

BAB III

TEORI DASAR

3.1 Genesa Emas (*Gold Genesis*)

Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5 – 3 (*skala Mohs*), berat jenisnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berasosiasi dengannya. Emas terbentuk dari proses magmatisme atau pengkonsentrasian di permukaan. Beberapa endapan terbentuk karena proses metasomatisme kontak dan larutan hidrotermal, sedangkan pengkonsentrasian secara mekanis menghasilkan endapan letakan (*placer*).

Genesa emas dikategorikan menjadi dua yaitu :

1. Endapan Primer

Pada umumnya emas ditemukan dalam bentuk logam (*native*) yang terdapat di dalam retakan-retakan batuan kuarsa dan dalam bentuk mineral yang terbentuk dari proses magmatisme dan vulkanisme, bergerak berdasarkan adanya panas di dalam bumi. Beberapa endapan terbentuk karena proses metasomatisme kontak dan larutan hidrotermal.

2. Endapan Letakan (*Placer*)

Emas juga ditemukan dalam bentuk emas aluvial yang terbentuk karena proses pelapukan terhadap batuan-batuan yang mengandung emas atau sebagai hasil dari pergerakan endapan primer. Di mana pengkonsentrasian secara mekanis menghasilkan endapan *placer*. Sering kali ditemukan bersamaan dengan mineral silikat, perak, platina, pirit dan lainnya, (*gold-bearing rocks, Lucas, 1985*).

3.2 Endapan Epitermal

Endapan epitermal didefinisikan sebagai salah satu endapan dari sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal yang umumnya pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan, (*Simmons et al, 2005 dalam Sibarani, 2008*).

Penggolongan tersebut berdasarkan temperatur (T), tekanan (P) dan kondisi geologi yang dicirikan oleh kandungan mineralnya. Secara lebih detailnya endapan epitermal terbentuk pada kedalaman dangkal hingga 1.000 meter di bawah permukaan dengan temperatur relatif rendah (50-200)⁰C dengan tekanan tidak lebih dari 100 atmosfer (atm) dari cairan meteorik dominan yang agak asin, (*Pirajno, 1992*).

Tekstur penggantian (*replacement*) pada mineral tidak menjadi ciri khas karena jarang terjadi. Tekstur yang banyak dijumpai adalah berlapis (*banded*) atau berupa *fissure vein*. Sedangkan struktur khasnya adalah berupa struktur pembungkusan (*cockade structure*). Asosiasi pada endapan ini berupa mineral emas (Au) dan perak (Ag) dengan mineral penyertanya berupa mineral kalsit, mineral zeolit dan mineral kuarsa. Dua tipe utama dari endapan ini adalah sulfida rendah (*low sulphidation*) dan sulfida tinggi (*high sulphidation*) yang dibedakan terutama berdasarkan pada sifat kimia fluidanya dan berdasarkan pada alterasi dan mineraloginya.

Endapan epitermal umumnya ditemukan sebagai sebuah pipa seperti zona di mana batuan mengalami breksiasi dan teralterasi atau berubah tingkat tinggi. Vein juga ditemukan khususnya sepanjang zona patahan, namun mineralisasi vein mempunyai tipe tidak menerus (*discontinuous*).

Pada daerah vulkanik, sistem epitermal sangat umum ditemui dan seringkali mencapai permukaan, terutama ketika fluida hidrotermal muncul (*erupt*) sebagai

geyser dan fumaroles. Banyak endapan mineral epitermal tua menampilkan fosil (*roots*) dari sistem fumaroles kuno. Mineral-mineral tersebut berada dekat permukaan, proses erosi sering mencabutnya secara cepat, hal inilah mengapa endapan mineral epitermal tua relatif tidak umum secara global. Kebanyakan dari endapan mineral epitermal berumur Mesozoic atau lebih muda.

Mineralisasi epitermal memiliki sejumlah fitur umum seperti hadirnya kalsedonik kuarsa, kalsit, dan breksi hidrotermal. Selain itu, asosiasi elemen juga merupakan salah satu ciri dari endapan epitermal, yaitu dengan elemen bijih seperti Au, Ag, As, Sb, Hg, Tl, Te, Pb, Zn, dan Cu. Tekstur bijih yang dihasilkan oleh endapan epitermal termasuk tipe pengisian ruang terbuka (karakteristik dari lingkungan yang bertekanan rendah), krustifikasi, *colloform banding* dan struktur sisir. Endapan yang terbentuk dekat permukaan sekitar 1,5 km dibawah permukaan ini juga memiliki tipe berupa tipe *vein*, *stockwork* dan diseminasi.

Dua tipe utama dari endapan ini adalah *low sulphidation* dan *high sulphidation* yang dibedakan terutama berdasarkan pada sifat kimia fluidanya dan berdasarkan pada alterasi dan mineraloginya, (*Hedenquist et al., 1996:2000 dalam Chandra,2009*).

Dibawah ini digambarkan ciri-ciri umum endapan epitermal, (*Lindgren, 1933 dalam Sibarani,2008*) :

1. Suhu relatif rendah (50-250)°C dengan salinitas bervariasi antara 0-5 % wt.
2. Terbentuk pada kedalaman dangkal (± 1 km)
3. Pembentukan endapan epitermal terjadi pada batuan sedimen atau batuan beku, terutama yang berasosiasi dengan batuan *intrusive* dekat permukaan atau *ekstrusif*, biasanya disertai oleh sesar turun dan kekar.
4. Zona bijih berupa urat-urat yang simpel, beberapa tidak beraturan dengan pembentukan kantong-kantong bijih, seringkali terdapat pada pipa dan

stockwork. Jarang terbentuk sepanjang permukaan lapisan, dan sedikit kenampakan *replacement*.

5. Logam mulia terdiri dari Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, Cu, Se, Bi, U
6. Mineral bijih berupa Native Au, Ag, elektrum, Cu, Bi, Pirit, markasit, sfalerit, galena, kalkopirit, Cinnabar, jamesonite, stibnite, realgar, orpiment, ruby silvers, argentite, selenides, telurides.
7. Mineral penyerta adalah kuarsa, chert, kalsedon, ametis, serisit, klorit rendah-Fe, epidot, karbonat, fluorit, barite, adularia, alunit, dickite, rhodochrosite, zeolit
8. Ubahan batuan samping terdiri dari silisifikasi (*chertification*), kaolinisasi, piritisasi, dolomitisasi, kloritisasi
9. Tekstur dan struktur yang terbentuk adalah *crustification* yang sangat umum, sering sebagai berlapis sempurna (*fine banding*), *vugs*, urat terbreksikan.

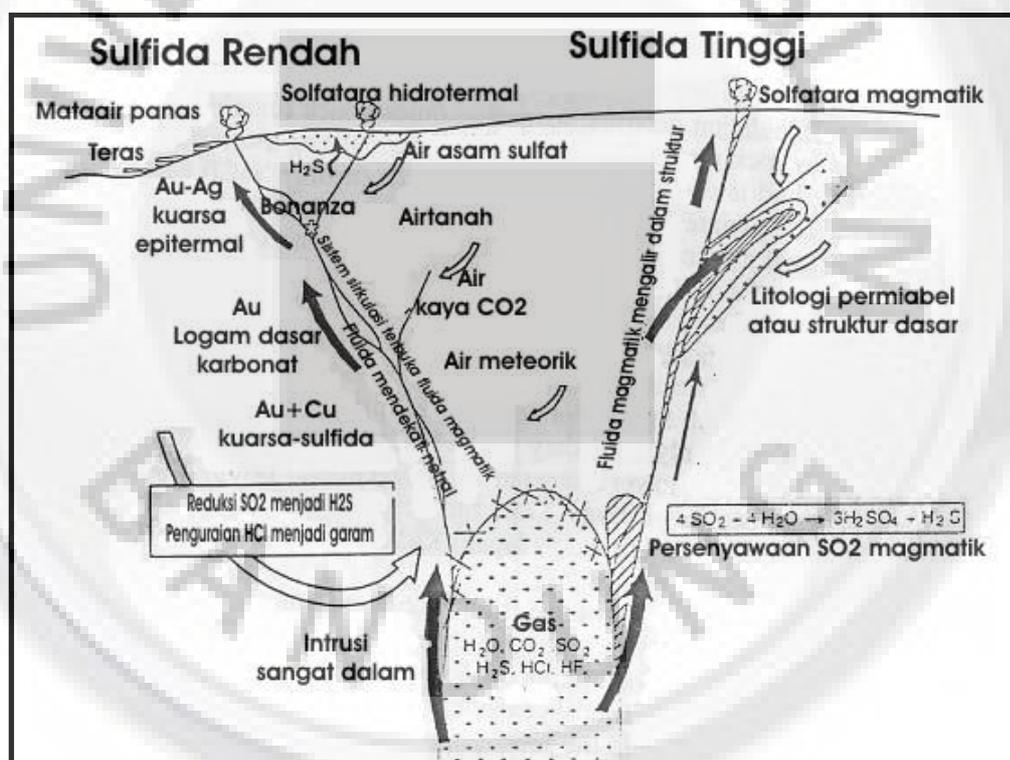
Karakteristik umum dari endapan epitermal, (*Simmons et al, 2005 dalam Sibarani, 2008*) adalah :

1. Jenis air berupa air meteorik dengan sedikit air magmatik
2. Endapan epitermal mengandung mineral bijih *epigenetic* yang pada umumnya memiliki batuan induk berupa batuan vulkanik.
3. Tubuh bijih memiliki bentuk yang bervariasi yang disebabkan oleh kontrol dan litologi dimana biasanya merefleksikan kondisi *paleo-permeability* pada kedalaman yang dangkal dari sistem hidrotermal.
4. Sebagian besar tubuh bijih terdapat berupa sistem urat dengan dip yang terjal yang terbentuk sepanjang zona regangan. Beberapa diantaranya terdapat bidang sesar utama, tetapi biasanya pada sesar-sesar minor.
5. Pada suatu jaringan sesar dan kekar akan terbentuk bijih pada urat.

6. Mineral pengganggu (*mineral gangue*) yang utama adalah kuarsa sehingga menyebabkan bijih keras dan relatif tahan terhadap pelapukan.
7. Kandungan sulfida pada urat relatif sedikit (<1 s/d 20%).

3.3 Klasifikasi Endapan Epitermal

Pada lingkungan epitermal terdapat 2 (dua) kondisi sistem hidrotermal (Gambar 3.1) yang dapat dibedakan berdasarkan reaksi yang terjadi dan ketersediaan mineral-mineral alterasi dan mineral bijihnya yaitu *epithermal low sulfidasi* dan *high sulfidasi*, (Hedenquist et al, 1996; 2000 dalam Sibarani, 2008).



Sumber : Corbett dan Leach, 1996

Gambar 3.1
Model Fluida Sulfida Tinggi dan Rendah

Pengklasifikasian endapan epitermal masih merupakan perdebatan hingga saat ini, akan tetapi sebagian besar mengacu kepada aspek mineralogi dan mineral pengganggu di mana aspek tersebut merefleksikan aspek kimia fluida maupun aspek perbandingan karakteristik mineralogi, ubahan dan bentuk endapan pada

lingkungan epitermal. Aspek kimia dari fluida yang termineralisasi adalah salah satu faktor yang terpenting dalam penentuan kapan mineralisasi tersebut terjadi dalam sistem hidrotermal.

3.3.1 Karakteristik Endapan Epitermal Sulfida Rendah (Adularia-Serisit Epithermal Low Sulfidation)

Endapan epitermal sulfidasi rendah dicirikan oleh larutan hidrotermal yang bersifat netral dan mengisi celah-celah batuan. Tipe ini berasosiasi dengan alterasi kuarsa-adularia, karbonat, serisit pada lingkungan sulfur rendah dan biasanya perbandingan perak dan emas relatif tinggi. Mineral bijih dicirikan oleh terbentuknya elektum, perak sulfida, garam sulfat, dan logam dasar sulfida. Batuan induk pada deposit logam mulia sulfidasi rendah adalah andesit alkali, dasit, riodasit atau riolit. Secara genesis sistem epitermal sulfidasi rendah berasosiasi dengan vulkanisme riolitik, tipe ini dikontrol oleh struktur-struktur pergeseran.

Endapan ini terbentuk jauh dari tubuh intrusi dan terbentuk melalui larutan sisa magma yang berpindah jauh dari sumbernya kemudian bercampur dengan air meteorik di dekat permukaan dan membentuk jebakan tipe sulfidasi rendah, dipengaruhi oleh sistem *boiling* sebagai mekanisme pengendapan mineral-mineral bijih. Proses *boiling* disertai pelepasan unsur gas merupakan proses utama untuk pengendapan emas sebagai respon atas turunnya tekanan. Perulangan proses *boiling* akan tercermin dari tekstur *crusstiform banding* dari silika dalam urat kuarsa. Pembentukan jebakan urat kuarsa berkadar tinggi mensyaratkan pelepasan tekanan secara tiba-tiba dari cairan hidrotermal untuk memungkinkan proses *boiling*. Sistem ini terbentuk pada tektonik lempeng subduksi, kolisi dan pemekaran, (Hedenquist dkk., 1996 dalam Pirajno, 1992).

Kontrol utama terhadap pH cairan adalah konsentrasi CO₂ dalam larutan dan salinitas. Proses *boiling* dan terlepasnya CO₂ ke fase uap mengakibatkan

kenaikan pH, sehingga terjadi perubahan stabilitas mineral contohnya dari illit ke adularia. Terlepasnya CO₂ menyebabkan terbentuknya kalsit, sehingga umumnya dijumpai adularia dan bladed calcite sebagai mineral pengganggu pada urat bijih sistem sulfidasi rendah

Endapan epitermal sulfidasi rendah akan berasosiasi dengan alterasi kuarsa–adularia, karbonat dan serisit pada lingkungan sulfur rendah. Larutan bijih dari sistem sulfidasi rendah variasinya bersifat alkali hingga netral (pH 7) dengan kadar garam rendah (0-6 wt)% NaCl, mengandung CO₂ dan CH₄ yang bervariasi. Mineral-mineral sulfur biasanya dalam bentuk H₂S dan sulfida kompleks dengan temperatur sedang (150°-300° C) dan didominasi oleh air permukaan

Batuan sampling (*wallrock*) pada endapan epitermal sulfidasi rendah adalah andesit alkali, riodasit, dasit, riolit ataupun batuan-batuan alkali. Riolit sering hadir pada sistem sulfidasi rendah dengan variasi jenis silika rendah sampai tinggi. Bentuk endapan didominasi oleh urat-urat kuarsa yang mengisi ruang terbuka (*open space*), tersebar (*disseminated*), dan umumnya terdiri dari urat-urat breksi, (Hedenquist dkk., 1996).

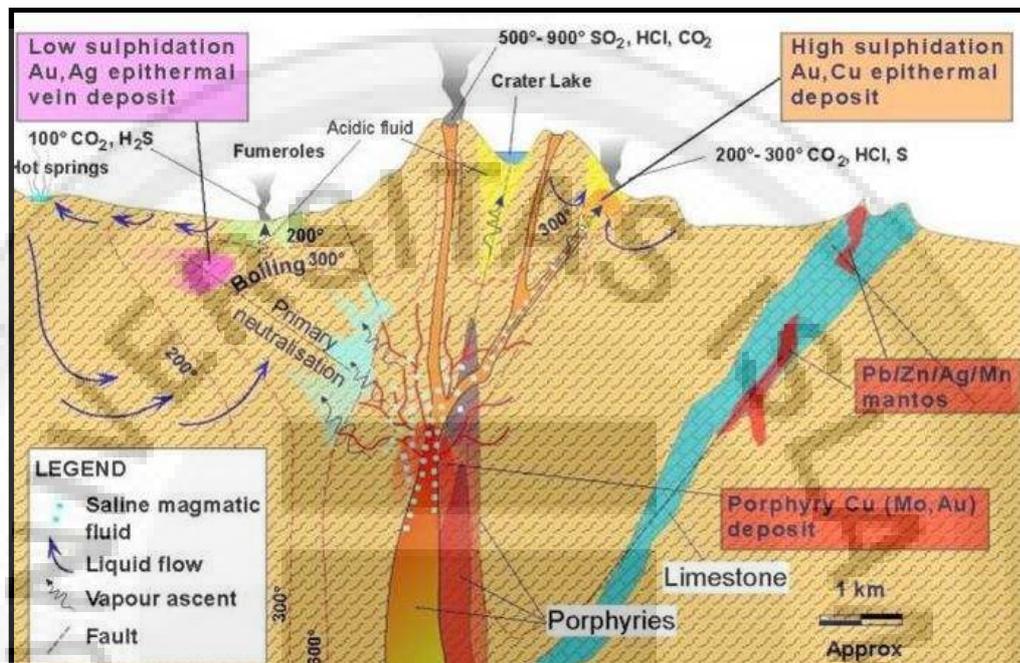
Struktur yang berkembang pada sistem sulfidasi rendah berupa urat, *cavity filling*, urat breksi, tekstur colloform, dan sedikit vuggy, terdapat ditabel 3.1, (Corbett dan Leach, 1996).

Tabel 3.1
Karakteristik Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah

Tipe endapan	Sinter breccia, stockwork
Posisi tektonik	Subduction, collision, dan rift
Tekstur	Colloform atau crusstiform
Asosiasi mineral	Stibnit, sinnabar, adularia, metal sulfida
Mineral bijih	Pirit, elektrum, emas, sfalerit, arsenopirit
Contoh endapan	Pongkor, Hishikari dan Golden Cross

Sumber : Corbett dan Leach, 1996

Epithermal Low Sulphidation terbentuk dalam suatu sistem geotermal yang didominasi oleh air klorit dengan pH netral dan terdapat kontribusi dominan dari sirkulasi air meteorik yang dalam dan mengandung CO_2 , NaCl , and H_2S .



Sumber : Hedenquist dkk., 1996 dalam Nagel, 2008

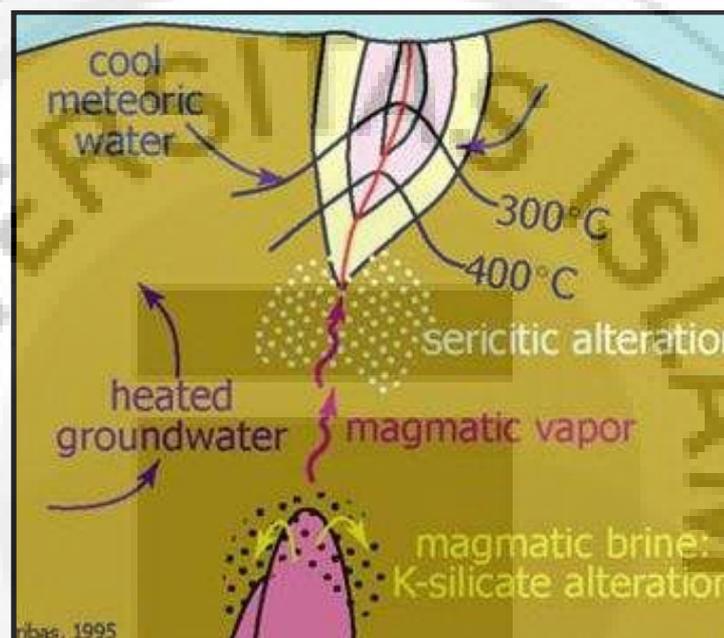
Gambar 3.2
Model Endapan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah

Gambar 3.2 merupakan model konseptual dari endapan emas sulfidasi rendah. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa endapan epitermal sulfidasi rendah berasosiasi dengan lingkungan vulkanik, tempat pembentukan yang relatif dekat permukaan serta larutan yang berperan dalam proses pembentukannya berasal dari campuran air magmatik dengan air meteorit.

3.3.2 Karakteristik Endapan Epitermal Sulfida Tinggi (*Epithermal High Sulphidation*) atau *Acid Sulfate*

Endapan *epithermal high sulphidation* dicirikan dengan batuan induk berupa batuan vulkanik bersifat asam hingga intermediet dengan kontrol struktur berupa sesar secara regional atau intrusi subvulkanik, kedalaman formasi batuan sekitar 500-2.000 meter dan temperatur $(100\text{-}320)^\circ\text{C}$. Endapan *Epithermal High Sulphidation*

terbentuk oleh sistem dari fluida hidrotermal yang berasal dari intrusi magmatik yang cukup dalam, fluida ini bergerak secara vertikal dan horizontal menembus rekahan-rekahan pada batuan dengan suhu yang relatif tinggi (200-300°C), fluida ini didominasi oleh fluida magmatik dengan kandungan acidic yang tinggi yaitu berupa HCl, SO₂, H₂S, (Pirajno, 1992).



Sumber : Buchanan ,1981

Gambar 3.3
Penampang Ideal Endapan Epitermal

Endapan *epithermal high sulfidation* terbentuk dari reaksi batuan induk dengan fluida magma asam yang panas, yang menghasilkan suatu karakteristik zona alterasi yang akhirnya membentuk endapan Au, Cu, Ag. Sistem bijih menunjukkan kontrol permeabilitas yang tergantung oleh faktor litologi, struktur, alterasi di batuan sampling, mineralogi bijih dan kedalaman formasi. *High sulphidation* berhubungan dengan pH asam, timbul dari bercampurnya fluida yang mendekati pH asam dengan larutan sisa magma yang bersifat encer sebagai hasil dari diferensiasi magma, di kedalaman yang dekat dengan tipe endapan porfiri dan dicirikan oleh jenis sulfur yang dioksidasi menjadi SO.

Epithermal High Sulphidation terbentuk dalam suatu sistem *magmatic-hydrothermal* yang didominasi oleh fluida hidrotermal yang asam, di mana terdapat *fluks* larutan magmatik dan vapor yang mengandung H_2O , CO_2 , HCl , H_2S , and SO_2 , dengan variabel input dari air meteorik lokal

3.4 Teknik Pengambilan Contoh (*Sampling*)

Sampling adalah proses kegiatan pengambilan sebahagian kecil dari suatu material, badan bijih (*orebody*), atau endapan lainnya, sedemikian rupa sehingga konsistensinya mewakili keseluruhan bahan galian tersebut. Adapun manfaat dari *sampling* yang diambil adalah;

1. Eksplorasi tambang/geologi eksplorasi
2. Pengolahan
3. Kontrol kualitas
4. Eksplorasi geoteknik

Sampel (contoh) merupakan satu bagian yang representatif atau satu bagian dari keseluruhan yang bisa menggambarkan berbagai karakteristik untuk tujuan inspeksi atau untuk menunjukkan bukti-bukti kualitas dan merupakan sebagian dari populasi statistik di mana sifat-sifatnya telah dipelajari untuk mendapatkan informasi secara keseluruhan.

Secara spesifik, contoh dapat dikatakan sebagai sekumpulan material yang dapat mewakili jenis batuan, formasi, atau badan bijih dalam arti kualitatif dan kuantitatif dengan deskripsi (pemerian) termasuk lokasi, komposisi batuan, formasi, atau badan bijih dimaksud.

Proses pengambilan contoh ini disebut *sampling*, yang dapat dilakukan karena beberapa tujuan maupun tahapan pekerjaan, beberapa tahapan dalam pengambilan contoh yaitu :

1. Selama fase-eksplorasi, sampling dilakukan pada badan bijih dan tidak hanya terbatas pada zona mineralisasi saja, tetapi pada zona-zona kadar rendah (*low grade*) maupun material *barren* dengan tujuan untuk mendapatkan batas yang jelas antara masing-masing zona mineralisasi.
2. Selama fase-evaluasi, sampling dilakukan tidak hanya pada zona endapan, tapi juga pada daerah-daerah disekitar endapan dengan tujuan memperoleh informasi lain yang berhubungan dengan kestabilan lereng dan pemilihan metode penambangan.
3. Sedangkan selama fase-eksplorasi, *sampling* tetap dilakukan dengan tujuan mengontrol kadar (*grade quality*) dan monitoring *front* kerja yaitu kadar pada front kerja yang aktif, kadar pada *bench open pit* atau kadar pada umpan material.

3.4.1 Pengambilan Contoh (*Sampling*) Pada Fase Eksploitasi

Sampling pada fase ini termasuk sampling dari tempat penimbunan (*stockpile*), dari bagian atas truk atau dari tongkang. Persyaratan dasar yang menyatakan bahwa semua partikel hendaknya mempunyai kesempatan yang sama untuk terambil menjadi bagian dari contoh.

Pengambilan contoh dari *stockpile* harus dilakukan selama proses penumpukan atau pengambilan dari *stockpile*. Pengambilan contoh dari *stockpile* tetap tidak dianjurkan. Namun, jika itu merupakan satu - satunya pilihan, prosedur yang ada hendaknya digunakan, hasilnya hanya untuk menandakan kualitas bijih. Contoh sebaiknya diambil dari bagian depan kerja *stockpile*, dari *bucket* dari sebuah pemuat *front-end*, muatan terpisah yang dikirim ke *stockpile* sebelum sebelum dimasukkan ke dalam *stockpile* utama. Terdapat beberapa metode pengambilan contoh dalam kegiatan *quality control*, yaitu :

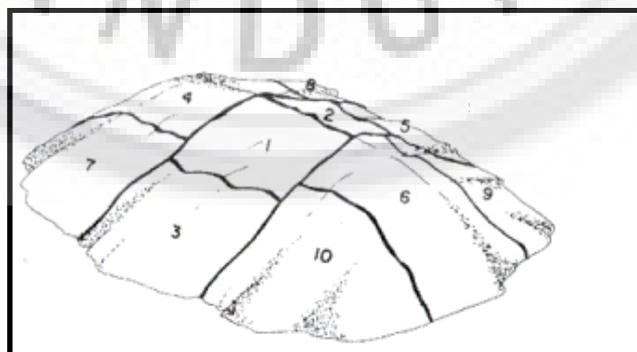
1. Conto Ruah (*Bulk Sampling*)

Bulk sampling merupakan metode pengambilan conto dengan cara mengambil material dalam jumlah yang besar. Pada fase sebelum operasi penambangan, *bulk sampling* dilakukan untuk mengetahui kadar pada suatu blok atau bidang kerja. Metode *bulk sampling* juga umum dilakukan untuk uji metalurgi dengan tujuan mengetahui *recovery* (perolehan) suatu proses pengolahan, (Cochran, W.G., 1964).

2. Conto Acak (*Grab Sampling*)

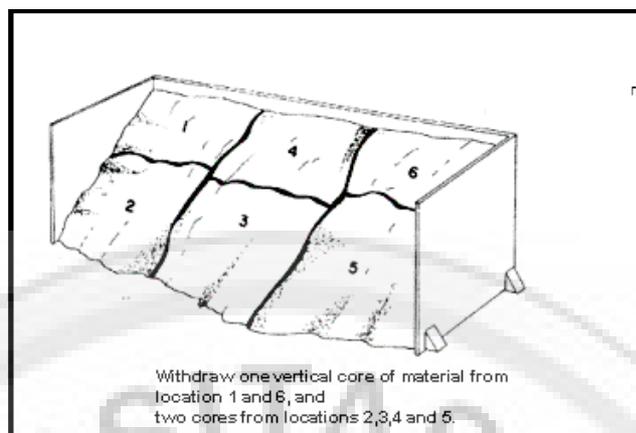
Secara umum, metode *grab sampling* merupakan teknik pengambilan conto dengan cara mengambil bagian dari suatu material. Tingkat ketelitian pada metode ini relatif mempunyai bias yang cukup besar. Beberapa kondisi pengambilan contoh dengan teknik *grab sampling* antara lain :

- Pada tumpukan material hasil pembongkaran untuk mendapatkan gambaran umum kadar.
- Pada material di atas *dump truck* atau *belt conveyor* atau pada *stockpile* dengan tujuan pengecekan kualitas.
- Pada fragmen material hasil peledakan pada suatu muka kerja untuk memperoleh kualitas umum dari material yang diledakkan.



Sumber : Canada,ca.1997

Gambar 3.4
Pengambilan Conto dengan *Pattern for Ridge Pile*



Sumber : Canada, ca. 1997

Gambar 3.5
Pengambilan Contoh dengan *Pattern for One-Sided*

3.5 Perhitungan Rata-Rata (*Weighted Mean*)

Dalam perhitungan kadar pada contoh dapat dihitung dengan perhitungan statistika dengan memperhatikan kadar dari objek sekitarnya, yaitu dengan rumus rata-rata gabungan atau rata-rata terboboti. Rata-rata gabungan disebut juga *grand mean*, *pooled mean*, atau rata-rata umum. Terdapat dua perhitungan yaitu aritmatika dan pembobotan (*Weighted*).

3.5.1 Aritmatika

Perhitungan dengan cara aritmatika diasumsi semua kadar di semua lokasi mempunyai luas dan *spesifik gravity* relatif yang seragam.

$$C_{av} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n}{n} \quad \dots (3-1)$$

Keterangan :

C_{av} = Kadar Rata-Rata

$C_1, C_2, C_3, C_4, \dots, C_n$ = Kadar ke-1, 2, 3, 4 n

n = Jumlah Data

3.5.2 Weighted (Pembobotan)

1. Ketebalan/Lebar/Panjang/Berat

Pada perhitungan rata-rata dengan tebal atau lebar atau panjang semua blok mempunyai luas dan kadar hampir sama (seragam).

$$C_{av} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots + t_n} \quad \dots (3-2)$$

Keterangan :

C_{av} = Kadar Rata-Rata

$C_1, C_2, C_3, C_4, \dots, C_n$ = Kadar ke-1, 2, 3, 4 n

$t_1, t_2, t_3, t_4, \dots, t_n$ = Ketebalan/Lebar/Panjang/berat ke-1, 2, 3, 4 ...n

2. Luas

Pada metoda ini semua blok mempunyai ketebalan yang konstan dan kadar hampir sama (seragam) tapi memiliki daerah yang berbeda.

$$C_{av} = \frac{C_1 S_1 + C_2 S_2 + C_3 S_3 + C_4 S_4 + \dots + C_n S_n}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + \dots + S_n} \quad \dots (3-3)$$

C_{av} = Kadar Rata-Rata

$C_1, C_2, C_3, C_4, \dots, C_n$ = Kadar ke-1, 2, 3, 4 n

$S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n$ = Luas ke-1, 2, 3, 4 n

3. Volumetrik

Pada metode ini semua blok mempunyai kadar *relative* sama (seragam).

$$C_{av} = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + C_4 V_4 + \dots + C_n V_n}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n} \quad \dots (3-4)$$

C_{av} = Kadar Rata-Rata

$C_1, C_2, C_3, C_4, \dots, C_n$ = Kadar ke-1, 2, 3, 4 n

$V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_n$ = Volume ke-1, 2, 3, 4 n

4. Gravimetrik

Perhitungan kadar rata-rata pada metode ini adalah berdasarkan asumsi bahwa tonase (*tonnage*) dan kadar (*grade*) blok berbeda-beda.

$$C_{av} = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2 + C_3 Q_3 + C_4 Q_4 + \dots + C_n Q_n}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n} \quad \dots (3-5)$$

C_{av} = Kadar Rata-Rata

$C_1, C_2, C_3, C_4, \dots, C_n$ = Kadar ke-1, 2, 3, 4 n

$V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_n$ = Volume ke-1, 2, 3, 4 n

$Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ = Raw material pada setiap blok

3.6 Pengolahan Bahan Galian (*Mineral Dressing*)

Pengolahan bahan galian atau *mineral dressing* adalah istilah umum yang biasa dipergunakan untuk proses pengolahan semua jenis bahan galian/mineral yang berasal dari endapan-endapan alam pada kulit bumi, untuk dipisahkan menjadi produk-produk berupa satu macam atau lebih mineral berharga dan sisanya dianggap sebagai mineral kurang berharga (*tailing*), yang terdapat bersama-sama dalam alam, (Sudarsono, Arief. 1989).

Dalam pengolahan bahan galian terdapat beberapa istilah seperti *material balance*, *metallurgical balance*, nisbah konsentrasi, dan % *recovery*. *Material balance* adalah suatu neraca kesetimbangan pada pengolahan bahan galian dengan jumlah partikel umpan yang masuk dalam alat pengolahan hasilnya sama dengan jumlah material yang keluar. Rumus *material balance* yaitu :

$$F = C + T \quad \dots (3-6)$$

Keterangan :

F = Berat material umpan(ton)

C = Berat konsentrat (ton)

T = Berat pengotor (*tailing*) (ton)

Metallurgical balance adalah neraca kesetimbangan material bijih dimana berat bijih umpan yang masuk dengan kadarnya akan sama dengan produk dengan kadarnya.

$$F_f = C_c + T_t \quad \dots (3-7)$$

Keterangan :

F_f = Kadar umpan (%)

C_c = Kadar konsentrat (%)

T_t = Kadar pengotor (*tailing*) (%)

Nisbah konsentrasi adalah perbandingan berat umpan dengan berat konsentrat.

$$K = \frac{F}{C} \quad \dots (3-8)$$

Angka Perolehan (% *recovery*) adalah perbandingan antara logam berharga dalam konsentrat dengan berat logam berharga dalam umpan yang dinyatakan dalam persen (%).

$$R = \frac{C_c}{F_f} \times 100\% \quad \dots (3-9)$$

$$R = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} \times 100\% \quad \dots (3-10)$$

3.7 Proses Pengolahan Emas

Pengolahan emas diawali dengan proses kominusi (*comminution*) kemudian dilanjutkan dengan proses pemisahan dengan menggunakan sianida.

3.7.1 Kominusi

Kominusi adalah proses reduksi ukuran material agar mineral berharga yang mengandung emas dengan tujuan untuk membebaskan mineral emas dari mineral-

mineral lain yang terkandung dalam batuan induk. Proses kominusi diperlukan pada pengolahan bijih emas primer, sedangkan pada bijih emas sekunder bijih emas merupakan emas yang terbebaskan dari batuan induk yang kemudian terendapkan.

Proses kominusi dilakukan dengan dua tahap, yaitu :

1. Peremukan (*crushing*) merupakan suatu proses peremukan bijih (*ore*) dari hasil penambangan melalui perlakuan mekanis, dari ukuran batuan tambang.
2. Penggerusan (*grinding*) merupakan proses penggerusan lanjutan dari proses *crushing*, hingga mencapai ukuran *slurry* dari hasil penggerusan yang diharapkan yaitu minimal 80% adalah 200#.

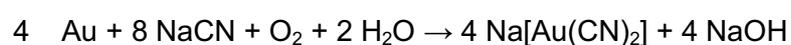
Setelah mengalami proses kominusi selanjutnya dihasilkan konsentrat yang selanjutnya diolah di dalam proses yang disebut metalurgi, dalam proses metalurgi ada banyak metode yang digunakan namun dalam pengolahan emas PT CSD menggunakan metode sianida.

3.7.2 Proses Pengolahan Emas dengan Sianida

Sianidasi emas adalah teknik metalurgi untuk mengekstraksi emas dari bijih kadar rendah dengan mengubah emas kompleks yang larut dalam air. Ini adalah proses yang paling umum digunakan untuk ekstraksi emas. Pada dasarnya proses pengolahan emas dengan proses sianidasi terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. Pelarutan (*Leaching*)

Proses awal dalam pengolahan emas adalah melarutkan logam-logam emas dan perak yang terkandung dalam lumpur atau batuan. Pelarutan dilakukan dengan menambahkan sianida ke dalam larutan pada pH 10. Adapun reaksi pada saat pelarutan adalah :

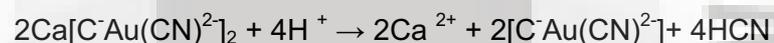


2. Pengambilan logam (*Carbon In Leach*)

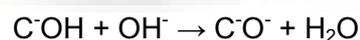
Proses pengambilan logam dapat dilakukan dengan karbon aktif baik dengan sistem karbon dalam lumpur maupun karbon dalam larutan kaya. Jika tidak menggunakan karbon bisa dengan resin ataupun cukup dengan memisahkan lumpur dan larutannya untuk di ekstraksi.

3. Pemisahan (*Elution*)

Elution merupakan proses desorpsi emas-perak dari karbon. Setelah dilakukan pencucian dengan asam (*Acid wash*) dengan menggunakan HCl 3% dengan temperatur kamar selama 4-5 menit untuk menghilangkan kotoran dan senyawa inorganik seperti CO_3^{2-} yang ikut teradsorpsi pada permukaan karbon. Reaksi pencucian dengan asam :



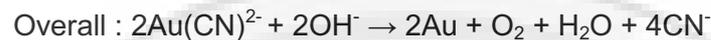
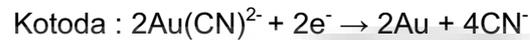
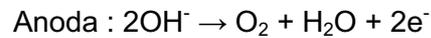
Asam lain juga bisa digunakan misalnya : HNO_3 hanya saja karena lebih oksidatif maka harus diperhatikan penggunaannya agar karbon tidak teroksidasi menjadi CO_2 . Setelah dicuci dengan air bersih, lalu dengan cara merendam karbon tersebut pada larutan yang mengandung NaOH 3% dan NaCN 3% dan dipanaskan sampai mendekati temperatur didih air ($80-90^\circ\text{C}$) pada tangki non metal selama paling tidak 2 hari untuk melepaskan Au-Ag dari karbon. Reaksi pelepasan Au-Ag :



4. Pengendapan (*Electrowinning*)

Electrowinning adalah proses elektrokimia yaitu proses pengendapan logam pada kutub katoda menggunakan arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit (hasil dari pelarutan), hasil yang diperoleh pada kutub katoda adalah

lumpur logam emas dan perak yang disebut *cake* yang dapat langsung dilebur (*smelting*). Reaksi sel yang terjadi adalah :



Pada proses *electrowinning* akan melepaskan gas H^+ membuat pH menjadi turun sehingga berisiko mengasilkan gas HCN. Gas ini sangat berbahaya dan bersifat korosif terhadap anoda, untuk itu larutan alkali sianida harus dijaga pada pH 12,5.

3.7.3 Pencampuran (*Blending*)

Sesuai dengan Peraturan Menteri No. 1 tahun 2014 tentang peningkatan mutu mineral dengan cara pencampuran mineral dengan kadar yang rendah dengan kadar tinggi, perusahaan di Indonesia mulai menerapkan sistem *blending* untuk meningkatkan mutu dari kadar mineral tertentu.

Blending merupakan suatu tahapan yang termasuk dalam proses pengolahan emas ataupun mineral lainnya, pengertian *blending* yaitu suatu proses pencampuran beberapa emas atau bijih yang memiliki kualitas rendah atau kualitas yang berbeda sehingga membentuk emas dengan kadar tertentu yang diinginkan. Target kualitas yang ingin dicapai dalam *blending* berbeda-beda sesuai dengan target kadar perusahaan inginkan. *Blending* merupakan suatu cara untuk mendapatkan nilai kadar emas yang sesuai dengan permintaan konsumen yang dilakukan dengan cara mencampur emas dengan kadar yang tidak hanya dari satu jenis tipe saja tetapi digunakan dengan dua tipe atau lebih agar mendapatkan nilai kadar yang sesuai permintaan konsumen. Produksi atas hasil kerja *blending* adalah kunci untuk mencapai jenis *mine brand* suatu perusahaan.

Proses perhitungan *blending* yang perlu diperhatikan dalam menghitung dan mengkalkulasi *blending* adalah kualitas yang bersifat kuantitatif yang bisa langsung dihitung dengan kumulatif. Parameter yang diperlukan dalam proses *blending* adalah nilai kadar dan nilai tonase dari bijih. Perhitungan rata-rata kadar dari hasil *blending* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan (3-2).

3.8 Sistem Persamaan Linier Tiga Variabel

Sistem persamaan linear tiga variabel, merupakan himpunan tiga buah persamaan dengan variabel sebanyak tiga. Bentuk ini satu tingkat lebih rumit dibandingkan sistem persamaan linear dua variabel.

3.8.1 Bentuk Umum

$$ax + by + cz = p \quad \dots (3-11)$$

$$dx + ey + fz = q \quad \dots (3-12)$$

$$gx + hy + iz = r \quad \dots (3-13)$$

$$a, b, c, d, e, f, g, h, i, p, q, r \in \mathbb{R}$$

a, d, g = koefisien dari x

b, e, h = koefisien dari y

c, f, i = koefisien dari z

p, q, r = konstanta

x, y, z = variabel

3.8.2 Penyelesaian Sistem Persamaan Linear Tiga Variabel

Ada beberapa cara menyelesaikan sistem persamaan linear tiga variabel, antara lain :

1. Cara Gabungan (Eliminasi dan Substitusi),
2. Cara Determinan

$$\text{Sistem persamaan : } \begin{cases} ax + by + cz = p \\ dx + ey + fz = q \\ gx + hy + iz = r \end{cases} \quad \dots (3-14)$$

diubah menjadi bentuk susunan bilangan sebagai berikut dan diberi notasi :
D, Dx, Dy, dan Dz.

$$D = \begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{vmatrix} \quad D_x = \begin{vmatrix} p & b & c \\ q & e & f \\ r & h & i \end{vmatrix} \quad D_y = \begin{vmatrix} a & p & c \\ d & q & f \\ g & r & i \end{vmatrix} \quad D_z = \begin{vmatrix} a & b & p \\ d & e & q \\ g & h & r \end{vmatrix}$$

$$x = \frac{D_x}{D} \quad y = \frac{D_y}{D} \quad z = \frac{D_z}{D} \quad \dots (3-15)$$

3.9 Metode Simpleks

Metode simpleks digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi yang melibatkan tiga variabel atau lebih yang tidak dapat diselesaikan oleh metode grafik. Metode simpleks adalah metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang memiliki lebih dari dua variabel. Metode simpleks didefinisikan sebagai cara menyelesaikan permasalahan yang memiliki variabel keputusan minimal dua dengan menggunakan alat bantu tabel. Metode simpleks dibedakan menjadi dua yaitu, metode simpleks maksimasi untuk mencari keuntungan maksimal dan metode simpleks minimasi untuk mencari biaya minimal. Metode grafik tidak dapat menyelesaikan persoalan linear program yang memiliki variabel keputusan yang cukup besar atau lebih dari dua.

Penyelesaian metode simpleks beberapa ketentuan yang perlu diperhatikan, antara lain:

1. Nilai kanan (NK / RHS) fungsi tujuan harus nol (0).
2. Nilai kanan (RHS) fungsi kendala harus positif, apabila negatif nilai tersebut harus dikalikan -1.

3. Fungsi kendala dengan tanda " \leq " harus diubah ke bentuk "=" dengan menambahkan variabel *slack/surplus*, disebut juga variabel dasar.
4. Fungsi kendala dengan tanda " \geq " diubah ke bentuk " \leq " dengan cara mengalikan dengan -1, lalu diubah ke bentuk persamaan dengan ditambahkan variabel *slack*. Kemudian karena RHS nya negatif, dikalikan lagi dengan -1 dan ditambah artificial variabel/variabel buatan (M).
5. Fungsi kendala dengan tanda "=" harus ditambah artificial variabel (M).

Salah satu teknik penentuan solusi optimal yang digunakan dalam pemrograman linier adalah metode simpleks. Metode simpleks digunakan untuk menyelesaikan masalah pemrograman linier yang mempunyai dua variabel atau lebih.

Penentuan solusi optimal menggunakan metode simpleks didasarkan pada teknik eliminasi *Gauss Jordan*. Penentuan solusi optimal dilakukan dengan memeriksa titik ekstrim satu per satu dengan cara perhitungan iteratif. Sehingga penentuan solusi optimal dengan simpleks dilakukan tahap demi tahap yang disebut dengan iterasi. Iterasi adalah tahapan perhitungan dimana nilai dalam perhitungan itu tergantung dari nilai tabel sebelumnya, diawali dengan penentuan solusi awal.

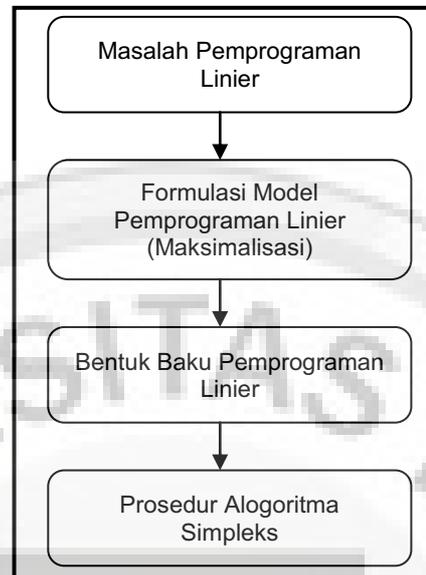
Secara umum dalam metode simpleks, solusi berdasarkan teori matriks, yang mana solusi pemrograman linier adalah harga X_1, X_2, \dots, X_n yang memenuhi semua fungsi kendala dan sekaligus mengoptimalkan fungsi tujuan. Demikian juga bahwa jenis-jenis variabel solusi basis memenuhi :

$$X = A^{-1} b \quad (x \geq 0)$$

Dan solusi non basis $X = A^{-1} b$, nilainya selalu nol

Dalam metode simpleks, terdapat istilah yang dikenal dengan fungsi kendala, tahapan pengerjaan simpleks dapat dilihat pada Gambar 3.6. Fungsi kendala ini berbentuk :

$$\sum_{x=1}^n a_{ix}c_x \leq b_i, \quad \sum_{x=1}^n a_{ix}c_x \geq b_i, \quad \sum_{x=1}^n a_{ix}c_x = b_i$$



Gambar 3.6
Tahapan Penyelesaian Persamaan Simpleks

Selain fungsi kendala, di dalam metode simpleks juga terdapat variabel *slack* (bentuk kanonik). Variabel *slack* adalah variabel yang ditambahkan ke model matematik kendala untuk mengkonversikan pertidaksamaan \leq menjadi persamaan ($=$). Penambahan variabel ini terjadi pada tahap inialisasi. Pada solusi awal, variabel *slack* akan berfungsi sebagai variabel basis. Variabel basis merupakan variabel yang nilainya bukan nol pada sembarang iterasi. Pada solusi awal, variabel basis merupakan variabel *slack* (jika fungsi kendala merupakan pertidaksamaan \leq) atau variabel buatan (jika fungsi kendala menggunakan pertidaksamaan \geq atau $=$). Secara umum, jumlah variabel basis selalu sama dengan jumlah fungsi pembatas (tanpa fungsi non negatif). Berikut adalah contoh variabel *slack* :

$$\sum_{x=1}^n a_{ix}c_x \leq b_i \rightarrow \sum_{x=1}^n a_{ix}c_x + s_i = b_i$$

3.10 Matriks

Beberapa pengertian tentang matriks :

1. Matriks adalah himpunan skalar (bilangan riil atau kompleks) yang disusun atau dijabarkan secara empat persegi panjang menurut baris-baris dan kolom-kolom.
2. Matriks adalah jajaran elemen (berupa bilangan) berbentuk empat persegi panjang.
3. Matriks adalah suatu himpunan kuantitas-kuantitas (yang disebut elemen), disusun dalam bentuk persegi panjang yang memuat baris-baris dan kolom-kolom. Notasi yang digunakan dalam matrik yaitu :

$$\left(\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right) \text{ Atau } \left[\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right] \text{ Atau } \left\| \begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right\|$$

Matriks dilambangkan dengan huruf besar seperti A, B, C, dll. Matriks yang mempunyai I baris dan j kolom ditulis $A=(a_{ij})$, artinya suatu matriks A yang elemennya a_{ij} di mana indeks I menyatakan baris ke I dan indeks j menyatakan kolom ke j dari elemen tersebut. Secara umum dinyatakan pada matriks $A=(a_{ij})$, $i=1, 2, 3, \dots, m$ dan $j=1, 2, 3, \dots, n$ yang berarti bahwa banyaknya baris m dan banyaknya kolom n.

Contoh :

$$A = \begin{pmatrix} -1 & -3 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} -3 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 12 & -1 \end{pmatrix}$$

Ukuran matriks	2 x 2	2 x 1	1 x 4
Jumlah baris	2	2	1
Jumlah kolom	2	1	4

Matriks yang hanya mempunyai satu baris disebut matriks baris, sedangkan matriks yang hanya mempunyai satu kolom disebut matriks kolom. Dua buah matriks A dan B dikatakan sama jika ukurannya sama ($m \times n$) dan berlaku $a_{ij} = b_{ij}$ untuk setiap i dan j .

3.10.1 Penjumlahan Matriks

Penjumlahan matriks hanya dapat dilakukan terhadap matriks-matriks yang mempunyai ukuran (orde) yang sama. Jika $A=(a_{ij})$ dan $B=(b_{ij})$ adalah matriks-matriks berukuran sama, maka $A+B$ adalah suatu matriks $C=(c_{ij})$ dimana $(c_{ij}) = (a_{ij}) + (b_{ij})$ atau $[A]+[B] = [C]$ mempunyai ukuran yang sama dan elemennya $(c_{ij}) = (a_{ij}) + (b_{ij})$, contoh :

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 4 & 2 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 3 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 5 \end{pmatrix} \quad \text{maka}$$

$$A+B = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 4 & 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3+0 & 1+2 \\ 4+1 & 2+3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 3 \\ 5 & 5 \end{pmatrix}$$

$$A+C = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 4 & 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 5 \end{pmatrix}$$

$A+C$ tidak terdefinisi (tidak dapat dicari hasilnya) karena matriks A dan B mempunyai ukuran yang tidak sama.

3.10.2 Pengurangan Matriks

Sama seperti pada penjumlahan matriks, pengurangan matriks hanya dapat dilakukan pada matriks-matriks yang mempunyai ukuran yang sama. Jika ukurannya berlainan maka matriks hasil tidak terdefiniskan.

Contoh :

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 4 \\ 4 & 5 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \quad \text{maka}$$

$$A-B = \begin{pmatrix} 3 & 4 \\ 4 & 5 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3-0 & 4-2 \\ 4-3 & 5-4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

3.10.3 Perkalian Matriks dengan Skalar

Jika k adalah suatu bilangan skalar dan $A=(a_{ij})$ maka matriks $kA=(ka_{ij})$ yaitu suatu matriks kA yang diperoleh dengan mengalikan semua elemen matriks A dengan k . Mengalikan matriks dengan skalar dapat dituliskan di depan atau di belakang matriks. Misalnya $[C]=k[A]=[A]k$ dan $(c_{ij}) = (ka_{ij})$

Contoh :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0 & -1 & 5 \end{pmatrix} \quad \text{maka } 2A = \begin{pmatrix} 2 \times 1 & 2 \times 2 & 2 \times 3 \\ 2 \times 0 & 2 \times -1 & 2 \times 5 \end{pmatrix}$$

Pada perkalian skalar berlaku hukum distributif dimana $k(A+B)=kA+kB$.

Contoh :

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & -1 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 3 & 4 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{dengan } k=2, \text{ maka}$$

$$K(A+B) = 2(A+B) = 2A+2B$$

$$2(A+B) = 2 \left(\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & -1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3 & 4 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \right) = 2 \begin{pmatrix} 3 & 5 \\ 3 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & 10 \\ 6 & 0 \end{pmatrix}$$

$$2A+2B = 2 \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & -1 \end{pmatrix} + 2 \begin{pmatrix} 3 & 4 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & 10 \\ 6 & 0 \end{pmatrix}$$

3.10.4 Perkalian Matriks dengan Matriks

Beberapa hal yang perlu diperhatikan :

1. Perkalian matriks dengan matriks umumnya tidak komutatif.
2. Syarat perkalian adalah jumlah banyaknya kolom pertama matriks sama dengan jumlah banyaknya baris matriks kedua.
3. Jika matriks A berukuran $m \times p$ dan matriks $p \times n$ maka perkalian $A \cdot B$ adalah suatu matriks $C=(c_{ij})$ berukuran $m \times n$ dimana

$$c_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + a_{i3}b_{3j} + \dots + a_{ip}b_{pj}$$

Contoh : $A = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 \end{pmatrix}$ dan $B = \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix}$ maka

$$A \times B = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (3 \times 3) + (2 \times 1) + (1 \times 0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 \end{pmatrix}$$