

SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA *CRUSHING PLANT* PADA
PENGOLAHAN BIJIH EMAS PT J. RESOURCES BOLAANG
MONGONDOW SULAWESI UTARA, SITE BAKAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**REGINA CAHYANI DJAMIL LATIEF
D111 19 1040**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS KINERJA *CRUSHING PLANT* PADA
PENGOLAHAN BIJIH EMAS PT J. RESOURCES BOLAANG
MONGONDOW SULAWESI UTARA, *SITE BAKAN***

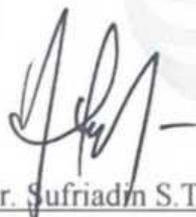
Disusun dan diajukan oleh

Regina Cahyani Djamil Latief
D111 19 1040

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 15 Juli 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



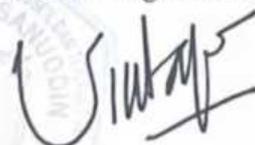
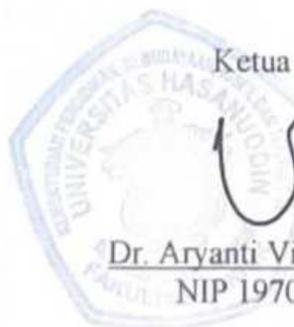
Dr. Ir. Sufriadin S.T., M.T.
NIP. 19660817200012010001

Pembimbing Pendamping,



Rizki Amalia, ST., MT.
NIP. 199205042024062001

Ketua Program Studi,

Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.
NIP 197010052008012026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Regina Cahyani Djamil Latief

NIM : D111191040

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Kinerja *Crushing Plant* pada Produksi Bijih Emas PT J. Resources Bolaang
Mongondow Sulawesi Utara, *Site-Bakan*

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.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 15 Juli 2024

Yang Menyatakan



Regina Cahyani Djamil Latief

ABSTRAK

NAMA LENGKAP MAHASISWA. *Analisis Kinerja Crushing Plant pada Produksi Bijih Emas PT J. Resources Bolaang Mongondow Sulawesi Utara, Site-Bakan* (dibimbing oleh Dr.Sufriadin S.T., M.T dan Rizki Amalia, ST., MT)

Penelitian ini dilatar belakangi oleh operasi pertambangan emas PT. J Resources Bolaang Mongondow yang menggunakan metode *open pit* dan proses *heap leaching* untuk mengekstraksi bijih emas. Fokus utama penelitian ini adalah pada unit kominusi dan pengayakan di processing plant, khususnya pada alat peremuk (*crusher*) yang memiliki target produksi sebanyak 250 ton/jam di site Bakan. Namun, pencapaian target tersebut belum sesuai harapan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara ukuran butir dengan kadar AuCN serta hubungan antara jam kerja alat crusher dengan produktivitas crusher. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis korelasi Pearson untuk mengukur sejauh mana hubungan antar variabel. Dengan menggunakan analisis korelasi, diketahui bahwa ukuran butir berpengaruh signifikan terhadap perolehan kadar emas, dengan korelasi negatif (-0,848). Ukuran butir kecil (P80-12 mm sampai P80-19 mm) mendukung efisiensi ekstraksi emas, dimana terjadi kenaikan pada presentase kadar AuCN hal ini disebabkan karena liberasi ore akan semakin baik dengan ukuran yang semakin kecil karena lebih banyak logam berharga yang bisa berkontak langsung dengan reagent pelindih. Selain itu, penelitian juga mengungkapkan hubungan positif antara jam kerja *crusher* dan produktivitas dengan korelasi $r=0,304$. Meskipun demikian, korelasi yang rendah menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti batasan kapasitas alat dan kondisi operasional memengaruhi hubungan tersebut. Variasi sifat fisik dan kimia bijih dalam karakteristik bijih menjadi faktor kunci yang memerlukan penyesuaian parameter operasional untuk meningkatkan efisiensi.

Kata Kunci: Crusher, Produktivitas , Korelasi, Pengolahan Emas



ABSTRACT

REGINA CAHYANI DJAMIL LATIEF. *Analysis of Crushing Plant Performance in Gold Ore Production PT J. Resources Bolaang Mongondow North Sulawesi, Site-Bakan (supervised by Dr.Sufriadin S.T., M.T and Rizki Amalia, ST., MT)*

This research is motivated by the gold mining operations of PT. J Resources Bolaang Mongondow which uses the open pit method and heap leaching process to extract gold ore. The main focus of this research is on the comminution and sieving units in the processing plant, especially on the crusher crusher which has a productivity target of 250 tons/hour at the Bakan site. However, achieving this target was not optimal, and the distribution of working hours was identified as an influencing factor. Therefore, this research h aims to analyze the relationship between grain size and AuCN content as well as the relationship between crusher working hours and crusher productivity. The research method used is Pearson correlation analysis to measure the extent of the relationship between variables. Using correlation analysis, it was found that grain size had a significant effect on the results of gold content, with a negative correlation (-0.848). Small grain size (P80-12 mm to P80-19 mm) supports gold extraction efficiency, where there is an increase in the percentage of AuCN content, this is because ore liberation will be better with a smaller size because more valuable metal can be in direct contact with leach reagent. Apart from that, research also reveals a positive relationship between crusher working hours and productivity with a correlation of $r=0.304$. However, the low correlation suggests that factors such as equipment capacity constraints and operational conditions influence the relationship. Variability in ore characteristics is a key factor that requires adjustments to operational parameters to improve efficiency.

Keywords: Crusher, Productivity, Correlation, Gold Processing



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Ganesa Endapan Material Emas	4
2.2 Pengolahan dan Ekstraksi Bijih Emas	13
2.2 Proses Sianidasi Bijih Emas	15
2.3 Kominusi.....	19
2.3 Rangkaian Unit Peremuk.....	25
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	33
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	33
3.2 Variabel Penelitian.....	34
3.3 Pengumpulan Data.....	34
3.5 Teknik Analisis	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
raian <i>Umum Crushing Plant</i>	43
alisis Korelasi ukuran Butir dengan Kadar AuCN.....	45
alisis Korelasi Jam Kerja dengan Produktivitas Crusher.....	46



4.4 Hambatan pada Crusher.....	48
4.5 Upaya untuk mengoptimalkan waktu produktiva crusher	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 <i>Native Gold</i>	4
Gambar 2 Proses Sianidasi dengan Metode Tumpukan.....	18
Gambar 3 Proses <i>Heap Leaching</i>	19
Gambar 4 <i>Single Toggle Jaw Crusher</i>	22
Gambar 5 Peta Lokasi Penelitian	33
Gambar 6 Hambatan Ketersediaan Waktu bulan Januari	38
Gambar 7 Hambatan Ketersediaan Waktu Bulan Febuari.....	38
Gambar 8 Produktivitas crusher bulan januari.....	39
Gambar 9 Produktivitas Crusher Bulan Febuari	40
Gambar 10 Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 11 Rangkaian Kinerja <i>Crushing plant</i>	43
Gambar 12 Hubungan antara Ukuran Butir dan Kadar AuCN	46
Gambar 13 Hubungan Jam Kerja dengan Produktivitas	47
Gambar 14 Excavator feeding.....	48
Gambar 15 Crusher Overload	49
Gambar 16 Hambatan pada jaw crusher	49
Gambar 17 Stuck pada belt conveyer	50
Gambar 18 Hambatan Pada Screen.....	51
Gambar 19 Hambatan pada cone crusher.....	51



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Tipe Endapan Daerah Bakan.....	13
Tabel 2 Interval koefisien korelasi pearson r	32
Tabel 3 Data Analisis Korelasi	34
Tabel 4 Hasil Uji Validasi Data Korelasi Ukuran Biji dan Kadar AuCn.....	44
Tabel 5 Hasil Uji Validasi Data Korelasi Jam kerja dan Produktivitas Crusher	45



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
AuCN	<i>Gold Cyanide</i>
Au	Emas
PT	<i>Perseroan Terbatas</i>
Ph	<i>Potential Hydrogen</i>
JRN	<i>J Resources Nusantara</i>
AuTe ₂	<i>Calaerite</i>
kg/m ³	Kilogram/ meter kubik
AL	<i>Acid Leaching</i>
HL	<i>Heap Leaching</i>
R	Koefisien Korelasi
N	Jumlah Data
μm	Mikro Meter
°C	Derajat Celcius
NaCN	Natrium Sianida
NaOH	Natrium Hidroksida
g/ton	Gram/ton
H ₂ O	Air
CO	Karbon Monoksida
CO ₂	Karbon Dioksida
AG	Argentum (perak)
Te	Telurium
Bi	Bismut
SiO	Asam Silikat
OH	Karbonat
Ppm	Part per million
Wt	Watt
	Besi
	Centi Meter
	Mili Meter



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lokasi Penelitian.....	56
Lampiran 2 Perhitungan Koefisien Korelasi.....	57
Lampiran 3 Perhitungan Uji Validitas.....	62



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah senantiasa penulis ucapkan puji syukur kehadirat Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang hingga saat ini masih memberikan nikmat iman dan kesehatan, sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Analisis Kinerja Crushing Plant pada Produksi Bijih Emas PT J. Resources Bolaang Mongondow Sulawesi Utara, Site-Bakan” Penyusunan skripsi ini merupakan bentuk dari pemenuhan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Melalui tulisan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada kepada orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan moral, doa-doa tulus dan kasih sayang yang mereka berikan selalu menjadi pendorong utama penulis dalam setiap langkah perjalanan akademik ini dan keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini adalah buah dari dedikasi dan cinta mereka yang tiada hentinya.

Selanjutnya, penulis ingin mengungkapkan terima kasih kepada PT J. Resources Bolaang Mongondow atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk melakukan pengambilan data penelitian serta kepada Bapak Rozi selaku senior engineering Departemen Process Plant PT J. Resources Bolaang Mongondow sekaligus pembimbing kerja praktik yang telah membantu dan memberikan arahan kepada penulis dalam pengambilan data penelitian.

Terima kasih pula penulis ucapkan kepada ibu Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku ketua Departemen Teknik Pertambangan. Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing Bapak Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T selaku pembimbing utama dan ibu Rizki Amalia, S.T., M.T selaku pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dengan memberikan banyak masukan dalam proses penyusunan skripsi ini serta kepada seluruh bapak/ibu dosen dan staf administrasi yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.



Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh mahasiswa Teknik pertambangan khususnya kepada teman-teman seperjuangan Penthouse Gurls yang

telah menemani penulis dalam perjalanan perkuliahan selama ini serta senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.

Penulis berharap agar skripsi ini dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian yang akan datang sehingga penulis mengarapkan para pembaca memberikan saran dan kritik pada skripsi ini. Tidak lupa dengan seluruh kerendahan hati, penulis meminta maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini.

Gowa, Juli 2024

Regina Cahyani Djamil Latief





Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengolahan bahan galian (*ore processing*) adalah suatu proses pengolahan bijih (*ore*) secara mekanik sehingga mineral berharga dapat dipisahkan dari mineral pengotornya dengan didasarkan pada sifat fisika atau sifat kimia-fisika permukaan mineral. Bijih yang diolah akan mengalami peningkatan kadar, sehingga dari hasil pengolahan tersebut diharapkan diperoleh keuntungan seperti mengurangi ongkos pengangkutan dari tempat pengolahan sampai tempat peleburan, mengurangi biaya peleburan, dan mengurangi bahan imbuhan (*flux*) selama peleburan, karena semakin tinggi kadar bijih berarti kadar mineral pengotor semakin kecil sehingga *flux* yang dibutuhkan juga semakin sedikit. Metode isolasi emas yang saat ini banyak digunakan untuk eksploitasi emas skala industri adalah metode sianida dan metode amalgamasi. Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, banyak sektor perusahaan yang bekerja disektor pertambangan dan salah satunya adalah perusahaan PT J. Resources Bolaang Mongondow (PT JRBM) Oleh karena itu, kerja praktik yang dilaksanakan di PT J. Resources Bolaang Mongondow Sulawesi Utara untuk mempelajari lebih dalam mengenai proses pengolahan bijih emas pada perusahaan terkait. (Steele, *at all.*, 2000)

PT J. Resources Asia Pasifik Tbk adalah perusahaan yang berbasis di Indonesia. PT J. Resources Asia Pasifik Tbk ini merupakan anak perusahaan PT. J Resources Nusantara (JRN) yang beroperasi, menambang, mengeksplorasi dan berinvestasi di sektor pertambangan emas. Kegiatan pertambangan PT J. Resources dilakukan di Malaysia dan Indonesia. Salah satunya terletak di Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara. PT J. Resources ini sendiri memegang kontrak karya (KK) yang meliputi dua *site* yang terpisah salah satunya yaitu *site* Bakan. *Site* Bakan ini sendiri sudah beroperasi sejak tahun 2013. PT. J Resources Bolaang Mongondow adalah perusahaan pertambangan emas dengan metode *open pit*. bijih emas dan *waste rock* dibongkar menggunakan kegiatan peledakan. an ini menggunakan proses *heap leaching* untuk mengekstraksi bijih emas menggunakan larutan kimia sianida. Larutan sianida ini digunakan untuk



mengikat emas dengan cara sianida disiram selama beberapa waktu pada material bijih emas pada *Leachpad*. Hasil dari *leaching* akan diolah di Departemen *Processing Plant*.

Dalam operasi *processing plant* salah satu *unit* penting adalah kominusi dan pengayakan. Metode kominusi dilakukan untuk menghancurkan batuan dari ukuran besar menjadi ukuran yang lebih kecil menggunakan *crusher*. Sedangkan metode pengayakan, pemisahan ukuran butir menggunakan lubang ayakan. Kinerja pengayakan biasanya diukur dengan melihat efisiensi kerja alat tersebut. Kominusi adalah sebagai langkah pertama yang bisa dilakukan dalam pengolahan material yang bertujuan untuk memecahkan boulder yang berukuran besar menjadi ukuran yang lebih kecil. Proses peremukan harus dilakukan secara bertahap karena keterbatasan kemampuan alat untuk mereduksi material berukuran besar hasil dari kegiatan peledakan sampai menjadi ukuran yang dikehendaki. Proses peremukan batuan dilakukan dari tahap primer (*primary crushing*), tahap sekunder (*secondary crushing*) sampai tahap tersier (*tertiary crushing*).

1.2 Rumusan Masalah

PT J. Resources Bolaang Mongondow memiliki 2 sumber *ore* pada tahun 2023 yaitu *pit tapagale* dan *pit mineridge*. Hasil identifikasi dari tim *process plant* menunjukkan bahwa kinerja ekstraksi AuCN di *pit tapagale* sensitif terhadap ukuran karena *ore* dari *pit tapagale* memiliki tipe *massive* yang menunjukkan sifat dari batuan yang keras, proses kominusi pada *ore* dari *pit tapagale* sangat diperlukan untuk mendapatkan target ukuran butir yang diinginkan yaitu P80 25 mm, maka dari itu penggunaan alat peremuk *crusher* sangat penting dalam proses pengolahan. Kondisi saat ini di *site* Bakan, PT. J Resources Bolaang Mongondow target produktivitas alat peremuk *crusher* adalah 250 ton/jam. Dalam kondisitersebut secara perhitungan aktual produktivitas tidak mencapai target 250 ton/jam sehingga ada permasalahan produktivitas alat peremuk yang belum dapat mencapai target, kondisi actual dilapangan memperlihatkan bahwa distribusi jam kerja ruh dalam tidak tercapainya target produktivitas yang ada maka dari itu nya pemahaman tentang hubungan antara jam kerja dengan produktivitas



1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis hubungan antara ukuran butir dengan kadar AuCN
2. Menganalisis hubungan antara jam kerja alat *crusher* dan produktivitas *crusher*

1.4 Manfaat Penelitian

1. Meningkatkan kemampuan peneliti mengenai ilmu pertambangan khususnya dalam upaya mencapai target produktivitas alat peremuk dimasa yang akan datang serta dapat memahami betapa pentingnya ukuran butir atau produ dalam pengolahan mineral.
2. Dapat dijadikan acuan bagi Masyarakat untuk mengkaji alat peremuk dalam mencapai target produktivitas.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Agar penelitian ini dapat lebih fokus dan terarah maka ditetapkan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Daerah penelitian hanya dilakukan di daerah *crushing plant* dan di departmen *processing plant* PT. J Resources Bolaang Mongondow
2. Penelitian dibatasi pada teknis kerja alat *jaw crusher* dan *cone crusher* pada departmen *processing plant* PT. J Resources Bolaang Mongondow
3. Pengambilan data dilakukan dalam kurun waktu dua minggu sejak tanggal 5 April 2023 – 20 April 2023

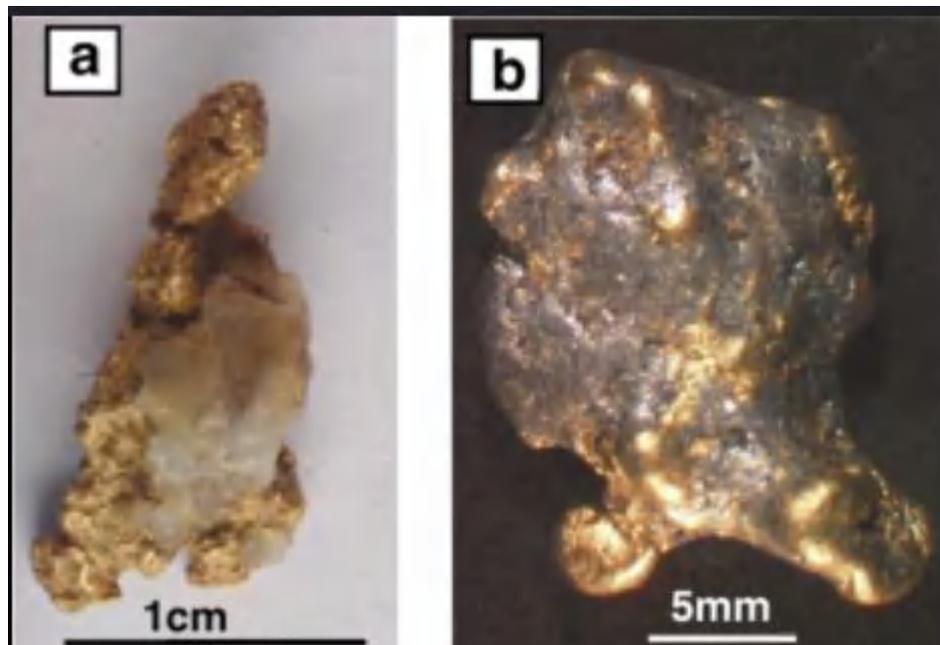


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ganesa Endapan Material Emas

Mineral bijih emas yang penting adalah emas murni, *tellurida* emas, elektron dan amalgam. Termasuk dalam senyawa *tellurida* adalah *calaverite* (AuTe_2) *sylvanit* (AuAg)Te, *krinnerit* (AuAg), *Tez* dan *Petzit* (AuAghTe). Hampir semua bijih emas mengandung perak, makin banyak kandungan peraknya kilap menjadi semakin putih. Bijih emas terdapat dalam cebakan-cebakan dengan bermacam-macam tipe di dalam batuan beku, juga didapatkan pada batuan sedimen dan batuan metamorf pada seluruh formasi geologi. Mineral-mineral gangue yang umum didapatkan bersama bijih emas adalah mineral kuarsa, tetapi mineral-mineral karbonat, turmalin dan fluorit sering pula berasosiasi dengan emas. Emas umumnya terikat di dalam sulfida-sulfida logam dan hasil pelapukannya. Sulfida-sulfida yang dimaksud adalah pirit, kalkopirit, galenit, *stibnit*, *tetrahedrit*, *spalerit*, *arsenopirit* dan *molibdenit*. (Marsden and House, 2006).



Gambar 1 Native gold (Chapman *at all*, 2021)



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 endapan primer dan endapan *placer*. Emas terdapat di alam dalam dua tipe deposit, pertama sebagai urat (*vein*) dalam batuan beku, kaya besi dan berasosiasi dengan urat kuarsa. Lainnya yaitu endapan atau *placer* deposit, dimana emas dari batuan asal yang tererosi terangkut oleh aliran sungai dan terendapkan karena berat jenis yang tinggi (Marsden and House, 2006).

Pembentukan emas primer melibatkan kontak dari magma dan batuan asal proses inidisebut metasomatis kontak Penambahan unsur dari magma sebagian berupa logam, silika, boron, klorin, florin, kalium, magnesium dan natrium. Mineral logam yang terbentuk dalam kontak metasomatisme hampir semua berasal dari magma, demikian pula kandungan-kandungan yang asing pada batuan yang diterobos, melalui proses penambahan unsur. Jenis magma yang menerobos batuan yang akhirnya akan menghasilkan endapan bahan galian kontak metasomatisme, padaumumnya terbatas pada magma silika dengan komposisi menengah (*intermediate*) seperti: kuarsa *monzonit*, *granodiorit* dan kuarsa diorit. Sedangkan magma yang kaya akan silika seperti granit, jarang menghasilkan endapan galian, demikian juga magma ultra basa, pada magma yang basa, kadang-kadang dapat membentuk endapan bahan galian kontak metasomatik. Hampir semua endapan bahan galian kontak metasomatisme berasosiasi dengan tubuh batuan beku intrusif yang berupa *stock*, *batholit*, dan tidak pernah berasosiasi dengan *dike* atau *sill* yang berukuran kecil, untuk *lacolith* dan *sill* yang besar meskipun jarang, tetapi kadang-kadang dapat menghasilkan endapan bahan galian kontak metasomatic (Marsden and House, 2006).

Emas *native* terbentuk karena adanya kegiatan vulkanisme yang bergerak berdasarkan adanya *thermal* atau adanya panas di dalam bumi, tempat terbentuknya emas primer, sedangkan sekudernya merupakan hasil transportasi dari endapan



num disebut dengan emas endapan *placer*, sedangkan asosiasi emas atau samaan hadir dengan mineral silikat, perak, platina, pirit dan lainnya. Emas diketahui mengandung 99,8 % Au, namun mayoritas berkisar diantara 85%

hingga 95%, dengan Perak sebagai mineral pengotor. Emas murni memiliki densitas sebesar 19.300 kg/m^3 dan emas *native* sebesar 5.000 kg/m^3 , jika emas *native* ini berhasil dipisahkan dari mineral *gangue* nya, ukuran partikel yang didapatkan kurang lebih $10 \mu\text{m}$ dengan metode konsentrasi gravitasi yang secara umum digunakan untuk proses ekstraksi emas (Marsden and House, 2006). Emas ditemukan di bumi dalam bentuk logam yang terdapat di dalam retakan-retakan batuan kwarsa dan dalam bentuk mineral. Kelimpahan relatif emas didalam kerak bumi diperkirakan sebesar $0,004 \text{ g/ton}$, termasuk sekitar $0,001 \text{ g/ton}$ terdapat didalam perairan laut (Steele *et. al*, 2000).

Umunya endapan emas didapatkan bersama dengan perak dan tembaga yang merupakan hasil mineralisasi. Mineralisasi merupakan suatu proses masuknya mineral jarang yang berharga yang masuk kedalam batuan sehingga membentuk deposit bijih yang potensial. Ada beberapa model endapan emas yang dapat didekati dan dapat dijadikan acuan untuk eksplorasi/eksploitasi selanjutnya, yaitu endapan emas *epithermal* atau porfiri dan endapan emas *mesothermal*. Selain itu emas didapatkan sebagai endapan *placer* (guha *et al*, 1991).

1. Endapan *Epithermal* atau Porfiri

Sebagian besar endapan emas di Indonesia dihasilkan dari jenis endapan *Epithermal*. Endapan emas *epithermal* pada umumnya didapatkan dalam bentuk uraturat baik urat kuarsa ataupun urat karbonat yang terbentuknya pada suhu 150°C - 300°C dengan pH sedikit asam atau mendekati netral. Urat tersebut terbentuk oleh hasil aktivitas *hidrothermal* yang berada disekitar endapan porfiri, dimana emas, tembaga, *wolfram*, molibden dan timah terdapat didalam endapan ini. Berbeda dengan endapan emas *epithermal*, endapan porfiri merupakan salah satu dari endapan mineral *hidrothermal* yang umumnya didapatkan pada batuan potfiritik seperti diorit, monzonit atau tonalit. Endapan ini umumnya berasosiasi dengan intrusi batuan beku tipe kalk-alkalin dan terbentuk pada suhu diatas 400°C .

Proses terbentuknya endapan *epithermal* adalah dimana emas angkut oleh larutan hidrothermal yang kaya akan ligan HS dan OH. Ligan-gan ini mengangkut emas hingga ke tempat pengendapannya. Kehadiran aksi *hidrothermal* merupakan salah satu penciri terjadinya pendidihan



(*boiling*) pada larutan *hidrothermal*. Pendidihan ini terjadi karena ada pertemuan larutan yang bersuhu tinggi (larutan *hidrothermal*) dengan larutan yang bersuhu rendah (air meteorik). Selama proses pendidihan ini tekanan menjadi semakin besar sehingga menghancurkan dinding batuan yang dilalui oleh larutan *hidrothermal*. Akibat dari proses pendidihan ini yaitu hilangnya gas H_2S , terjadi peningkatan nilai pH dan penurunan suhu. Ketiga proses tersebut dapat mengantarkan emas pada batuan sehingga kadar emas primer yang cukup tinggi biasanya dijumpai pada breksi *hidrothermal*. Pada endapan porfiri emas primer paling tinggi dapat hadir bersama-sama mineral bornit dan magnetit. Hampir mirip dengan endapan *epithermal*, proses terbentuknya endapan porfiri juga terjadi karena pendidihan saat pendinginan yang disebut sebagai *second boiling*. Pendidihan ini dikarenakan oleh lelehan yang terbatas oleh dinding batuan yang sudah padat dan mengalami kejenuhan air (H_2O). Kejenuhan air ini dapat meningkatkan tekanan hidrostatis pada dinding batuan intrusi yang sudah memadan semakin menjadi besar. Ketika kesetimbangan tekanan dinding dengan daya tahan dinding menjadi tidak normal maka penghancuran dinding batuan akan terjadi. Breksiasi pada batuan beku ini dapat menghasilkan pipa-pipa breksi (*breccia pipe*) atau breksi intrusi bersama-sama struktur *Stockwork*.

2. Endapan *Metamorfogenik*

Endapan emas *metamorfogenik* merupakan endapan emas yang berasosiasi dengan batuan metamorf. Endapan ini terbentuk pada saat terjadi proses *metamorfose* pada batuan asalnya, seperti lanau atau lempung yang mengandung emas. Endapan emas pada jenis ini dijumpai pada urat-urat kuarsa/kalsit disekitar batuan metamorf. Proses pengendapan emas pada batuan metamorf terjadi pada saat peningkatan suhu dan tekanan pada batuan mengakibatkan terjadinya orientasi struktur dan terjadi reaksi sebagian dari kristal dalam keadaan fase padat. Kehadiran air mineral atau air antar ruang pori batuan akan mempercepat terjadinya proses *etamorfose* pada hatuan. Pada proses pelepasan air mineral dan air antar ruang pori mengakibatkan proses sirkulasi air *hidrothermal* dalam batuan



melalui zona-zona geser (*shear zone*) yang terdapat pada batuan metamorf. Air *hydrothermal* pada batuan-batuan metamorfik biasanya kaya akan H₂O dan CO serta CO₂. Kehadiran CO₂ pada batuan mengakibatkan larutan menjadi sedikit asam sehingga sangat mudah mengangkut logam yang berada pada batuan tersebut. Sirkulasi air panas (larutan *hydrothermal*) biasanya akan mengangkut logam-logam yang ada pada batuan karena pada proses *metamorfose*, logam tidak dapat bersama-sama membentuk mineral penyusun batuan. Pada fase akhir pembentukan, mineral kuarsa dan kalsit yang terangkut bersama-sama logam dan akan terendapkan dalam bentuk urat-urat.

3. Endapan Emas *Mesothermal*

Endapan emas *mesothermal* disebut juga sebagai *Lode Gold* merupakan salah satu tipe endapan *hydrothermal* yang terbentuk pada lingkungan batuan metamorf. Endapan ini dicirikan oleh adanya urat-urat kuarsa-emas yang terdapat pada batuan metamorf. *Lode Gold* dan endapan emas jenis urat ini merupakan bentuk model dari endapan bijih yang berada pada suatu sabuk metamorfik (*metamorphic belts*) yang secara umum berada pada seri sabuk fasies bertekanan rendah (*low pressure facies series belts*) yang dikontrol secara struktural dan berasosiasi dengan sulfida dan karbonasi batuan sampling. Proses sulfidasi dan karbonasi mengakibatkan pengkayaan beberapa jenis unsur tertentu, seperti unsur Au dengan Ag, Te, S, As, Bi, Sb, W, KCs, Rb dan SiO, serta beberapa logam timah dasar dalam jumlah sedikit. Dari hasil analisis inklusi sulfida diperoleh hasil bahwa sifat-sifat sulfida yang berpengaruh pada pembentukan endapan ini adalah salinitas yang relatif rendah, air yang kaya akan HO CO, CH, fluida dengan pH netral. Penyebab utama dari presipitasi emas adalah destabilisasi dari kompleks Bisulfida Au dimana mineral-mineral sulfidanya dalam reaksi fluida batuan, melalui tahap separasi dalam pencampuran fluida air dan karbon. Mineral-mineral bijih yang biasa muncul pada model endapan ini antara lain kelompok mineral sulfida, mineral arsenida, mineral *antimonida* dan mineral *sulfarsenida* (Lindgren, 1933). Sedangkan mineral yang umum didapatkan pada model endapan ini meliputi pirit,



kalkopirit, *arsenopirit*, *galena*, *sfalerit*, *tetrahedrit* *tenantit* dan emas murni. Endapan ini dikelompokkan endapan mesotermal karena endapan ini berasosiasi dengan fasies sekis hijau dan umumnya pada kondisi 250° C - 400°C, pada tekanan 1 Kbar-3 Kbar.

Komposisi emas pada batuan metamorfik sangat dikontrol kandungan emas pada *protolith*-nya atau batuan intrusi (pada metamorfose kontak). Dari beberapa pustaka disebutkan bahwa sekis hijau berasal dari batuan pelitik seperti lempung dan serpih dan juga merupakan hasil alterasi batuan ultrabasa. Kandungan emas pada batuan ini cukup tinggi dibandingkan dengan batuan lain, yaitu 0.1 ppm-2 ppm. Akibat proses metamorfose air dan volatil yang lain seperti CO dan CH keluar dari kristal mengangkut logam-logam yang ada pada batuan asal. Presipitasi larutan yang kaya akan logam ini diruang tertentu misalnya celah akibat deformasi menyebabkan urat yang terbentuk kaya akan emas, ada beberapa sumber larutan pembentuk mineralisasi mesothermal yang diperoleh yaitu:

- a. Larutan metamorfik.
- b. Larutan Juvenil yang terbentuk karena proses granulitisasi kerak bagian bawah atau pengeluaran gas pada mantel bagian atas.
- c. Larutan hidrothermal magmatik.
- d. Sirkulasi kembali air laut.

Komposisi larutan pada batuan metamorf dapat dibandingkan dengan komposisi larutan pembentuk bijih. Salinitas larutan dari hasil analisis inklusi fluida pada batuan metamorf umumnya rendah, dan rasio CO, H₂O bertambah dari fasies sekis hijau, dimana larutan didominasi oleh CO, CO pada batuan metamorf dihasilkan baik dari proses internal (reaksi dekarbonatisasi atau oksidasi material karbonatan) atau dari sumber eksternal (*deep seated source*, seperti pengeluaran gas oleh mantel) (guha et al, 1991).

Larutan yang berasosiasi dengan granulitisasi merupakan sumber potensial dari larutan hidrothermal. Inklusi yang kaya akan CO₂ banyak jumpai pada granulit. Komposisi larutan berasosiasi granulit dapat dibandingkan dengan fluida yang kaya CO; dari beberapa endapan emas.



Ini merupakan hasil pemisahan fase dari larutan induk yang kaya akan H₂O. Dengan demikian transformasi larutan metamorfik menjadi larutan pembentuk bijih membutuhkan dilusi yang signifikan. Mineral bijih dari endapan emas pada daerah bersuhu tinggi seperti pada fasies amfibolit sedikit berbeda dari apa yang ada pada daerah dengan fasies sekis hijau. Kandungan CO₂ dari mineral bijih dalam endapan yang berada pada pembawa mafik di daerah fasies *amfibolit* bawah adalah sekitar 3wt-4wt.% dan pada daerah dengan tingkatan lebih tinggi adalah sebesar 1wt-2wt.%. Secara signifikan nilainya lebih rendah daripada rentang 5wt-20wt.% di daerah sekis hijau.

4. Alterasi dan Mineralisasi pada Batuan Metamorf

Alterasi batuan beku yang berasosiasi dengan endapan pada batuan fasies sekis hijau berderajat rendah dicirikan oleh proses hidrolisis dan karbonatisasi dari mineral-mineral feromagnesia dan oksida. Pada batuan beku mafik, kumpulan sekis hijau dari aktinolit epidot-albit-kuarsa antara zona alterasi klorit yang dicirikan oleh kumpulan mineral klorit - kalsit, dan suatu zona karbonat dalam dari dolomit (Fe)-serisit-pirit-kuarsa. Komposisi utama yang ditambahkan pada batuan beralterasi CO₂, K, S dan H₂O. Unsur langka termasuk Au, B, As, Rb, W, Mo, Ba dan Sb.

Keberadaan halo alterasi pada endapan emas ini bervariasi secara sistematis seiring dengan tingkat metamorfosanya. Biotit amphibol-Ca dan diopsid bersifat dominan, khususnya pada batuan sampling mafik dan ultramafik yang mengalami alterasi tingkat tinggi. *Galena* dan sfalerit menjadi minor pada endapan ini, telurida termasuk didalamnya hesit, *pitziit*, *altait* dan *bitelurida* juga muncul pada beberapa endapan jenis ini. Bentuk emas biasanya berukuran kecil sebagai butiran bebas pada urat, maupun terkadang pada sulfida dari batuan dindingnya. Selain kedua macam mineral ini, emas juga dijumpai dalam bentuk emas telurida atau emas bismut. Emas murni muncul dalam bentuk inklusi pada arsenopirit ataupun pada sulfida lain sebagai pengisi pada batas antar butiran (*intercrystal infill*). Peningkatan kadar emas pada endapan ini juga dapat disebabkan oleh



lateritisasi dan pengkayaan sepergene misalnya pada endapan emas cumaru dengan kadar bijih sekunder mencapai 50 ppm (guha et al, 1991).

Terdapat perbedaan antara mineralisasi *pre* (sebelum) dan *syn* (bersamaan) metamorfisme lebih ke hubungan yang terjadi pada mineral yang terbentuk. Perbedaan terletak pada tekstur yang dihasilkan dimana tekstur ini dipengaruhi oleh tingginya temperatur akibat adanya proses metamorfisme dan metamorfisme. Perbedaan kedua proses ini menghasilkan sekuen paragenesa mineral yang berbeda. Di berbagai ujung *halo* alterasi, hubungan mineral biotit dengan pirorit masing-masing berbentuk lempengan *euhedral* yang paralel dan *oblique* terhadap foliasi yang terbentuk, yang secara tekstur sama dengan mineral metamorfik atau pirorit tumbuh bersama-sama dengan amfibol. Emas yang ada dalam diopsid atau amfibol dimungkinkan mengandung ankerit atau kuarsa, dan mineral-mineral ini akan digunakan oleh fase kalk-silikat selama metamorfose *prograde*.

5. Endapan *Placer*

Dikenal 2 (dua) macam endapan *placer* yaitu endapan *placer elluvial* dan endapan *placer alluvial*.

a. Endapan *Placer Elluvial*

Endapan *placer elluvial* terdapat didaerah lereng perbukitan yang telah mengalami pelapukan, erosi dan transportasi. Dengan demikian boleh dikatakan bahwa endapan *placer elluvial* merupakan salah satu bentuk endapan pengkayaan yang bercampur dengan hasil lapukan batuan.

Source Rock-nya relatif dekat dan dapat dirunut, tetapi kandungan emasnya umumnya relatif sangat rendah sehingga tidak ekonomis bila diusahakan secara komersial. Oleh sebab itu endapan *placer elluvial* kebanyakan diusahakan oleh rakyat.

b. Endapan *Placer Alluvial*

Endapan *placer alluvial* didapatkan dipinggir sungai, digosong sungai bercampur dengan pasir, sangat jarang didapatkan pada dasar sungai. *Placer* jenis ini sering pula didapatkan sebagai endapan sungai purba. Seperti halnya endapan *placer elluvial*, pada endapan *placer alluvial*



kandungan emasnya juga sangat sedikit sehingga tidak ekonomis apabila dilakukan penambangan secara komersial. Jenis endapan ini ditambang dengan cara didulang sedangkan emas murni yang didapatkan diperoleh dengan cara mengikat logam emas dengan merkuri.

2.1.1 Tipe Endapan Daerah Bakan

Daerah prospek Bakan pembentukan mineral ubahan hidrotermal disertai oleh mineralisasi bijih. pirit merupakan mineral bijih yang paling dominan dijumpai pada zona ubahan, sebagai urat halus (*vein*) maupun dalam bentuk tersebar (*Disseminated*). Mineral sulfida lainnya seperti kalkopirit, *sphalerit* dan *arsenopirit* hadir pada tipe ubahan propilitik. Pirit, *sphalerit* dan galena hadir pada tipe ubahan *advance* argillik. Pirit, sphalerit, limonit, hematit dan magnetit hadir pada tipe ubahan silisifikasi. Pirit dan mineral oksida seperti limonit, magnetit dan hematit hadir pada tipe ubahan intermediet argillik temperatur tinggi. Tipe ubahan intermediet argillik temperatur rendah merupakan zona yang paling sedikit mengandung mineral sulfida maupun oksida yaitu pirit dan magnetit. Mineralisasi bijih sebagian besar membentuk tekstur *colloform* dan *disseminated* yang menempati rekahan atau ruang antar butiran (Harjana, 2012).

Kehadiran tipe ubahan silisifikasi, *advance* argillik, intermediet argillik temperatur tinggi, intermediet argillik temperatur rendah dan tipe ubahan propilitik, dan kehadiran kelompok mineral ubahan kuarsa, alunit, *kaolinit*, *dickit*, *smectit*, *illit*, *halloysit*, *purohillit* dan lempung, yang diikuti dengan mineralisasi bijih, menudukung bahwa lingkungan sistem mineralisasi di daerah penelitian adalah tipe endapan epitermal sistem sulfida tinggi. Hal ini lebih diperkuat oleh pola dan tekstur mineralisasi, yang didominasi oleh breksiasi, *vuggy* dan silika masif serta kenampakan tekstur *colloform* dan *disseminated* yang dominan (Tabel 1). Tipe endapan epitermal sistem sulfidasi tinggi terbentuk pada lingkungan hidrotermal yang berhubungan dengan kegiatan vulkanisme aktif, pada sistem ini, komponen-komponen yang reaktif berasal dari sumber oksida magmatik yang naik ke atas dan beraksi dengan air tanah di sekitar batuan sehingga terbentuk endapan yang bersifat asam. Jenis-jenis alterasi daerah Bakan dapat dilihat pada



Tabel 1 Karakteristik Endapan Daerah Bakan (Harjana, 2012).

No.	Zona Ubahan	Tipe Ubahan	Mineralisasi	Pola dan Tekstur Mineralisasi
1.	Kuarsa-kalsedon-pirit	Silisifikasi	Pirit, Magnetit, Sphalerit, Limonit, Hematit	Breksiasi, silika massif dan massif <i>vuggy, colloform</i> dan <i>Disseminated</i>
2.	Kuarsa-alunit kaolinit	<i>Advanced</i> argillik	Pirit, Sphalerit, Galena	Silica <i>vuggy</i> , urat dan <i>disseminated</i>
3.	Alunit-kuarsa-pyrophillit-dickit-lempung	<i>Intermediate</i> argillik temperatur tinggi	Pirit, Limonit, Hematit, Magnetit	Breksiasi <i>banded</i> , tekstur pengisian dan <i>colloform</i>
4.	Alunit-kuarsa-pyrophillit-dickit-lempung	<i>Intermediate</i> argillik temperatur rendah	Pirit, Magnetit	Breksiasi
5.	Klorit-epidot-kalsit-smektit-lempung	Propilitik	Pirit, Kalkopirit, Arsenopirit, Galena, Sphalerit	Urat halus dan <i>disseminated</i>

2.2 Pengolahan dan Ekstraksi Bijih Emas

Ekstraksi emas dimulai dari penambangan dari alam hingga mendapatkan emas murni. Seiring berjalannya waktu, kandungan emas didalam bijih semakin menipis dan semakin sulit untuk diekstrak karena sudah banyak diolah melalui proses ekstraksi. Proses ekstraksi emas salah satunya melalui proses hidrometalurgi. Hidrometalurgi merupakan proses pemisahan logam berharga dengan logam pengotor melalui reagen atau larutan kimia, salah satu proses hidrometalurgi adalah leaching menggunakan reagen sianida. Sianida merupakan reagen yang banyak digunakan untuk mengekstrak emas pada industri skala besar maupun skala kecil (currie 1973)

Pada umumnya, emas bisa diperoleh melalui proses amalgamasi maupun sianidasi. Seiring berjalannya waktu proses amalgamasi dinilai menjadi proses yang tidak digunakan untuk memproses emas karena mengandung bahan beracun sehingga banyak negara yang melarang penggunaan proses ini. Alasan proses sianidasi ini adalah selektif terhadap logam berharga contohnya



seperti unsur Au. Amalgamasi hanya efektif digunakan untuk memproses bijih yang memiliki kadar emas tinggi, sedangkan sianidasi efektif digunakan untuk memproses emas dengan kadar rendah maupun kadar yang tinggi. Proses sianidasi bisa berhasil karena dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya adalah ukuran butir bijih dan konsentrasi sianida saat proses. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persen perolehan emas dari proses agitation leaching dengan variasi ukuran butir dan konsentrasi sianida

Keterdapatn emas dalam bijih berbeda-beda tergantung proses pembentukan emas sendiri, sehingga untuk tahap proses dan pemurniannya tentu berbeda pula. Secara umum, bijih emas terbagi dalam tiga jenis, yaitu bijih *alluvial*, bijih yang dapat diliberasi (*free milling ore*), dan bijih refraktori (*refractory ore*). Bijih emas *alluvial* merupakan bijih emas yang relative mudah untuk dipisahkan dari batuan induknya, yaitu dengan memanfaatkan konsep gravitasi yang sederhana dengan memanfaatkan perbedaan berat jenis emas dengan berat jenis mineral-mineral pengotornya seperti kuarsa yang akan masuk dalam *tailing*.

Free milling ore dan *refractory ore* merupakan bijih dengan partikel emas yang lebih sulit diliberasikan dengan cara sederhana, sehingga dibutuhkan alat-alat kominusi untuk meremukkan (*crushing*) dan menggerus (*milling*) bijih sebelum dilanjutkan dengan proses *leaching*.

Secara umum, terdapat tiga operasi dasar pada pengolahan mineral (Soepriyanto dan Usman, 2008), yaitu:

1. Liberasi dan Pengecilan Ukuran, melalui kegiatan kominusi, yaitu kegiatan peremukkan dan penggerusan untuk membebaskan mineral berharga dari pengotornya.
2. Konsentrasi, merupakan kegiatan memisahkan mineral berharga dari mineral pengotornya dengan memanfaatkan perbedaan sifat fisik mineral berharga dengan mineral pengotornya. Dalam pengolahan bijih emas, yang paling banyak digunakan secara komersial adalah konsentrasi dan flotasi
3. Material *Handling*, kegiatan ini meliputi pengangkutan bijih ke pabrik pengolahan, pemindahan material dari satu alat ke alat lain, penyimpanan konsentrat, serta pengangkutan dan penumpukan *tailing*.



2.2 Proses Sianidasi Bijih Emas

Pengolahan bahan galian adalah proses/operasi dimana bahan galian diolah sedemikian rupa dengan mempergunakan perbedaan sifat fisika sehingga menghasilkan produkta yang dapat dijual dan produkta yang tidak berharga dengan tidak mengubah sifat fisik/kimia bahan galian yang bersangkutan. Banyak ragam cara proses pengolahan dan untuk setiap bahan galian yang mengandung mineral tertentu membutuhkan proses pengolahan yang spesifik berdasarkan perbedaan sifat fisika mineral-mineral yang terkandung dalam bahan galian. Beberapa sifat fisika yang seringkali dijadikan dasar pengolahan suatu bahan galian adalah berat jenis, sifat kemagnetan, sifat kelistrikan, sifat permukaan mineral terhadap gelembung udara (mudah dibasahi atau tidak), dan lain-lain. Disamping itu bentuk dan ukuran partikel suatu mineral serta derajat liberasinya juga sangat menentukan dalam pengolahan bahan galian.

Hidrometalurgi merupakan salah satu cabang tersendiri dari metalurgi. Secara harfiah hidrometalurgi dapat diartikan sebagai cara ekstraksi logam dari batuan atau bijihnya dengan menggunakan pelarut (*aqueous solution*) atau secara detailnya proses hidrometalurgi adalah suatu proses yang menggunakan pemakaian suatu zat kimia yang cair untuk dapat melarutkan butiran tertentu. Hidrometalurgi merupakan proses ekstraksi yang meliputi pemurnian dan daur ulang (*recycling*) logam dengan menggunakan larutan aqueous pada temperature $<200^{\circ}\text{C}$. Reaksi kimia yang dipilih biasanya sangat selektif, artinya hanya metal yang diinginkan saja yang akan bereaksi (larut) dan kemudian dipisahkan dari material yang tidak diinginkan. Pelarut yang digunakan dalam ekstraksi hidrometalurgi dapat berupa asam atau senyawa kompleks

Unit-unit proses hidrometalurgi untuk mengekstraksi bijih emas meliputi pelindian (*leaching*), pemurnian (*purification*), dan perolehan produk akhir (*product recovery*) logam berharga dari larutannya. Pelindian adalah proses pelarutan mineral berharga dari suatu bijih atau konsentrat sedemikian rupa sehingga logam-logam berharga bisa terlarutkan dalam suatu pelarut. Selama elindian, tidak hanya mineral berharga saja yang akan larut, mineral-pengotor pun akan larut sesuai dengan keadaannya, karena itu proses menuntut penguasaan pengetahuan mengenai termodinamika dan



kinetika larutan kimia, sehingga kelarutan mineral berharga diharapkan akan setinggi mungkin sedang mineral pengotornya harus serendah mungkin. Mineral pengotor yang ikut terlarut harus dikeluarkan dari larutan agar tidak mengganggu proses selanjutnya. Pengetahuan mengenai kimia dalam larutan aqueous memegang peranan yang sangat penting dan seorang ahli hidrometalurgi harus memahami reaksi-reaksi kimia yang berlangsung sehingga dapat merancang diagram alir serta pemilihan alat yang tepat untuk berbagai jenis umpan.

Leaching merupakan proses pelarutan selektif logam-logam berharga yang diinginkan dari bijih atau konsentrat dan memisahkannya dari mineral-mineral pengotor menggunakan larutan aqueous, baik asam, basa maupun garam. Larutan hasil leaching tersebut kemudian dipisahkan dan dimurnikan. Ada tiga proses pemurnian yang umum digunakan yaitu evaporasi, ekstraksi pelarut dan presipitasi (pengendapan). Diantara ketiganya, presipitasi adalah yang paling mudah dilakukan, juga lebih cepat. Namun cara ini kurang efektif untuk beberapa logam. Logam hasil pemurnian biasanya diaktivasi dengan asam tertentu terlebih dahulu sebelum diambil dari larutannya. Cara ini menjamin didapatkannya logam dalam struktur nanometer dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi. Suhu selama proses leaching, konsentrasi reaktan, ukuran butir sampel dan pH larutan merupakan faktor-faktor yang paling menentukan keberhasilan proses hidrometalurgi. Apabila mampu menemukan kombinasi yang tepat dari keempat faktor ini maka proses hidrometalurgi akan semakin optimal

Pemurnian larutan merupakan tahapan setelah pelindian dengan tujuan untuk membersihkan larutan dari pengotor yang tidak diinginkan yang ikut terlarut pada saat proses pelindian. Pengotor dapat dibersihkan dengan cara presipitasi, ekstraksi *solvent*, *ion exchange* dan sementasi. Dengan cara presipitasi pengotor diendapkan sebagai padatan yang tidak larut kemudian dilakukan filtrasi sehingga larutan menjadi bersih. Pengotor yang dapat dibersihkan dengan cara presipitasi umumnya adalah hidroksida, senyawa sulfida, dan garam karbonat. Tahap akhir suatu rangkaian ekstraksi hidrometalurgi adalah perolehan produk akhir, di mana

a logam berharga (emas) diperoleh dengan cara elektrowinning dari a. Dalam proses elektrowinning, suatu sel elektrolitik dipakai untuk apa logam emas terlarut di katoda. Sementara itu, di katoda terjadi reaksi



oksidasi air menjadi gas oksigen yang berlangsung secara simultan dengan proses deposisi emas di katoda. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, emas yang terkandung larutan sianida hasil proses pelindian sianidasi harus dimurnikan. Pemanis ini dilakukan melalui proses adsorpsi. Di dunia ekstraksi emas, dikenal berbagai macam metode untuk mengadsorpsi logam emas yang telah larut dalam sianida. Keseluruhan proses adsorpsi desorpsi ini melibatkan tahapan berikut:

1. Adsorpsi senyawa emas sianida kompleks oleh karbon.
2. Pencucian dengan asam untuk melarutkan senyawa karbonat yang menutupi pori karbon dan melarutkan logam pengotor yang ikut teradsorpsi
3. Desorpsi, biasanya menggunakan larutan 0,2% NaCN dan 1% NaOH pada suhu sekitar 90°C.
4. Pencucian karbon dengan air untuk membebaskan dari larutan yang terjebak.
5. *Dewatering*, re-aktivasi karbon yang sudah dilepaskan emasnya dengan cara pemanasan pada 700 derajat Celsius selama 30 menit tanpa udara, kemudian quenching, dan penggunaan kembali karbon untuk siklus proses adsorpsi berikutnya.
6. Berdasarkan tahapan di atas maka ada dua faktor yang memengaruhi pemilihan proses adsorpsi, (CIL, CIP, atau proses kolom), yaitu:
 - a. Sifat filtrasi materialnya
 - b. Ada atau tidaknya senyawa organik di dalam bijih

Proses adsorpsi emas dalam kolom, suatu kolom dimuati dengan butiran (granular) karbon aktif, kemudian larutan jernih hasil pelindian sianida dialirkan dari atas. Proses kolom ini hanya dapat diterapkan bila bijih dapat difiltrasi dengan mudah. Filtrasi di sini adalah untuk memisahkan bijih sisa pelindian dari larutan hasil pelindian sianida, sehingga diperoleh larutan yang jernih, dan padatan sisa pelindian sebagai cake filter. Proses adsorpsi akan terganggu bila larutan hasil filtrasi tidak bersih (jernih) bebas dari partikel padat.

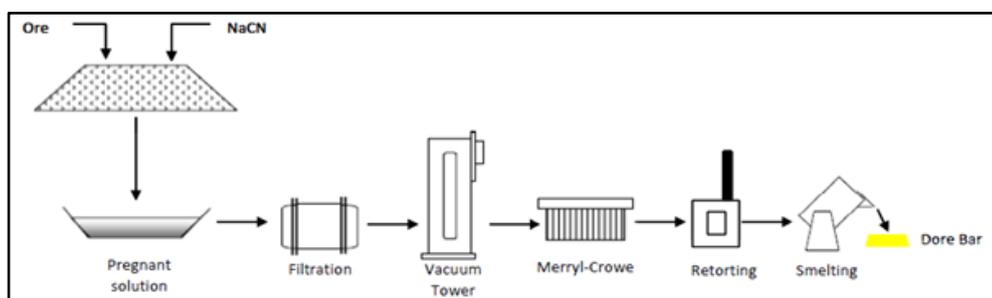
Proses *carbon-in-pulp* (CIP) biasanya diterapkan pada bijih yang sifatnya membentuk slime (*slimey ores*). Bijih jenis ini biasanya mengandung mineral clay yang mudah membentuk slime sehingga proses filtrasi sulit

1. Pada proses CIP, proses pelindian dan proses adsorpsi dilakukan di



dalam tangki yang berbeda. Pada proses ini, adsorpsi emas oleh karbon dilakukan di dalam suatu tangki agitator. Ke dalam tangki agitator dimasukkan pelet karbon dan slurry hasil pelindian. Setelah adsorpsi selesai, semua muatan tangki agitator diumpankan ke suatu pengayak, untuk memisahkan pelet karbon termuati emas dari lumpur sisa pelindian. Terhadap pelet karbon yang termuati emas kemudian dilakukan pencucian dan de- sorpsi. Setelah itu dilakukan aktivasi kembali karbon aktif dengan cara pemanasan tanpa kehadiran udara. Proses CIP ini mempunyai kelebihan karena tidak memerlukan proses filtrasi slurry yang biasanya relatif mahal.

Proses *carbon-in-leach* (CIL) biasanya diterapkan untuk bijih yang mengandung senyawa organik. Adanya senyawa organik di dalam bijih emas dapat bertindak sebagai adsorbent yang dapat mengadsorpsi emas yang sudah larut dan kemudian terbawa keluar sebagai residu atau tailing. Hal ini tentu saja merupakan kerugian karena ada sebagian emas yang hilang terbawa residu. Pada proses CIL butiran granular karbon (yang mempunyai kemampuan mengadsorpsi lebih baik dari material organik dalam bijih) dimasukkan ke dalam tangki pelindian, sehingga dapat dengan segera mengadsorpsi senyawa kompleks emas sianida yang telah terbentuk secara simultan dengan proses pelarutan emas dari bijih.



Gambar 1 Proses Sianidasi dengan Metode Tumpukan (Metalurgist,2020)

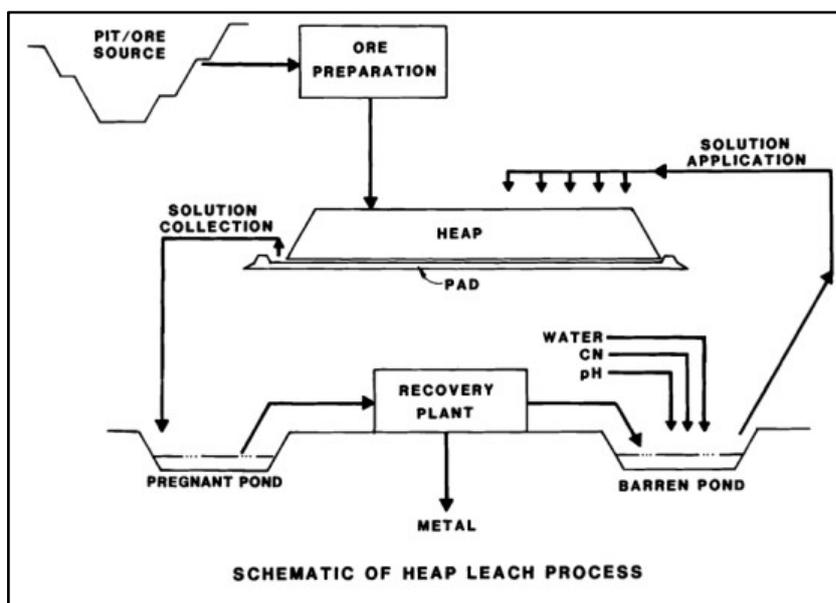
Di masa yang akan datang, kemungkinan posisi sianida akan tergantikan oleh reagent lain yang lebih ramah lingkungan tetapi tidak mengurangi *recovery* dari Emas dan Perak. Beberapa reagent sudah di coba oleh para peneliti, terutama thiosulfat. Berdasarkan hasil penelitian yang telah kami lakukan sendiri, *thiosulfat*

bisa digunakan sebagai reagent pengganti sianida.

leskipun konsumsi *thiosulfat* jauh lebih besar dari pada sianida namun lebih ramah lingkungan dan *cash cost* lebih rendah, *cash cost* yang lebih



rendah dibandingkan sianida disebabkan oleh tidak adanya biaya untuk destruksi sianida. Penyempurnaan penelitian masih terus dilakukan oleh para peneliti terutama terhadap kestabilan thiosulfat yang memang lebih rendah dibandingkan Sianida, sehingga perlu kondisi yang benar-benar terjaga dengan baik. Secara umum, jalur proses pengolahan emas dan perak yang sering digunakan oleh industri dapat dilihat dalam Gambar 3



Gambar 2 Proses *Heap Leaching* (Metalurgist,2020)

2.3 Kominusi

Mineral yang tersedimentasi secara halus dan berasosiasi sengan mineral pengotornya, maka mineral berharga tersebut harus diliberasikan terlebih dahulu melalui proses kominusi. Kominusi terdiri dari proses peremukan dan penggerusan bijih. Adapun tujuan dilakukannya kominusi adalah untuk meliberasi mineral berharga dari mineral lain, meningkatkan luas permukaan agar tercapai reaktivitas, dan untuk memudahkan transportasi bijih diantar unit operasi pengolahan (Fuerstenau and Han, 2003).

2.1.1 Operasi Peremukan

emukan atau *crushing*, adalah proses pengecilan ukuran bijih hasil sehingga mencapai ukuran yang sesuai untuk dapat dilaukan proses



pengerusan pada bijih. *Crushing* dilakukan dalam keadaan kering dengan, megompresi bijih dalam ruang yang terbatas (Wills and Naiper-Munn, 2006).

Jaw crusher merupakan alat peremuk dengan dua muka peremuk (*jaw*) dimana salah satunya terikat dalam keadaan statis ke rangkanya dan peremuk lainnya dapat bergerak. *Gyratory crusher* adalah peremuk dengan bagian utama berbentuk kerucut yang berputar sedemikian rupa sehingga peremuk terjadi pada satu permukaan dalam keadaan sedikit terangkat (*gyrataring*). *Gyratory crusher* dibuat dengan tujuan untuk memenuhi peremuk berkapasitas besar. Prinsip kerja *cone crusher* hampir sama dengan *gyratory*, perbedaannya ialah *cone crusher* memiliki bidang remuk yang lebih luas, sehingga proses peremuk dapat berjalan lebih baik. Selain itu, pada *cone crusher* terdapat pegas di sekeliling peremuk yang dapat mencegah *cone crusher* meremuk umpan yang terlalu besar, sehingga mencegah terjadinya kerusakan alat peremuk.

2.1.2 *Primary Crusher*

Merupakan tahap penghancuran pertama dimana umpan berupa bongkah – bongkahan besar yang berukuran 20 cm. alat-alat yang termasuk *Primary Crushing* adalah sebagai berikut :

a. *Jaw Crusher*

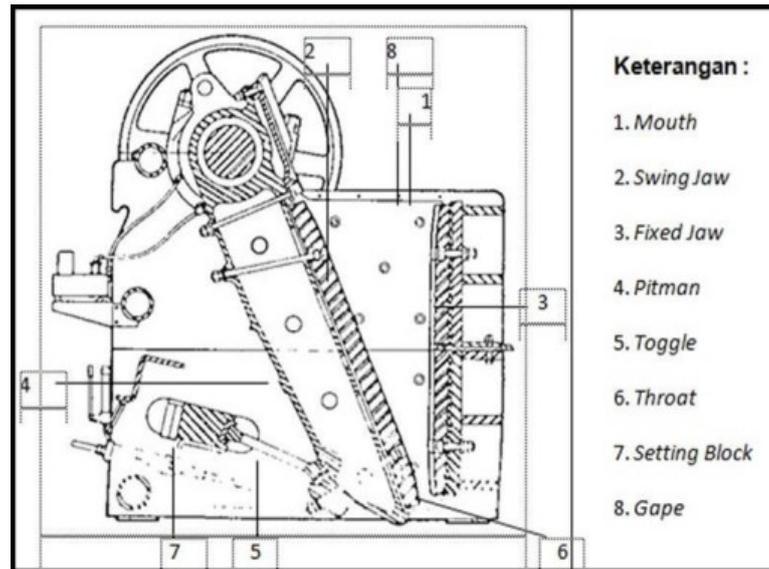
Alat ini terdiri dari dua *Jaw* yang satu dapat digerakkan (*Swing Jaw*) yang lainnya tidak dapat digerakkan/diam (*Fixed Jaw*). Berdasarkan prosesnya, *Jaw Crusher* terbagi menjadi dua macam, *Blake Jaw Crusher*, dengan poros diatas dan *Dodge Jaw Crusher*, dengan poros dibawah. Jenis *Blake Jaw Crusher* ini ini masih dibagi lagi menjadi dua jenis, yaitu *Single Toggle Blake Jaw Crusher* dan *Double Toggle Blake Jaw Crusher* (Gaudin, 1939). Adapun bagian-bagian dari *Jaw Crusher* adalah:

1. *Setting Block*, yaitu bagian untuk mengatur agar lubang bukaan ukurannya sesuai dengan yang dikehendaki. Bila *setting block* dimajukan maka jarak *fixed jaw* dan *swing jaw* menjadi lebih pendek atau lebih dekat, begitu pula sebaliknya.
- . *Toggle*, yaitu bagian dari alat peremuk yang berfungsi untuk mengubah gerakan naik turun menjadi gerakan horizontal atau maju mundur.



3. *Pitman*, yaitu bagian dari alat peremuk yang berfungsi untuk merubah gerakan berputar dari eksentrik menjadi gerakan naik turun.
4. *Swing Jaw*, yaitu bagian dari alat peremuk yang dapat bergerak/rahang ayun yang berfungsi sebagai gaya tekanan pada material umpan.
5. *Fixed Jaw*, yaitu bagian dari alat peremuk yang tidak dapat bergerak/rahang diam yang berfungsi sebagai memberi gaya menahan pada material umpan.
6. *Mouth*, yaitu bagian mulut dari alat peremuk yang berfungsi sebagai lubang penerimaan.
7. *Throat*, yaitu bagian paling bawah alat peremuk yang berfungsi sebagai lubang penerimaan.
8. *Gape*, yaitu jarak horizontal pada mouth (lubang penerimaan).
9. *Set*, yaitu jarak horizontal pada throat (lubang pengeluaran)
10. *Open Setting*, yaitu jarak antara rahang diam dengan rahang ayun pada saat rahang ayun bergerak ke belakang.
11. *Closed Setting*, yaitu jarak antar rahang diam dengan rahang ayun pada saat rahang ayun bergerak ke depan.
12. *Throw*, yaitu selisih jarak pelemparan pada saat rahang membuka (*open setting*) dan pada saat rahang menutup (*closed setting*).
13. *Nip Angle*, yaitu sudut yang dibentuk dari garis singgung yang dibuat antara *jaw* (*swing dan fixed*) dengan material batu.





Gambar 3 Single Toggle Jaw Crusher (Gaudin, 1939)

Cara kerja *Jaw Crusher* secara umum adalah bahan galian dimasukkan ke dalam *hopper*, dari *hopper* diteruskan ke feeder sampai batuan masuk kedalam rahang. Batuan tersebut ditekan oleh *swing jaw* yang digerakkan oleh *fly wheel* dan ditahan oleh *fix jaw*. Akibat gaya tekan yang lebih besar dari kuat tekan batuan sehingga batuan pecah menjadi ukuran yang lebih kecil. Kapasitas mesin peremuk *Jaw Crusher* dibedakan menjadi kapasitas desain dan kapasitas nyata. Kapasitas desain merupakan kemampuan produksi yang seharusnya dicapai oleh mesin peremuk tersebut, sedang kapasitas nyata merupakan kemampuan produksi mesin peremuk sesungguhnya yang didasarkan pada system produksi yang diterapkan. Kapasitas desain diketahui dari spesifikasi yang dibuat oleh pabrik pembuat mesin peremuk dan kapasitas nyata didapatkan dengan cara pengambilan contoh produk yang dihasilkan.

Menurut Gaudin (1939), energy yang dibutuhkan *Jaw Crusher* tergantung dari beberapa faktor, antara lain ukuran *feed*, ukuran produk, kapasitas dari mesin, bentuk dari material serta persentase dari waktu berhenti peremuk dan berkisar antara 0,3 – 1,5 Kw jam/ton. Kapasitas *iw Crusher*, untuk menghitung kapasitas produksi dari masing-masing alat peremuk dilakukan dengan cara melihat kapasitas maksimum spesifikasi alat tersebut serta kapasitas material yang masuk ke alat



tersebut (kapasitas nyata) dan dipengaruhi oleh gravitasi, kekerasan material, keliatan material dan *moisture content*. Oleh Currie (1973),

Mekanisme Pecahnya Batuan, yaitu Pecahnya batuan pada alat peremuk rahang yang disebabkan oleh ketahanan material umpan lebih kecil dari pada kuat tekan yang ditimbulkan oleh alat peremuk, sudut singgung material (*nip angle*), dan arah dari resultan gaya terakhir yang mengarah ke bawah sehingga batuan tersebut pecah (Gaudin, 1939). Adapun gaya yang bekerja pada alat peremuk adalah:

1. Gaya tekan merupakan gaya yang dihasilkan oleh gerakan swing jaw yang bergerak menekan batuan.
2. Gaya gesek merupakan gaya yang bekerja pada permukaan antara fixed jaw maupun swing jaw dengan material batuan.
3. Gaya gravitasi merupakan gaya yang bekerja pada batuan sehingga mempengaruhi arah gerak material ke bawah (gravitasi).
4. Gaya menahan merupakan gaya tahan yang dimiliki batuan atas gaya yang timbul akibat gerakan swing jaw terhadap fixed jaw.

b. *Gyratory Crusher*

Crusher ini mempunyai kapasitas yang lebih besar jika dibandingkan dengan *Jaw Crusher*. Gerakan dari *Gyratory Crusher* berputar dan bergoyang sehingga proses penghancuran berjalan terus menerus tanpa selang waktu. Berbeda dengan *Jaw Crusher* yang proses penghancurannya tidak kontinyu yaitu pada waktu swing jaw bergerak ke belakang, material-material yang ada tidak mengalami pengerusan. Kapasitas *Gyratory Crusher* tergantung pada:

1. Sifat alamiah material yang dihancurkan, seperti kekerasan, keliatan dan kerapuan.
2. Peremuk *Covene* dan *Crushing head* terhadap umpan akan mempengaruhi gesekan pada material dengan bagian pemecahan (*convene* dan *crushing head*).

Kandungan air, setting, putaran dan gape.

Perbedaan antara *Gyratory Crusher* dan *Jaw Crusher* :

Pemasukkan umpan pada *Jaw Crusher* tidak kontinyu sedangkan pada



Gyratory Crusher adalah kontinyu.

2. *Gyratory Crusher* alatnya lebih besar dan bagian-bagiannya tidak mudah dilepas.
3. Kapasitas *Gyratory Crusher* lebih besar dari pada *Jaw Crusher* karena pemasukkan umpan dapat kontinyu dan penghancuran diberbagai tempat.
4. Pemecahan pada *Jaw Crusher* lebih banyak tekanan tapi pada *Gyratory* gaya geseknya lebih besar walaupun ada gayatekanan.

2.1.3 *Secondary Crusher*

Merupakan tahapan penghancuran lanjutan dari *Primary Crusher* dimana ukuran umpan lebih kecil dari 20 cm. (Yudantara, 2018). Alat-alat yang dipergunakan dalam *Secondary Crusher* adalah :

1. *Jaw Crusher* (kecil)
2. *Gyratory Crusher* (kecil)
3. *Cone Crusher*

Alat ini merupakan *Secondary Crusher* yang penggunaannya lebih ekonomis. *Cone Crusher* hampir sama dengan *Gyratory Crusher* perbedaannya terletak pada :

1. *Crusher surface* terluar bekerja sedemikian rupa sehingga luas lubang pengeluarannya bertambah. *Crushing surface* terluar, bagian atasnya dapat diangkat sehingga material yang tidak dapat dihancurkan dapat dikeluarkan.
2. Untuk memperkecil ukuran material hasil penambangan yang umumnya masih berukuran bongkah digunakan alat peremuk. Material hasil penambangan diangkut menuju *hopper* kemudian dimasukkan ke dalam alat peremuk untuk dilakukan peremukkan.

Untuk memperkecil ukuran material hasil penambangan yang umumnya masih berukuran bongkah digunakan alat peremuk. Material hasil penambangan diangkut menuju *hopper* kemudian dimasukkan ke dalam alat peremuk untuk

1 peremukkan.



2.3 Rangkaian Unit Peremuk

Proses produksi pada rangkaian unit peremuk adalah merupakan kegiatan yang saling terkait dari beberapa peralatan, sehingga hasil yang diperoleh sesuai dengan ukuran yang dikehendaki, peralatan-peralatan yang digunakan antara lain :

2.3.1 Hopper

Hopper merupakan salah satu alat bantu dari instalasi alat peremuk yang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara dari material umpan, selanjutnya material tersebut diumpangkan ke alat peremuk oleh alat pengumpan (*feeder*). *Hopper* ini biasanya terbuat dari beton yang dilapisi oleh lembaran baja pada dinding-dindingnya dengan tujuan agar terhindar dari keausan akibat gesekan dan benturan dinding dengan material.

2.3.2 Ayakan Getar (*Vibrating Screen*)

Ayakan getar berfungsi sebagai alat pemisah ukuran material yang bekerja dengan getaran yang pada pengelompokan ukuran materialnya bergantung pada ukuran lubang ayakan. Berdasarkan bentuk, permukaan lubang ayakan (*screen*) terbuat dari bahan kawat baja yang dianyam dari jenis woven wire. Bagian dari ayakan getar antara lain excentric shaft, woven wire, square opening dan deck screen. Faktor-faktor yang mempengaruhi lolosnya material adalah ukuran material yang sesuai dengan lubang bukaan, ukuran rata-rata material yang menembus lubang ayakan, sudut yang dibentuk oleh gaya bentur material, komposisi air pada material yang diayak, letak per lapisan material pada permukaan ayakan sebelum diayak. Efisiensi ayakan getar merupakan perbandingan antara material yang lolos lubang ayakan dengan material yang seharusnya lolos. Secara umum efisiensi ayakan tergantung pada lamanya umpan berada di atas ayakan, jumlah lubang bukaan yang terbuka, tebal lapisan umpan, kecocokan antara bentuk dari lubang ayakan dengan material yang diayak. Efisiensi ayakan yang mendasarkan atas jumlah butiran, didefinisikan sebagai perbandingan antara material yang lolos (*fine material*) dari umpan dengan *fine material* yang berada dalam umpan (perbandingan yang benar-benar lolos dengan material yang seharusnya lolos).



an Berjalan (*Belt Conveyor*)

stern ban berjalan digunakan secara luas dalam bidang pelaksanaan si. Sistem ini memberikan cara paling memuaskan dan hemat untuk

menangani dan mengangkat antara lain bahan tambang. Dengan aliran material terangkut yang terus menerus dalam kecepatan tinggi, maka ban berjalan mempunyai kapasitas tinggi. (Peurifoy, 1998).

Bagian-bagian utama suatu ban berjalan meliputi sabuk tak terputus, roda-roda antar (*idlers*), alat penggerak (*pulley*), alat pengencang dan suatu konstruksi penyangga. Sabuk atau ban dibuat dengan menyatukan beberapa jenis anyaman kapas, nilon, rayon, kabel baja menjadi konstruksi tulangan yang memberikan kekuatan yang perlu untuk menahan tarikan dalam sabuk. Lapisan-lapisan itu ditutup dengan perekat terbuat dari karet yang kemudian menggabungkannya menjadi struktur yang menyatu. Kapasitas teoritis sabuk berjalan sangat dipengaruhi oleh luas penampang melintang material yang terangkut sabuk berjalan, kecepatan sabuk berjalan, dan bobot isi material yang terangkut.

2.4 Metode Statistik

Statistik dapat didefinisikan sebagai ilmu yang berkaitan dengan mengembangkan dan mempelajari serta metode untuk mengumpulkan, menganalisis, menafsirkan dan menyajikan data empiris. stik dapat didefenisikan sebagai ilmu yang berkaitan dengan mengembangkan dan mempelajari serta metode untuk mengumpulkan, menganalisis, menafsirkan dan menyajikan data empiris. Kegunaan statistik dapat terlihat hampir dalam keseluruhan bidang disiplin penelitian, seperti pendidikan, social, eksakta, ekonomi, manajemen, pertanian dan masih banyak lainnya. Perhitungan untuk statistik saat ini di dominasi oleh perhitungan dengan aplikasi pintar seperi SPSS dan beberapa peneliti juga menggunakan Microsoft Excel sebagai bantuan dalam penyelesaian perhitungan. Dua gagasan yang bersifat mendasar dalam bidang statistik adalah ketidakpastian dan variasi. Beberapa kondisi dan situasi yang kita temui dalam sains (atau lebih umum dalam kehidupan) memiliki hasil yang bersifat tidak pasti. Dalam istilah yang sangat luas, statistik dapat dibagi menjadi dua cabang, yaitu statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif berkaitan dengan data kuantitatif dan metode mendeskripsikannya. Statistik inferensial (analitis) membuat kesimpulan populasi (seluruh kelompok orang atau lebih) dengan menganalisis data



yang dikumpulkan dari sampel (bagian dari seluruh kelompok) dan berhubungan dengan metode yang memungkinkan penarikan kesimpulan dari data ini.

Data biasanya dikumpulkan dalam format mentah dan dengan demikian informasi yang terdapat didalamnya sulit dipahami. Oleh karena itu, data mentah perlu dirangkum, diproses, dan dianalisis. Informasi yang berasal dari data mentah harus disajikan dalam format yang efektif, jika tidak, akan menjadi kerugian bagi penulis itu sendiri maupun bagi pembaca. Teknik penyajian data dan informasi dapat berupa tekstual, tabular, dan grafik. Teks adalah metode utama untuk menjelaskan temuan, menguraikan dan memberikan informasi kontekstual. Sebuah tabel paling cocok untuk merepresentasikan informasi individu dan merepresentasikan informasi kuantitatif dan kualitatif. Grafik adalah alat visual yang sangat efektif karena menampilkan data secara sekilas, memfasilitasi perbandingan, dan dapat mengungkap hubungan dalam data seperti perubahan dari waktu ke waktu, distribusi frekuensi, dan korelasi dari keseluruhan. Teks, tabel, dan grafik untuk presentasi data dan informasi adalah alat komunikasi yang sangat kuat, dapat membuat artikel mudah dimengerti, menarik dan mempertahankan minat pembaca, serta efisien menyajikan informasi kompleks dalam jumlah besar. Bagian utama dari Statistik adalah tampilan data yang dirangkum. Data awalnya dikumpulkan dari sumber yang diberikan, apakah itu eksperimen, survei, dan observasi.

Analisis korelasi merupakan salah satu analisis yang sering digunakan dalam metode statistik. Secara sederhana, korelasi dapat diartikan sebagai hubungan. Namun ketika dikembangkan lebih jauh, korelasi tidak hanya dapat dipahami sebatas pengertian tersebut. Korelasi merupakan salah satu teknik analisis dalam statistik yang digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel yang bersifat kuantitatif. Hubungan dua variabel tersebut dapat terjadi karena adanya hubungan sebab akibat atau dapat pula terjadi karena kebetulan saja. Dua variabel dikatakan berkorelasi apabila perubahan pada variabel yang satu akan diikuti perubahan pada variabel yang lain secara teratur dengan arah yang sama (korelasi tau berlawanan (korelasi negatif).



Korelasi Sederhana merupakan suatu teknik statistik yang dipergunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara 2 variabel dan juga untuk dapat

mengetahui bentuk hubungan keduanya dengan hasil yang bersifat kuantitatif. Kekuatan hubungan antara 2 variabel yang dimaksud adalah apakah hubungan tersebut erat, lemah, ataupun tidak erat. Sedangkan bentuk hubungannya adalah apakah bentuk korelasinya linear positif ataupun linear negatif. Korelasi *Pearson* menghitung korelasi dengan menggunakan variasi data. Keragaman data tersebut dapat menunjukkan korelasinya. Korelasi ini menghitung data apa adanya, tidak membuat ranking atas data yang digunakan seperti pada korelasi *Rank Spearman*. Ketika kita memiliki data numerik seperti nilai tukar rupiah, data rasio keuangan, tingkat pertumbuhan ekonomi, data berat badan dan contoh data numerik lainnya, maka Korelasi *Pearson* produk momen cocok digunakan. Sebaliknya, koefisien Korelasi *Rank Spearman* digunakan untuk data diskrit dan kontinu namun untuk statistik nonparametrik. Koefisien korelasi *Rank Spearman* lebih cocok untuk digunakan pada statistik nonparametrik. Statistik nonparametrik adalah statistik yang digunakan ketika data tidak memiliki informasi parameter, data tidak berdistribusi normal atau data diukur dalam bentuk ranking. Berbeda dengan Korelasi *Pearson*, korelasi ini tidak memerlukan asumsi normalitas, maka korelasi *Rank Spearman* cocok juga digunakan untuk data dengan sampel kecil.

Seperti yang diungkapkan oleh Ronny Kountur bahwa data yang berskala interval atau rasio dapat menggunakan korelasi *Pearson*. Selain itu, signifikansinya tidak hanya harus memenuhi persyaratan pengukuran tersebut, tetapi harus pula menganggap data berdistribusi normal. Simbol untuk korelasi *Pearson* adalah “ p ” jika diukur dalam populasi, dan “ r ” jika diukur dalam sampel (Firdaus, 2009).

Korelasi *Pearson* adalah salah satu dari pengujian korelasi yang digunakan dalam mengetahui derajat keeratan hubungan dua variabel yang memiliki interval atau rasio, berdistribusi normal, serta mengembalikan nilai koefisien korelasi dengan rentang nilai antara -1, 0 dan 1 (Zhang et al., 2020). Nilai positif adalah nilai 1, nilai -1 merupakan nilai negatif dan nilai 0 merupakan nilai yang tidak terdapat korelasi (Fu et al., 2020).

Korelasi *Pearson* menghasilkan koefisien korelasi yang berfungsi untuk r kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Jika hubungan dua variabel tidak linier, maka koefisien korelasi *Pearson* tersebut tidak mencerminkan hubungan dua variabel yang sedang diteliti, meski kedua variabel



mempunyai hubungan kuat. Koefisien korelasi ini disebut koefisien korelasi Pearson karena diperkenalkan pertama kali oleh Karl Pearson tahun 1990 (Firdaus, 2009). Syarat-syarat data yang digunakan dalam Korelasi Pearson, diantaranya (Sudjana, 2005):

1. Bersekala interval/ rasio
2. Variabel X dan Y harus bersifat independen satu dengan lainnya
3. Variabel harus kuatitaif simetris

Arah hubungan antar variabel yang dianalisis, korelasinya dapat berbentuk hubungan positif atau hubungan negatif. Arah hubungan positif antar variabel terjadi jika naiknya skor variabel X selalu diikuti dengan naiknya skor variabel Y atau jika turunnya skor variabel X selalu diikuti dengan turunnya skor variabel Y. Sebaliknya, arah hubungan negatif antar variabel terjadi jika naiknya skor variabel X selalu diikuti dengan turunnya skor variabel Y atau turunnya skor variabel X selalu diikuti dengan turunnya skor variabel Y (Budiwanto, 2017).

Koefisien Korelasi Sederhana disebut juga dengan Koefisien Korelasi Pearson karena rumus perhitungan Koefisien korelasi sederhana ini dikemukakan oleh Karl Pearson yaitu seorang ahli Matematika yang berasal dari Inggris. Rumus yang dipergunakan untuk menghitung koefisien korelasi sederhana dapat dilihat pada persamaaan 9.

$$r_{x,y} = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- $r_{x,y}$ = Koefisien korelasi pearson
- n = Jumlah sampel
- $\sum XY$ = Jumlah dari hasil kali nilai x dan y
- $\sum X$ = Jumlah nilai x
- $\sum y$ = Jumlah nilai y
- $\sum X^2$ = Jumlah dari kuadrat nilai x
- $\sum Y^2$ = Jumlah dari kuadrat nilai y



arah hubungan antar variabel yang dianalisis, korelasinya dapat berbentuk positif atau hubungan negatif. Arah hubungan positif antar variabel

terjadi jika naiknya skor variabel X selalu diikuti dengan naiknya skor variabel Y atau jika turunnya skor variabel X selalu diikuti dengan turunnya skor variabel Y. Sebaliknya, arah hubungan negatif antar variabel terjadi jika naiknya skor variabel X selalu diikuti dengan turunnya skor variabel Y atau turunnya skor variabel X selalu diikuti dengan turunnya skor variabel Y (Budiwanto, 2017).

Besar kecilnya hubungan antar variabel dinyatakan dengan angka indeks yang disebut koefisien korelasi. Simbol yang digunakan untuk menyatakan besarnya koefisien korelasi dua variabel adalah r , dan R untuk koefisien korelasi ganda. Besarnya koefisien korelasi berkisar antara $-1,0$ sampai dengan $+1,0$. Sehingga ada dua kemungkinan koefisien korelasi yaitu korelasi negatif dan korelasi positif. Koefisien korelasi negatif menunjukkan arah hubungan berbanding terbalik antara variabel yang satu dengan lainnya. Sedangkan koefisien korelasi yang positif menunjukkan arah hubungan berbanding lurus antara variabel yang satu dengan lainnya. Jika koefisien korelasi $+1,0$ atau $-1,0$ maka hubungan dua variabel tersebut sempurna. (Sutrisnohadi, 1983)

Jika koefisien korelasi menunjukkan angka 0, maka tidak terdapat hubungan antara dua variabel yang dikaji. Jika hubungan dua variabel linier sempurna, maka sebaran data tersebut akan membentuk garis lurus. Sekalipun demikian pada kenyataannya kita akan sulit menemukan data yang dapat membentuk garis linier sempurna (Sutrisnohadi, 1983).

Dalam analisis korelasi, kita mengestimasi atau menduga koefisien korelasi sampel, terutama koefisien korelasi *Pearson Product Moment*. Besarnya koefisien korelasi menunjukkan kekuatan dari asosiasi. Sebagai contoh nilai korelasi (r) sebesar 0,9 menunjukkan hubungan positif dan kuat antara dua variabel, sedangkan korelasi (r) sebesar -0,2 (negatif 0,2) menyatakan hubungan yang negatif dan lemah. Untuk korelasi mendekati nol menunjukkan tidak ada hubungan linear antara dua variabel kontinu. Perlu diperhatikan bahwa mungkin ada hubungan non-linear antara dua variabel kontinu, tetapi perhitungan koefisien korelasi tidak mendeteksi ini. Penjelasan bentuk pola hubungan antar 2 variabel adalah sebagai



orelasi Linear Positif (+1)

Perubahan salah satu Nilai Variabel diikuti perubahan Nilai Variabel yang lainnya secara teratur dengan arah yang sama. Jika Nilai Variabel X mengalami kenaikan, maka Variabel Y akan ikut naik. Jika Nilai Variabel X mengalami penurunan, maka Variabel Y akan ikut turun. Apabila Nilai Koefisien Korelasi mendekati +1 (positif Satu) berarti pasangan data Variabel X dan Variabel Y memiliki Korelasi Linear Positif yang kuat/erat

2. Korelasi Linear Negatif (-1)

Perubahan salah satu Nilai Variabel diikuti perubahan Nilai Variabel yang lainnya secara teratur dengan arah yang berlawanan. Jika Nilai Variabel X mengalami kenaikan, maka Variabel Y akan turun. Jika Nilai Variabel X mengalami penurunan, maka Nilai Variabel Y akan naik. Apabila Nilai Koefisien Korelasi mendekati -1 (Negatif Satu) maka hal ini menunjukkan pasangan data Variabel X dan Variabel Y memiliki Korelasi Linear Negatif yang kuat/erat

3. Tidak Berkorelasi (0)

Kenaikan Nilai Variabel yang satunya kadang-kadang diikuti dengan penurunan Variabel lainnya atau kadang-kadang diikuti dengan kenaikan Variable yang lainnya. Arah hubungannya tidak teratur, kadang-kadang searah, kadang-kadang berlawanan. Apabila Nilai Koefisien Korelasi mendekati 0 (Nol) berarti pasangan data Variabel X dan Variabel Y memiliki korelasi yang sangat lemah atau berkemungkinan tidak berkorelasi

Oleh karena itu, itu selalu penting untuk mengevaluasi data seksama sebelum perhitungan koefisien korelasi. Tampilan grafis (scatter plot/diagram pencar) yang sangat berguna untuk mengeksplorasi hubungan antara variabel. Gambar di bawah menunjukkan empat skenario hipotetis di mana satu variabel kontinu diplot sepanjang sumbu X dan yang lainnya di sepanjang sumbu Y.

Dalam analisis korelasi, tidak dibedakan peran variabel mana yang menjadi variabel bebas (*dependent variable*) dan variabel mana yang akan menjadi variabel tak bebas terikat (*independent variable*), sehingga hubungannya dipandang sebagai

1 simetris. Sehingga, dalam pendefinisian. Variabelnya dianggap sama variabel bebas dan tidak bebas, karena hubungan tersebut tetap dapat . Namun saat akan melakukan suatu peramalan (analisis regresi), perlu



ditentukan variabel y sebagai variabel yang nilainya akan diramalkan (variabel bebas) karena hubungannya dipandang sebagai asimetris (Kurniawan, 2016). Berdasarkan interpretasi terhadap koefisien korelasi Pearson, Sugiyono (2018) membaginya dalam beberapa interval, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Interval koefisien korelasi pearson r (Sugiyono, 2018)

Interval Koefisien Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
0,80 – 1,000	Sangat Kuat
0,60 – 0,799	Kuat
0,40 – 0,599	Sedang
0,20 – 0,399	Rendah
0,00 – 0,199	Sangat Rendah

