksimum dan outliner, serta ukuran blok perhitungan harus didasarkan pada karakteristik lokal.



# Common Sense

9

- Metoda Estimasi :
  - ▣ Kesesuaian metode perhitungan dengan geologi deposit dan data yang tersedia, serta memperhatikan metode pertambangan yang memungkinkan.
  - ▣ Metode perhitungan bersifat unik terhadap badan bijih tertentu.
- Klasifikasi :
  - ▣ Menggunakan klasifikasi yang tersedia (SNI atau JORC).
  - ▣ Telah mempertimbangkan faktor keyakinan dan risiko.
  - ▣ Tingkat keyakinan dipengaruhi oleh kualitas data, metode perhitungan yang digunakan, dan interpretasi geologis.
  - ▣ Tidak menutup untuk penambahan titik data (infill).
- Presentasi :
  - ▣ Dipresentasikan secara jelas, ringkas, dan sistematis.
  - ▣ Kegunaan kegiatan estimasi tidak hanya untuk keperluan teknis, tetapi juga untuk pihak-pihak non teknis yang membutuhkannya.
  - ▣ Hasil umumnya bersifat kualitatif, sehingga sebaiknya berupa estimasi atau perkiraan, bukan kalkulasi.



# Komunikasi

10

- Geologist :
  - Penginterpretasian struktur geologi deposit dan penyampaian hasil interpretasi kepada semua yang terlibat dalam proses estimasi.
- Ahli Geostatistik :
  - Ada tiga kegiatan yang dilakukan sebelum dimulainya proses perhitungan :
    - Ahli geologi menjelaskan keseluruhan interpretasi geologi dan implikasi dari interpretasi tersebut.
    - Ahli pertambangan harus membuat garis besar metode penambangan dan peralatan dari desain pertambangan yang akan diajukan.
    - Ahli geostatistika harus menjelaskan metode perhitungan yang diajukan dengan jelas, sehingga dimengerti oleh ahli geologi dan ahli pertambangan, serta meyakinkan adanya hubungan yang relevan antara metode tersebut dengan aspek geologi dan pertambangan.
  - Maka ahli pertambangan dan ahli geologi profesional sebaiknya terbiasa dengan konsep geostatistika.
- Metalurgist :
  - Karakteristik metalurgi dan pengambilan keputusan nilai cut-off grade.
- Technical Team and Management :
  - Tim teknisi memiliki tanggung jawab untuk memberikan data dan asumsi yang digunakan kepada pihak manajemen, serta tingkat keyakinan hasil akhir.



# KONSEP DASAR

- ❑ Dasar Klasifikasi.
- ❑ Konsep Dasar dan Satuan.
- ❑ Homogenitas dan Kontinuitas

# Klasifikasi

## Mengapa Diperlukan ?

12

- Sumberdaya Mineral & Batubara sangat melimpah.
  - Perlu dikelompokkan dengan kategori tertentu.
- Tingkat keyakinan yang berbeda-beda.
  - Sangat bergantung pada tahapan eksplorasi.
- Ketersediaan data dan informasi.
  - Sangat bergantung pada proses pelaksanaan eksplorasi.
- Metoda pendekatan dan asumsi yang digunakan sangat bervariasi.
  - Akan mempengaruhi tingkat akurasi perhitungan.
- Keseragaman istilah dan terminologi.
  - Standar dalam pelaporan hasil eksplorasi dan estimasi sumberdaya dan cadangan.
  - Baik untuk pemerintah, industri pertambangan, maupun penyandang dana.



# Dasar Klasifikasi

13

- Kajian Geologi
  - Kontinuitas geologi atau kompleksitas geologi endapan.
  - Tingkat keyakinan geologi dan/atau tahapan eksplorasi.
- Kajian Kelayakan
  - Faktor teknis yang meliputi: kondisi data eksplorasi, teknis dan operasi penambangan, pengolahan, lingkungan, dll.
  - Faktor ekonomis yang meliputi pasar, harga, dan parameter ekonomi.



# Sumberdaya (Resources)

14

- **Sumberdaya Terukur (Measured Resources) :**
  - Kuantitas yang dihitung berdasarkan ukuran-ukuran (dimensi) yang mengacu pada singkapan (outcrops), paritan uji (trenches), lubang bor (drill holes);
  - Kadar diperoleh dari pola pemercontohan (sampling) detail ;
  - Memiliki tingkat keyakinan geologi yang baik.
- **Sumberdaya Tertunjuk (Indicated Resources) :**
  - Kuantitas dan kadar atau kualitas dihitung berdasarkan informasi/cara yang sama dengan measured, tetapi relatif dengan jarak antar titik informasi yang lebih jauh, dimana digunakan asumsi kemenerusan secara geologi.
  - Memiliki keyakinan geologi yang sedang.
- **Sumberdaya Tereka (Inferred Resources) :**
  - Merupakan perkiraan kuantitas berdasarkan keyakinan geologi dengan mengasumsikan kemenerusan lapisan.
  - Belum didukung oleh pengukuran/jumlah titik data yang memadai, namun dalam prakteknya tetapi harus didukung oleh geo-scientific.
  - Memiliki keyakinan geologi yang rendah.



# Faktor Pengubah (*Modifying Factor*)

15

*Merupakan faktor-faktor yang harus digunakan (diperhitungkan) untuk mendapatkan jumlah cadangan (reserve) dari sejumlah sumberdaya (resources)*

Faktor-faktor pengubah antara lain :

- Penambangan,
- Pengolahan/pemurnian,
- Ekonomi dan pemasaran,
- Hukum, lingkungan, dan sosial, serta
- Peraturan pemerintah yang digunakan sebagai pertimbangan



# Cadangan (Reserves)

16

- **Cadangan terbukti (Proved Reserve)**
  - Bagian dari sumberdaya terukur (measured resources) yang ekonomis untuk ditambang
  
- **Cadangan terkira (Probable Reserve)**
  - Bagian sumberdaya tertunjuk (indicated resources) yang ekonomis untuk ditambang, dan
  - Dalam beberapa kondisi, dapat juga merupakan bagian dari sumberdaya terukur (measured resources).



# Cadangan (Reserves)

17

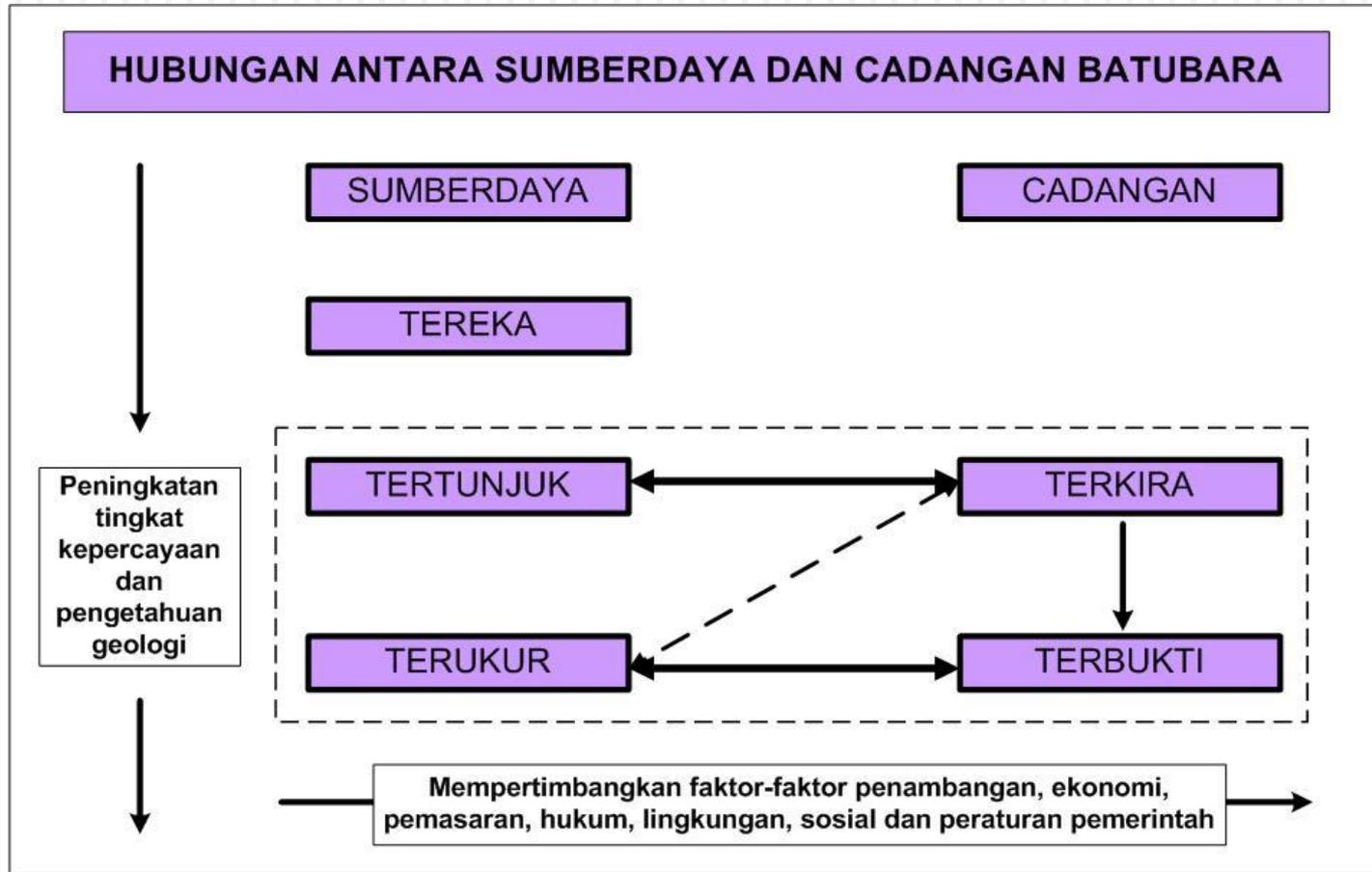
- Beberapa terminologi cadangan yang juga sering digunakan dalam industri :
  - ▣ Insitu Reserve,
  - ▣ Mineable Reserve,
  - ▣ Marketable Reserve.
  
- Dalam beberapa kondisi, seringkali dijumpai beberapa terminologi seperti :
  - ▣ Resources – Reserve Balance,
  - ▣ Konservasi Sumberdaya dan Cadangan,
  - ▣ Sisa cadangan.





# SNI 5015:2011

19



# SATUAN

20

- Satuan Luas
  - ▣ Pada umumnya dinyatakan berdasarkan satuan-satuan panjang.
- Satuan Volume
  - ▣ Loose cubic metre (lcm) adalah pernyataan volume pada material “not in situ” setelah pemberaian (penambangan) → volume disposal, stockpile (ROM), stockyard.
  - ▣ Bank cubic metre (BCM) adalah untuk menyatakan material “in situ” sebelum pemberaian.
  - ▣ Faktor Pengembangan (Swell Factor) untuk perhitungan (konversi) BCM ke LCM → dilakukan dengan tes penambangan.
- Satuan Massa (Berat)
  - ▣ Metric tonne
  - ▣ Ounce (disingkat “oz”) ; 1 ounce = 28,35 g.
  - ▣ 1 troy ounce = 31,103 g.
  - ▣ Pound (disingkat “lb” atau “lbs”) ; 1 pound = 0,4536 kg.



# Satuan Energi

21

- Pada dunia batubara, nilai kalori atau nilai panas menjadi sangat penting.
  - Pada satuan British dinyatakan sebagai “thermal units per pound” (Btu/lb).
  - Pada satuan metrik : cal/g (sering dinyatakan juga sebagai cal/gr) atau kcal/kg.
  - 1 Btu = 252,2 cal dan 1 lb = 0,4536 kg

$$\left(\frac{\text{Btu}}{\text{lb}}\right) = \frac{252.2}{0.4536} = 556.0 \left(\frac{\text{cal}}{\text{kg}}\right) \quad \text{or} \quad 0.556 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$$

As a rule-of-thumb, one can divide the Btu/lb value by 2 and add 10% to obtain the value in kcal/kg.

*Example:* 12 000 Btu/lb = 12 000 : 2 → 6 000 + 10% → 6 000 + 600 = 6 600 kcal/kg. The more exact value is 6 672 kcal/kg which is an error of about 1%.



# Sieve units (screen sizes)

- Umumnya dinyatakan dalam mesh (#) yaitu jumlah lubang per inch.
- Rule of thumb :  $\frac{15\,000}{\text{mesh number}} \approx \text{aperture in microns}$

Mesh (Tyler Standard Sree Scale Sieve Series)	Aperture W (mm)	Mesh (Tyler Standard Sree Scale Sieve Series)	Aperture W (mm)	Mesh (Tyler Standard Screen Scale Sieve Series)	Aperture W (mm)
1.05"	26.9	7	2.83	48	0.297
.883"	22.6 <sup>a</sup>	8	2.38	60	0.250 <sup>a,b</sup>
.742"	19.0	9	2.00 <sup>a,b</sup>	65	0.210
.624"	16.0 <sup>a,b</sup>	10	1.68	80	0.177 <sup>a</sup>
.525"	13.5	12	1.41 <sup>a</sup>	100	0.149
.441"	11.2 <sup>a</sup>	14	1.19	115	0.125 <sup>a,b</sup>
.371"	9.51	16	1.00 <sup>a,b</sup>	150	0.105
2 ½	8.00 <sup>a,b</sup>	20	0.841	170	0.088 <sup>a</sup>
3	6.73	24	0.707 <sup>a</sup>	200	0.074
3 ½	5.66 <sup>a</sup>	28	0.595	250	0.063 <sup>a,b</sup>
4	4.76	32	0.500 <sup>a,b</sup>	270	0.053
5	4.00 <sup>a,b</sup>	35	0.420	325	0.044 <sup>a,b</sup>
6	3.36	42	0.354 <sup>a</sup>	400	0.037

<sup>a</sup> Corresponds to ISO-Norm 3310/1 (international standard).

<sup>b</sup> Corresponds to DIN 4188 (German standard).



# Densitas (Density)

23

- Densitas didefinisikan sebagai massa per unit volume.
  - ▣ Salah satu karakteristik fisik batuan dan bijih yang dipergunakan untuk konversi ukuran dari volume menjadi tonase.
- Densitas efektif merupakan massa per unit volume pada material tanpa porositas atau material solid.
- Densitas relatif (specific gravity) → berat material ekuivalen dengan berat air dengan volume sama
- Densitas ruah (bulk density) → densitas yang memperhatikan porositas (non solid).
  - ▣ Mineralogi → Specific Gravity
  - ▣ Pertambangan (bijih & waste) → Bulk Density



# Densities

24

Mineral or rock	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Mineral or rock	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Au-quartz vein without sulphides	2.6	Dolomite	2.8
Au-quartz reef, South Africa	2.8–2.85	Sandstone	2.6
Massive sulphides, pyrite most important component	4.0–4.5	Slate	2.8
Semi-massive sulphides as frequently encountered in magmatic Cu-Ni deposits	3.3–3.6	Greywackes	2.7
Hematitic iron ore	4.3	Bauxite	1.4
Barite	4.0	Ni-laterite	1.25
Fluorspar	3.1	Decomposed serpentinite	1.0
Porphyry copper ore	2.3–2.6	Gravel, sand	1.7
Basic intrusives and extrusives	2.8–3.0	Bituminous coal	1.3–1.5
Acid intrusives and extrusives	2.6–2.7	Lignite	1.2
Limestone	2.6		



TABLE 1.4 Specific gravity of common rocks and minerals

	Specific Gravity		Specific Gravity
<b>Rocks</b>		<b>Minerals (continued)</b>	
Andesite	2.4–2.8	Chromite	4.5
Basalt	2.7–3.2	Copper	8.8
Diabase	2.8–3.1	Covellite	4.6
Dolomite	2.7–2.8	Cuprite	6.0
Gabbro	2.9–3.1	Feldspar	2.6–2.8
Granite	2.6–2.7	Fluorite	3.1
Gravel (dry)	1.6–2.0	Galena	7.6
Limestone	2.7–2.8	Gold	17.5
Rhyolite	2.2–2.7	Graphite	2.2
Sandstone	2.0–3.2	Gypsum	2.3
Schist	2.6–3.0	Hematite	5.2
Shale	1.6–3.0	Molybdenite	4.8
		Muscovite	2.9
<b>Minerals</b>		Pentlandite	4.8
Anglesite	6.3	Platinum	19.0
Anhydrite	2.9	Pyrite	5.0
Argentite	7.3	Pyroxene	3.3
Arsenopyrite	6.0	Pyrrhotite	4.7
Barite	4.5	Quartz	2.7
Bauxite	4.5	Scheelite	6.0
Bornite	4.9	Sericite	2.6
Calcite	2.7	Silver	10.6
Cassiterite	7.0	Smithsonite	4.4
Cerussite	6.5	Sphalerite	4.1
Chalcedony	2.6	Stibnite	4.6
Chalcocite	5.7	Sulfur	2.1
Chalcopyrite	4.3	Uraninite	9.4

# Densitas (Density)

26

- For example, if a massive sulfide ore is 10% galena, 35% sphalerite, and 55% pyrite, the specific gravity would be:

$$7.6 \times 0.10 = 0.76$$

$$4.1 \times 0.35 = 1.44$$

$$5.0 \times 0.55 = \underline{2.75}$$

$$4.95 = \text{sp gr of ore}$$



# KADAR DAN KUALITAS

27

## KADAR

- Kadar : menyatakan kuantitas suatu mineral/logam per unit volume atau berat.
- Satuan :  $\text{kg/m}^3$ , % (persen), ppm (part per million), ppb (part per billion).
- Dalam kasus diamond (intan) dinyatakan dalam karat (carats), dimana 1 carrat = 0.2 g.



# GRID DENSITY

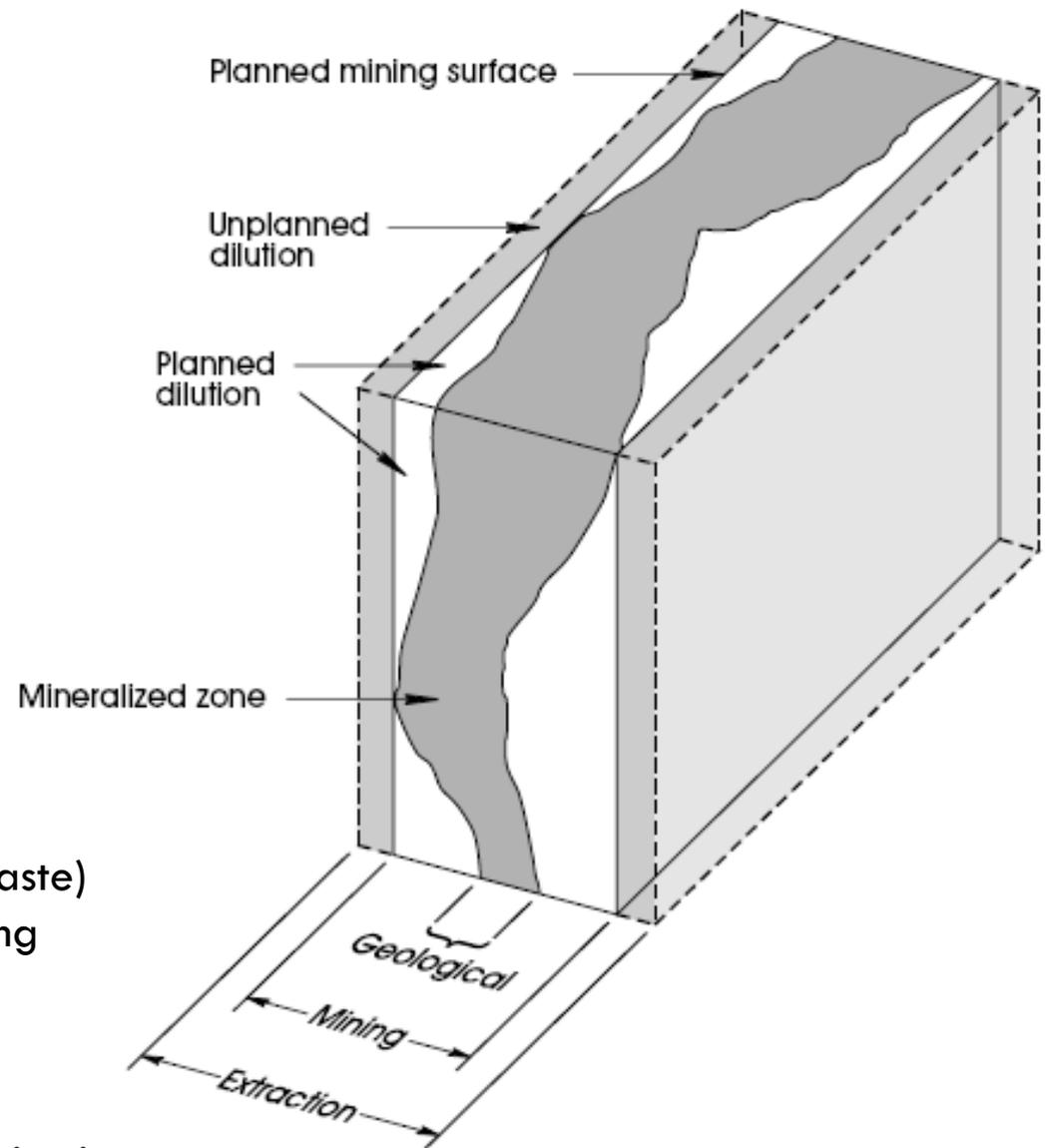
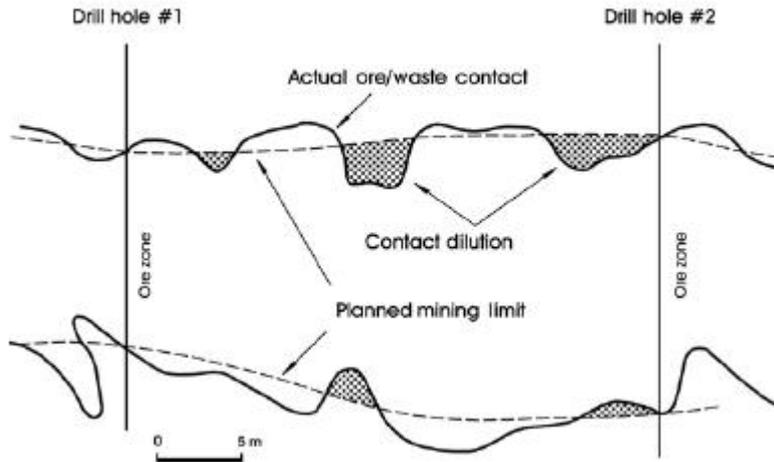
28

- Derajat kerapatan (jarak) interval antar titik observasi di dalam eksplorasi disebut dengan Grid Density.
- Peningkatan grid density ini perlu dilakukan untukantisipasi adanya struktur dan perbedaan keadaan mineralisasi.
- Peningkatan tahapan eksplorasi, maka grid density juga akan bertambah besar.
- Grid density besar, maka tingkat derajat kepercayaan dan ketelitian semakin baik.
- Jika grid density rendah, berarti interval/jarak antara titik observasi besar, berarti mineralisasi bersifat homogen.
- Jika grid density tinggi, berarti interval/jarak antara titik observasi kecil, berarti mineralisasi bersifat non-homogen



# DILUSI

29



Pencampuran dari material bukan bijih (waste) ke dalam material bijih sehingga cenderung menaikkan tonase dan dapat menurunkan kadar rata-rata.

Tidak hanya terjadi pada tahap eksplorasi saja melainkan terjadi hingga proses pengolahan mineral.

# DILUSI

30

- Dilusi internal
  - ▣ Dilusi internal geometri → material kadar rendah mempunyai batas yang jelas dengan material kadar tinggi.
  - ▣ Dilusi internal inheren → material kadar rendah tidak mempunyai batas yang jelas dengan kadar tinggi (terjadi karena resolusi blok yang rendah)
- Dilusi eksternal
  - ▣ Dilusi eksternal terjadi karena reruntuhan dinding,
  - ▣ Kesulitan teknis mengambil batas bijih dalam open pit atau kurang hati-hati dalam pemisahan batas bijih dan waste.
  - ▣ Dapat juga terjadi dalam hal membuka stope dimana lebar bijih kurang dari lebar minimum penambangan



# STRIPPING RATIO

31

- Stripping ratio atau nisbah kupas adalah perbandingan antara jumlah material yang harus dikupas (sebagian besar adalah overburden) untuk mendapatkan satu satuan bijih.
  - Untuk tambang bijih umumnya diartikan sebagai jumlah tonase material yang harus dipindahkan untuk mendapatkan satu ton bijih.
  - Untuk tambang batubara umumnya diartikan sebagai volume material yang harus dikupas untuk mendapatkan satu ton batubara.



# CUT OFF GRADE

32

- Cut off grade (cog) adalah kadar batas secara keekonomian.
  - Cog digunakan untuk membedakan blok-blok bijih dengan blok-blok waste dalam perhitungan cadangan.
  - Perubahan harga logam akan mempengaruhi cog → menyebabkan perubahan jumlah cadangan.
  - Cog merepresentasikan batas ekonomis untuk membuat deliniasi zona kadar mineral atau logam yang potensial untuk ditambang.



# Mining Recovery

33

- In underground mining a 100% recovery is virtually impossible. Pillars are often left, so that actual recovery depends on the particular mining method, and may range from below 70% for room and pillar operations to >90% for cut and fill operations.
- In many cases a recovery of 85–90% may reasonably be assumed, with complementary loss of ore or tonnages, i.e. a 90% mining recovery means a 10% loss of tonnages.
- Even for open pit mines one should not assume 100% recovery but allow for 5% loss, for example as ore that is to be left in the pit shell due to the open pit design.



# Contoh Sederhana

34

- Berdasarkan hasil perhitungan pada suatu pit rencana penambangan, luasan bidang lapisan batubara adalah  $200.000 \text{ m}^2$ . Ketebalan rata-rata lapisan batubara tersebut adalah 5 meter. SG batubara = 1,3.
  - Berapa jumlah cadangan insitu (tonase) batubara di pit tersebut.
  - Jika dalam perhitungan cadangan insitu tersebut diperoleh Stripping Ratio sebesar 10:1, berapa volume waste (overburden) nya ?
  - Berdasarkan pertimbangan teknis, diperkirakan total losses penambangan sebesar 5%, maka tentukan jumlah cadangan tertambang.
  - Jika batubara tersebut harus dicuci untuk mendapatkan batubara bersih (clean coal), maka batubara dari hasil penambangan dikirim ke Washing Plant dengan Recovery sebesar 90%. Berapa jumlah (tonase) batubara tercuci (batubara bersih) yang diperoleh ?



# Contoh Sederhana

35

- Perusahaan tambang A memiliki kontrak penjualan 1 000 ton logam tembaga per-tahun.
  - Kadar rata-rata 1% Cu.
  - Mining Losses : 10 %.
  - Recovery dari proses pengolahan : 75%.
  - SG material adalah 2,5.
- Berapa total volume material (ore) yang harus dikirim (ditambang) ke proses pengolahan per-tahun ?



# Interpolasi (Geometri) Badan Biji

36

- Pendefinian geometri endapan dikontrol oleh pengetahuan terhadap karakter internal mineralisasi → deliniasi.
- Proses deliniasi didukung oleh :
  - ▣ Sampling yang ekstensif.
  - ▣ Sampling desain dikontrol oleh karakteristik geologi termasuk support, jumlah, dan tata letak sampel.
- Sampel dianalisis untuk mendapatkan informasi geologi, kadar, dan karakteristik fisik.
- Karakteristik fisik yang penting antara lain :
  - ▣ Bulk density,
  - ▣ Fracture density → kontrol mineralisasi dan kadar,
  - ▣ Batas antara ore & wallrock → implikasi terhadap dilusi.



# KONTINUITAS

37

- Kontinuitas saat ini menjadi topik hangat sehubungan dengan studi endapan mineral dan klasifikasi sumberdaya/cadangan.
- Parameter kontinuitas ini menjadi parameter penting dalam sistim klasifikasi.
  - Untuk mendefinisikan bagian dari endapan bahan galian yang dapat dihitung sebagai asset dari suatu perusahaan eksplorasi atau penambangan.
- Dalam skema klasifikasi, kontinuitas digunakan untuk menunjukkan selang tingkat kepercayaan terbaik yang dapat dihasilkan dari hasil observasi atau batasan interpolasi.
  - Tingkat keyakinan akan bertambah dengan naiknya kepastian kontinuitas endapan.



# Contoh Kontinuitas thd Klasifikasi

38

PARAMETER	KONDISI GEOLOGI		
	SEDERHANA	MODERAT	KOMPLEK
<b>I. Aspek Sedimentasi</b>			
1. Variasi ketebalan	Sedikit bervariasi	Bervariasi	Sangat bervariasi
2. Kesenambungan	Ribuan meter	Ratusan meter	Puluhan meter
3. Percabangan	Hampir tidak ada	Beberapa	Banyak
<b>II. Aspek Tektonik</b>			
1. Sesar	Hampir tidak ada	Jarang	Rapat
2. Lipatan	Hampir tidak terlipat	Terlipat sedang	Terlipat kuat
3. Intrusi	Tidak berpengaruh	Berpengaruh	Sangat berpengaruh
4. Kemiringan	Landai	Sedang	Curam
<b>III. Aspek Kualitas</b>			
Variasi kualitas	Sedikit bervariasi	Bervariasi	Sangat bervariasi



# Contoh Kontinuitas thd Klasifikasi

39

Persyaratan jarak titik informasi untuk setiap kondisi geologi dan kelas sumberdaya-nya.

Kondisi Geologi	Kriteria	SUMBERDAYA			
		Hipotetik	Tereka	Tertunjuk	Terukur
Sederhana	Jarak titik informasi (m)	Tidak Terbatas	$1000 < X \leq 1500$	$500 < X \leq 1000$	$X \leq 500$
Moderat	Jarak titik informasi (m)	Tidak Terbatas	$500 < X \leq 1000$	$250 < X \leq 500$	$X \leq 250$
Komplek	Jarak titik informasi (m)	Tidak Terbatas	$200 < X \leq 400$	$100 < X \leq 200$	$X \leq 100$



# KONTINUITAS

40

## KONTINUITAS GEOLOGI

Merupakan bentuk spasial (fisik) dari suatu geometri endapan atau domain mineralisasi.

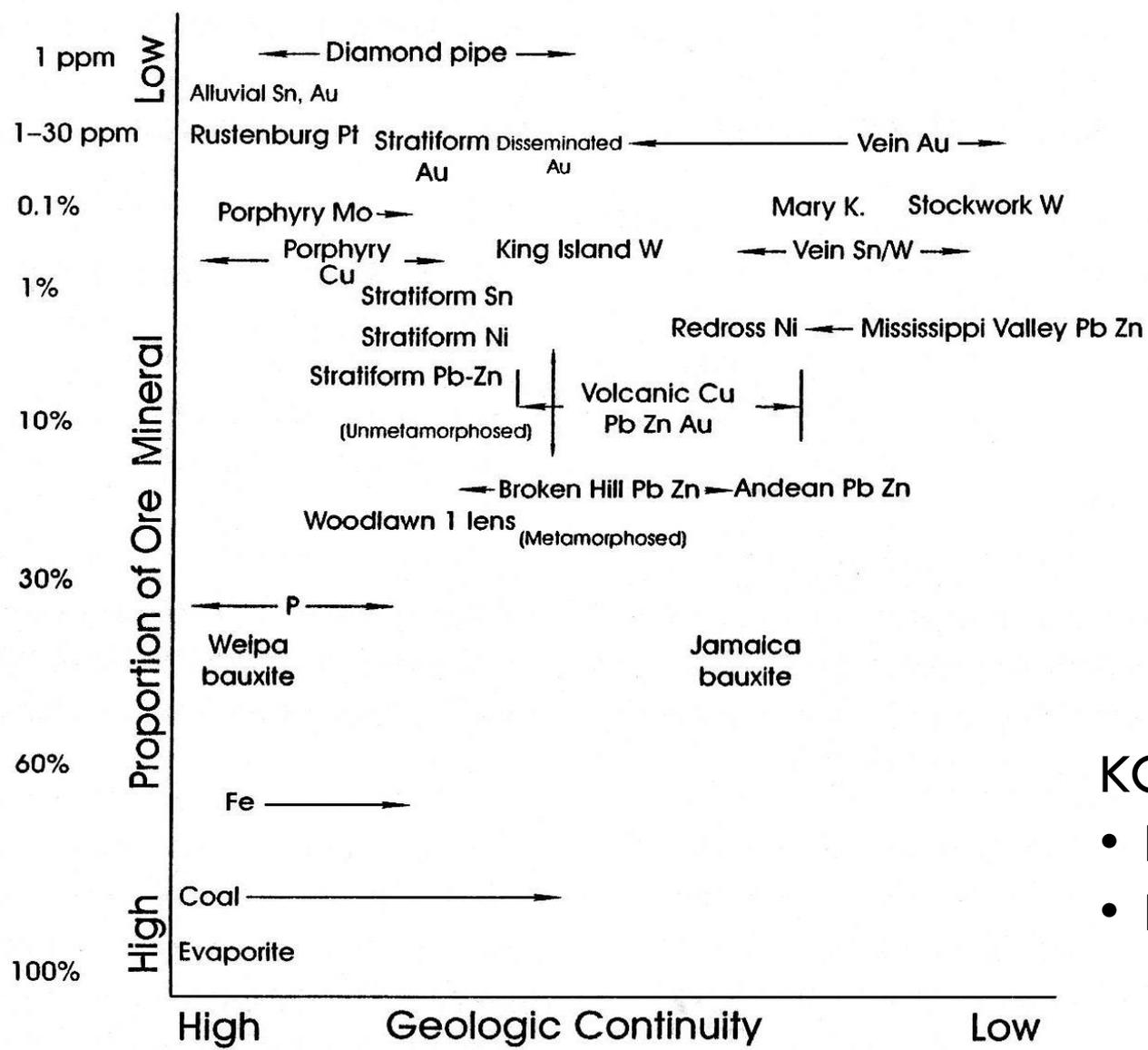
- Primary: veins, mineralized shear, mineralized stratum
- Secondary: postmineral faults, metamorphism, folding or shearing of deposits

## KONTINUITAS NILAI

Merupakan bentuk distribusi spasial dari suatu pengukuran parameter endapan.

- Ketebalan zona (domain) geologi.
- Kadar pada suatu zona (domain) geologi.
- Nugget effect and range of influence are quantified.
- Trend distribusi kadar secara spasial pada beberapa arah.
- Hubungan, trend atau distribusi suatu domain geologi pada beberapa kombinasi parameter.

# KONSEP HOMOGENITAS



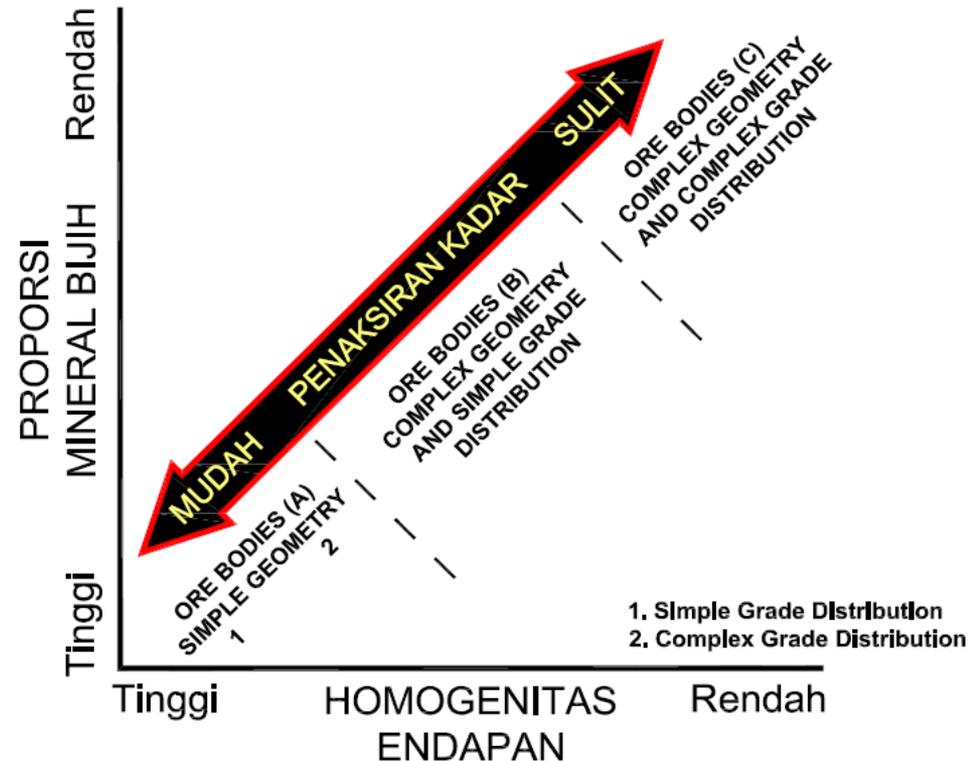
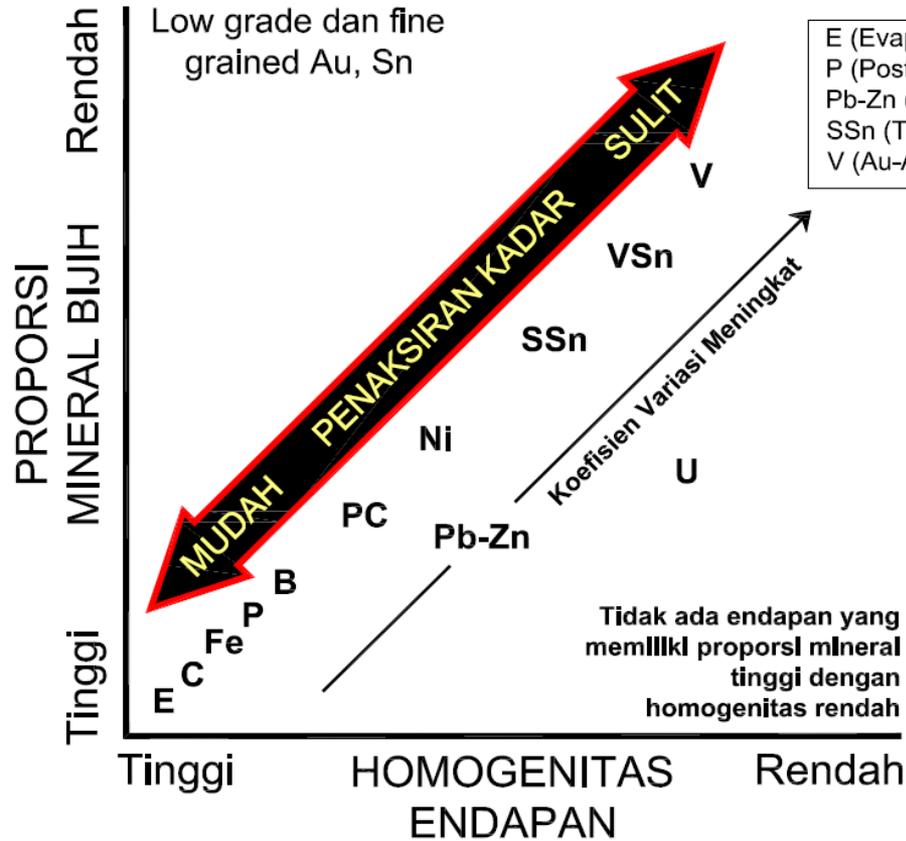
## KONTINUITAS

- Kontinuitas Geometri
- Kontinuitas Nilai



# KONSEP HOMOGENITAS vs METODA PERHITUNGAN CADANGAN

42



# Endapan Type A

43

Merupakan endapan bijih yang mempunyai koefisien variasi yang rendah.

Kategori endapan bijih ini dibagi dalam dua type

- **Type 1**, yaitu endapan bijih dengan bentuk geometri yang sederhana dan distribusi kadar yang sederhana.
- **Type 2**, yaitu endapan bijih dengan bentuk geometri yang sederhana dan distribusi kadar yang kompleks.



# Endapan Type A

44

- Cadangan in-situ umumnya sama dengan cadangan recoverable (dengan batas dilusi minor) untuk unsur-unsur utamanya.
  - ▣ Metoda perhitungan cadangan endapan bijih dengan cara geostatiska dan klasik menghasilkan hasil yang sama untuk kadar rata-rata secara keseluruhan.
  - ▣ Evaluasi lokal atas unsur-unsur minor mempunyai akurasi yang terbatas, hal ini dikarenakan faktor pola pemboran.
  - ▣ Geologi struktur dapat menimbulkan problem.
  - ▣ Penentuan kadar pada umumnya tidak mengalami kesulitan.
- Untuk endapan bijih Type 2 dalam kategori (A), untuk perkiraan-perkiraan lokal tampaknya lebih cocok menggunakan metoda geostatistika.



# Endapan Type A

45

- Endapan batubara :
  - Unsur-unsur utamanya mudah dievaluasi, unsur-unsur minornya sulit dievaluasi, dilusi internal dan dilusi tepi seringkali menimbulkan problem.
- Endapan Bijih besi :
  - Unsur-unsur utamanya mudah dievaluasi, unsur-unsur minornya sulit dievaluasi, kontak geologi yang kompleks dapat menimbulkan problem yang sulit.
- Endapan Bauksit :
  - Umumnya mudah dievaluasi, problem yang seringkali timbul adalah dalam penyelidikan profil basalt dan hubungannya dengan silika reaktif (hal ini merupakan problem kontrol penambangan)
- Nikel laterit :
  - Model endapannya mudah dievaluasi, unsur-unsur pengotor sulit diselidiki, adanya profil ultramafik menimbulkan problem.
- Tembaga Stratabound :
  - Mudah dievaluasi, sederhana dalam memperkirakan kadarnya, problem yang timbul adalah dalam kontak-kontak geologi, namun dalam hal ini pada umumnya tidak begitu mengganggu, karena dilusi per ton adalah rendah.



# Endapan Type B

46

Yaitu endapan bijih dengan bentuk geometri kompleks dan distribusi kadar sederhana.

## Untuk endapan bijih :

- Kadarnya mungkin seragam.
- Faktor geometri mungkin sangat menentukan.
- Dilusi batas tepi dapat sangat tinggi.
- Interpretasi geologi merupakan faktor vital.
- Kadar yang lebih tinggi biasanya ditambang (tetapi tidak sampai batas-batas yang digunakan dalam tambang emas).



# Endapan Type C

47

Yaitu endapan bijih dengan bentuk geometri kompleks dan distribusi kadar kompleks.

## Untuk endapan bijih :

- Bentuk geometrinya sangat kompleks
- Dilusi batas tepi mungkin sangat tinggi.
- Dilusi internal adakalanya sangat tinggi juga.
- Interpretasi geologi dan pengambilan contoh merupakan faktor menentukan dalam pengambilan endapan bijih.
- Asumsi-asumsi subjektif sangat penting.
- Perkiraan lokal biasanya merupakan problem yang disebabkan faktor pola pemboran.



- ❑ Sampling data dan Support Geometri
- ❑ Komposit
- ❑ Statistik Data
- ❑ Penaksiran

# MANAJEMEN PENGELOLAAN DATA UNTUK PERHITUNGAN SUMBERDAYA DAN CADANGAN

49

- Data-Data Dasar
  - ▣ Metoda sampling dan sample.
  - ▣ Analisis sample (mineralogi, kadar/kualitas, dll).
  - ▣ Rekapitulasi dan pengolahan data.
  - ▣ Analisis data spasial.
- Verifikasi Data.
- Data Olahan
  - ▣ Konsep statistik & distribusi data.
  - ▣ Pengelompokan data, plotting, dan interpretasi.



# Tujuan Sampling

50

- Tujuan Sampling :
  - ▣ Untuk mendapatkan suatu nilai kadar yang dapat mewakili suatu daerah/blok bijih.
- Pentingnya Sampling :
  - ▣ Volume dari conto hanya merupakan sebagian kecil dari volume blok yang diwakilinya.
  - ▣ Pemodelan dan Perhitungan Sumberdaya-Cadangan didasarkan pada data dan hasil analisis terhadap conto (sampel) yang diambil pada blok bijih tersebut.



# Kondisi yang harus diperhatikan :

51

- Beberapa kondisi yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan dan penggunaan data yang berasal dari sampling :
  - Salting, terjadinya penambahan kadar pada sampel yang akan dianalisis.
  - Kontaminasi, terjadinya pengotoran sampel sehingga tidak dapat mewakili kondisi yang sebenarnya.
  - Dilution, terjadinya penambahan material asing (non-ore) ke dalam sampel.
  - Menambah material dari tempat lain, baik untuk tujuan mixing atau untuk tujuan lain.
  - Menggunakan data dari data-data histori yang akurasiya diragukan.



# Drilling dan Core Sampling

- Diperoleh dari pemboran inti,
- Tingkat ketelitian bergantung pada core recovery,
- Dapat digunakan uji kadar pada kombinasi core-sludge sebagai pembandingan
- Core biasanya dibelah dua; 1 bagian untuk assay dan 1 bagian untuk dokumentasi geologi,
- Cutting biasanya dikumpulkan melalui pembilasan lubang dengan fluida bor (sludge).



# Drilling dan Core Sampling

## TOTAL CORE RECOVERY (TCR)

- Penting untuk menilai kualitas data pemboran,
- Untuk tujuan analisis kualitas disyaratkan minimal core recovery pada interval pengambilan sampel adalah 90%.
- Perlu diketahui penyebab core loss.

$$\text{TCR} = \frac{\text{Total length of core recovered}}{\text{Drilled length}} \times 100$$



# Drilling dan Core Sampling

## SOLID CORE RECOVERY (SCR)

- Penting untuk keperluan geoteknik.
- Mengetahui kualitas dan kekuatan batuan.
- Perlu diperhatikan penyebab patah-nya core, apakah akibat memang akibat kondisi batuan atau akibat operasi pemboran.
- Parameter yang digunakan sebagai acuan adalah diameter core.
  - Sebagai Contoh : Pemboran inti NQ dengan diameter core 47.6 mm. Artinya : panjang core minimal yang diperhitungkan dalam penentuan SCR harus lebih besar daripada 47,6 mm.

$$\text{SCR} = \frac{\text{Total length of core in pieces} > \text{core diameter}}{\text{Drilled length}} \times 100$$



# Drilling dan Core Sampling

## ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD)

- Penting untuk keperluan geoteknik.
- Mengetahui kualitas dan kekuatan batuan.
- Perlu diperhatikan penyebab patah-nya core, apakah akibat memang akibat kondisi batuan atau akibat operasi pemboran.
- Parameter yang digunakan sebagai acuan adalah panjang core 10 cm.

$$\text{RQD} = \frac{\text{Length of core in pieces} > 100 \text{ mm}}{\text{Drilled length}} \times 100$$



# Drilling dan Core Sampling

## Kualitas Batuan berdasarkan Nilai TCR-SCR-RQD

Table 1 Comparison between core properties of three 3 m intersections within the same orebody

Feature/property	Core A	Core B	Core C
TCR	83%	99%	96%
Variation from 3 m of core	-51 cm	-3 cm	-10 cm
SCR	51%	57%	96%
Number of >48 mm core lengths	13	12	11
RQD	30%	0%	96%
Number of > 100 mm core lengths	5	0	11
*Rock quality	Poor	Very poor	Very good



# Drilling dan Core Sampling

## Kualitas Batuan berdasarkan Nilai TCR-SCR-RQD



- 1 Mineralised core length of 4.20 m from an epithermal gold system in Australia, with at least 25% of the zone poorly recovered. The TCR value for this run is 73% (moderate recovery), whereas the SCR and RQD values are 55% and 49%, respectively (poor quality)

# Drilling dan Core Sampling

58

## Kualitas Batuan berdasarkan Nilai TCR-SCR-RQD



- 2 Mineralised core length of 4.35 m from an epithermal gold system in Australia, showing excellent recovery (TCR = 95%), but poor quality (e.g. fragmented). The SCR and RQD values of 58% and 41%, respectively, support this observation. Without the SCR and RQD values, the resource estimator would have no idea of the quality of this intersection. It is highly likely that; (i) fine material is missing from the intersection; and (ii) that the sampling/core cutting process was poor due to the broken core. Any intersection grade(s) produced from this core is likely to be suspect

# Drilling dan Core Sampling

## Kualitas Batuan berdasarkan Nilai TCR-SCR-RQD



- 3 Mineralised core length of 4-60 m from an epithermal gold system in Australia, showing the ultimate aim of any resource drilling programme – 100% recovery (TCR) and good core quality (SCR 99% and RQD 99%). With good sampling and assaying protocols this intersection should produce high quality grades for the resource database

# Drilling dan Core Sampling

## Tingkat kepercayaan berdasarkan Nilai SCR

**Table 2 Confidence rating of core recovery values (SCR)**

Core recovery (SCR)	Rating	Description
> 85%	4	High confidence
60–84%	3	Moderately reliable
30–59%	2	Unreliable
< 30	1	Unacceptably low

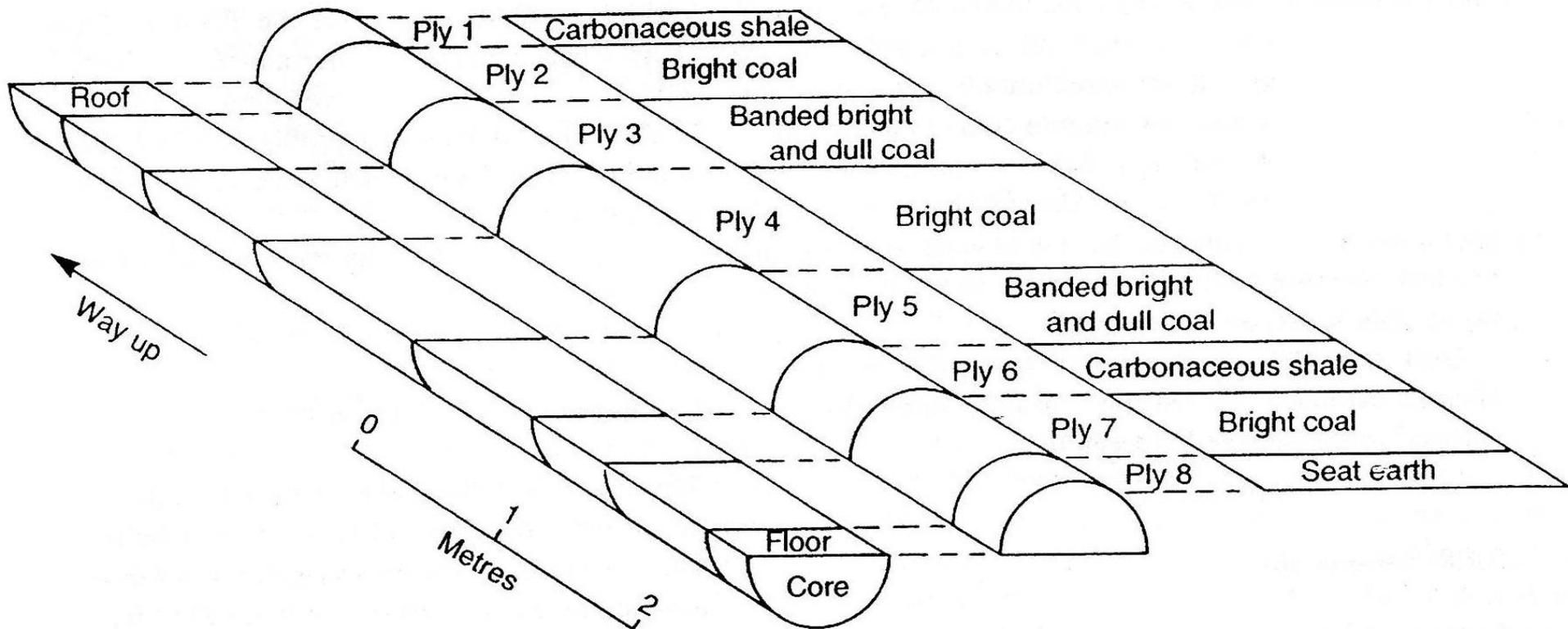
Akibat Jika Core Tidak Representatif :

- Kesalahan dalam penentuan kedalaman zona endapan,
- Kesalahan dalam penentuan ketebalan endapan,
- Kesalahan dalam penentuan kadar atau kualitas endapan.



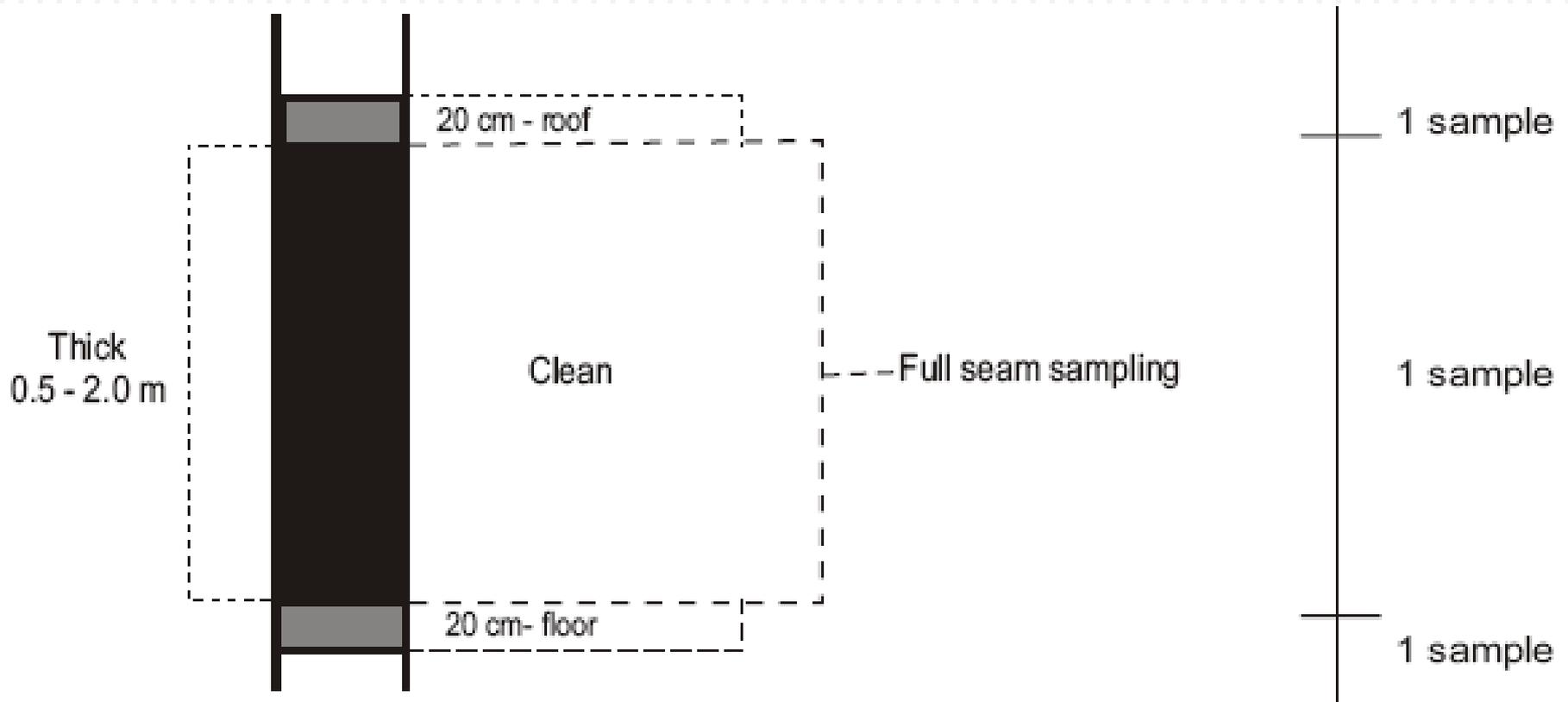
# Drilling dan Core Sampling

## Ply per Ply Sampling



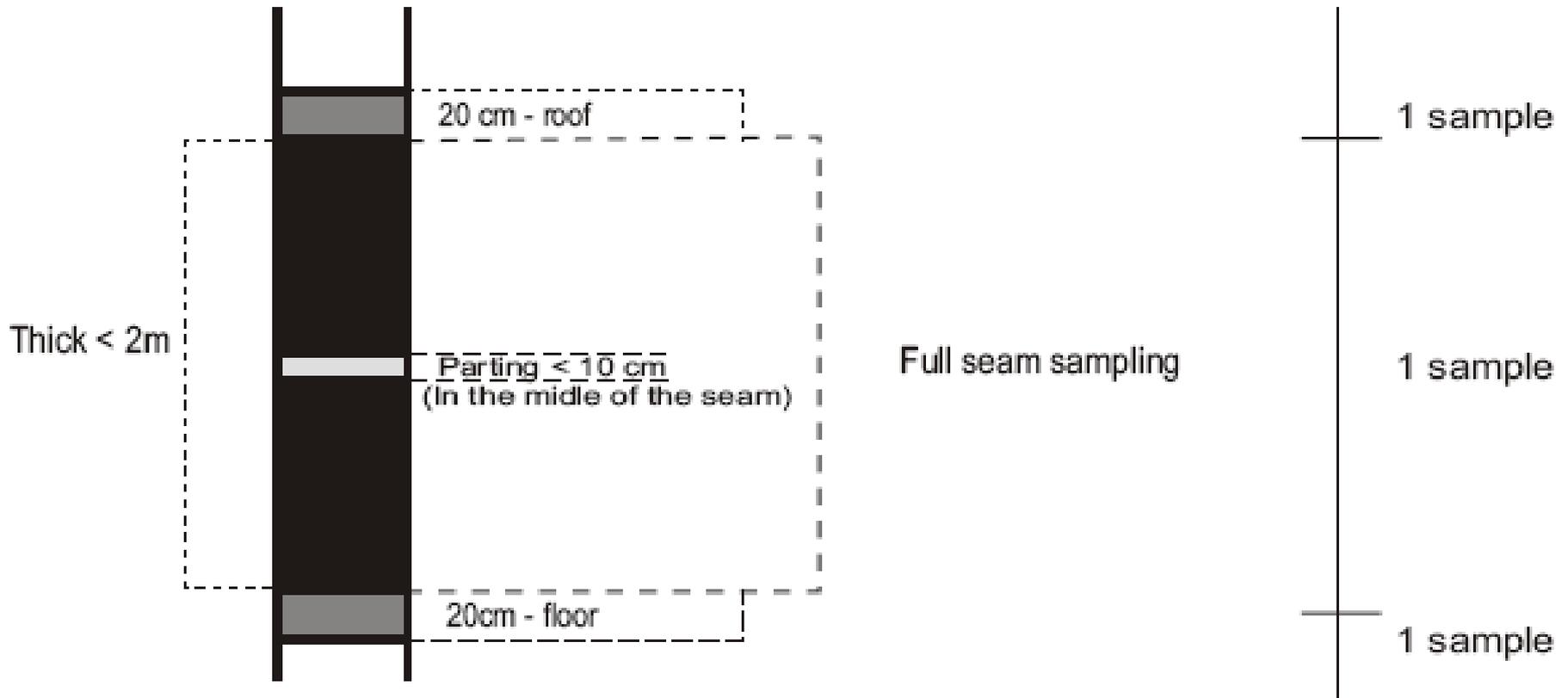
# Drilling dan Core Sampling

## Contoh Sampling Pada Core Batubara



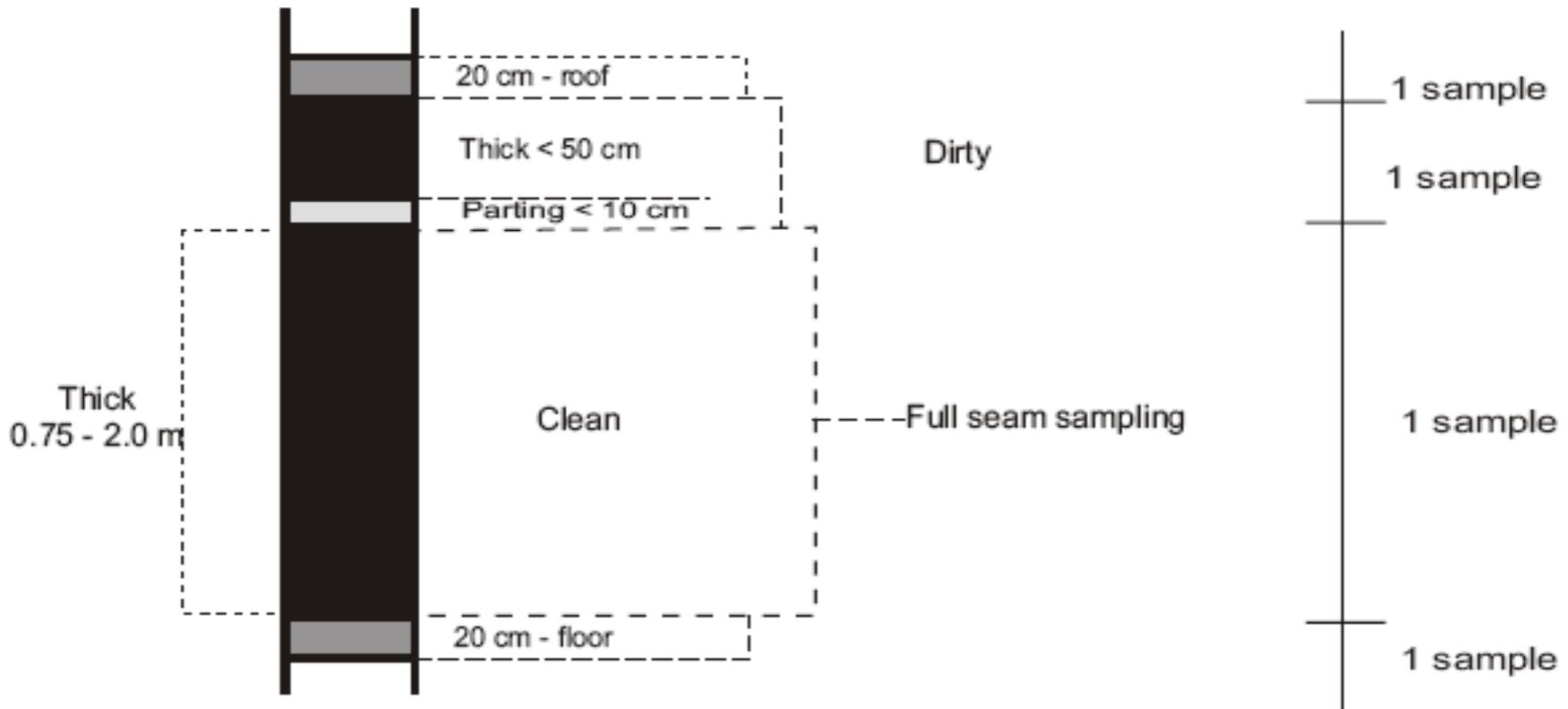
# Drilling dan Core Sampling

## Contoh Sampling Pada Core Batubara



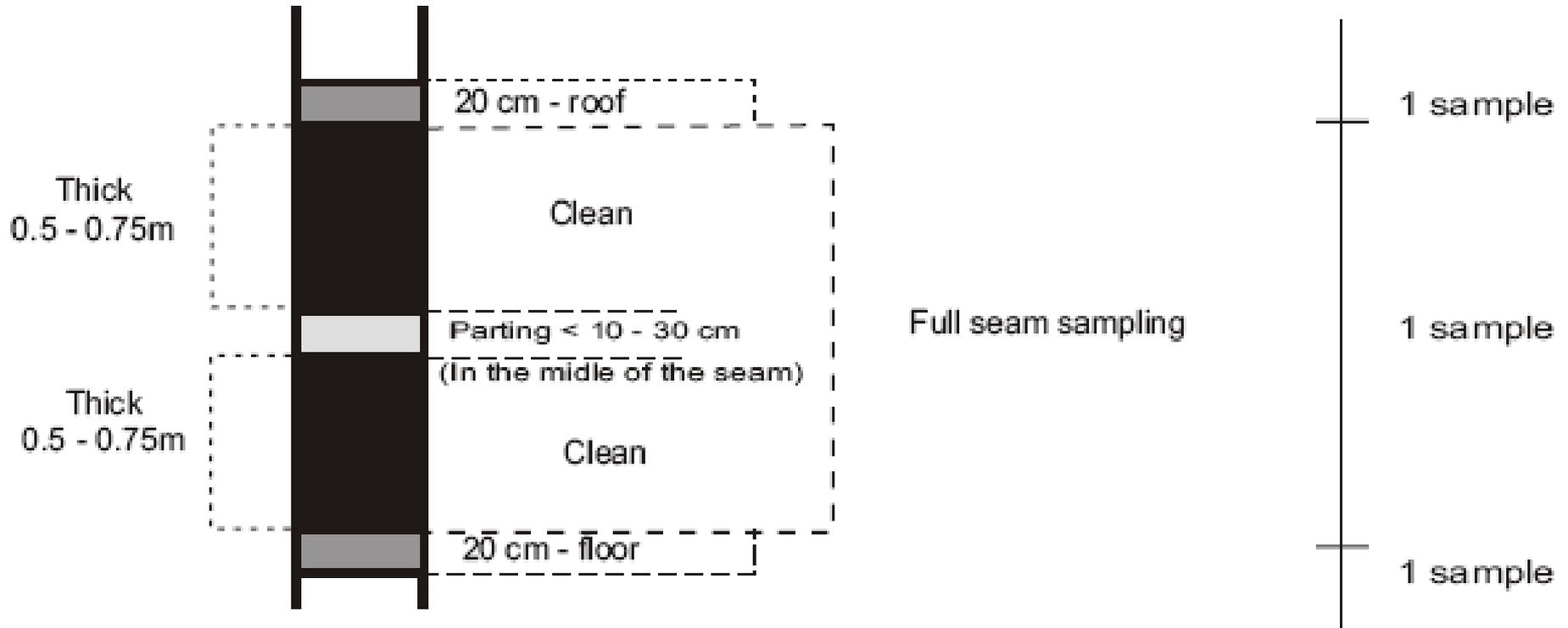
# Drilling dan Core Sampling

## Contoh Sampling Pada Core Batubara



# Drilling dan Core Sampling

## Contoh Sampling Pada Core Batubara



# POLA TITIK DATA (PEMBORAN)

66

- Grid density akan lebih besar pada arah tegak lurus arah bidang kontinuitas geologi yang lebih besar.
- Layout pola pemboran sangat dipengaruhi oleh kemenerusan geologi dan pola distribusi kadar.
- Pola grid biasanya akan diawali dengan pola yang mendekati pola bujursangkar maupun pola persegi panjang.
  - Evaluasi terhadap trend mineralisasi/endapan akan digunakan sebagai dasar untuk meningkatkan grid density pada suatu arah tertentu.
- Infill sampling point
  - Dilakukan jika ditemukan indikasi kontinuitas rendah dan/atau kemungkinan munculnya anisotropi,
  - Dilakukan meningkatkan tingkat keyakinan.



# FACTORS AFFECTING THE RELIABILITY OF RESOURCE ESTIMATES

67

- Sampling density
  - ▣ The ability to resolve detail in the geometry of a deposit is directly related to the sampling density.
- The quality of the sample data
  - ▣ Poor quality sampling contributes directly to imprecision and bias in global and local recoverable resource estimates and limits the ability to resolve detail in the mineralisation geometry.
- The spatial continuity of the grade in the deposit
  - ▣ Grade continuity in gold deposits tends to be weaker than in most base metal deposits.
- Cut-off grade
  - ▣ Variability is usually a function of grade in most mineral deposits and tends to increase with increasing grade.
- Mining selectivity
  - ▣ Very high or detailed selectivity in mining usually goes hand in hand with high cut-off grades and limited spatial continuity of grades.



# Intensitas Titik Data

68

Exploration Drill Hole Sampling, Gold Grade

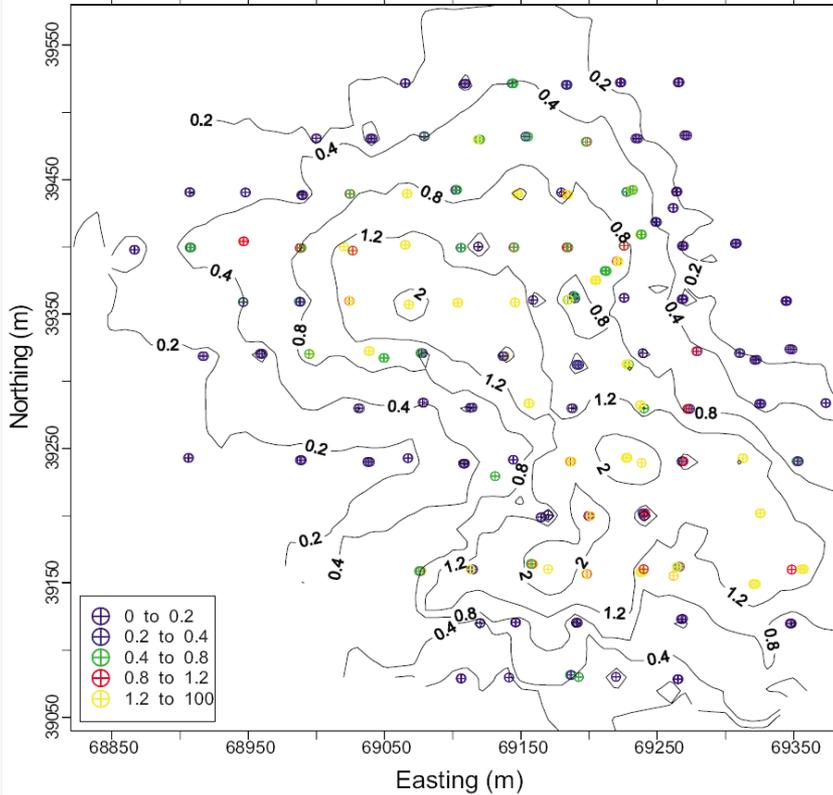


Figure 1 - Map of exploration drill hole sampling at 45 metre spacing on the mine bench.

Grade Control Sample Grades

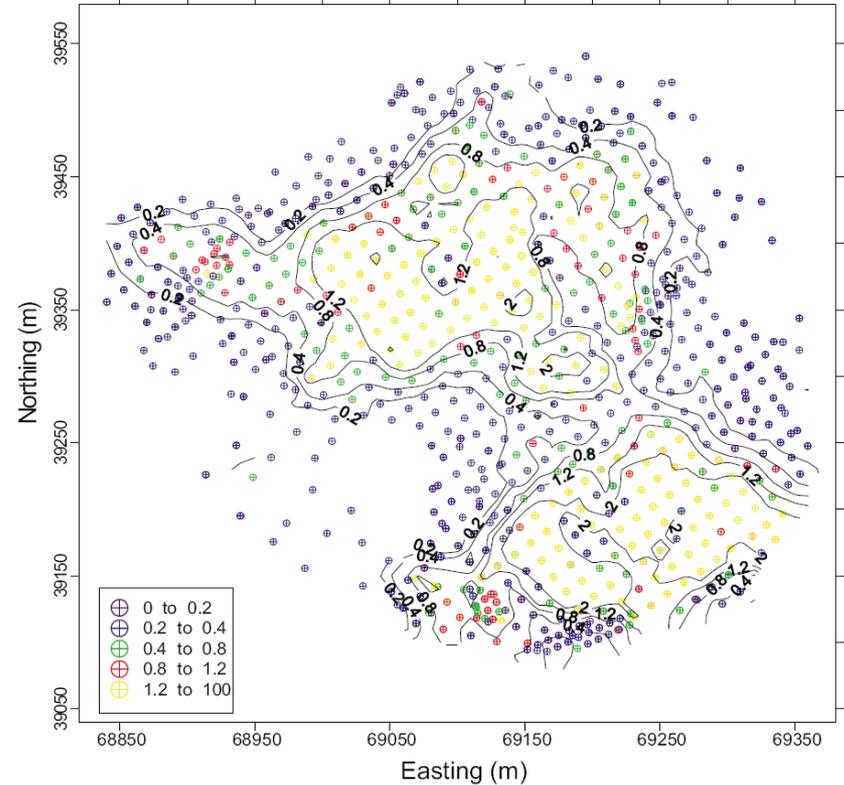
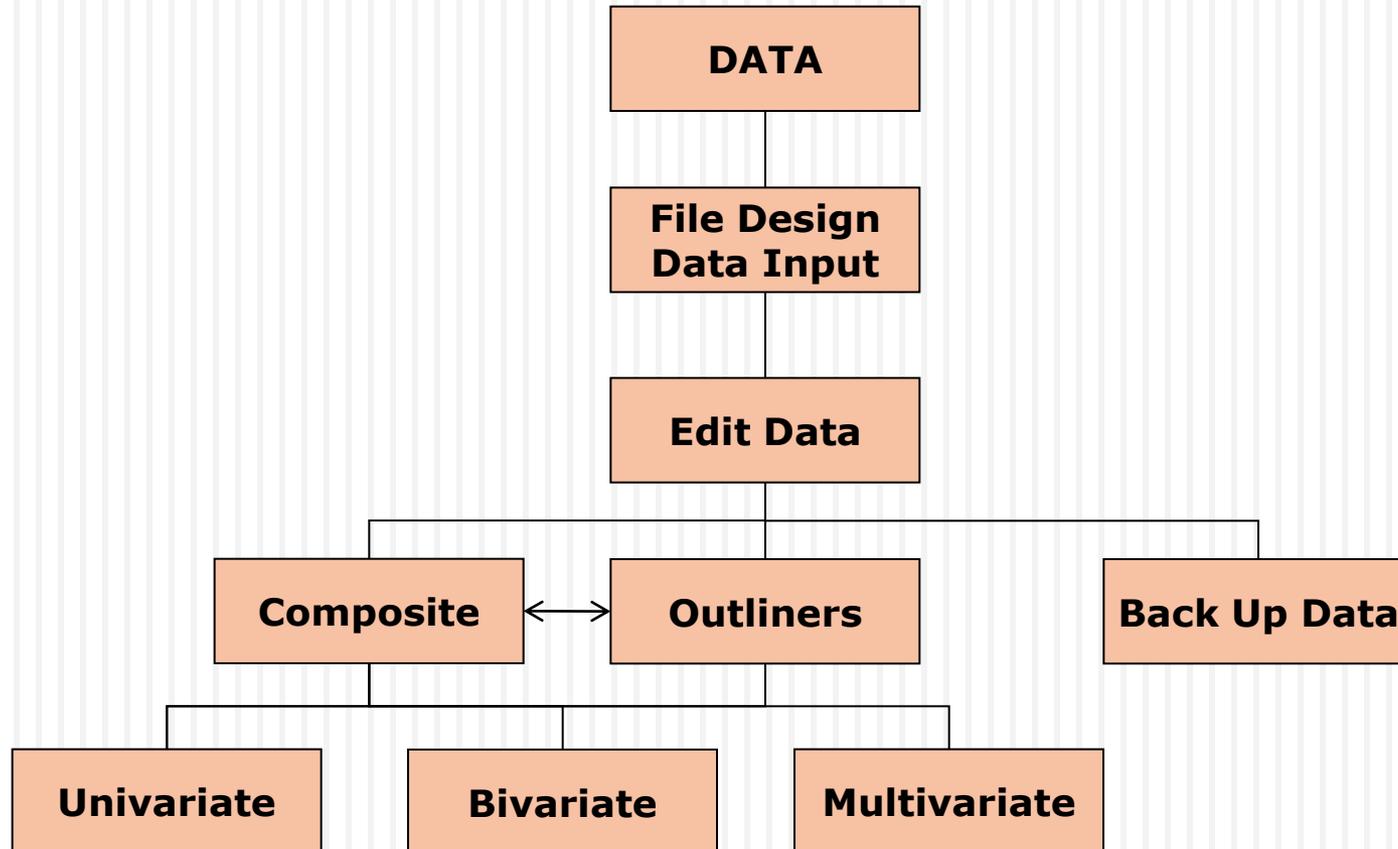


Figure 2 - Map of detailed grade control sampling at 15 metre spacing on the mine bench.

# Basis dan Evaluasi Data

69



# File Design dan Input Data

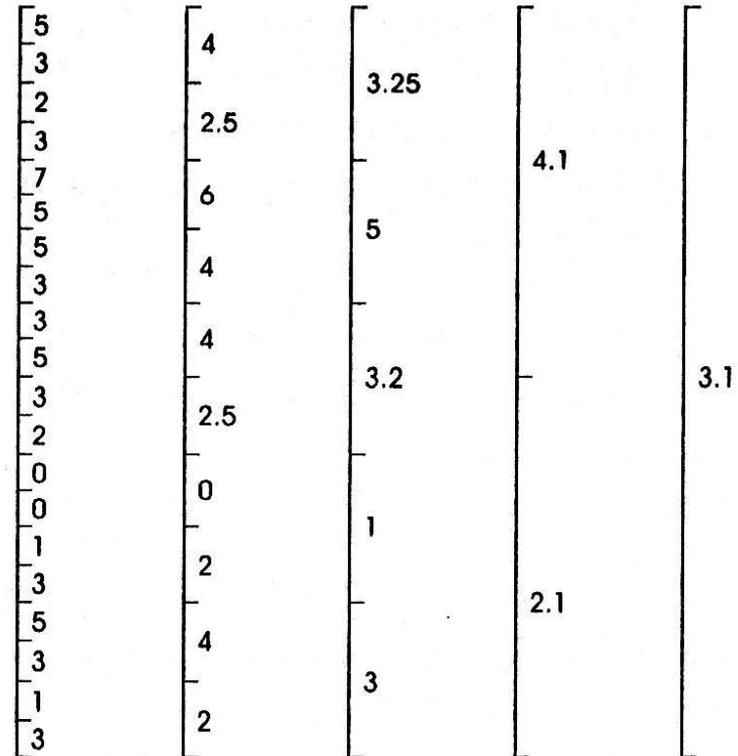
70

- Bor ID (Nomor Bor)
- Lokasi data (x, y, z),
- Data interval,
- Assay data,
- Informasi geologi (tipe batuan, karakter mineralisasi, alterasi, dll),
- Informasi tambahan (Core Recovery, RQD, Nomor Sampel, dll)



# DATA COMPOSITE

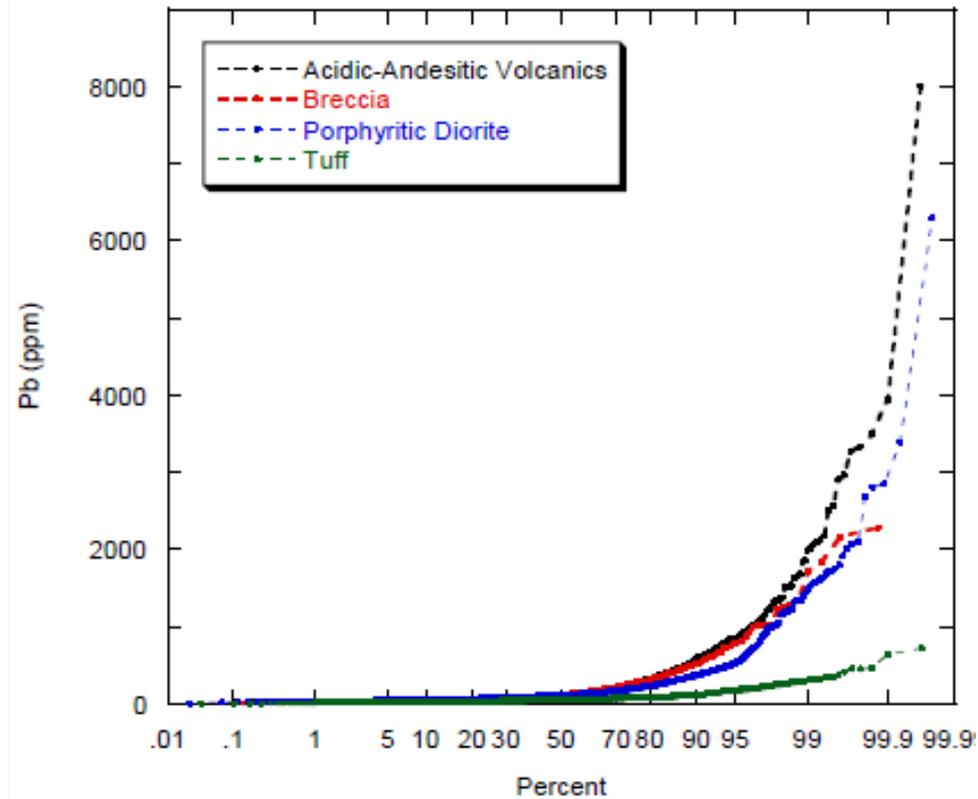
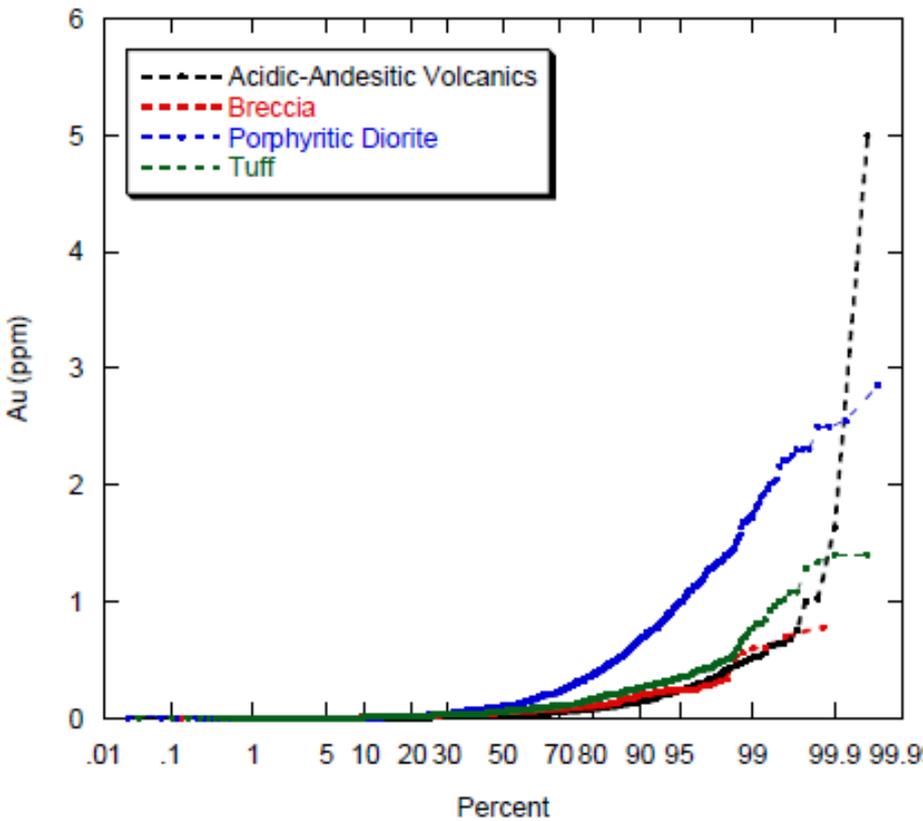
- Untuk mereduksi jumlah data,
- Menyajikan data dengan support yang sesuai,
- Mereduksi adanya efek pencilan data (sangat tinggi maupun sangat rendah),
- Mereduksi data-data yang bersifat erratik,
- Dapat menghasilkan data komposit untuk jenjang penambangan (bench composite).



<i>N</i>	20	10	5	2	1
max	7	6	5	4.1	3.1
min	0	0	1	2.1	3.1
range	7	6	4	2	0
<i>s</i>	1.83	1.65	1.42	1.41	0

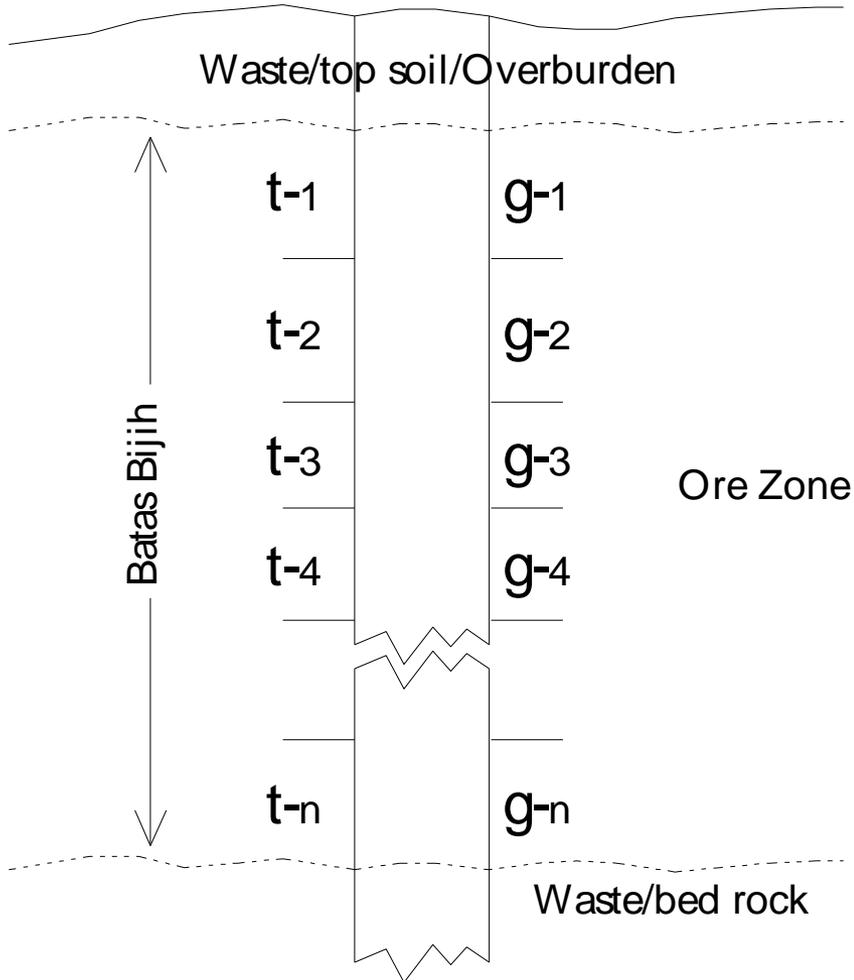
# OUTLINERS

72



# PERHITUNGAN KADAR KOMPOSIT

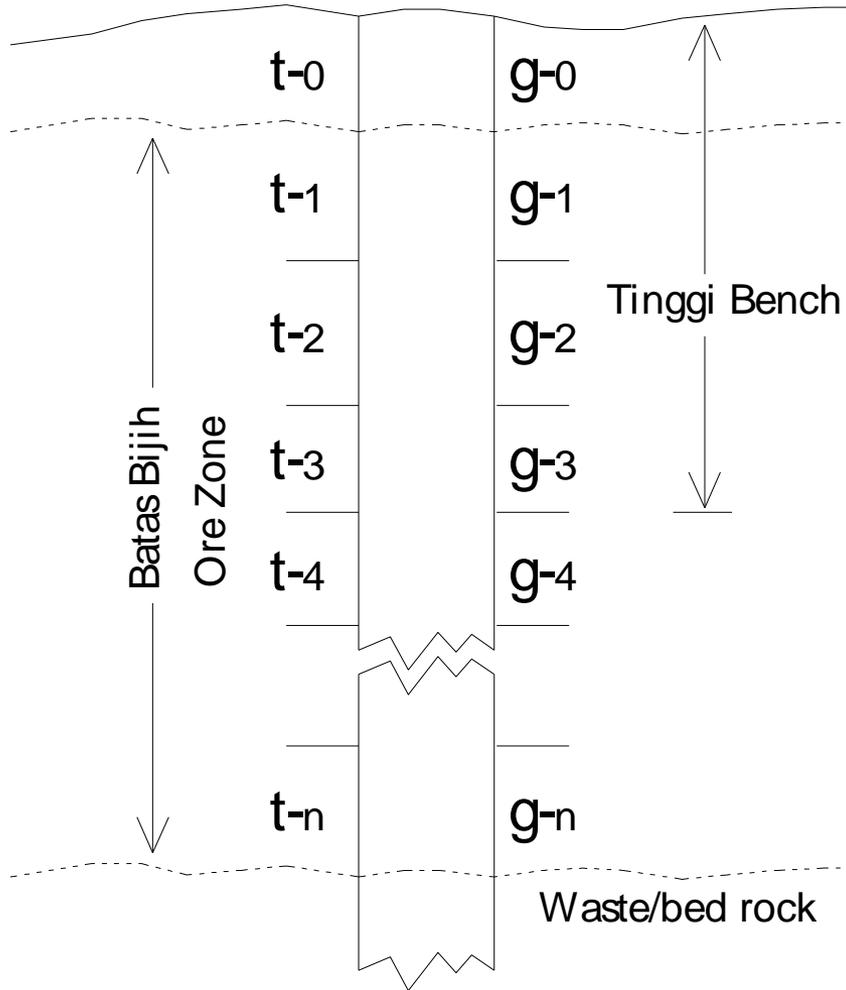
73



$$\bar{g} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

# PERHITUNGAN KADAR KOMPOSIT

74



Penentuan kadar komposit bench pada gambar di samping.

$$\bar{g} = \frac{\sum_{i=0}^3 t_i \cdot g_i}{\sum_{i=0}^3 t_i} = \frac{\sum_{i=0}^3 t_i \cdot g_i}{H}$$

$H =$  tinggi bench

# OUTLINE/BATAS BIJIH

75

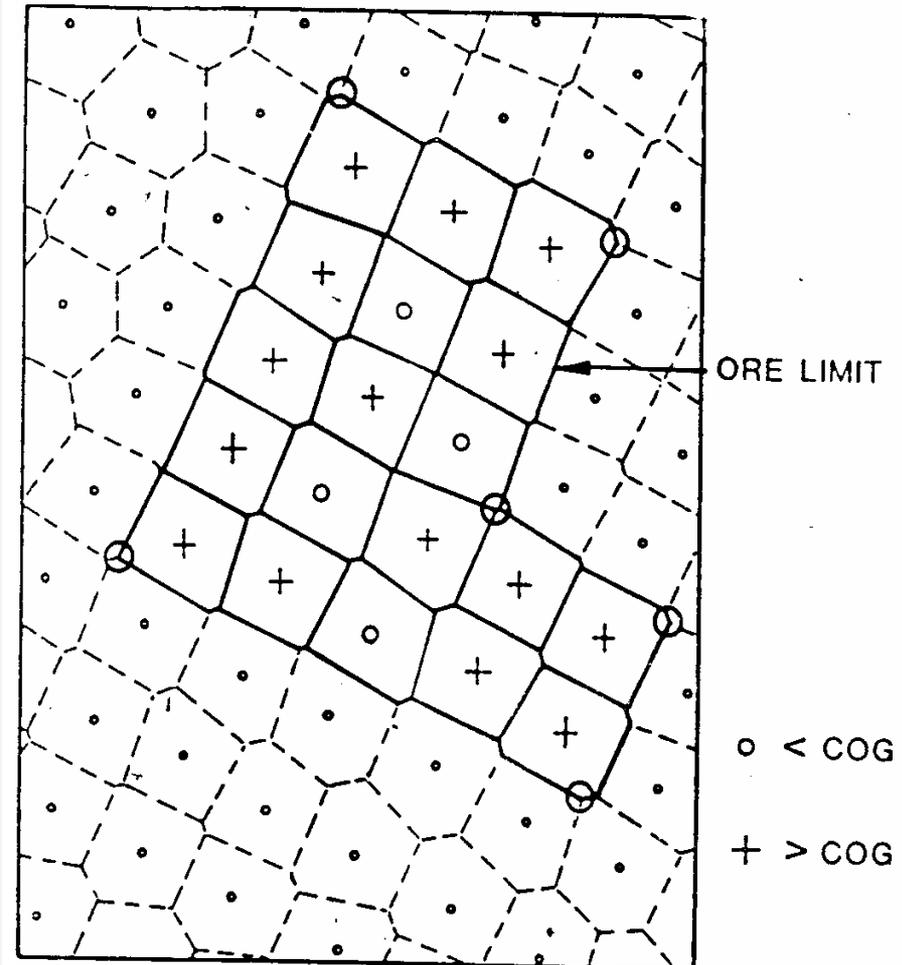
- Outline bijih dapat ditentukan secara vertikal dan secara horizontal.
  - Secara vertikal : untuk menentukan batas badan bijih berdasarkan data komposit dalam satu lubang bor.
  - Secara horizontal : untuk menentukan batas badan bijih dalam suatu areal pada suatu distribusi lubang bor.



# OUTLINE/BATAS BIJIH

76

- Dilakukan secara bertahap.
  - Tentukan batas badan bijih secara vertikal untuk masing-masing titik bor.
  - Tentukan daerah pengaruh untuk masing-masing lubang bor.
  - Tentukan batas badan bijih secara lateral dengan memperhatikan faktor bobot.
  - Optimasi kadang-kadang diperlukan untuk mendapatkan batas badan bijih yang optimum.



# Faktor Bobot

77

Penentuan kadar atau kualitas rata-rata dari suatu populasi sampel dengan pembobotan.

$$m_w = \sum w_i x_i$$

Faktor bobot

$$\sum w_i = 1$$

Kondisi non-bias



# Contoh sederhana :

78

Dari 2 hasil analisis sampel (A dan B).

- Sampel A = 1,5 % Cu dengan panjang sampel 3 m.
- Sampel B = 0,5 % Cu dengan panjang sampel 1 m.
  - ▣ Berapa kadar rata-rata jika SG kedua jenis sampel identik.
  - ▣ Berapa kadar rata-rata jika SG sampel A = 3,3; dan SG sampel B = 2,7 gr/ml.
  - ▣ Definisikan faktor bobot-nya.

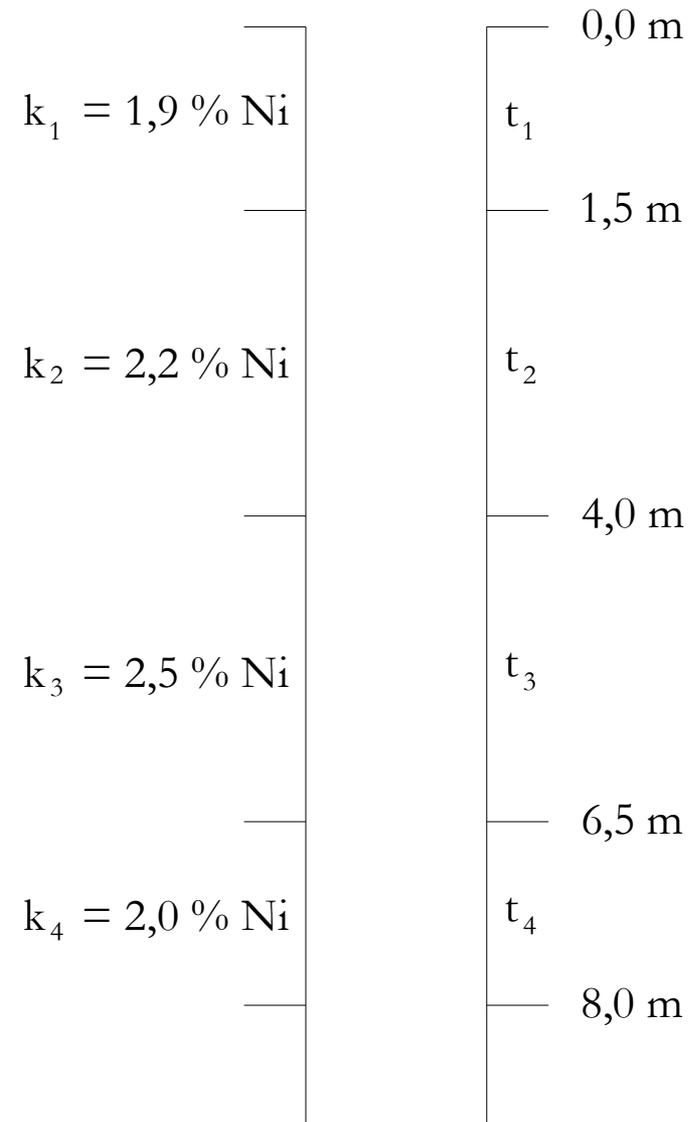


# Contoh sederhana :

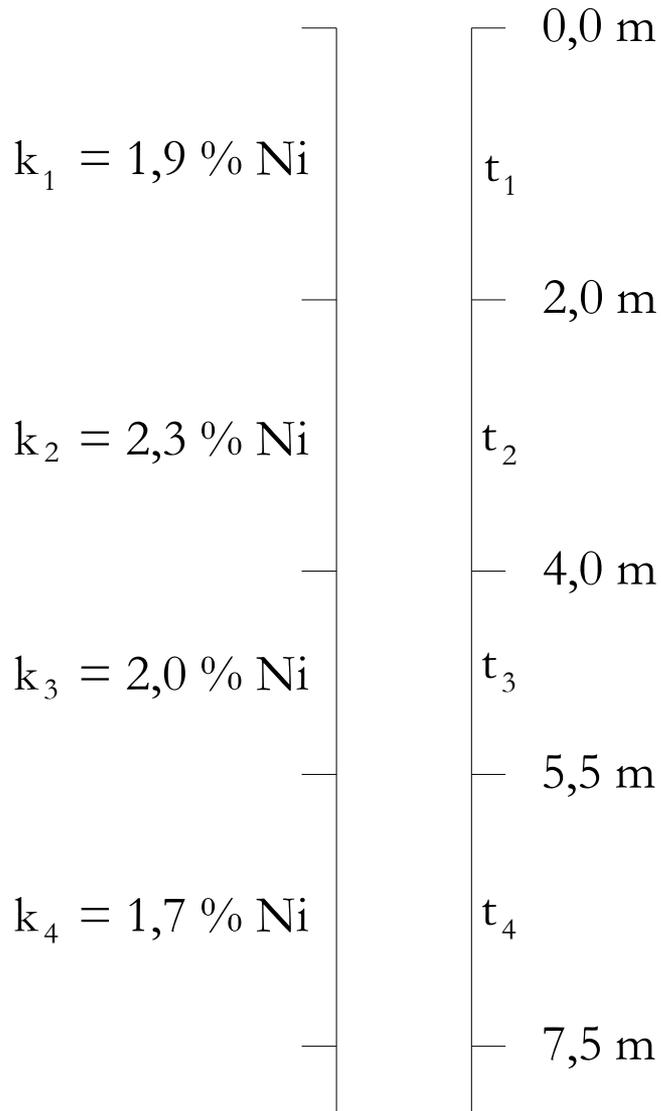
79

- Tentukan kadar rata-rata Nikel pada sumur uji di samping.

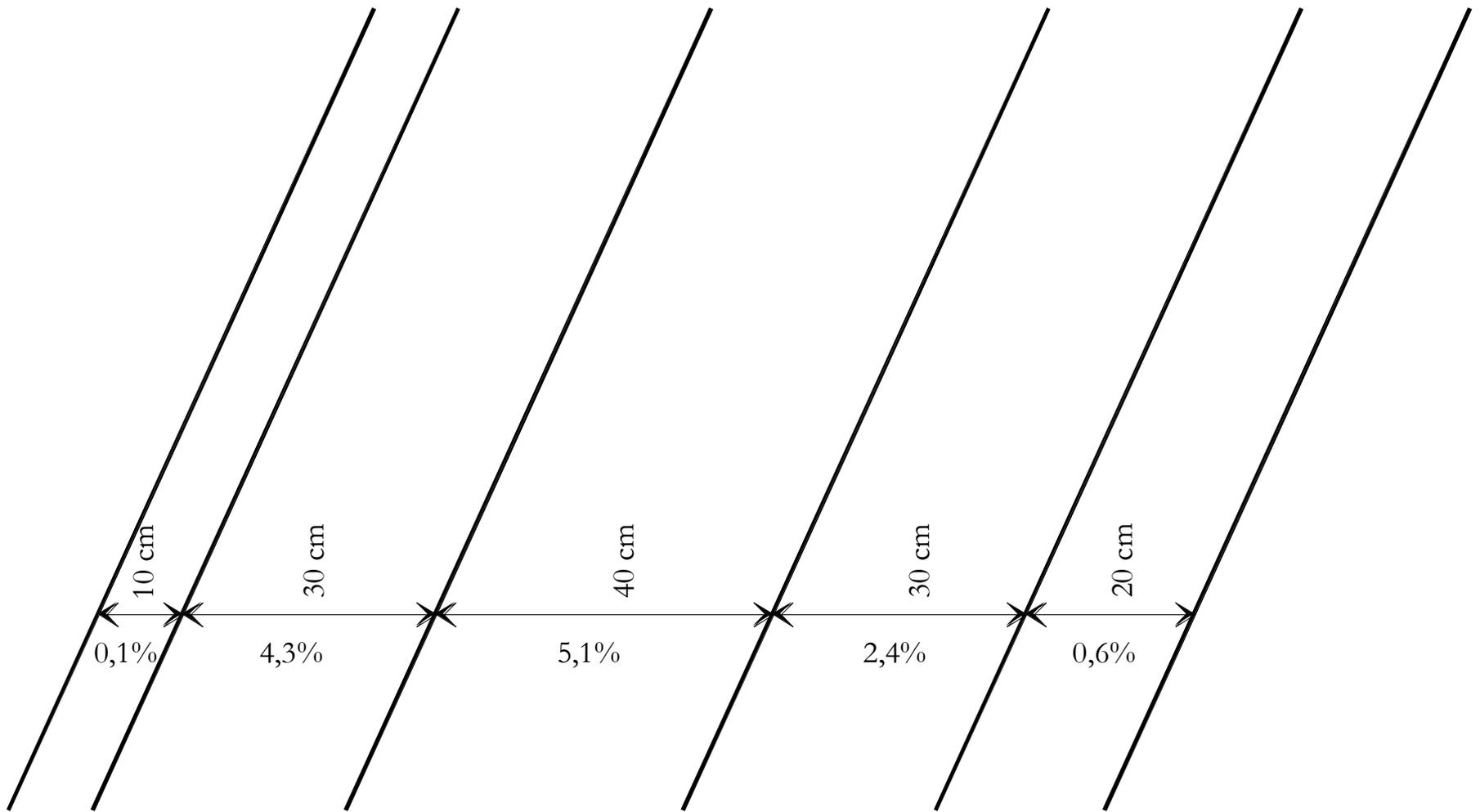
## Profil suatu sumuran uji :



## Profil suatu sumuran uji :



Jika nilai kadar batas (cut off grade) adalah 2,1 % Ni ;  
Tentukan ketebalan badan bijih pada sumuran uji ini.



1. Hitung kadar rata-rata dari seluruh daerah mineralisasi.
2. Bila nilai kadar batas = 3,90 % Pb dan minimum lebar bukaan (minimum stoving width) = 1 meter, bagaimana zona mineralisasi akan ditambang.

Drill Hole ID : C-22

Collar location : 1800 N - 800 E

Elevation : 120.0 m

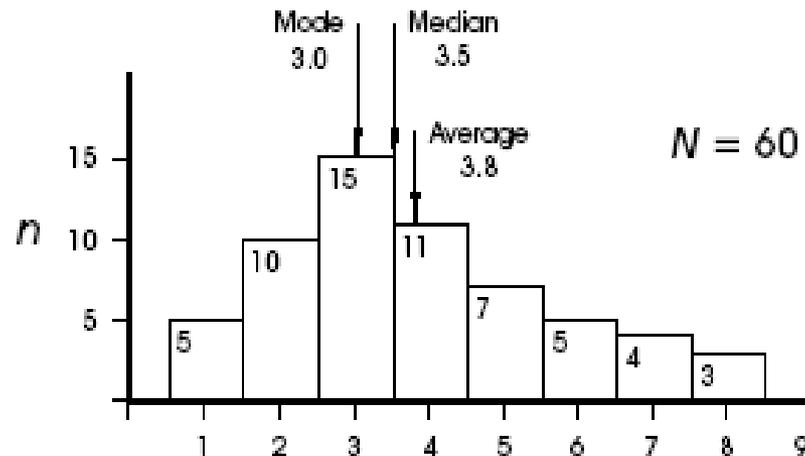
Depth		Assay (% Cu)	Length
From	To		(m)
5	10	0.400	5
10	15	0.560	5
15	20	0.440	5
20	25	0.480	5
25	30	0.400	5
30	35	0.380	5
35	40	0.330	5
40	45	0.590	5
45	50	0.480	5
50	55	0.600	5
55	60	0.560	5
60	65	0.320	5
65	70	0.700	5
70	75	0.210	5
75	80	0.180	5
80	85	0.080	5
85	90	0.200	5
90	95	0.070	5

- Jika kadar batas rata-rata = 0,45% Cu, berapa tebal bijih ?
- Jika tinggi bench = 15 m, berapa bench yang dapat terbentuk ?
- Tentukan elevasi crest dan toe tiap bench.
- Berapa kadar komposit tiap bench ?

# STATISTIK DATA

83

- Ukuran Tendensi Sentral
  - ▣ Rata-rata  $\sim$  mean
  - ▣ Median : nilai pertengahan data yang telah disusun dari yang besar ke yang kecil atau sebaliknya.
  - ▣ Modus : nilai yang memiliki frekuensi terbesar



# Contoh Sederhana

84

No Sampel	Kadar Au (ppm)	No Sampel	Kadar Au (ppm)
1	0.7	10	1.2
2	0.9	11	1.6
3	0.8	12	1.2
4	1.0	13	1.0
5	0.9	14	1.1
6	1.1	15	1.0
7	1.1	16	1.2
8	1.3	17	1.4
9	1.1	18	1.5

Letak data ini walaupun diacak sedemikian rupa tetap akan memberikan bentuk histogram, nilai rata-rata hitung, modus dan nilai tengah (median) yang sama.

Sesuai dengan “Sturges Rule”

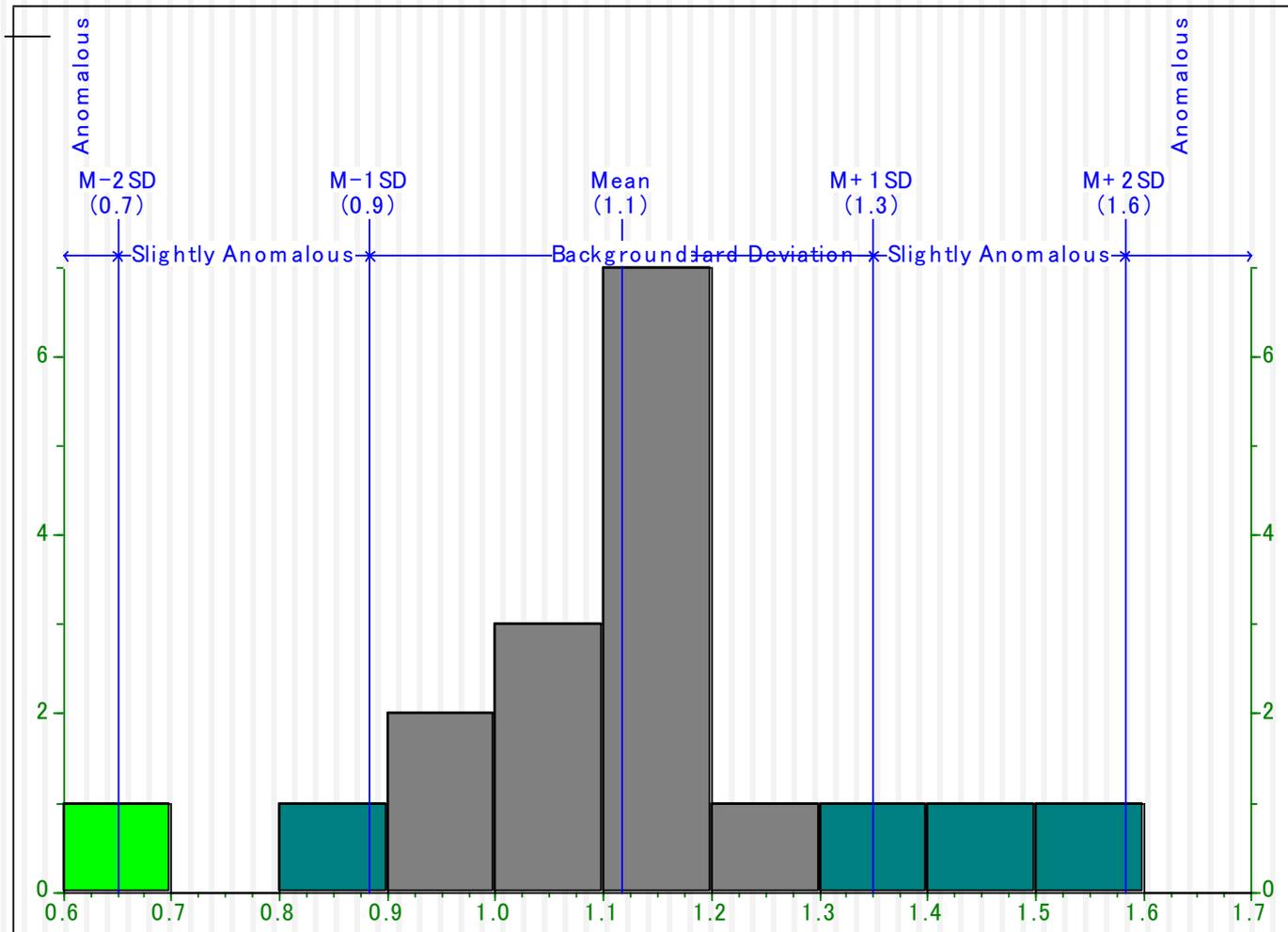
$$Interval\ kelas = \frac{range}{1 + 3.322 \log n}$$

Rata-rata = 1.1 ppm ; Median = 1.1 ppm ; Modus = 1.1  
Interval kelas = 0.0859 ~ 0.1 (pembulatan)



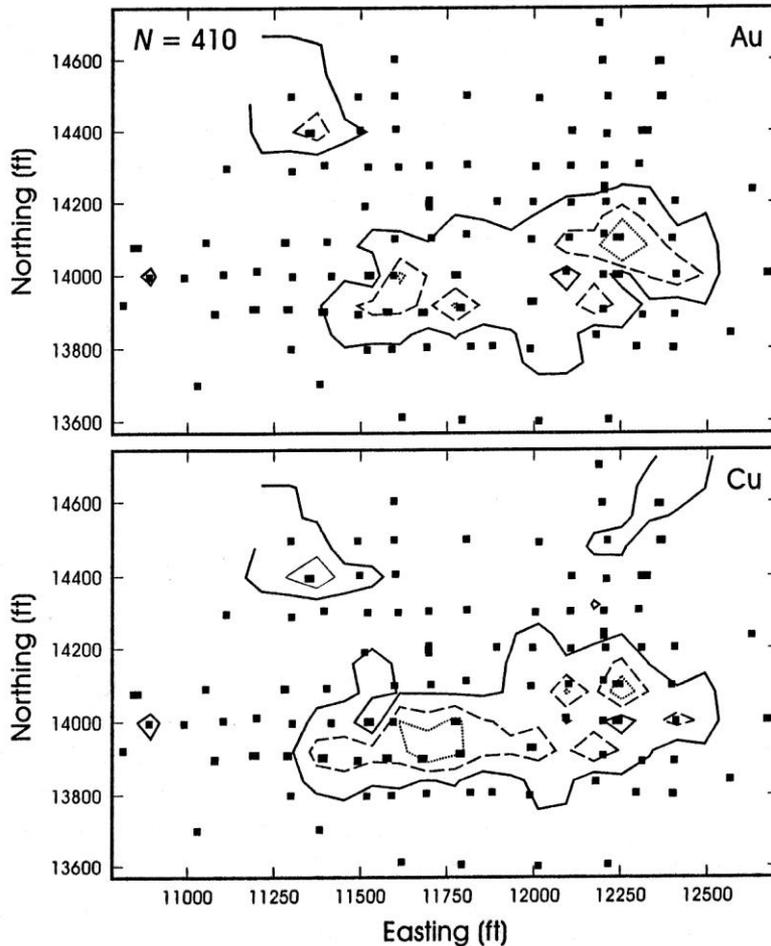
# Contoh Sederhana

85



# DISTRIBUSI SPASIAL DATA

86



Korelasi data secara spasial :  
memperlihatkan korelasi yang  
baik antara kadar Cu dan Au.



# Mengapa perlu analisis secara spasial ??

87

- Deskripsi statistik belum memperhatikan tata letak data,
- Deskripsi statistik belum memperhatikan kerapatan data,
- Deskripsi statistik akan menunjukkan hasil yang sama walaupun posisi data diacak sedemikian rupa,
- Analisis spasial dapat dilakukan dengan plotting distribusi data ataupun dengan menggunakan peta-peta iso.



# UKURAN DISPERSI

88

- Adalah ukuran penyebaran nilai data.
- Ukuran yang sering digunakan adalah jangkauan (range = max - min) → kurang cocok karena sangat sensitif terhadap nilai yang ekstrim.
- Ukuran yang sering digunakan untuk mengukur penyebaran data adalah variansi.

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - m)^2}{(n - 1)}$$

Dimana :

$x_i$  adalah nilai data,

$m$  adalah mean data,

$n$  adalah jumlah data.



# Standart Error

89

Jika  $\bar{m}$  adalah rata-rata (mean), deviasi standar dari sejumlah data ( $n$ ) adalah  $s$  ; maka standart error dari rata-rata adalah :

$$s_e = \left( s^2 / n \right)^{1/2} = s / n^{1/2}$$

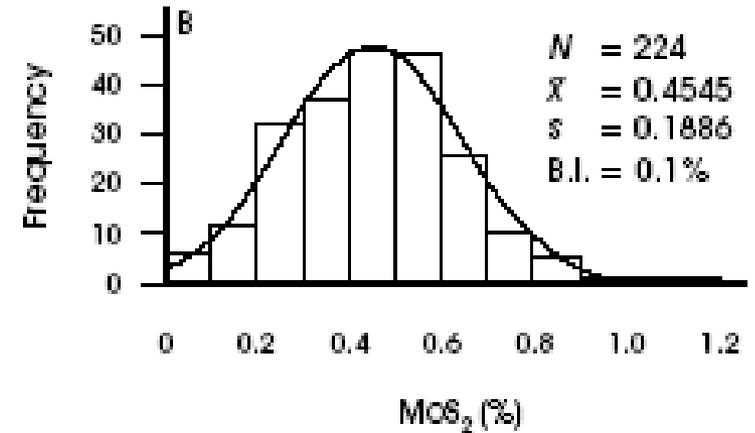
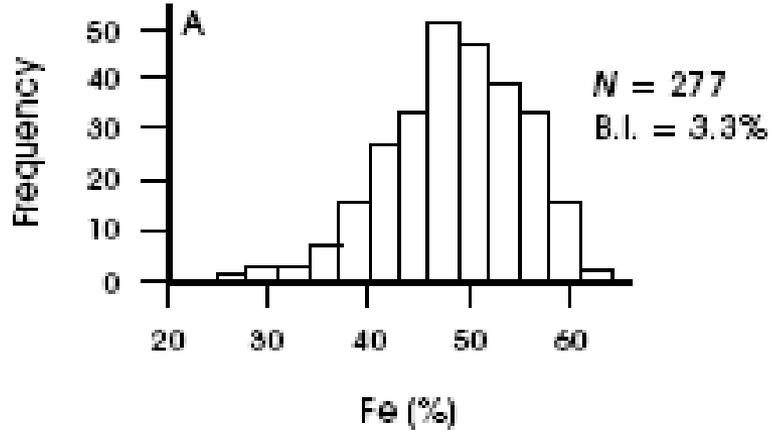


# Skewness & Kurtosis

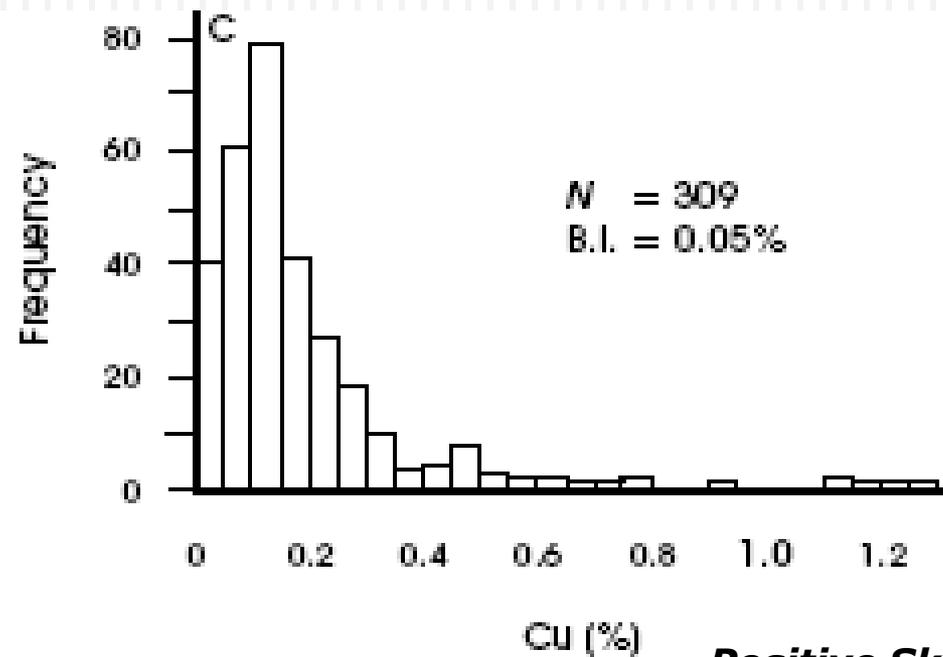
90

- Ukuran kemencengan kurva (skewness) dinyatakan sebagai ukuran simetris atau tidaknya suatu kurva histogram (sebaran data).
- Kurtosis adalah ukuran yang menunjukkan kecenderungan keruncingan puncak data.
- Skewness dan kurtosis ini digunakan untuk menunjukkan apakah data terdistribusi normal atau tidak.





**Negative Skewness**



**Distribusi Normal**

**Positive Skewness**

# Koefisien Variasi (Coefficient of Variation)

92

- Perbandingan antara simpangan baku terhadap rata-rata hitung.

$$CV = s/m$$

- Koefisien variasi yang relatif tinggi  $\rightarrow$  nilai data yang melebar.
- Secara umum,  $CV < 0.5 \rightarrow$  distribusi normal.
- $CV > 0.5 \rightarrow$  positive skewness



# DESKRIPSI BIVARIAN

93

- Metoda deskripsi bivarian yang paling umum digunakan adalah **diagram pencar (scatter plot)**,
- Kedua variabel dikatakan mempunyai hubungan positif jika kedua variabel mempunyai nilai berbanding lurus,
- Kedua variabel dikatakan hubungan negatif jika kedua variabel mempunyai nilai berbanding terbalik,
- Kedua variabel dikatakan tidak mempunyai hubungan jika kedua nilai variabel menunjukkan penyebaran acak.



# Kovarians dan Koefisien Korelasi

94

Rata-rata variabel x : 
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Rata-rata variabel y : 
$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Varians variabel x : 
$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Varians variabel y : 
$$S_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

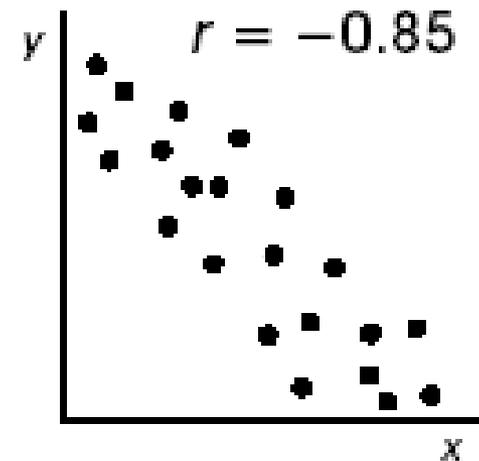
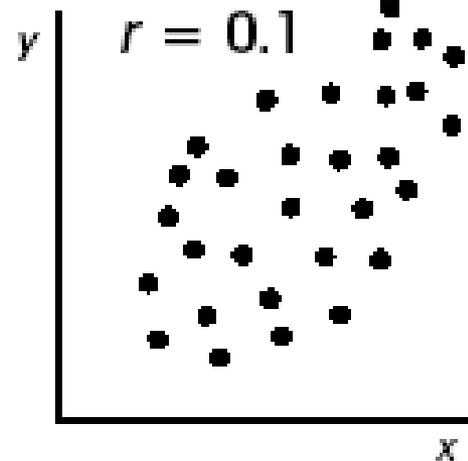
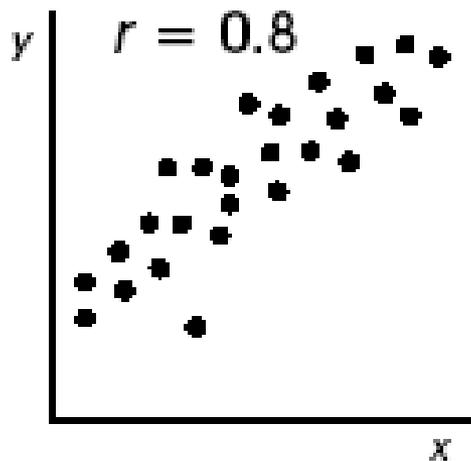
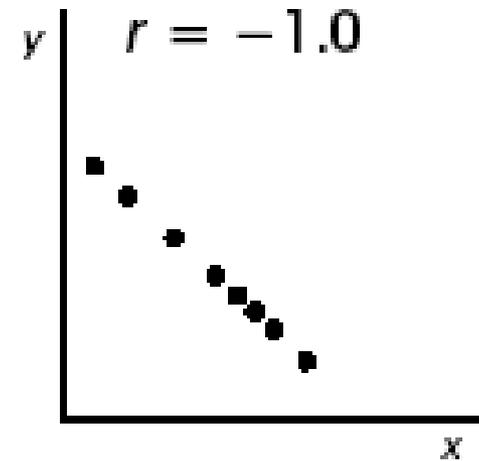
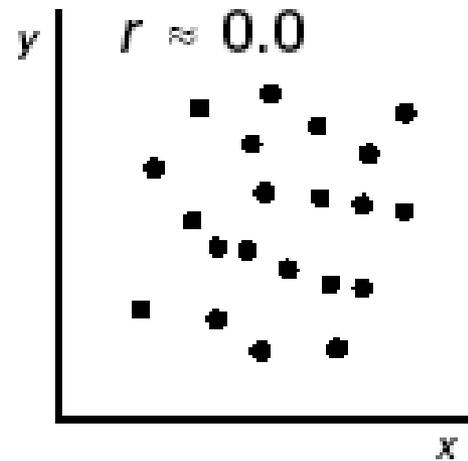
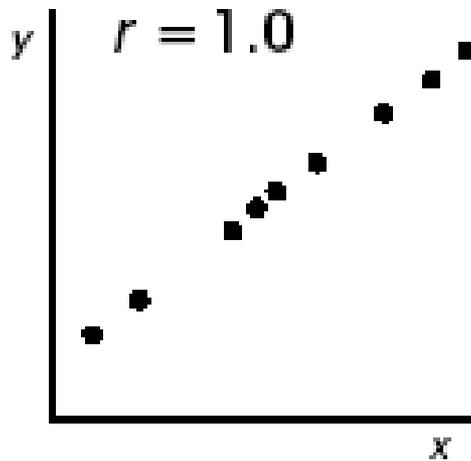
Kovarians : 
$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Koefisien korelasi : 
$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$



# Koefisien Korelasi

95



# Koefisien penentuan (coefficient of determination = $r^2$ )

96

- Dapat digunakan untuk mengetahui besar kontribusi nilai suatu variabel terhadap perubahan nilai variabel lain.
- Sebagai ilustrasi : Jika koefisien korelasi antara dua variabel adalah 0,9 ( $r = 0,9$ ), maka koefisien penentuannya adalah 0,81 ( $r^2 = 0,81 = 81\%$ )  $\rightarrow$  variabel x mempunyai kontribusi sebesar 81% terhadap perubahan nilai variabel y, dan 19% disebabkan oleh faktor lain.



# METODA PENAKSIRAN

# Penaksiran

98

