

# PEP BANDUNG Getme

Majalah Geologi, Tambang, dan Metalurgi

**Muhamad Ismatuloh**

**Mahasiswa Inspiratif yang Mengukir  
Prestasi di Berbagai Bidang**

**Mencari Ilmu Sampai di Puncak  
Tertinggi di Indonesia**





## Bincang Metode Pendidikan: Dari *Quantum Learning* hingga *Deep Learning*

“Pendidikan di Indonesia akan semakin maju dengan penerapan *metode deep learning*, yang memungkinkan mahasiswa tidak hanya menghafal, tetapi benar-benar memahami dan menerapkan ilmu mereka di dunia nyata.” Pernyataan dari Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Indonesia yang baru pada Februari 2025 ini, menandai langkah penting dalam sistem pendidikan nasional. Dengan pendekatan ini, mahasiswa tidak hanya belajar dari teori, tetapi juga mengasah keterampilan analitis dan praktis mereka secara lebih mendalam.

**D***eeP learning* dalam konteks pendidikan mengacu pada proses pembelajaran yang menekankan pemahaman mendalam dan aplikasi konsep dalam berbagai situasi. Ini tidak hanya sekadar teknik dalam kecerdasan buatan (AI), tetapi juga menjadi metode pedagogi yang mendorong pemikiran kritis dan pemecahan masalah berbasis pengalaman nyata. Dalam bidang seperti geologi, pertambangan, metalurgi, dan energi berkelanjutan, pendekatan ini sangat relevan karena menuntut mahasiswa untuk memahami data kompleks dan menerapkannya secara langsung di lapangan.

Saat ini, di dunia perguruan tinggi, terutama sejak masa pandemi COVID-19, dua metode pembelajaran yang semakin populer adalah *Blended Learning* dan *Adaptive Learning*. Kedua metode ini mengakomodasi kebutuhan mahasiswa yang beragam serta menyesuaikan pembelajaran dengan kemajuan teknologi dan aksesibilitas informasi.

**Blended Learning** adalah kombinasi pembelajaran tatap muka dengan pembelajaran daring, memungkinkan fleksibilitas dan akses yang lebih luas terhadap

sumber belajar. Sementara itu, **Adaptive Learning** menggunakan teknologi untuk menyesuaikan materi pembelajaran sesuai dengan kecepatan dan gaya belajar masing-masing mahasiswa. Dengan bantuan AI, sistem ini dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih personal dan efektif, terutama dalam disiplin ilmu yang menuntut keterampilan teknis tinggi seperti di PEP Bandung. Milsal, prakerin yang biasa dilaksanakan PEP Bandung, yang membuat lulusan lebih siap kerja (lihat misalnya: [https://pepbandung.ac.id/home/detail\\_berita/343/update-alumni:-alumni-bekerja-di-indonesia-morowali-industrial-park](https://pepbandung.ac.id/home/detail_berita/343/update-alumni:-alumni-bekerja-di-indonesia-morowali-industrial-park)) dan link sejenis di <https://pepbandung.ac.id/>)

Namun, sebenarnya konsep **Deep Learning** telah lebih dulu muncul di bidang kecerdasan buatan sejak tahun 1950-an. Metode ini berkembang dari penelitian tentang jaringan saraf tiruan yang memungkinkan komputer untuk mengenali pola dan memproses data secara lebih kompleks. Baru kemudian konsep ini diadaptasi dalam dunia pendidikan sebagai pendekatan yang menekankan pemahaman mendalam dibandingkan sekadar menghafal informasi.

Pada era 1970-an, muncul konsep **Quantum Learning**, sebuah pendekatan pendidikan yang menekankan pembelajaran aktif, suasana yang menyenangkan, serta strategi yang disesuaikan dengan kebutuhan individu. Beberapa prinsip dari metode ini masih relevan hingga kini, seperti pentingnya motivasi dalam belajar, penciptaan lingkungan belajar yang kondusif, serta integrasi berbagai gaya belajar dalam proses pendidikan. Hingga kini, metode ini masih populer dan masih banyak digunakan (untuk bukti dan prakti implementasi, silahkan berselancar di internet).

Dengan berbagai metode yang berkembang, muncul pertanyaan: "Metode manakah yang paling sesuai untuk kita gunakan kini? Apakah pendekatan berbasis teknologi seperti *Deep Learning* dan *Adaptive Learning* sudah cukup? Atau, masihkah intisari dari *Quantum Learning* perlu dipertahankan?" Yang jelas, elemen *Quantum Learning* seperti pembelajaran berbasis pengalaman, keterlibatan aktif mahasiswa, dan penciptaan lingkungan belajar yang menyenangkan tetap relevan. Namun, dengan berkembangnya teknologi AI dan perangkat IT dalam pendidikan, metode-metode baru tidak dapat diabaikan.

Penerapan *Deep Learning* yang telah dimulai di tingkat SLTA perlu diperluas di pendidikan tinggi, khususnya di politeknik yang berorientasi pada praktik dan aplikasi langsung di industri. Penggunaan AI dalam simulasi geologi, analisis data pertambangan, dan pengembangan energi berkelanjutan bisa menjadi bagian dari inovasi dalam pendidikan teknik. Pada akhirnya, pendekatan terbaik mungkin bukan hanya satu metode tunggal, melainkan kombinasi yang mengintegrasikan keunggulan berbagai metode yang telah berkembang. Dengan begitu, pendidikan di politeknik tidak hanya mencetak lulusan yang cerdas secara teoritis, tetapi juga siap menghadapi tantangan industri yang terus berkembang.\*\*\*

Penulis: Oman Abdurahman.

**PENGARAH**

Direktur PEP Bandung

**PENANGGUNG JAWAB**

Wakil Direktur III Bidang  
Kemahasiswaan dan Alumni

**PEMIMPIN REDAKSI**

Priatna

**WAKIL PEMIMPIN REDAKSI**

Mesias Citra Dewi

**KETUA DEWAN REDAKSI**

Oman Abdurahman

**DEWAN REDAKSI**

**EDITOR**

Sabtanto Joko Suprpto,  
Suparno, Yudi Rahayudin,  
Asep Mohamad Ishaq Shiddiq  
Rudiyansah, Dian Eka Aryanti

**SEKRETARIAT**

**REDAKTUR PELAKSANA**

Dadang Zaelani  
Icha Viozlia Ananda  
Andini, Eneng Siti Purmala,  
Ayu Ratnawulansari  
Apriyanti

**STAF REDAKSI**

Gina Maulida  
Grace Aura Lovetine  
Nabiilla Fauziyah Hardian  
M. Haikal Zafar Sidik  
Muhammad Rafli Baasituta  
TB Thoriq Zikri Fatih

**ALAMAT REDAKSI**

Politeknik Energi  
dan Pertambangan Bandung  
Jl. Jend. Sudirman No. 623  
Bandung 40211,  
Telp: 0822-1999-5001,  
Email:  
getme.pepbandung@gmail.com  
Website: <https://pepbandung.ac.id>

Update Alumni



99 Alumni bekerja di Puruk Cahu Murung Raya



101 Update Alumni dari Kawasan IMIP Morowali



Foto: Indira Fitria Kholby

Profile



3 Muhamad Ismatuloh Mahasiswa Inspiratif yang Mengukir Prestasi di Berbagai Bidang

Getme Populer

- 7 Laterit Besi Jejak Serpentinisasi
- 11 Nuklir: Menuju Emisi Nol
- 16 Kejarlah ilmu Sampai ke Negeri Cina

Getme Populer

- 19 Perbedaan Tipe Mineralisasi High Sulphidation dan Low Sulphidation
- 26 Oker Pada Jejak Arkeologi
- 30 Kapur Tohor dan Kapur Padam
- 34 Pelindian *in-situ*: Cara Penambangan yang Lebih Bersih, Hijau, dan Murah
- 38 Potensi Wolfram di Indonesia
- 43 Menuju Energi Bersih Bersama Neodymium
- 47 Mencari Ilmu Sampai di Puncak Tertinggi di Indonesia
- 51 Batu dari Tanah Liat yang Dibakar
- 58 Endapan Barat
- 63 Karakteristik dan Pengendapan Gypsum
- 67 Sulfur: Si Kuning dari Tambang dan Kilang Migas



- 73 Kokas Metalurgi: Bahan Bakar Penting di Balik Industri Baja Modern
- 76 Pencucian Batubara: Tujuan, Manfaat dan Teknik
- 79 Mengenal Nikel dan Pengolahan Nikel Laterit: PT Vale Indonesia Tbk
- 83 Monasit Mengandung Logam Tanah Jarang dan Radioaktif
- 87 Mengenal Proses Hall-Héroult: Teknologi Kunci di Balik Produksi Aluminium Dunia
- 90 Mengenal Raksasa Tambang: Heavy Duty Dump Truck sebagai Alat Angkut
- 93 Biji Sawi di Dalam Batu
- 96 Zaman Perunggu

# Muhamad Ismatuloh Mahasiswa Inspiratif yang Mengukir Prestasi di Berbagai Bidang

Oleh: Hassna Habibah



Dokumentasi pribadi

Muhamad Ismatuloh, seorang mahasiswa yang menonjol dalam berbagai aspek, baik akademik maupun non-akademik. Dengan latar belakang yang kaya dalam organisasi dan prestasi, ia telah membuktikan diri sebagai sosok inspiratif di kalangan mahasiswa.

## Aktivitas Akademik dan Non-Akademik

Ismat tidak hanya aktif dalam perkuliahan, tetapi juga terlibat dalam berbagai kegiatan di luar kampus. Ia dikenal sebagai mahasiswa yang berprestasi, dengan catatan akademik yang mengesankan.

Salah satu pencapaian terbesar Ismatuloh adalah terpilihnya ia sebagai Duta Inisiatif. Dalam perannya ini, mahasiswa yang biasa disapa Ismat telah mampu mempromosikan berbagai program mendukung pengembangan diri dan masyarakat. Ismatu menunjukkan komitmen yang tinggi dalam menjalankan tugas ini, menjadikannya panutan rekannya.

Ismat juga meraih gelar sebagai pemenang Duta Pramuka Indonesia pada tahun 2023. Kemenangan ini merupakan hasil dari kerja keras dan dedikasinya dalam mengikuti berbagai kegiatan kepramukaan. Ia berhasil menunjukkan kemampuan kepemimpinan dan keterampilan sosial yang sangat dibutuhkan



Dokumentasi pribadi



Dokumentasi pribadi

dalam organisasi pramuka. Dengan pencapaian ini, Ismat tidak hanya mengharumkan nama dirinya sendiri, tetapi juga kampus dan komunitas pramuka yang ia wakili.

**Presenter di *The International Process Metallurgy Conference (IPMC)***

Kemampuan akademiknya juga terlihat saat ia menjadi presenter di *The International Process Metallurgy Conference (IPMC)*. Dalam konferensi ini, Ismat menyampaikan penelitian yang relevan dengan bidangnya, mendapatkan perhatian dari para peserta internasional. Presentasinya tidak hanya menunjukkan pengetahuan yang mendalam, tetapi juga kemampuan komunikasi yang baik.

**Presiden Mahasiswa Periode 2023/2024**

Sebagai Ketua Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM), Muhamad Ismatulloh memimpin berbagai program yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan mahasiswa. Di bawah kepemimpinannya, BEM berhasil melaksanakan sejumlah kegiatan bermanfaat, termasuk seminar, pelatihan keterampilan, dan kegiatan sosial.



Dokumentasi pribadi

Kepemimpinan Ismatulloh di BEM tidak hanya terlihat dari keberhasilan program-program tersebut, tetapi juga dari pengaruh positif yang ia berikan kepada anggota lainnya. Ia selalu mendorong teman-temannya untuk aktif berpartisipasi dalam kegiatan organisasi dan mengembangkan potensi diri masing-masing.

**Komitmen terhadap Pendidikan**

Ismatulloh percaya bahwa pendidikan adalah kunci untuk menciptakan perubahan positif dalam masyarakat. Oleh karena itu, ia selalu berupaya untuk menginspirasi mahasiswa lainnya agar lebih peduli terhadap pendidikan dan pengembangan diri. Dalam pandangannya, pendidikan bukan hanya tentang mengejar nilai akademik, tetapi juga tentang membangun karakter dan keterampilan yang diperlukan untuk menghadapi tantangan di dunia nyata.

Sebagai bagian dari komitmennya, Ismatulloh sering mengikuti diskusi dan seminar yang melibatkan pembicara dari berbagai latar belakang. Kegiatan ini bertujuan untuk memberikan wawasan lebih luas kepada mahasiswa tentang pentingnya pendidikan,



baik formal maupun non-formal. Ia percaya bahwa dengan berbagi pengetahuan dan pengalaman, mahasiswa dapat lebih termotivasi untuk belajar dan berkontribusi di bidang yang mereka minati.

Selain itu, Ismatulloh juga aktif dalam membimbing secara akademik maupun non-akademik kepada mahasiswa baru. Ia merasa penting untuk membantu mereka beradaptasi dengan lingkungan kampus dan memahami pentingnya pendidikan dalam mencapai tujuan hidup. Dengan penuh semangat, melalui bimbingan ini, Ismatulloh berharap dapat menumbuhkan rasa percaya diri dan semangat belajar di kalangan mahasiswa baru, sehingga mereka dapat meraih kesuksesan di masa depan.

### **Kepiawaian dalam Akademik dan Non-akademik membawa Ismatulloh menjadi Mahasiswa Berprestasi PEP Bandung Tahun 2024**

Kepiawaian Muhamad Ismatulloh dalam bidang akademik dan non-akademik membawanya meraih gelar Mahasiswa Berprestasi PEP Bandung Tahun 2024. Dalam ajang Pemilihan Mahasiswa Berprestasi (Pilmapres) yang diadakan pada 1 Juli 2024, Ismatulloh berhasil menunjukkan kemampuan luar biasa yang menggabungkan prestasi akademik dengan keterlibatan aktif dalam organisasi dan kegiatan sosial. Sebagai salah satu dari sembilan finalis yang terpilih, ia mempresentasikan ide-ide inovatif yang tidak hanya mencerminkan pengetahuan dalam bidang akademisnya tetapi juga kepeduliannya terhadap isu-isu berkaitan dengan sosial yang relevan. Dedikasinya dalam mempersiapkan presentasi dan penelitiannya menjadi bukti

nyata komitmennya terhadap pendidikan dan pengembangan diri.

Keberhasilan Ismatulloh dalam Pilmapres ini tidak hanya memberikan pengakuan atas dedikasinya, tetapi juga membuka peluang untuk berkontribusi lebih besar di lingkungan kampus dan masyarakat. Dengan penghargaan ini, ia akan mendapatkan sertifikat dan uang pembinaan, serta kesempatan untuk berorasi pada acara wisuda PEP Bandung yang akan datang. Prestasi ini menjadi inspirasi bagi mahasiswa lainnya untuk aktif berpartisipasi dalam kegiatan akademik dan non-akademik, menunjukkan bahwa keseimbangan antara keduanya dapat menghasilkan individu yang berprestasi dan berdampak positif. Ismatulloh berharap bahwa pencapaiannya dapat memotivasi mahasiswa lain untuk terus berusaha dan tidak takut mengambil peran aktif di berbagai bidang.

### **Visi Masa Depan**

Ismatulloh memiliki visi untuk terus berkontribusi dalam bidang pendidikan dan sosial setelah menyelesaikan studinya. Ia bercita-cita untuk menjadi pemimpin yang dapat membawa perubahan signifikan di masyarakat melalui pendidikan dan pemberdayaan.

### **Inspirasi bagi Mahasiswa Lainnya**

Dengan berbagai prestasi dan dedikasinya, Ismatulloh menjadi inspirasi bagi banyak mahasiswa lainnya. Ia membuktikan bahwa dengan kerja keras dan komitmen, siapa pun dapat mencapai impian mereka.



Bongkah iron ore pada laterit besi (Ayumi, 2022)

# Laterit Besi Jejak Serpentinisasi

Oleh: Aisha Permatasari

Tataan tektonik yang melatarbelakangi terbentuknya laterit besi dan laterit nikel hampir sama yakni berada pada litologi ultrabasa, berupa bagian dari kerak samudera yang terangkat menjadi daratan. Namun terdapat perbedaan bahkan kondisi yang kontradiktif, dimana laterit besi terbentuk pada batuan dasar berupa ultrabasa yang telah mengalami serpentinisasi, sebaliknya pengkayaan laterit nikel terjadi pada litologi ultrabasa yang tidak mengalami serpentinisasi.

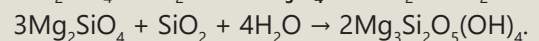
## Serpentinisasi Menghasilkan Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

Tataan geologi tempat terjadinya proses serpentinisasi, yaitu di zona terdapatnya cerobong hidrotermal di dasar laut, di mana batuan ultrabasa bereaksi dengan hidrotermal membentuk serpentin. Serpentinisasi adalah proses alterasi hidrotermal yang mengubah silikat Fe-Mg seperti olivin, piroksen, atau amfibol yang terkandung dalam batuan ultrabasa menjadi mineral serpentin dan magnetit (Pinti, 2014 dan Barnes & O'Neil, 1969).

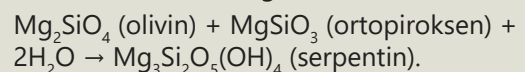
Pada proses serpentinisasi terjadi reaksi antara mineral fayalit dan air hidrotermal menghasilkan magnetit dan silika. Selanjutnya

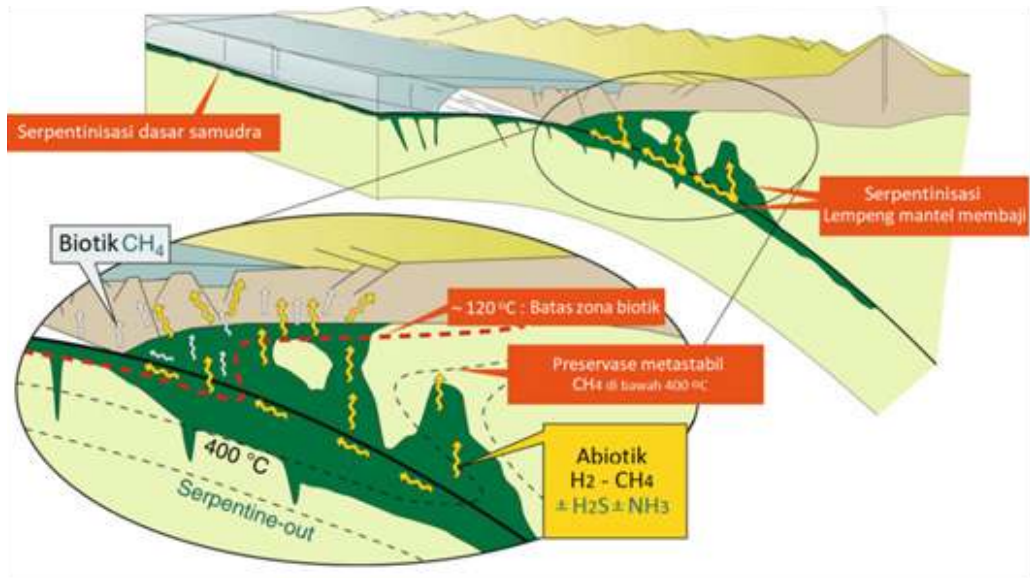
silika yang terbebas bereaksi dengan Mg-olivin membentuk serpentin dengan reaksi kimia sebagai berikut:

Fayalit + air → **magnetit** + *aqueous silica* + hidrogen



Menurut Morgan dan Ranero (2023) reaksi kimia proses serpentinisasi dapat disederhanakan sebagai berikut:





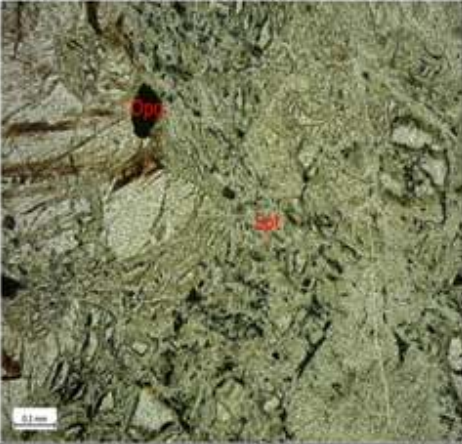
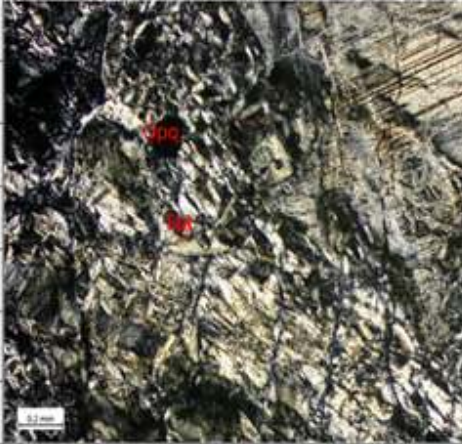
Model konseptual serpentinisasi pada tekanan tinggi dan genesa fluida kaya H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> di zona subduksi (modifikasi dari Brovarone dkk., dalam Ajeng, 2023)

Akibat dari serpentinisasi terbentuklah mineral-mineral magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) menjadi penyusun pada batuan ultrabasa yang teralterasi. Oleh sebab itu laterit besi dengan kandungan besi kadar tinggi potensial terbentuk pada batuan dasar yang terserpentinisasi. Pada laterit besi tersebut umum dijumpai oksida besi berupa gravel sampai bongkah.

Karakteristik dari batuan yang telah mengalami tingkat serpentinisasi tinggi, yakni memiliki kandungan mineral serpentin pada kisaran 60 – 100%. Hasil pengukuran tingkat serpentinisasi menggunakan *magnetic susceptibility* sampel di Laboratorium PEP Bandung, pada serpentinit diperoleh nilai  $9,33 \cdot 10^{-3}$  SI, tingkat serpentinisasi menengah, sedangkan pada harzburgit  $3,24 \cdot 10^{-3}$  SI, tingkat serpentinisasi rendah (Ajeng, 2023).



Pengukuran tingkat serpentinisasi menggunakan magnetic susceptibility. (A) Serpentinit  $9,33 \cdot 10^{-3}$  SI dan (B) Harzburgit  $3,24 \cdot 10^{-3}$  SI (Ajeng, 2023) mengindikasikan bahwa serpentinisasi meningkatkan kandungan mineral bersifat magnetik.

No Conto : AB 11326												Nama Batuan : Serpentin											
Lokasi : Pulau Sebuku																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
1											1											1	
2											2												
3											3												
4											4												
5											5												
6											6												
7											7												
// - Nikol												X - Nikol											

Sampel harzburgit. Hasil pengamatan secara nikol silang berwarna hijau gelap, memiliki tekstur *relict*, bentuk kristal mineral opaq subhedral – anhedral, bentuk kristal serpentin xenoblastik, bentuk mineral serpentin lepidoblastik, struktur non foliasi. Komposisi mineral terdiri dari 97% serpentin, dan 3% opaq. Kehadiran serpentin sebanyak 97% mengindikasikan bahwa harzburgit teralterasi kuat (Andri, 2024).

### Lateritisasi Besi

Daerah potensial terbentuk laterit besi kadar tinggi yaitu pada batuan ultrabasa yang teralterasi (terserpentinisasi) dengan kondisi tektonik yang stabil dalam kurun waktu lama sehingga cukup waktu untuk berlangsungnya proses lateritisasi membentuk endapan tebal. Ketebalan laterit sangat bervariasi tergantung fluktuasi air tanah yang diakibatkan oleh perbedaan musim kemarau dan musim hujan, serta rekahan-rekahan pada batuan dasar dan morfologi.

Akibat fluktuasi air tanah yang kaya CO<sub>2</sub> berinteraksi dengan saprolit yang masih mengandung sisa batuan induk, menyebabkan terlarutnya unsur-unsur pada mineral tidak stabil seperti serpentin dan piroksen. Mg dan Si unsur dengan sifat mobilitas tinggi terlarut dan mengendap di bagian bawah dari zona laterit.

Mg dan Si termasuk unsur penyusun utama (*major elements*) batuan ultrabasa. Akibat pengurangan dari unsur-unsur Mg dan Si yang sangat besar pada bagian atas

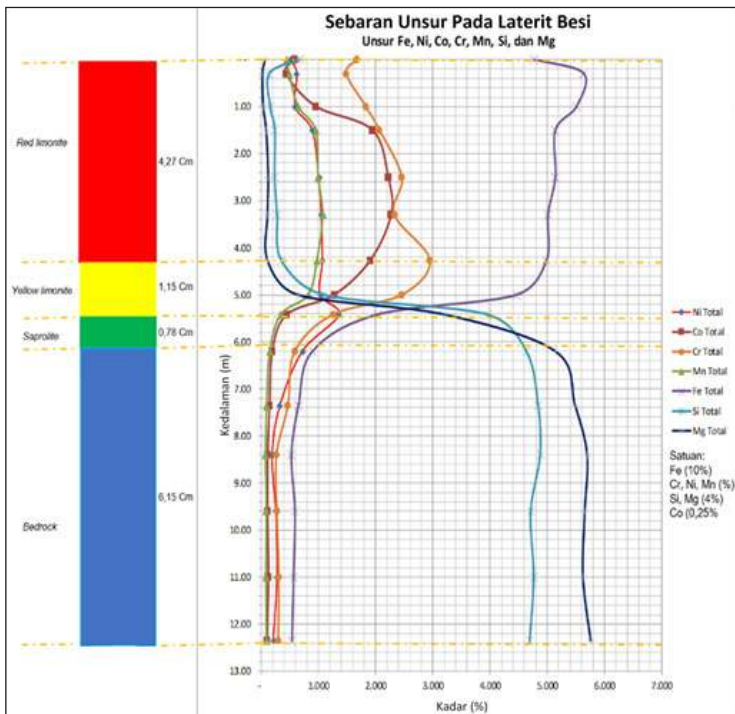
dari laterit, menyisakan unsur-unsur dengan mobilitas rendah yakni Fe, Co, Cr, dan Mn pada bagian atas zona laterit. Sementara kadar relatif Mg dan Si di zona laterit bagian bawah meningkat sampai 10 kali lebih tinggi.

Unsur-unsur Fe, Co, Cr, dan Mn lebih banyak tertinggal di bagian atas dari laterit tersebut, menghasilkan zona berkadar tinggi (pengkayaan) pada zona limonit, baik pada *red limonite* maupun *yellow limonite*. Mineral-mineral hasil pengkayaan pada zona limonit tersebut antara lain sebagai mineral hematit, gutit, dan manganit.

Contoh kasus di Pulau Sebuku, sebaran vertikal laterit besi, kadar Fe tinggi berada pada zona *red limonite* – *yellow limonite*, sedangkan pada zona saprolit dan batuan dasar kadar Fe rendah. Demikian juga pada sebaran ke arah lateral, unsur Fe berkadar tinggi berada pada zona *red limonite* dan *yellow limonite*. Litologi batuan dasar yang kandungan Fe pada lateritnya berkadar tinggi berupa harzburgit yang terserpentinisasi kuat dan serpentin.



Laterit besi, lokasi Pulau Sebuku (Andri, 2024)



Sebaran vertikal unsur Fe, Co, Cr, Ni, Mn, Mg, dan Si (satuan Cr, Ni, Mn dalam %, satuan Fe dalam 10%, satuan Si dan Mg dalam 4%, dan Co dalam 0,25%) lokasi di Pulau Sebuku (Andri, 2024)

Sedangkan laterit dengan batuan dasar berupa dunit dan gabro yang tidak mengalami sepeptinisasi mempunyai kadar Fe rendah. Asosiasi unsur Fe berdasarkan analisis dendrogram dan korelasi matrik, memperlihatkan bahwa Fe berasosiasi sangat kuat dengan unsur Co, Cr, dan Mn, berasosiasi sedang dengan unsur Ni. Fe mempunyai nilai korelasi negatif kuat dengan unsur Si dan Mg (Andri, 2024).

Penulis: mahasiswi Teknologi Geologi, angkatan 2021

# Nuklir: Menuju Emisi Nol

Oleh: Ainun Salsabila

Indonesia, dengan populasi yang terus meningkat dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhannya. Ketergantungan pada energi fosil seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam, yang merupakan sumber daya yang terbatas dan berdampak buruk bagi lingkungan, menjadi isu serius yang mendesak untuk segera dicarikan solusinya.



Rusia memiliki dua pembangkit listrik tenaga nuklir yang dibangun di Afrika dan sedang melakukan pembicaraan dengan beberapa negara lain mengenai rencana pembangunan (<https://www.intellinews.com>).

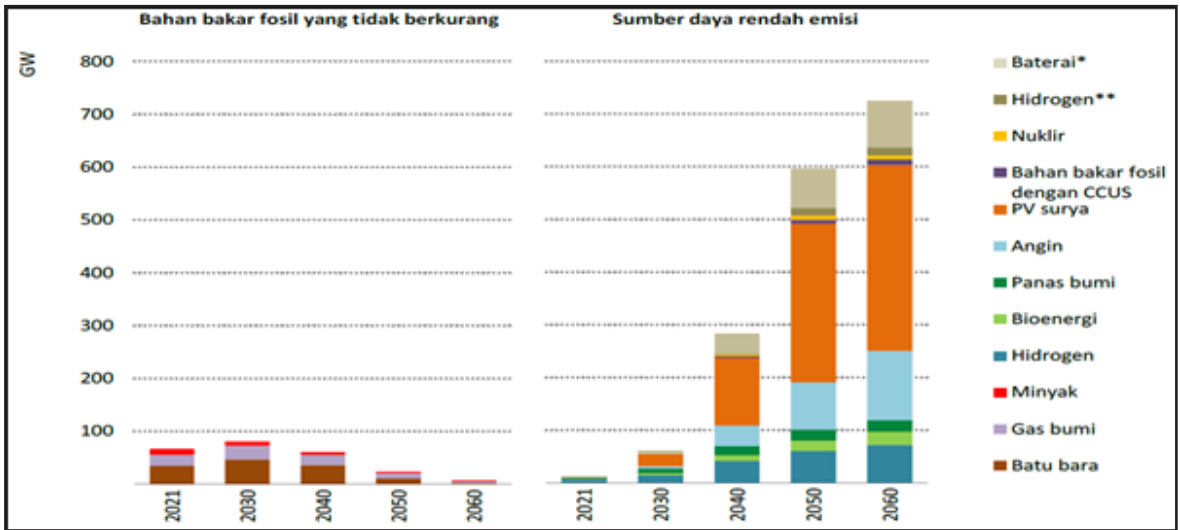
**K**ementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) bekerja sama dengan *International Energy Agency (IEA)* merumuskan peta jalan *Net Zero Emission* sektor energi Indonesia di tahun 2060. Hal ini merupakan perwujudan komitmen Indonesia sebagai bagian dari komunitas global dalam aksi mitigasi perubahan iklim

## Kebutuhan Listrik Indonesia

Saat ini, sumber daya energi dari sektor kelistrikan Indonesia mencapai 300 Terra

Watthour (TWh) dengan kapasitas pembangkit terpasang sebesar 63 Giga Watt (GW). Seiring berkembangnya zaman, kebutuhan listrik akan terus meningkat. Diperkirakan, pertumbuhan kebutuhan listrik Indonesia pada tahun 2060 mendatang mencapai 1.800 TWh.

“Pada tahun 2022, kebutuhan listrik di Indonesia telah mencapai 1.172 kWh/kapita dan terus naik seiring dengan pertumbuhan ekonomi Indonesia yang ditargetkan mencapai 5,3% di tahun 2023. Untuk itu, diperlukan penambahan kapasitas pembangkit yang



Kapasitas pembangkit listrik terpasang berdasarkan jenis di Indonesia dalam Skenario Pernyataan Ikrar, 2010-2060 (International Energy Agency, 2022)

berasal dari energi baru terbarukan (EBT). Sebagaimana komitmen Indonesia untuk berkontribusi dalam penurunan emisi sektor energi sebesar 358 juta ton CO<sub>2</sub> di tahun 2030," tutur Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), pada seminar Indonesia Economic Outlook 2023.

Berdasarkan data Kementerian ESDM, kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat setiap tahun. Pada tahun 2022, kebutuhan listrik nasional mencapai 270 TWh, dan diperkirakan akan terus meningkat hingga mencapai 410 TWh pada tahun 2030.

Melihat data kebutuhan listrik yang terus meningkat, Indonesia dihadapkan pada dilema. Di satu sisi, kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi dan populasi. Di sisi lain, bauran energi Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil, terutama batubara, yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan.

### Bauran Energi

Gambaran umum tentang bauran energi di Indonesia, menyoroti target untuk tahun 2025 dan 2050. Bauran energi saat ini masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil, dengan batu bara menyumbang 46% dan minyak serta gas masing-masing 26% dan 23%. Sumber energi terbarukan hanya menyumbang 5% dari bauran tersebut. Grafik ini juga menyoroti target ambisius Indonesia untuk beralih ke masa depan energi yang lebih berkelanjutan.

Pemerintah Indonesia dalam hal ini Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) bekerjasama dengan International Energy Agency (IEA) mempersiapkan Peta Jalan Menuju Emisi Nol Bersih, pada Sektor Energi di Indonesia. Melengkapi pemodelan serta analisis yang telah dilaksanakan di Indonesia untuk menyempurnakan target emisi nol bersih. Peta jalan tersebut hadir pada saat yang bersejarah bagi Indonesia di mana Indonesia menjadi tuan rumah Presidensi G20 untuk pertama kalinya pada tahun 2022.

### Produksi Listrik dari Energi Fosil

Menurut lembaga think tank Ember Climate, puncak pembangkit listrik berbahan bakar fosil telah lewat. Produksi listrik dari energi fosil memiliki dampak negatif yang

signifikan terhadap lingkungan. Pembakaran batubara, minyak bumi, dan gas alam menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida, yang merupakan penyebab utama perubahan iklim. Selain itu, eksploitasi sumber daya fosil juga menimbulkan kerusakan lingkungan seperti pencemaran air dan udara, serta degradasi lahan.

Pada tahun 2025, targetnya adalah untuk meningkatkan pangsa energi terbarukan menjadi 23% dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Pada tahun 2050, tujuannya adalah untuk lebih meningkatkan energi terbarukan menjadi 31%, dengan pengurangan yang signifikan dalam penggunaan bahan bakar fosil. Lembaga think tank tersebut juga menambahkan, kini dunia perlu terus memfokuskan upaya meningkatkan energi yang ramah lingkungan agar dapat menurunkan emisi dengan cepat.

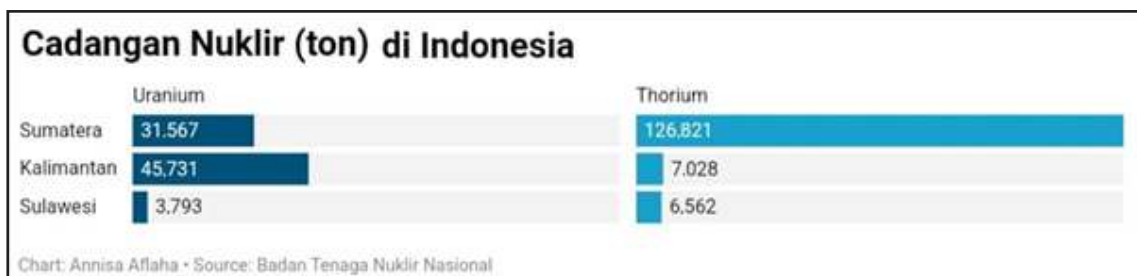
Energi nuklir menjadi solusi yang menjanjikan untuk menggantikan energi fosil dalam skala besar, terutama dalam mencapai target emisi nol. Kemampuannya untuk menghasilkan energi dalam skala gigawatt, bahkan puluhan gigawatt, menjadikannya pilihan yang ideal untuk memenuhi kebutuhan energi yang besar dan terus meningkat. Keunggulan energi nuklir terletak pada efisiensi

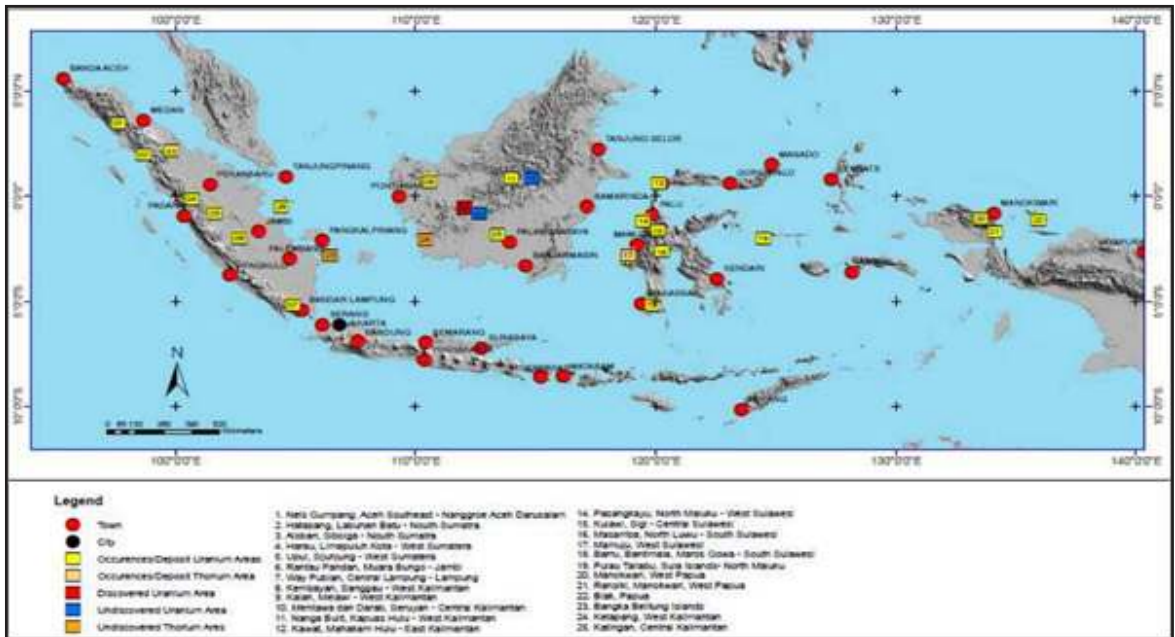
dan keandalannya dalam menghasilkan energi listrik secara konsisten, tanpa menghasilkan emisi karbon yang berbahaya bagi lingkungan. Meskipun terdapat tantangan terkait keamanan dan pembuangan limbah radioaktif, pengembangan teknologi nuklir yang lebih aman dan pengelolaan limbah yang efektif dapat membuka jalan untuk memanfaatkan potensi energi nuklir secara bertanggung jawab dan berkelanjutan.

### Potensi Energi Nuklir Indonesia

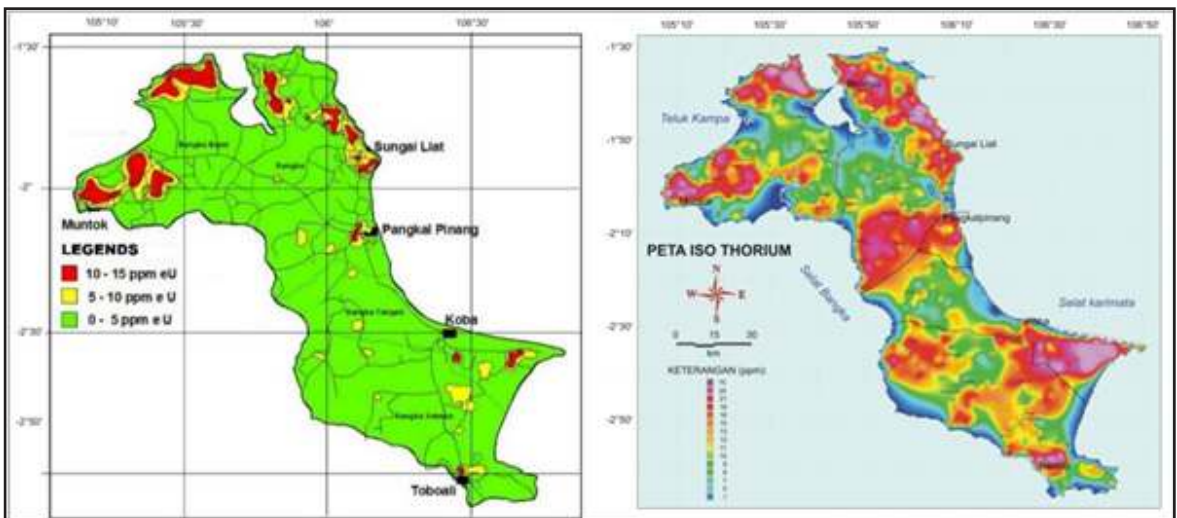
Indonesia memiliki potensi energi nuklir yang besar, yang dapat menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat. Energi nuklir dianggap lebih efisien daripada sumber energi konvensional lainnya seperti batubara, minyak, atau gas alam. Indonesia perlu memperkenalkan tenaga nuklir untuk dapat memperbaiki kondisi lingkungan atmosfer dan mendukung pertumbuhan energi yang berkelanjutan. Pemanfaatan energi nuklir secara besar-besaran dapat membantu meningkatkan konsumsi energi dari sumber daya energi baru dan terbarukan (EBT) dalam skala besar di Indonesia.

Beberapa wilayah di Indonesia memiliki sumber daya uranium yang signifikan, seperti di Bangka Belitung yang memiliki cadangan uranium yang cukup besar, yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi nuklir. Eksplorasi dan pemanfaatan uranium di Bangka Belitung dapat menjadi sumber energi baru yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Kemudian Rirang (Kalimantan Barat) juga memiliki potensi uranium yang signifikan, yang dapat dieksplorasi lebih lanjut. Pengembangan





Peta persebaran uranium di Indonesia (Bastori dan Birmano, 2017)



Peta radioelement ekuifalen uranium di Pulau Bangka (Ngadenin, dkk., 2023) (kiri). Zonasi anomali thorium di Pulau Bangka (BATAN, 2014) (kanan).

energi nuklir di Rirang dapat memberikan kontribusi besar bagi perekonomian daerah dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat, dan beberapa lokasi lainnya.

## RI Resmi Menyetujui Tambang Bahan Bakar Nuklir

Presiden telah resmi menyetujui para pengusaha yang ingin menambang bahan baku nuklir di Indonesia. Melansir data Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) pada 2020, Indonesia memiliki bahan baku nuklir berupa sumber daya uranium sebanyak 81.090 ton dan juga thorium sebanyak 140.411 ton. Dari total tersebut bahan baku pun tersebar di beberapa daerah, di antaranya di Sumatera tercatat memiliki sekitar 31.567 ton uranium dan 126.821 ton thorium. Sementara Kalimantan memiliki sebanyak 45.731 ton uranium dan 7.028 ton thorium. Sulawesi memiliki 3.793 ton uranium dan 6.562 ton.

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Arifin Tasrif menyatakan bahwa kedua harta karun tersebut dapat digunakan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN).

“90 ribu ton itu bisa membangun kurang lebih 12 Giga Watt (GW) PLTN selama 30 tahun,” ungkap Arifin dikutip CNBC Indonesia saat berbincang dengan Badan Legislatif (Baleg) DPR pada Maret 2022.

Dengan potensi Thorium itu Indonesia bisa mengembangkan PLTN dengan kapasitas 548 GW untuk masa 30 tahun. Thorium sendiri kerap disebut sebagai nuklir hijau, sebab limbah radioaktif yang dihasilkan thorium jauh lebih rendah dibandingkan dengan uranium dan energi yang dihasilkan jauh lebih besar.

Menurut BRIN, potensi tersebut sudah cukup sebagai modal Indonesia untuk memenuhi kebutuhan energi bersih menggunakan tenaga nuklir ini. BRIN mencatat

ada 28 wilayah potensial di Indonesia yang bisa menjadi lokasi PLTN. Salah satu lokasi potensial PLTN tersebut ada di Kalimantan Barat yang diprediksi memiliki kapasitas sekitar 70 GW hingga 2060.

Namun, BRIN tidak merinci 27 wilayah lainnya yang memiliki potensi menjadi lokasi PLTN di Indonesia. Setidaknya dua proyek nuklir di Indonesia yakni PLTN di Bangka Belitung dan Kalimantan Barat. Indonesia sudah memiliki roadmap PLTN dari PT Thorcon Power Indonesia. Dalam peta jalan tersebut, Indonesia akan memiliki PLTN dengan kapasitas 500 megawatt (MW) pada 2032. Small Modular Reaktor Nuklir di Kalimantan Barat Subholding PT PLN (Persero).

PT. PLN Indonesia Power (PLN IP) juga berencana akan melakukan studi pengembangan *nuclear small modular reactor* di Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat pada 2030. Langkah ini dilakukan sebagai Upaya mempercepat transisi energi di Indonesia (<https://www.cnbcindonesia.com>).

Dengan potensi sumber daya yang melimpah dan komitmen pemerintah untuk mengembangkan energi nuklir, Indonesia memiliki peluang besar untuk membangun masa depan energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Pengembangan energi nuklir di Indonesia diharapkan dapat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

Penulis:  
Mahasiwa Teknologi Geologi, Angkatan 2024

# Kejarlah ilmu Sampai ke Negeri Cina



Oleh: Fasya Zahra Fauziyyah Ramdani

Itulah pepatah yang sering kita dengar.

Jauh banget gak sih jika sampai ke negeri cina? Eitss... Kata-kata tersebut merupakan sebuah kiasan yang berarti tuntutlah ilmu kemanapun dan dimanapun kita berada. Tapi kenapa harus cina? Mungkin bisa negara lain?

**D**apat kita ketahui bahwa hingga saat ini cina merupakan negara yang unggul dan memiliki kemajuan yang pesat di bidang ilmu dan teknologi. Namun, perlu di garis bawahi bahwa otentisitas pepatah tersebut masih menjadi dasar pepatah yang diperdebatkan oleh para ulama. Terlepas dari keabsahannya, sebagai seorang manusia kita patut mengambil pesan moral yang terkandung di dalamnya dan jadikan pepatah tersebut menjadi pedoman dan motivasi kita dalam menuntut ilmu.

Kenapa ilmu itu penting? Karena ilmu merupakan salah satu jalan menuju dunia pekerjaan. Dalam bekerja ilmu akan selalu di perlukan, kerena kedepannya kegiatan

yang biasa kita lakukan itu dapat tergantikan oleh penggunaan robot. Salah satu hal yang menjadi pembeda antara kita dan robot adalah ilmu. Oleh karena itu, tanamkanlah motivasi dalam diri untuk selalu belajar dan mencoba hal-hal baru.

Dunia pekerjaan dan dunia perkuliahan sangatlah berbeda. Saat kuliah kita di tuntut untuk belajar dengan tujuan mendapatkan nilai yang sempurna. Namun, jika di dunia pekerjaan kita di tuntut untuk selalu konsisten dan semangat dalam mengerjakan pekerjaan sehari-hari.

Apakah sulit jika harus selalu konsisten dan semangat? Jika kita melihat dan mendengar kata tersebut pasti terdengar mudah untuk

dilakukan, tapi pada kenyataannya, melakukan hal tersebut tidaklah mudah. Akan banyak hal baru yang terjadi di dunia pekerjaan baik itu dari sisi tekanan pekerjaan, lingkungan dan inovasi.

Salah satu lulusan Geologi PEP Bandung Angkatan 19 yaitu Abraham Brami Tangkawang dan Choirunnisa A'ssadiyah dan Angkatan 20 Ayu Cahya Ningrum dapat kita jadikan contoh untuk generasi-generasi selanjutnya.

### Choirunnisa Ass'adiyah (Geologi 19)

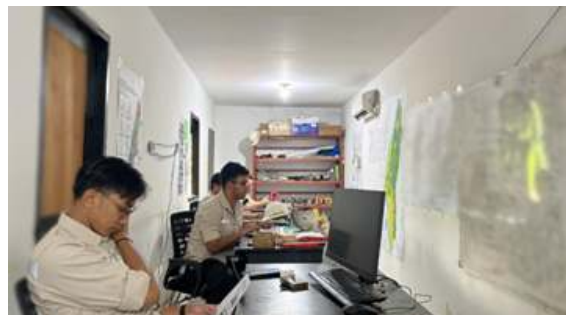
Choirunnisa Assadiyah, saat ini bekerja sebagai seorang database geologist di sebuah Perusahaan yaitu PT Sebuku Iron Lateritic Ores. Menjadi seorang database dapat dikatakan cukup berat karena diperlukan ketelitian yang sangat tinggi. Pasalnya pekerjaan tersebut berkitik dengan angka dan data yang sangat fatal jika membuat kesalahan di dalamnya.



Suasana kerja Choirunnisa Assa'diyah (Tengah) sebagai database geologist berada di kantor departemen Geology and Development

### Abraham Brami (Geologi 19)

Abraham Brami, saat ini bekerja sebagai seorang geologist di sebuah Perusahaan yaitu PT Sebuku Iron Lateritic Ores. Lingkup pekerjaan seorang geologist meliputi data research salah satunya mapping, membuat plan pemboran, logging, sampling dan mengawasi pekerjaan operational lapangan. Kegiatan tersebut menjadi rutinitas yang dilakukan oleh Abraham.



Suasana kerja Abraham Brami saat sedang melakukan bekerja di area kantor (Bawah) dan suasana *coreshed* atau tempat untuk melakukan *logging core* (atas)

Tantangan sebagai seorang geologist sendiri adalah ia harus mampu improve skill dari segi pemodelan dan keilmuan di bidang geology karena pasalnya kondisi geology di setiap tempat itu berbeda oleh karena itu di perlukan semangat untuk terus belajar sangat diperlukan.

Selain bekerja saat ini Choirunnisa dan Abraham melanjutkan pendidikannya di salah satu universitas di Bogor.

### Ayu Cahya Ningrum

Ayu cahya ningrum merupakan satu-satunya mahasiswa Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung yang mendapatkan



Acara penyerahan sertifikat tanda tamat melakukan collage di Xiangsihu Collage of Guangxi Minzu University yang berada di Nanning, Guangxi, Cina (Sumber: laman Instagram Ayu cahya)

kesempatan untuk langsung melanjutkan studinya menuju jenjang S1. Namun, studi yang di ambil oleh ayu berbeda dengan studi yang telah ia selesaikan sebelumnya. Setelah sebelumnya dia mengambil jurusan geologi dan selanjutnya ia memilih untuk studi Bahasa mandarin di salah satu universitas di Bandung. Dengan semangatnya ia menerima beasiswa untuk *studi abroad* ke negara yang benar-benar sesuai dengan pepatah.



Ayu cahya telah menyelesaikan pendidikan (*collage*) dan melaksanakan wisuda di Xiangsihu Collage of Guangxi Minzu University (Sumber: laman Instagram Ayu Cahya)

Ya!.. dia mendapatkan kesempatan untuk belajar Bahasa mandarin lebih lanjut di negeri Cina selama kurang lebih 1 tahun. Saat ini, ia telah selesai menempuh pendidikannya di cina dan Kembali ke tanah air.

Namun, siapa sangka keputusannya untuk memilih lintas studi menjadikan itu sebuah *previlage* bagi dirinya sendiri. Sesaat sebelum ia tiba di tanah air, ia sudah mendapatkan kesempatan untuk bekerja di sebuah Perusahaan yang berlokasi di Morowali, Sulawesi Tengah.

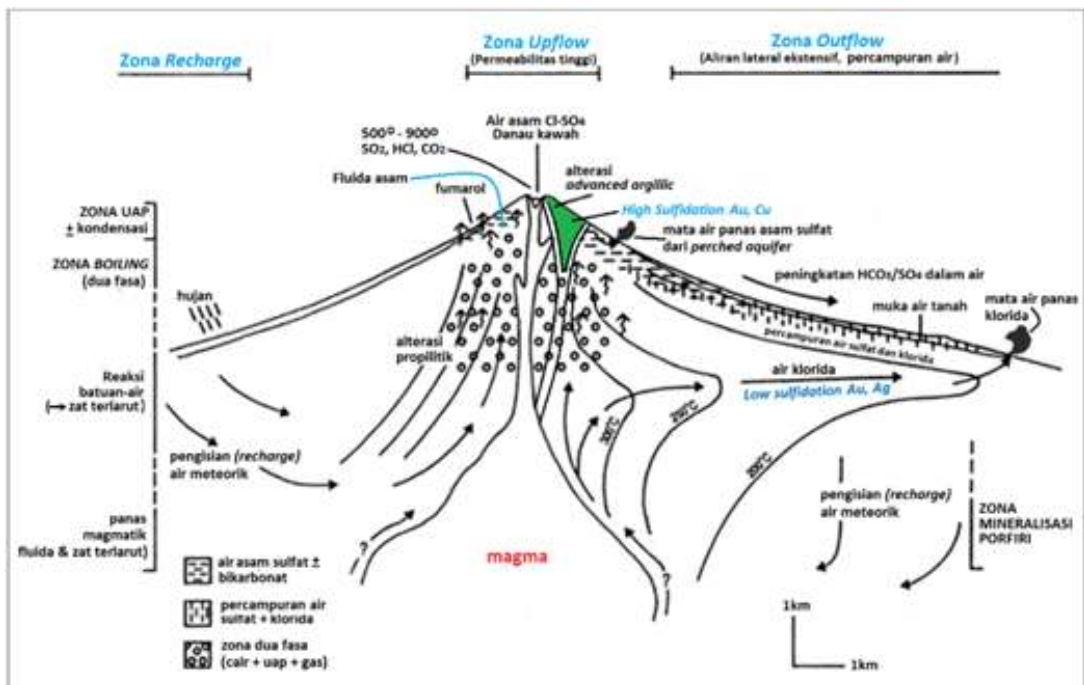
Dari beberapa cerita di atas, bisa kita lihat betapa pentingnya ilmu baik saat di dunia perkuliahan ataupun dunia pekerjaan. Hingga kapanpun ilmu akan terus diperlukan, tidak ada ilmu yang akan menjadi sia-sia. Sebagai manusia kita tidak akan pernah tahu ilmu mana yang mengantarkan kita mencapai kesuksesan. Jalan kehidupan orang memanglah berbeda, tapi tetap saja yang menentukan jalan tersebut adalah diri kita sendiri sesuai dengan pepatah "kejarlah ilmu sampai ke negeri cina".

Semoga pembaca artikel ini mendapatkan kesempatan untuk melanjutkan *study* dan bahkan bekerja di luar negeri. Namun tetap ingat, setelah kita mendapatkan ilmu dan pengalaman jauh di luar sana, bawalah pulang ilmu tersebut. Karena rumah kita tetaplah Indonesia.

# Perbedaan Tipe Mineralisasi High Sulphidation dan Low Sulphidation

Oleh: Putri Rindu Bunga Kasih

Tipe *low sulphidation* dikenal juga dengan tipe adularia, sedangkan tipe *high sulphidation* disebut juga tipe enargit atau tipe asam sulfat. Tipe *low sulphidation* umumnya berupa urat, sedangkan *high sulphidation* tersebar.



Sistem hidrotermal didominasi fasa cair, pada daerah dengan relief tinggi (modifikasi dari Nicholson, 1993)

Tipe mineralisasi *High Sulphidation (HS)* dan *Low Sulphidation (LS)* merupakan pembagian dari endapan epitermal berdasarkan tingkat sulfidasinya atau juga tingkatan oksidasi sulfur yang terdapat pada fluida bijihnya. Meskipun kedua tipe endapan ini dihasilkan oleh sistem batuan beku yang sama, namun keduanya memiliki karakteristik yang sangat berbeda. Secara umum proses pembentukan mineralisasi bijih kedua jenis endapan tersebut dipengaruhi salah satunya adalah kontrol hidrotermal.

## Hidrotermal

Larutan hidrotermal merupakan larutan panas dengan temperatur 5°C - 500°C yang berasal dari sisa cairan magma dari dalam bumi yang bergerak ke atas dan juga kaya akan komponen-komponen (*kation* dan *anion*) pembentuk mineral bijih, terbentuk pada tekanan relatif tinggi (Bateman, 1950; Pirajno, 2009). Akibat temperatur dan tekanan yang tinggi, sehingga cairan sisa magma ini bergerak menuju permukaan, bersentuhan dan berinteraksi dengan batuan sekitarnya yang

dilewati dalam kurun waktu geologi. Aliran *up flow*, konveksi hidrotermal yang relatif ke arah vertikal atau ke atas merupakan tipe dari *high sulfidation*. Sedangkan aliran *out flow*, konveksi hidrotermal relatif ke arah horizontal atau ke arah samping merupakan tipe dari *low sulfidation*.

Cairan sisa magma mampu mengubah mineral yang telah ada sebelumnya, atau menyebabkan terlarutnya mineral-mineral dan logam dari batuan tersebut dan bercampur dengan larutan yang ada sebelumnya, sehingga membentuk mineral-mineral tertentu. Umumnya kristalisasi cairan sisa magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali, dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur volatil. Larutan hidrotermal terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau juga pada zona-zona lemah (Bateman, 1981). Interaksi yang terjadi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya atau batuan samping (*wall rock*) menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder disebut dengan alterasi.

Sumber air dari larutan hidrotermal yaitu cairan sisa magma, air magmatik, air meteorik, air metamorfik, dan air konat. Sebagian besar larutan hidrotermal merupakan pencampuran antara beberapa jenis air tersebut. Selain itu beberapa hal penting yang berperan dalam pembentukan endapan bijih hidrotermal, yaitu: jenis magma, komposisi batuan yang mengalami interaksi dengan fluida, pH, temperatur, serta kondisi fisik misalnya ada zona pendidihan (*boiling*). *Boiling* terjadi sebagai akibat penurunan tekanan pada fluida akibat mengalir menuju arah permukaan. Akibat terjadinya pendidihan (*boiling*) daya larut hidrotermal mendadak turun, sehingga daya larutnya menurun menyebabkan bahan-bahan seperti emas dan logam ikutannya yang semula terlarut menjadi mengendap atau terpresipitasi. Sumber logam pada larutan hidrotermal, yaitu: berasal dari batuan dan material yang dilalui oleh larutan hidrotermal, dari magma itu sendiri, dan kombinasi di antara keduanya seperti pada

sistem geotermal. Pada hidrotermal semakin tinggi temperatur semakin tinggi bahan yang dapat terlarut (*Total Dissolved Solid*).

Larutan hidrotermal erat kaitannya dengan aktivitas gunung api, baik yang aktif maupun juga yang baru aktif, dan berkaitan dengan tubuh intrusi. Larutan hidrotermal juga sering dijumpai berasosiasi dengan sebuah sistem panas bumi (*geothermal system*). Menurut Pirajno (2009), secara umum proses pembentukan *ore* atau mineralisasi bijih pada endapan jenis hidrotermal dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol, yaitu:

1. Larutan hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral
2. Zona lemah atau permeabilitas yang berfungsi sebagai saluran untuk lewatnya larutan hidrotermal
3. Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal
4. Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk/*host rock* dengan larutan hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral bijih (*ore*)
5. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral bijih (*ore*)

Akibat larutan larutan hidrotermal yang bersifat sangat cair (*liquid*), sehingga larutan ini sangat mudah untuk melalui bidang bidang rekahan atau pori-pori pada batuan yang dilewarkannya kemudian mengalami pendinginan dan mengendapkan ion-ion logam. Endapan hidrotermal merupakan jenis endapan bijih yang penting karena endapan ini merupakan salah satu sumber dari bijih emas dan tembaga serta logam-logam ekonomis lainnya. Berdasarkan tipe dan model endapannya, endapan hidrotermal dapat dibagi menjadi tipe endapan antara lain: endapan epitermal (yang akan dibahas lebih lanjut terkait Tipe HS dan LS), endapan tembaga porfiri, endapan skarn, endapan *volcanogenic massif sulfide* (VMS), endapan *sedimentary exhalative* atau (SEDEX).

### Endapan Epitermal

Tipe endapan epitermal terbentuk berkaitan erat dengan aktivitas vulkanisme

pada suatu daerah. Umumnya sistem epitermal ditandai dengan munculnya manifestasi aktivitas vulkanisme dangkal di atas permukaan bumi yaitu dalam bentuk mata air panas (*hot spring*) atau *fumarole*. Endapan epitermal mengalami proses mendidih (*boiling*) pada temperatur antara 200-300°C, dapat dilihat pada gambar (modifikasi dari Nicholson, 1993). Endapan epitermal biasanya berasosiasi dengan tipe endapan hidrotermal lainnya. Terdapat hubungan yang dekat antara keberadaan endapan-endapan hidrotermal dengan pusat-pusat magmatisme.

Mineral bijih yang berasosiasi dengan tipe endapan epitermal yaitu antara lain emas (Au), perak (Ag), tembaga (Cu), antimoni (Sb), arsen (As), dan merkuri (Hg). Proses pengendapan bijih terjadi karena larutan bergerak ke permukaan, mengalami perubahan komposisi dengan cepat pada jarak satu kilometer dari sumbernya atau di permukaan. Perubahan komposisi tersebut disebabkan antara lain oleh pendidihan (*boiling*), yang menyebabkan terjadinya proses presipitasi logam kompleks bisulfida seperti emas. Proses pendidihan diikuti dengan pendinginan yang cepat menghasilkan berbagai fitur yang berhubungan, seperti dengan pengendapan mineral *gangue* kuarsa dengan tekstur *colloform*, *adularia*, dan *banded-calcite*, serta pembentukan *steam-heated waters* yang menghasilkan alterasi, dan halo *advanced argillic* (argilik lanjut) dan argilik.

Secara umum endapan epitermal terbagi menjadi dua tipe berdasarkan tingkat sulfidasinya atau tingkat oksidasi sulfur di dalam fluida bijihnya, yaitu:

1. Endapan tipe *high sulphidation* (Sulfida tinggi; HS) yang terbentuk pada sistem vulkanik-hidrotermal
2. Endapan tipe *low sulphidation* (Sulfida rendah; LS) yang terbentuk pada sistem geotermal (Hedenquist, dkk., 2000; Corbett, 2013)

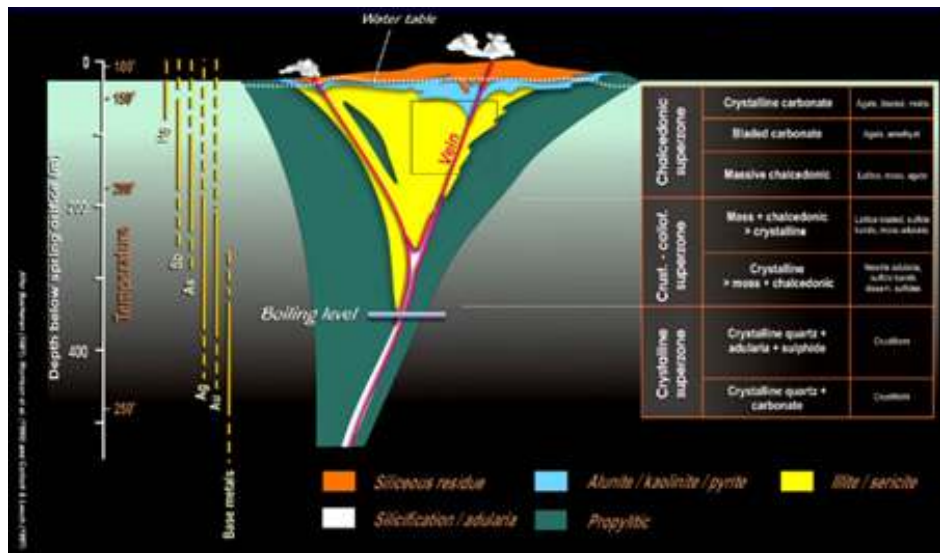
Dalam beberapa pustaka juga dikenal adanya sistem endapan *intermediate sulphidation* atau IS (Robert, dkk., 2007) yang oleh beberapa ahli kerap dimasukkan ke dalam pembahasan sistem endapan LS.

Istilah sulfidasi digunakan untuk menunjukkan kestabilan mineral-mineral pembawa sulfur.

### Tipe Low Sulphidation

Endapan epitermal sulfida rendah terbentuk jauh dari tubuh intrusi, dimana larutan hidrotermal yang naik melalui zona rekahan, kemudian bereaksi dengan batuan sekitar dan air meteorik bersifat encer sehingga pH-nya terus berkurang hingga mendekati netral (Corbett & Leach, 1998). Endapan dengan sistem sulfidasi rendah atau *low sulphidation system* dicirikan oleh larutan/fluida yang sifatnya netral dalam kondisi reduksi yang mengandung S dan H<sub>2</sub>S juga memperlihatkan adanya interaksi antara komponen air meteorik dan air magmatik. Pada tipe sulfidasi rendah pengendapan (presipitasi) silika dan mineral bijih, terutama emas umum terjadi karena dikontrol oleh adanya proses pendidihan (*boiling*) yang disebabkan karena adanya penurunan tekanan dari larutan dalam menuju permukaan. Proses *boiling* biasa diindikasikan dengan terdapatnya kristal silika yang berbentuk pipih yang menggantikan kalsit. Ketika mencapai permukaan larutan akan keluar dan mengkristal, yang mengakibatkan silika terendapkan dan membentuk undak-undak silika yang disebut dengan *silica sinter terrace*. Urat-urat yang dibentuk oleh endapan LS umumnya memperlihatkan perlapisan yang bagus (*banded*), sering dijumpai terjadi perulangan antara silika dan karbonat serta menunjukkan tekstur pengisian rekahan (*open-space filling*).

Pola alterasi yang diperlihatkan oleh endapan ini tidak terlalu intensif seperti yang ditunjukkan oleh endapan HS, kecuali pada batuan samping yang relatif permeable. Alterasi batuan samping membentuk zonasi yang terdapat pada bagian dalam didominasi oleh mineral lempung jenis *illite-smectite* dan di beberapa tempat ditutupi oleh zona alterasi sulfat asam dengan cirinya adalah terdapat kristobalit, kaolin, dan sedikit alunite. Pada skala kecil, endapan LS biasanya dijumpai dalam batuan vulkanik, tetapi juga bisa dijumpai pada batuan *basement*-nya. Pola alterasi pada endapan ini memperlihatkan adanya zonasi secara lateral dari proksimal yang dicirikan



Model alterasi dan mineralisasi tipe *low sulfidation*. Buchanan, (1981), Morrison, dkk., (1990), Corbett, dan Leach, (1997).

dengan kuarsa-kalsedon-adularia, pada urat-urat yang termineralisasi biasanya akan memperlihatkan *curstiform-collofrom bading* dan *platy*, kuarsa dengan *lattice-texture* yang mengindikasikan proses *boiling*, sampai dengan kumpulam *ilite-pyrite* pada bagian distal berupa kumpulan alterasi propilitik. Kehadiran ilit mengindikasikan bahwa pH larutan cenderung normal atau netral. Ciri lain yang sangat khas pada sistem endapan ini yaitu dengan banyak dijumpai *stockwork*, yaitu urat-urat halus yang memotong *host-rock*.

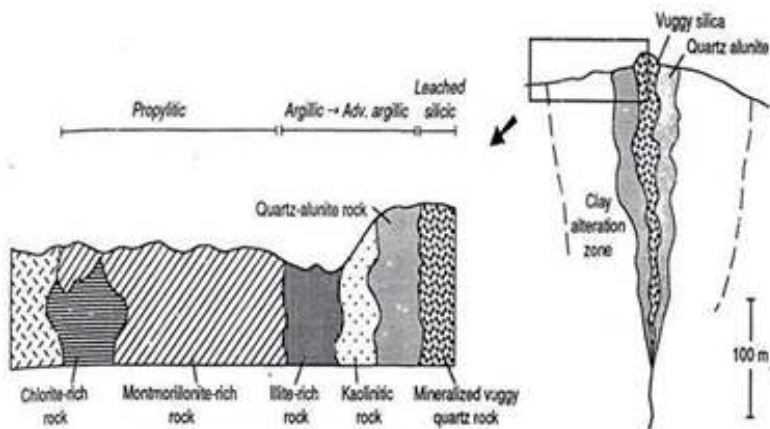
Emas epitermal LS (Bonham, 1986; Morisson dkk., 1990; White and Hedenquist, 1990; Almaden Minerals, 2007) dicirikan dengan kandungan sulfida (Pb-Zn) yang relatif rendah dan terdapat dalam bentuk urat, pengisian rongga, dan urat menjanging (*stockworks*). Mineralnya dapat berupa emas, perak murni, argentit, dan logam dasar. Ubahan hidrotermal yang sangat mencolok adalah hadirnya mineral adularia dengan tekstur mineral kuarsa berupa *bladed calcite*, sisir (*comb*), dan berlapis/*banded* (Corbett dan Leach, 1995).

### Tipe High Sulphidation

Endapan *high sulphidation system* (HS) dibentuk oleh adanya reaksi antara larutan panas yang berasal dari magma dengan air meteorik yang kemudian membentuk larutan

bersifat sangat asam dan dalam kondisi oksidasi. Dalam larutan tersebut S (sulfur) hadir bersama HCl berupa  $SO_2$  dan  $H_2S$ .  $H_2S$  teroksidasi dengan  $H_2O$  membentuk asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Asam sulfat tersebut merupakan larutan asam yang sangat aktif/kuat dan akan menyebabkan terjadinya proses *leaching* atau pelindian terhadap batuan samping menghasilkan alterasi argilik lanjut (*advanced argillic*). Temperatur pada larutan berkisar antara 200-300° dengan pH 0-2 dan salinitas 2-5 wt% setara NaCl.

Mineral yang umum dijumpai adalah silika dengan tekstur *vuggy*, silika-alunit, *pyrophyllite-diaspore* dan *dickite-kaolinite*. Endapan emas HS biasanya juga berasosiasi dengan *energite-pyrite-barite-alunite* (Corbett, 2012). Endapan ini juga dicirikan oleh kehadiran luzonit dan energit. Secara lokal, sistem endapan HS ditemukan menyebar luas pada daerah busur vulkanik bersifat kalk-alkalin yang didominasi oleh gunung api andesitik. Umumnya endapan ini terbentuk pada bagian atas dari endapan porfiri tembaga-emas-molibdenum. Kehadiran mineral alunite merupakan hasil alterasi dari feldspar yang merupakan salah satu penciri khas dari endapan HS disamping *vuggy silica* yang menunjukkan kondisi larutan yang sangat asam. Cebakan emas epitermal *high sulphidation* dicirikan oleh kandungan mineral sulfida yang relatif tinggi (Cu); terdapat dominan berupa urat menjanging/*storckworks*



Tubuh bijih *High Sulphidation* yang memperlihatkan zona inti silisik (Stoffregen, 1987; Steven and Ratté, 1960; White, 1991; dalam Hedenquist et al., 2000).

dalam silika *vuggy* dengan mineral ubahan petunjuk berupa alunite (hipogen) (Hayba dkk., 1985).

Endapan ini terletak pada zona alterasi *advanced argillic* dengan volume besar yang terbentuk oleh percampuran uap magma asam dengan air tanah di atas zona intrusi porfiri yang termineralisasi (Hedenquist, dkk., 1998; Hedenquist, dkk, 2000). Umumnya zona alterasi *advanced argillic* memperlihatkan kenampakan adanya zona dari bagian proximal *vuggy silica* sampai dengan kumpulan mineral pencari seperti alunite, *pyrophyllite*, *dickite* dan *kaolinite* sampai yang distal yang dijumpainya alterasi *argillic*. Pada bagian tengah dari zona teralterasi silikaan (*siliceous zone*) merupakan daerah utama yang mengandung bijih pada endapan HS.

### Perbedaan Tipe *Low Sulphidation* dan *High Sulphidation*

Hal yang penting dalam mempelajari endapan epitermal, terutama untuk membedakan antara sistem endapan LS dan HS adalah dengan mempelajari tekstur endapan. Pada tipe adularia, reaksi antara larutan hidrotermal dan batuan sampling berlangsung dalam kurun waktu yang relatif lama. Akibatnya, larutan menjadi encer dan pH-nya bersifat netral yang menyebabkan silika akan terlarut. Silika akan mengalami pengendapan (*presipitasi*) sebagai kuarsa pada zona pendidihan (*boiling*) karena tekanan menurun

akibat hidrotermal yang melewati rekahan/patahan zona *out flow*. Presipitasi kuarsa ini diikuti oleh presipitasi emas dan logam-logam lainnya menghasilkan urat-urat yang berlapis, pada setiap lapisan uratnya mewakili tahapan yang berbeda. Tipe adularia (LS) biasanya memperlihatkan zonasi lateral dari zona proksimal yaitu kuarsa-kalsedon-adularia pada daerah mineralisasi, umumnya menampilkan tekstur perlapisan yang khas yaitu *crustiform-colloform*, pipih (*lattice-textured quartz*), *bladed quartz*, adularia menjarum, *sulphide bands* dan *open-space fillings*. Tekstur ini mengindikasikan tipe adularia pada lingkungan yang dangkal dengan bentuk endapan berupa urat. Tekstur *colloform bands*, adanya akumulasi silika koloidal, merupakan zona bagi emas pada urat *low sulphidation* kadar tinggi.

Sedangkan pada tipe enargit atau tipe asam sulfat, dihasilkan oleh larutan (didominasi oleh gas  $\text{SO}_2$ , HF, dan HCl) yang berasal dari magma yang panas. Larutan tersebut kemudian bereaksi dengan air tanah sehingga membentuk asam kuat. Larutan asam ini akan melarutkan batuan sampling yang dilewatinya yaitu zona *up flow* dan hanya meninggalkan silika, umumnya dalam bentuk seperti bunga karang atau *sponge* yang disebut dengan *vuggy silica*. Pada tipe HS, presipitasi terjadi karena pH menurun akibat fluida yang sifatnya asam bereaksi dengan air meteorik, hal ini menyebabkan daya larutnya turun. Zonasi berkembang mulai dari *vuggy silica* sampai dengan kumpulan mineral alterasi *advanced*

**Tabel Karakteristik Endapan *Low Sulfidation* dan *High Sulfidation* (Hedenquist, 2000).**

Endapan Low Sulfidation <sup>1</sup>		Endapan High Sulfidation			
Batuan vulkanik yang berhubungan secara genetik	Andesit-riodasit (AR), riolit bimodal-basal (RB), alkali (A)		Andesit-riodasit, didominasi magma kalk-alkali		
	Dangkal	Dalam	Dangkal <sup>2</sup>	Intermediet <sup>2</sup>	Dalam (porfiri) <sup>2</sup>
Kedalaman pembentukan	0-300 m	300-800 m (jarang >1.000 m)	<500 m	500-1.000 m	>1.000 m
Tataan, tipe batuan induk	Kubah; piroklastik dan batuan sedimen	Kubah, diatrema (AR,A): piroklastik dan batuan sedimen	Kubah, lubang utama; piroklastik dan batuan sedimen	Kubah, diatrema; batuan vulkanik	Kubah-diatrema; porfiri, vulkanik, batuan sedimen klastik
Bentuk endapan	Urut ( <i>vein</i> ), <i>vein swarm</i> , <i>stockwork</i> , tersebar ( <i>disseminated</i> )	Urut, tubuh breksi, tersebar	Breksi tersebar dan <i>veinlet</i>	Urut sulfida masif, breksi, ledges	<i>Dissemination</i> , <i>veinlets</i> , breksi
Tekstur bijih	<i>Fine bands (memita)</i> , <i>combs</i> , <i>crustiform</i> , breksi	<i>Coarse bands</i>	<i>Vuggy quartz hosts replacement</i>	Sulfida masif, <i>late veins</i> /breksi	Penggantian ( <i>Replacement</i> )
Alterasi	<i>Alunite-kaolinite blanket</i> , <i>clay halo</i>	Lempung, serisit, karbonat, <i>roscoelite</i> , fluorit (A)	Silisik ( <i>vuggy</i> ), kuarsa-alunit	Silisik ( <i>vuggy</i> ), kuarsa-alunit, piropilit-dikkit-serisit	Piropilit-serisit, kuarsa-serisit
Mineral pengotor <sup>3</sup> ( <i>gangue</i> )	Kalsedon-adularia-illit-kalsit	Kuarsa-karbonat-rodonit-serisit-adularia ± barit ± anhidrit ± hematit ± klorit	Alunit, barit, kaolin	Anhidrit, kaolin, dikkit	Serisit, piropilit
Sulfida <sup>3</sup>	Cinabar, stibnit; pirit/markasit-arsenopirit, Au-Ag selenida, Se sulfosalt, Fe kaya sfalerit (RB)	Pirit-Au-Ag sulfida/sulfosalt, variabel spalerit, galena, kalkopirit, tetrahidrit/tenantit (AR)	Enargit/luzonit, kovelit, pirit	Enargit/luzonit, kalkopirit, tetrahidrit/tenantit, sfalerit, <i>late-covellite</i> , pirit	Bornit, digenit, kalkosit, kovelit
Logam <sup>3</sup>	Au-Ag-As-Sb-Se-Hg-Tl (RB), low Ag:Au; 0,1-1% logam dasar ( <i>base metal</i> )	Au-Ag-Pb-Zn-Ba-Mn-Se (AR), high Ag: Au; 2-10 (20+) % logam dasar	Au-Ag, Cu terlindi ( <i>leached</i> ) (Hg <i>overprint</i> )	Cu-AU-AG-Bi-Te-Sn	Cu-Au
Ciri Penting	Sinter, <i>calsedon blanket</i>	Beberapa urat kondisi sulfidasi menengah dijumpai berdekatan dengan bijih sulfidasi tinggi	<i>Steam-heated blanket</i>	Kuarsa <i>vuggy</i> pada batuan induk	Menutupi ( <i>overprinted</i> ) endapan tipe porfiri
Fluida	<1% NaCl, kaya gas, <220°C (RB)	3-10 + % NaCl, 220-280°C+ (AR)	<2 wt% NaCl	4-15 + wt % NaCl	Dapat berbeda-beda
Contoh	McLaughlin, Midas, Round Mountain, Sleeper, Hishikari, ( <i>low-sulphidation</i> )	Comstock, Tonopah, Creede, Fresnillo, Casa-Ipalca, Victoria ( <i>Intermediet sulphidation-state</i> )	Yanacocha, Peublo, Viejo, Pierina, La Coipa, Tambo, Pascua, Paradise, Peak, Summitville, Rodalquilar, Kasuga	El Indio, Lepanto, Chinkuashih, Goldfield, Lahoca	Bisbee, MM, Chuquincamata

Berdasarkan Lindgren, 1933; Buchanan, 1981; Heald dkk., 1987; Sillitoe, 1993a, 1999; White dkk., 1995; John dkk., 1999; penelitian ini

<sup>1</sup>Mencakup endapan sulfidasi menengah (*intermediet*) dan anggota akhir endapan sulfidasi rendah (*low sulphidation*)

<sup>2</sup>Sillitoe, 1999

<sup>3</sup>Endapan sulfidasi menengah (*intermediet*) berasosiasi dengan batuan andesit-riodasit (AR) cenderung terbentuk pada kedalaman yang lebih dalam daripada anggota akhir endapan sulfidasi rendah (*low sulphidation*) yang berasosiasi dengan batuan riolit-basalt (RB) (John dkk., 1999); peralihan dalam ke dangkal dari asosiasi (AR) ke (RB), atau dari sifat sulfidasi menengah (*intermediet*) ke sifat sulfidasi rendah (*low sulphidation*), tidak tersirat



Tekstur *crustiform* (kiri) dan *bladed calcite* (kanan)



Tekstur *colloform* dan *sulphide bands*



Tekstur *vuggy silica*

*argillic* yaitu alunit, *pirophyllite*, *dickite*, dan *kaolinite* sampai dengan alterasi argilik. Bentuk dari endapan mineralnya tersebar (*disseminated*), ditentukan oleh penyebaran *vuggy silica* yang pada umumnya membentuk tubuh bijih menyerupai jamur (*mushroom-shaped ore body*). Sifat *host rock* akan sangat penting dalam membentuk tekstur-tekstur lainnya seperti *granular silica*, *massive quartz*,

dan *quartz-alunite texture*. Tekstur pada tipe enargit (HS) tidak terlalu bervariasi dan umumnya didominasi oleh zona *sillitic massif* hingga *vuggy silica*. Ukuran dan kelimpahan *vuggy* bergantung pada kondisi awal *host rock* dan tingkat silisifikasinya (Hedenquist, dkk., 2000).

# Oker Pada Jejak Arkeologi

Oleh : Muhammad Rafli Baasituta

Sepanjang sejarah peradaban manusia, oker telah memainkan peran penting. Oker telah ditemukan di situs arkeologi sejak ribuan tahun yang lalu. Bukti penggunaan oker di Afrika berasal dari sekitar 300.000 tahun yang lalu, sedangkan bukti penggunaannya di Australia berasal dari 50.000 tahun yang lalu.



Gua Lascaux, Zaman Paleolitik terletak di barat daya Perancis, terdapat beberapa lukisan gua prasejarah menggunakan oker (Groeneveld, 2016)

**D**i Wales, Red Lady of Paviland, sebuah situs pemakaman Paleolitik, dilapisi oker merah berumur sekitar 33.000 tahun yang lalu. Lukisan binatang yang dibuat dengan pigmen oker telah ditemukan di situs Paleolitik di Perancis dan Spanyol, dan gua Lascaux memiliki gambar seekor kuda berusia 17.300 tahun yang diwarnai dengan oker kuning. Penggunaan oker pada zaman dahulu begitu intensif sehingga lapisan dasar gua bisa diresapi warna merah keunguan hingga kedalaman delapan inci (O’Hanlon, 2023).

Oker pewarna alami tertua yang digunakan sejak ratusan ribu tahun lalu. Oker adalah mineral yang namanya sering digunakan untuk merujuk pada jenis mineral tertentu yakni hematit. Hematit salah satu mineral besi oksida ( $Fe_2O_3$ ) memiliki warna merah kecoklatan hingga hitam. Mineral ini memiliki kekerasan sekitar 5,5–6,5 pada skala Mohs.

Bukti paling awal dari manusia purba yang menggunakan oker adalah saat periode Paleolitik, sekitar 285.000 tahun yang lalu di sebuah situs Homo erectus yang disebut



Oker di Papandayan, Garut, hasil endapan hidrotermal

GnJh-03 di Kenya. Di situs tersebut para arkeolog menemukan sekitar 70 buah oker dengan berat sekitar lima kilogram (Putri, 2018).

### Genesa

Oker terbentuk pada lingkungan oksidasi, melibatkan prose pelapukan batuan mengandung besi. Proses ini melibatkan transportasi dan presipitasi besi dalam bentuk oksida. Oker dapat ditemukan pada batuan

sedimen, sungai, danau, serta batuan beku dan metamorf. Seringkali, istilah "mineral oker" digunakan untuk merujuk pada hematit yang terjadi dalam bentuk endapan tanah liat berwarna coklat kemerahan hingga kuning (disebut "oker"). Endapan ini biasanya digunakan sebagai pigmen dalam seni rupa dan cat. Selain hematit, oker juga dapat terdiri dari senyawa besi lainnya, seperti goethit.

Pembentukan mineral oker dipengaruhi oleh beberapa faktor. Hidrotermal salah satu media pembentukan oker. Hidrotermal dari bawah permukaan membawa unsur-unsur terlarut, di antaranya adalah besi. Air panas atau hidrotermal ini juga menyebabkan kandungan unsur pada batuan yang telah terbentuk sebelumnya baik itu batuan beku, batuan sedimen, batuan metamorf mengalami pelarutan. Hidrotermal mengalir ke arah permukaan secara konveksi akibat perbedaan berat jenis air panas dan air dingin. Dalam perjalanannya hidrotermal mendingin, akibatnya unsur besi yang terlarut mengalami pengendapan, mengisi rongga pori maupun rekahan batuan membentuk endapan oker. Suhu pembentukan, pH, dan komposisi mineral oker memengaruhi warna oker yang dihasilkan.



Tambang Oker berupa hematit, lokasi di kaki bagian Selatan Rocky Mountain, Amerika. Berdasarkan dokumen arkeologis yang ditemukan, kegiatan penambangan pernah dilakukan juga dari 12.840 sampai 12.505 tahun yang lalu. Sumber gambar: Pelton *et al.* (2022), doi: 10.1073/pnas.2201005119.

### Kegunaan Oker Pada Saat Ini

Oker masih dipergunakan sampai saat ini sebagai pewarna alami yang digunakan dalam kegiatan seni lukis, pembuatan perhiasan, serta digunakan sebagai pewarna dinding dan kayu. Pembuatan *paving block* menggunakan pewarna oker untuk membuat variasi warnanya. Oker juga digunakan pada produk kecantikan. Banyak lagi dari pemanfaatan oker seperti bahan dalam desain interior, pengolahan logam, dan gelas.

### Warna Oker

Jenis oker dipengaruhi oleh komposisinya oleh karena itu mineral oker dapat ditemukan dengan beberapa jenis warna yang berbeda. Warna oker terdiri dari merah, kuning, ungu, dan coklat.

**Oker kuning ( $\alpha$ -FeOOH)**, paling banyak digunakan, terbentuk dari oksidasi batuan yang mengandung besi yang memiliki komponen limonit. Limonit sering mengandung sejumlah besar mineral oksidasi besi seperti goetit dan hematite. Limonit tidak memenuhi kriteria definisi mineral, limonit adalah mineraloid yang sebagian besar terdiri dari besi oksida hidroksida, sering ditemukan dalam asosiasi yang erat dengan berbagai mineral besi. Oker kuning ditemukan di banyak bagian dunia, seperti Prancis, Italia, Spanyol, dan Amerika Serikat. Biasanya terdiri atas tanah liat, silika, dan sejumlah oksida besi, yang memberikan rona kuning yang khas. Salah satu sumber oker yang paling awal diketahui adalah Gua Blombos di Afrika Selatan, tempat ditemukannya artefak oker yang berasal dari 75.000 tahun yang lalu.



Limonit kuning (O'Hanlon, 2023).

**Oker merah**, dipengaruhi oleh komposisi yang ada di batuan, yakni terbentuk oleh mineral logam yang mengalami oksidasi. Warna didapatkan dari pengaruh warna hematit, oksida besi anhidrat yang mengalami oksidasi yang memiliki komposisi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , serta dipengaruhi oleh mineral sekunder atau aksesoris, seperti kuarsa, gypsum, anhidrit, kalsit, dolomit, dll. Oker merah bisa dijumpai di daerah Gunung Papandayan, Jawa Barat.



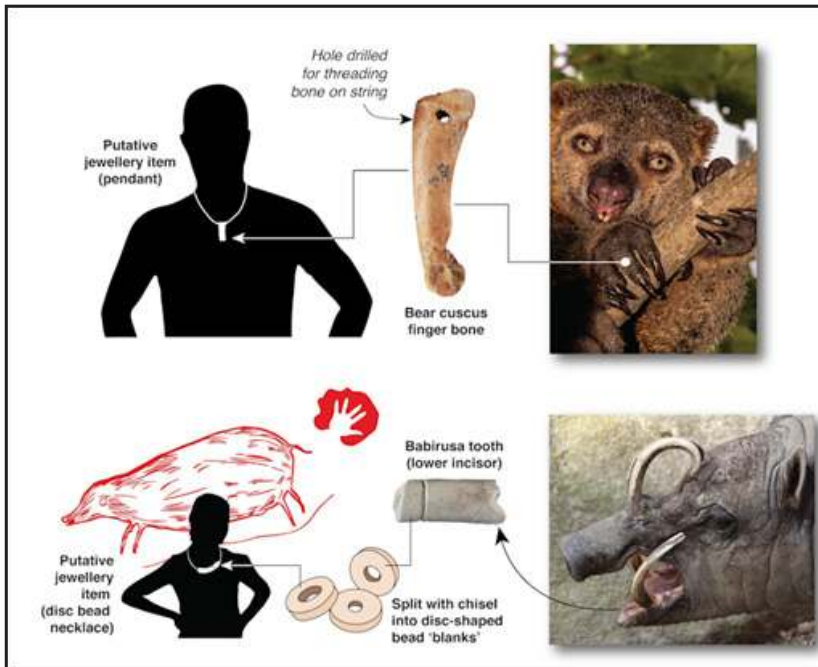
Oker merah, koleksi Laboratorium Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

**Oker ungu**, identik dengan oker merah secara kimiawi, tetapi memiliki warna berbeda, disebabkan oleh sifat difraksi cahaya yang berbeda terkait dengan ukuran partikel rata-rata yang lebih besar. Oker ungu jarang ditemukan.

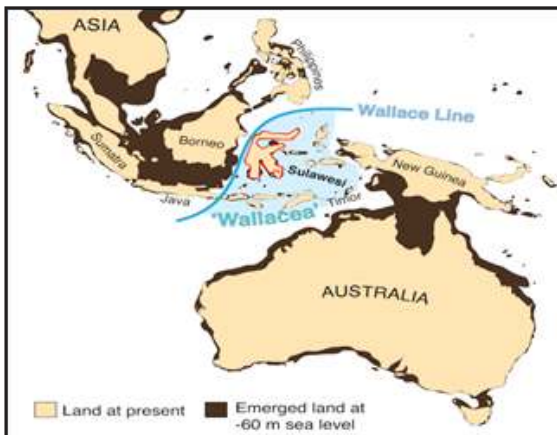
**Oker coklat**, juga mempunyai rumus kimia ( $\alpha$ -FeOOH), merupakan hasil oksidasi batuan mengandung mineral logam, mengandung limonit, tetapi oksidasi yang terhidrasi membuat warna oker dihasilkan berbeda, yakni memberikan warna lebih gelap pada warna okernya dan adanya pigmen mangan yang lebih tinggi menyebabkan warnanya coklat gelap. Oker coklat mengandung goetit dan sejumlah kecil oksida mangan (kurang dari 5%), yang membuatnya lebih gelap dari oker kuning. Pigmen ini biasanya lebih transparan.

### Oker Pada Jejak Arkeologis di Indonesia

Jejak arkeologis oker di Indonesia diawali dengan penemuan gua di daerah Sulawesi,



Ornamen prasejarah yang digali dari situs gua Leang Bulu Bettue, Sulawesi. Michelle Langley dan Adam Brumm/ gambar tulang kuskus beruang, Luke Marsden/ Kuskus beruang dan babirusa, Shutterstock (dailymail.co.uk).



Asia Tenggara dan Australia pada Zaman Es. Permukaan laut yang rendah menjadi jembatan penghubung berbagai pulau di Asia Tenggara satu sama lain, dengan pengecualian pulau-pulau di Wallacea, yang selalu tetap terpisah, Adam Brumm (2024).

ditemukan seni prasejarah dan ornamen yang berada pada gua, diperkirakan berumur 30.000 tahun lampau. Gua tersebut merupakan gua yang dipakai oleh para seniman pada jaman purbakala. Umur peninggalan tersebut sangat awal pada skala dunia, di mana pada zaman itu manusia hidup pada zaman Pleistosen atau zaman es.

Temuan di Sulawesi diperkirakan berasal dari zaman es. Artefak yang ditemukan diperkirakan berasal dari 30.000 – 22.000 tahun yang lalu. Jejak peninggalan yang ditemukan berupa cakram dan gigi babi rusa, dimana babi primitif hanya ada di daerah Sulawesi, dan ditemukan tulang jari kuskus beruang yang merupakan hewan khas dari Sulawesi. Terdapat gambar jejak tangan berwarna merah dengan bahan oker.

Banyak karya seni ditemukan pada zaman Wallacea, seperti gambar babirusa berumur 35.400 tahun lalu. Temuan tersebut perkiraan seumur dengan gambar badan dan mammoth yang ada di Prancis dan Spanyol.

Daerah Wallacea memiliki keanehan atau bisa di sebut dengan keunikan. Di daerah Wallacea ini, merupakan daerah yang sulit dilewati, dikelilingi oleh palung laut dalam, menyebabkan mamalia darat yang berada di daerah Wallacea relatif sedikit. Demikian juga juga Sulawesi merupakan pulau yang memiliki perbedaan dari pulau yang lain, yakni mamalia di Sulawesi belum tentu bisa kita temukan di daerah lain.

Penulis: Mahasiswa Teknologi Geologi, Angkatan 2023

# Kapur Tohor dan Kapur Padam

Oleh: Angeliqe Agischa Natasya Tampi



Tambang batu gamping (batu kapur) di Citatah, Kabupaten Bandung Barat (Pokja Konservasi, PSDG, 2007)

Di tengah maraknya perhatian terhadap sumber daya alam terbarukan, di sisi lain batu kapur atau batu gamping sebagai salah satu sumber daya mineral yang tidak terbarukan memiliki peranan sangat penting pada banyak industri.

**B**atu kapur merupakan sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia. Pada status tahun 2023, jumlah sumber daya sebesar 227.602.312.391 ton dan cadangan 21.071.950.490 ton (KESDM, 2003). Endapannya tersebar di berbagai pulau seperti Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi, Papua, serta pulau-pulau lainnya. Bagi sebagian masyarakat, batu kapur bukan merupakan barang asing dan dianggap tidak terlalu bernilai karena mudah memperolehnya serta harganya relatif murah. Namun batu kapur merupakan sumber daya mineral yang sangat penting bagi berbagai industri.

Batu kapur adalah batuan sedimen umumnya berwarna putih tersusun oleh kalsium karbonat. Produk batu kapur memiliki tiga senyawa utama yakni kalsium karbonat, kalsium oksida (penyusun utama kapur tohor), dan kalsium hidroksida (penyusun kapur padam).

## Pembuatan Kapur Tohor dan Kapur Padam

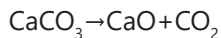
Proses pembuatan kapur tohor (kalsium oksida,  $\text{CaO}$ ) merupakan proses yang sederhana, yaitu dilakukan melalui proses kalsinasi batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ). Berikut adalah tahapan utama dalam produksi kapur tohor:

1. Penambangan Batu Kapur: Batu kapur yang mengandung kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) umumnya ditambang dengan metode tambang terbuka.
2. Penghancuran (*crushing*) Batu Kapur: Setelah ditambang, batu kapur dihancurkan menjadi berukuran lebih kecil agar memudahkan proses pemanasan.
3. Kalsinasi (pemanasan): Batu kapur yang telah dihancurkan kemudian dipanaskan di dalam tanur (*kiln/tungku*) pada suhu sekitar  $900-1000^\circ\text{C}$ . Proses pemanasan ini menyebabkan dekomposisi termal dari



Pembuatan kapur tohor. Gambar kiri, penempatan batu kapur pada tungku (Susanto, 2023, <https://www.kompas.id>). Gambar kanan, pembakaran kapur tohor (Cahyani, 2021, <https://radarjember.jawapos.com>)

kalsium karbonat menjadi kalsium oksida (CaO, kapur tohor) dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dilepaskan. Reaksinya adalah sebagai berikut:



4. Pendinginan: Setelah proses kalsinasi selesai, kapur tohor yang dihasilkan didinginkan untuk mencegah reaksi lebih lanjut dan mempermudah penanganan.
5. Penyimpanan dan Penggilingan: Kapur tohor yang sudah dingin kemudian digiling menjadi bubuk halus jika diperlukan, atau disimpan dalam bentuk bongkahan. Bubuk kapur tohor ini kemudian siap untuk digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam industri bangunan, kimia, atau pertanian.

Proses pembuatan kapur tohor membutuhkan kontrol temperatur yang tepat karena jika temperatur terlalu rendah, dekomposisi tidak sempurna. Pada reaksi tersebut terjadi penyerapan panas, untuk menguraikan 1 gram molekul CaCO<sub>3</sub> memerlukan panas 42,5 kkal (Haryadi, 1997).

Proses pembuatan kapur padam atau Ca(OH)<sub>2</sub> dengan menyiramkan air pada kapur tohor. Berikut langkah-langkahnya:

1. Penambahan Air (Proses Pemataman): Kapur tohor yang telah dihasilkan dari tahap sebelumnya kemudian direaksikan dengan air. Proses ini disebut hidrasi atau pemataman kapur. Ketika kapur tohor dicampur dengan air, terjadi

reaksi eksotermik (menghasilkan panas), dan terbentuk kapur padam (kalsium hidroksida, Ca(OH)<sub>2</sub> dengan reaksi  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$

2. Proses Penggilingan dan Penyaringan: Setelah hidrasi, kapur padam digiling untuk mendapatkan butiran yang lebih halus dan kemudian disaring untuk memisahkan partikel yang tidak diinginkan.
3. Penyimpanan: Kapur padam biasanya disimpan dalam keadaan kering dan tertutup untuk menghindari kontak dengan udara terbuka, karena bisa menyerap karbon dioksida dari udara yang menyebabkan berubah kembali menjadi batu kapur.

Kapur padam digunakan dalam berbagai aplikasi seperti bahan bangunan (campuran adukan), pengapuran tanah pertanian, dan proses industri lainnya.

### Kegunaan Kapur Tohor dan Kapur Padam

Kapur tohor dapat digunakan sebagai bahan pengikat tambahan dalam pembuatan beton dan batako. Kapur tohor meningkatkan reaksi hidrasi semen Portland dan membentuk matriks yang kuat. Proses hidrasi menghasilkan kalsium hidroksida yang berperan dalam pembentukan matriks semen. Dalam konstruksi, kapur tohor dapat digunakan untuk memadatkan tanah sehingga dapat dijadikan sebagai pondasi bangunan. Selain itu, kapur tohor dapat digunakan sebagai pengendalian



Pembuatan kapur padam dengan menyiramkan air pada kapur tohor (Pokja Konservasi, PSDG, 2007)

erosi untuk memperkuat permukaan tanah dari abrasi air.

Berdasarkan hasil penelitian Mashuri (dkk., 2013) menunjukkan bahwa penggunaan kapur padam sebesar 25% akan meningkatkan nilai *Index of Residual Strength (IRS)* yang merupakan ketahanan perkerasan aspal dari pengelupasan. Sehingga, bisa dikatakan bahwa penggunaan kapur padam sebagai bahan pengisi (*filler*) sebesar 25% dapat meningkatkan ketahanan beton aspal lapis aus (*Asphalt Concrete Wearing Course, AC-WC*) terhadap pengelupasan dibandingkan dengan AC-WC yang tidak menggunakan kapur padam sebagai *filler*. Selain digunakan sebagai filler, kapur padam juga digunakan sebagai anti pengelupasan (*anti stripping*).

Dilansir dari situs Direktorat Jendral Bina Marga, Nyoman Suaryana mengkaji tentang pemanfaatan kapur padam sebagai pengganti semen dalam campuran *Cold Mix Recycling Foam Bitumen (CMRFB)*. CMRFB dengan bahan pengisi kapur padam dapat disimpan sebelum dipadatkan tanpa mengurangi kualitasnya dan memenuhi persyaratan karakteristik yang ditetapkan dalam spesifikasi, yaitu dengan nilai *Influence on Stripping Resistance (ITS)* lebih besar dari 300 kPa dan nilai *Unconfined Compressive Strength (UCS)* lebih besar dari 700 kPa. CMRFB dengan bahan pengisi kapur padam, dapat disimpan selama 7 hari sebelum dipadatkan dengan proteksi agar tidak terjadi penguapan air. Kinerja CMRFB di lapangan dengan bahan pengisi kapur padam, dalam

kurun waktu 2 tahun terlihat sangat baik dengan tingkat kerusakan di bawah 1 %.

### Potensi Batu Kapur di Indonesia

Batu kapur merupakan batuan sedimen dengan komposisi utama mineral kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  dan Aragonit ( $\text{CaCO}_3$ ) yang terbentuk secara organik, mekanik, dan kimia. Sebagian batu kapur atau batu gamping terbentuk secara organik. Batu kapur umumnya mengandung mineral kalsium karbonat kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) sebesar 90%, dolomit 3%, dan sisanya adalah lempung.

Termasuk dalam komoditas mineral bukan logam, batu gamping potensinya tersebar hampir di seluruh wilayah provinsi di Indonesia. Batu gamping sangat berperan dalam mendukung bahan baku industri, khususnya industri semen dan dijadikan sebagai bahan alternatif bahan bangunan pada daerah-daerah tertentu.

Batu gamping terdapat di beberapa provinsi di antaranya Provinsi Aceh, Provinsi Bengkulu, Provinsi Jambi, Provinsi Banten, Provinsi Bali, Provinsi Jawa Barat, Provinsi Jawa Tengah, Provinsi Jawa Timur, Provinsi Kalimantan Selatan, Provinsi Kalimantan tengah, Provinsi Kalimantan Utara, Provinsi Lampung, Provinsi Maluku, Provinsi Maluku Utara, Provinsi Nusa Tenggara Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur, di beberapa Provinsi di Papua, Provinsi Riau, Provinsi Sulawesi Barat, Provinsi Sulawesi Selatan, Provinsi Sulawesi Tengah,



Statistik Total Sumber Daya dan Cadangan Batugamping Tahun 2019-2023 (Sumber: Gambar 54, Halaman 118, Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral dan Batubara Indonesia Tahun 2023)



Bentang alam Karst Maros, di Sulawesi Selatan (Pokja Konservasi, PSDG, 2007)

Provinsi Sulawesi Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara, Provinsi Sumatera Selatan, Provinsi Sumatera Utara.

Data sumber daya dan cadangan batu gamping didasarkan pada Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral dan Batubara Indonesia Tahun 2023, yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Dalam lima tahun terakhir, perkembangan sumber daya dan cadangan batugamping meningkat, hal ini dipengaruhi oleh penambahan data yang signifikan dari data pemegang IUP dan data hasil kegiatan penyelidikan PSDMBP. Potensi batu gamping tersebar di sekitar 1000 lokasi, di 193

kabupaten yang termasuk dalam 31 provinsi. Total sumber daya batu gamping sebesar 227.602.312.391 ton dan total Cadangan sebesar 21.071.950.490 ton.

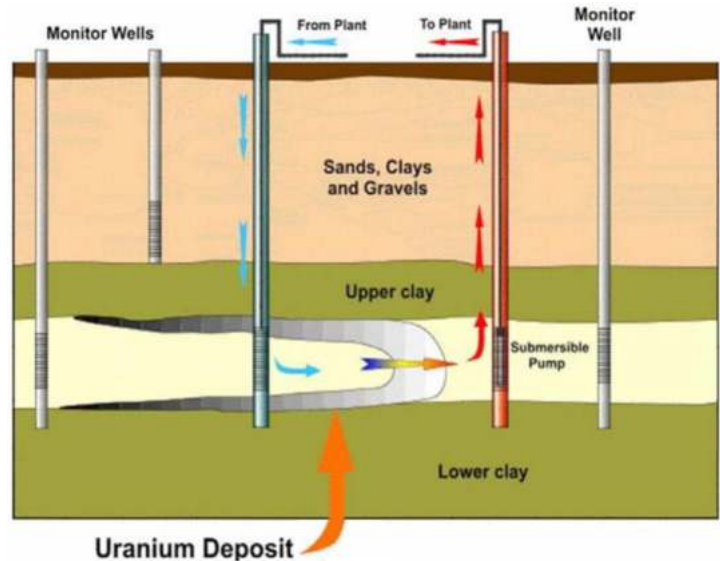
Di Sulawesi Selatan sumber daya batu gamping sangat besar, membentuk morfologi karst yang sangat khas, yaitu Karst Maros dan Pangkep. Gugusan karst yang berada di Kabupaten Maros dan Pangkep, Sulawesi Selatan ini menjadi kawasan karst terbesar dan terindah kedua di dunia setelah China. Tepatnya berada di utara Makassar, sekitar 100 kilometer dari kota Makassar (<https://kumparan.com>. 26 Februari 2018).

Penulis: Mahasiswi Teknologi Geologi 2024

# Pelindian *in-situ*: Cara Penambangan yang Lebih Bersih, Hijau, dan Murah

Oleh: Grace Aura Lovetine

Meskipun ISL tidak selalu menjadi pilihan, ketika diaplikasikan, merupakan metode yang paling hemat biaya dan ramah lingkungan: merupakan hal langka dimana penambang dan lingkungan sama-sama mendapatkan keuntungan.



Gambaran umum ISL pada tambang uranium. sumber: <https://nrc.gov/ML1224/ML12243A369>

Industri pertambangan merupakan fondasi masyarakat modern. Penambangan sangat mahal dan berisiko menyebabkan degradasi lingkungan, terutama terkait dengan limbah tambang bersifat toksik dan merusak lingkungan. Namun, metode *In-situ Leaching (ISL)* atau *In-situ Recovery* semakin prospek untuk diterapkan, yakni endapan tertentu ditambang tanpa penggalian, hal ini untuk menghindari beberapa proses penambangan yang paling merusak dan paling mahal.

Pelindian in situ memungkinkan penambangan endapan tertentu dengan biaya yang sangat rendah dan ramah lingkungan. Pelindian ini paling sering diterapkan pada jenis endapan uranium tertentu, tetapi juga dapat digunakan untuk tanah jarang, tembaga, dan kemungkinan lainnya jika kondisinya tepat. Penggunaan ISL saat ini masih terbatas, dan teknik ini tidak akan pernah menggantikan

penambangan konvensional di banyak area. ISL berpeluang untuk diterapkan pada tipe deposit yang lebih beragam pada masa mendatang.

## Apa itu ISL?

Sesuai namanya, pelindian *in-situ* melibatkan pelindian dan ekstraksi logam dari tubuh bijih bawah tanah. Prosesnya mirip dengan *heap leaching*, di mana pada *heap leaching* bijih yang diekstraksi, ditumpuk sehingga larutan pelindian dapat dialirkan melaluinya, kecuali bahwa ISL ini tidak melibatkan penggalian.

Secara umum, ISL melibatkan penyuntikan larutan kimia, atau *lixiviant*, ke dalam tubuh bijih melalui sumur injeksi; larutan ini bersirkulasi melalui bijih, melarutkan mineral target, dan mengonsentrasikan logam yang diinginkan secara kimia ke dalam bentuk *brine*

(air garam). Air garam ini kemudian dipompa ke permukaan untuk diproses melalui sumur ekstraksi yang berada mengelilingi lokasi sumur injeksi. Air garam ini kemudian diolah di pabrik pengolahan untuk mengekstraksi unsur yang diinginkan. Sumur pemantauan juga harus dipasang di sekitar tambang untuk memastikan air tanah tidak terkontaminasi oleh komponen kimia air garam.

Ada beberapa persyaratan dasar untuk menggunakan ISL. Pertama, batuan induk harus cukup permeabel agar larutan dapat dipompa melewatinya. Ini berarti bahwa ISL secara umum terbatas pada endapan yang relatif dangkal yang terdapat di sedimen yang tidak terkonsolidasi atau batuan sedimen. Kedua, unsur yang dimaksud, dan mineral yang terdapat di dalamnya, harus memiliki sifat dapat larut pada proses pelindian. Pada prinsipnya, apa pun dapat dilarutkan oleh bahan kimia yang tepat, tetapi dalam praktiknya hanya beberapa mineral yang dapat dilarutkan oleh larutan kimia yang tersedia dengan cukup cepat untuk menjadikan ISL diterapkan. Ketiga, aliran larutan harus dapat dikontrol. Ini berarti umumnya endapan harus berada di bawah muka air tanah dan tertahan oleh batuan yang kedap air (biasanya kaya mineral lempung). Terakhir, endapan tidak boleh mengandung mineral apa pun yang akan menetralkan sebelum waktunya atau bereaksi negatif dengan larutan.



Di dalam fasilitas pemrosesan di mana U diekstraksi dari air garam ISL. Sumber : <https://www.geologyforinvestors.com>

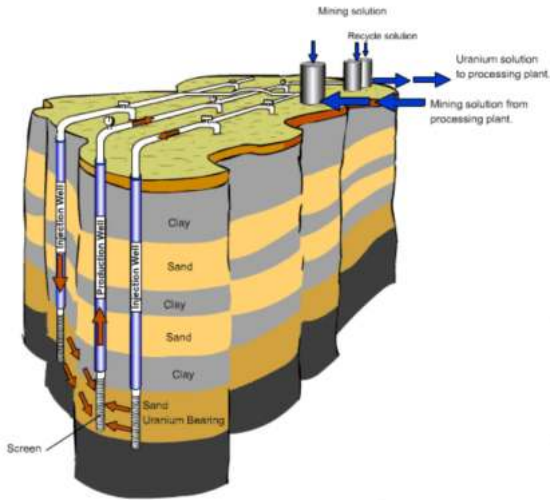
## Keuntungan dan Kekurangan

Keuntungan utama ISL adalah kenyataan bahwa proses ekstraksinya tanpa langkah yang sulit dan mahal dengan menggali atau menambang material dalam volume besar. Ini berarti tambang ISL membutuhkan lebih sedikit infrastruktur dan lebih sedikit karyawan, menjaga biaya tetap rendah dan mencegah kecelakaan di tempat kerja. Kurangnya penggalian juga berarti tidak ada lubang tambang terbuka raksasa atau tumpukan tailing dan batuan sisa yang berpotensi toksik. Kita dapat berjalan di atas tambang ISL tanpa menyadarinya. Bahkan ada pengurangan besar dalam emisi gas rumah kaca, karena ISL tidak memerlukan armada besar peralatan bertenaga diesel atau transportasi dan penggilingan bijih yang haus energi. Meskipun ISL tidak selalu menjadi pilihan, ketika diaplikasikan, merupakan metode yang paling hemat biaya dan ramah lingkungan: merupakan hal langka dimana penambang dan lingkungan sama-sama mendapatkan keuntungan.

Kekurangan dari metode ISL adalah dapat diaplikasikan pada sedikit jenis endapan. Meskipun sedang dilakukan pengembangan teknik baru agar lebih banyak jenis endapan, namun sangat kecil kemungkinan ISL menggantikan penambangan konvensional di sebagian besar tempat. Aluminium, misalnya, sangat sulit larut, dan kemungkinan tidak akan pernah dapat ditambang melalui ISL.

Karena ISL terjadi di bawah tanah yang tidak terlihat, maka sulit untuk memahami dan mengendalikan kimia secara rinci. Ini berarti bahwa ketika terjadi kesalahan, misalnya perolehan logam yang rendah, akan sulit untuk mengidentifikasi cara memperbaiki masalah tersebut.

Pelindian *in situ* juga tidak sepenuhnya bebas dari konsekuensi lingkungan. Proses ini menghasilkan sejumlah besar larutan bekas bersifat toksik yang harus dibuang. Proses ini juga memerlukan pemulihan setelah penambangan selesai. Pemulihan biasanya terdiri dari pengambilan air tanah yang terkontaminasi dan penyuntikan larutan yang dirancang untuk menstabilkan kimia endapan yang baru terganggu sehingga logam terlarut dan produk sampingan bersifat toksik lainnya



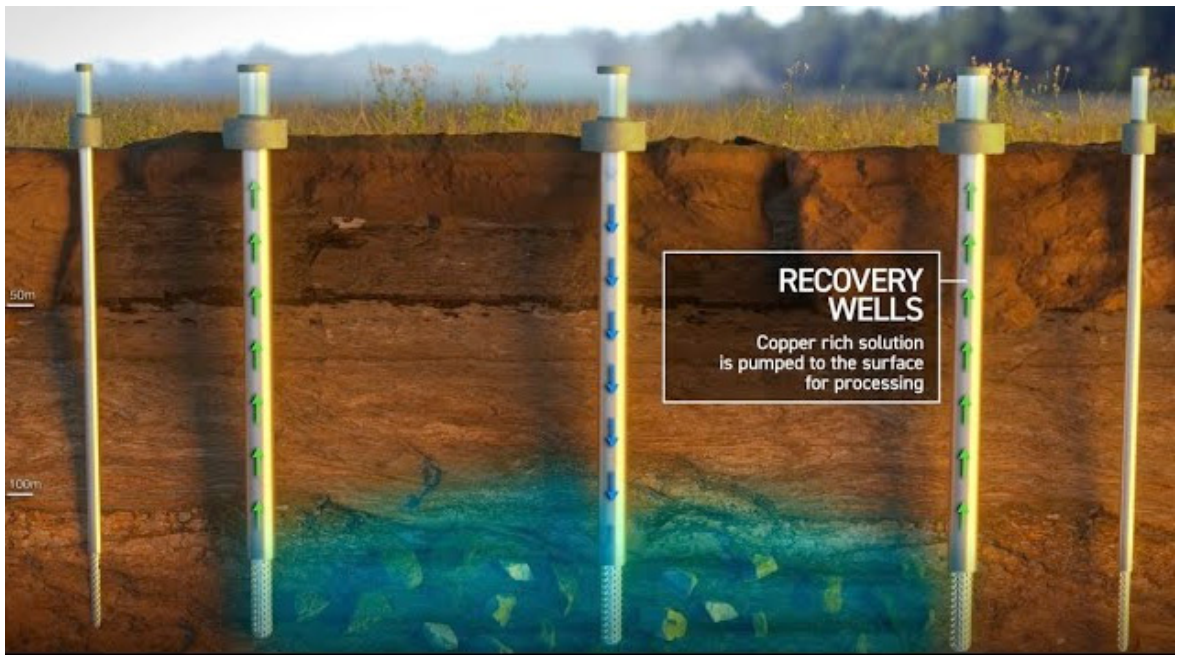
Pelindian In-Situ – skema operasi lapangan dari sumur pelindian (sumber: Uranium SA website)

tidak terlepas ke dalam air tanah. Pemulihan dapat memakan waktu bertahun-tahun, seringkali lebih lama dari penambangan sebenarnya, dan prosesnya masih belum sepenuhnya dipahami.

## Deposit apa saja yang dapat ditambang dengan ISL?

Endapan yang paling mudah ditambang adalah evaporit, seperti halit (garam biasa) dan silvit (kalium, sumber pupuk kalium), yang dapat dengan mudah dilarutkan oleh air tawar. Faktanya, proses ini dapat berjalan dengan sangat baik, pelarutan material yang terlalu banyak dapat meninggalkan rongga besar, sehingga apabila tidak didukung dengan baik atau tidak cukup kuat daya dukungnya dapat runtuh menimbulkan lubang.

Logam yang paling umum ditambang melalui ISL adalah uranium (U). Uranium memiliki keistimewaan karena sangat mudah larut dalam air yang mengandung oksigen, dan penambahan asam (sulfat atau asam nitrat) atau larutan karbonat memungkinkan sebagian besar mineral uranium larut dengan cepat. Tidak semua endapan uranium cocok untuk ISL, endapan pegmatit, misalnya, terlalu kohesif dan kedap air untuk memungkinkan larutan ISL bersirkulasi. Di sisi lain, layak diaplikasikan pada endapan sejenis batu pasir. Batu pasir yang sangat permeabel umumnya di dekat permukaan, sangat cocok untuk ISL. Sekitar



Pelindian tembaga *in-situ* – lokasi di Alford East Copper Project, Australia (sumber: Stockbox, 2020).



Lokasi tambang Inka, Kazakhstan, dengan fasilitas pengolahan *brine* (kiri), sumur ISL aktif (latar depan), dan *rig* pengeboran sumur di kejauhan (Burron, 2023).

setengah dari produksi uranium dunia berasal dari hasil operasi ISL, yakni seperti di Australia, AS, dan khususnya Kazakhstan.

Beberapa deposit tembaga tembaga (Cu) dapat ditambang melalui ISL. Metode ISL telah digunakan untuk mengekstraksi tembaga di Tiongkok selama lebih dari 1000 tahun. Asam sulfat atau asam klorida digunakan untuk melarutkan mineral tembaga tertentu seperti malakit, azurit, *tenorite*, dan *chrysocolla*. Namun, mineral bijih Cu yang paling umum seperti kalkopirit dan bornit merupakan sulfida yang hanya dapat dilarutkan dengan penambahan oksidan seperti oksigen. Meskipun demikian, proses ini berlangsung lambat, dan ISL digunakan pada endapan Cu relatif sedikit.

Pelindian *in situ* juga digunakan untuk beberapa endapan unsur tanah jarang (REE). Endapan REE tipe adsorpsi ion pada lempung di Tiongkok bagian selatan dan Myanmar ditambang melalui metode ISL (sebagian malah secara tradisional). Prospek besar untuk mengembangkan ISL pada endapan REE yang terdapat di sedimen dan batuan induk permeabel.

### ISL beraksi

Tambang Inkai adalah contoh yang sangat baik dari penerapan ISL, yakni merupakan endapan uranium di Kazakhstan,

terdapat pada batupasir permeabel di kedalaman sekitar 250 m. Cadangan terbukti dan mungkin adalah 344 Mt pada kadar 0,04%  $U_3O_8$ . Penambangan dimulai pada tahun 2009 dan diperkirakan akan berlanjut hingga tahun 2045. Sebesar 60% sahamnya dimiliki oleh Kazatomprom, yang mayoritas dimiliki oleh pemerintah Kazakhstan, dan 40% oleh Cameco.

Inka menggunakan kombinasi oksida dan asam sulfat untuk memproduksi sebanyak 10,4 Mlbs  $U_3O_8$  per tahun, dengan perolehan 85%. Meskipun ukuran endapannya sangat besar, namun memiliki kadar yang sangat rendah, sehingga akan sangat sulit ditambang secara ekonomis melalui metode konvensional. Total biaya produksi ISL sangat rendah, kurang dari 10\$/lb, sehingga memungkinkan tambang bertahun-tahun sukses beroperasi, meskipun harga dan perolehan uraniumnya rendah. Yang lebih luar biasa lagi, lokasi tambang didominasi bukan oleh lubang tambang dan kolam *tailing*, tetapi oleh rumput dan tumbuhan (Burron, 2023).

Penulis:  
Mahasiswa Teknologi Geologi, Angkatan 2023

# Potensi Wolfram di Indonesia

Oleh Muhammad Zaki Mutashim



Bukit Tumang, di Pulau Singkep, terdapat urat-urat kuarsa Sn-W polimetalik sub-paralel, berbatasan dengan greisen (Suprpto, 2008)

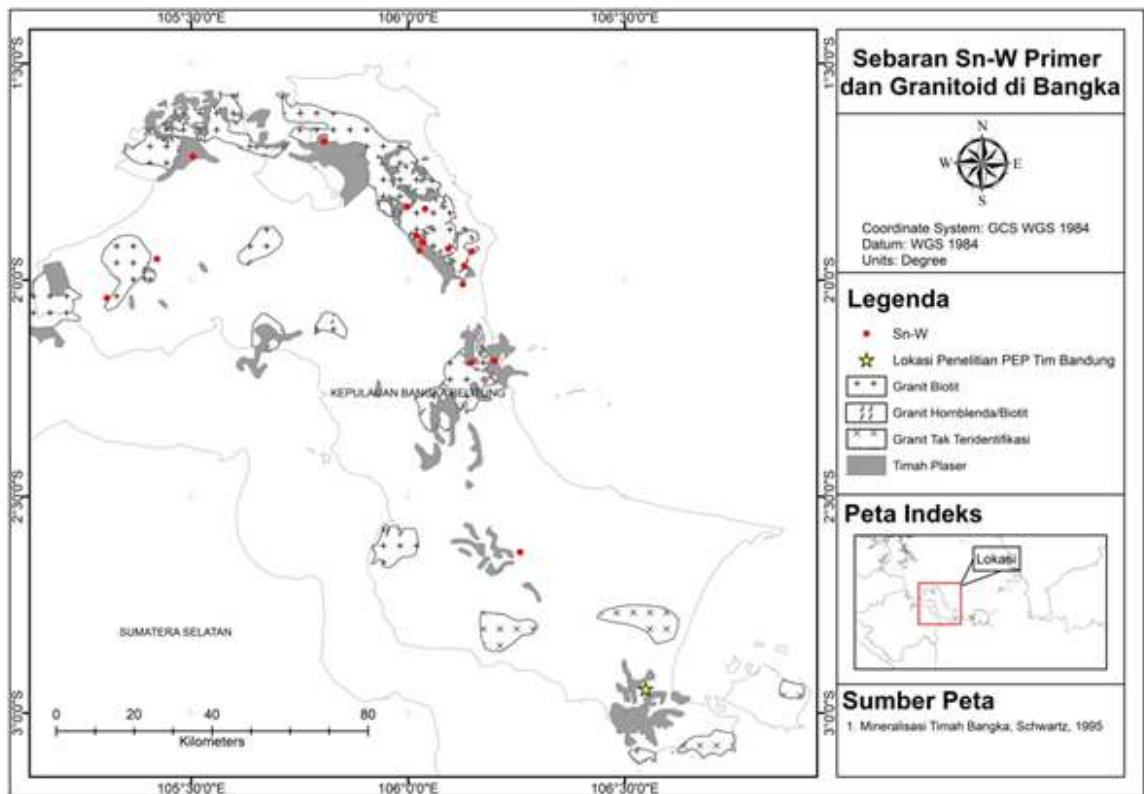
Wolfram yang juga dikenal sebagai tungsten, adalah unsur kimia dengan simbol W dan nomor atom 74. Ini adalah logam transisi yang dikenal karena sifat-sifat fisiknya yang khas, seperti titik lebur yang sangat tinggi (sekitar 3.422 °C) dan kekerasan sangat tinggi. Wolfram juga memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi dan oksidasi, menjadikannya sangat berguna dalam berbagai aplikasi industri.

Wolfram merupakan mineral besi, mangan, dan tungstate dengan rumus kimia  $(Fe\ Mn)WO_4$  yang merupakan perantara antara *ferberite* (kaya  $Fe_2+$ ) dan *hübnerite* (kaya  $Mn_2+$ ). Mineral *wolframite* ditemukan pada urat kuarsa dan pegmatit yang terkait dengan intrusi granit terjadi pada kontak skarn metamorf; dalam urat hidrotermal suhu tinggi dan umumnya pada greisen. Temperatur dan tekanan formasi pada zona pembentukan wolframit 660°C dan 3.300 bars (kedalaman 12 km).

## Kegunaan Wolfram

Kegunaan wolfram sangat beragam dalam banyak industri, menjadikannya salah satu logam yang sangat dibutuhkan di pasar global, bahkan termasuk dalam *critical raw material*.

1. **Industri Elektronik**, digunakan dalam filamen lampu pijar dan lampu fluorescent. Bahan penting dalam komponen elektronik seperti transistor dan dioda.
2. **Alat Pemotong**, pembuatan alat potong dan alat permesinan, seperti bor dan



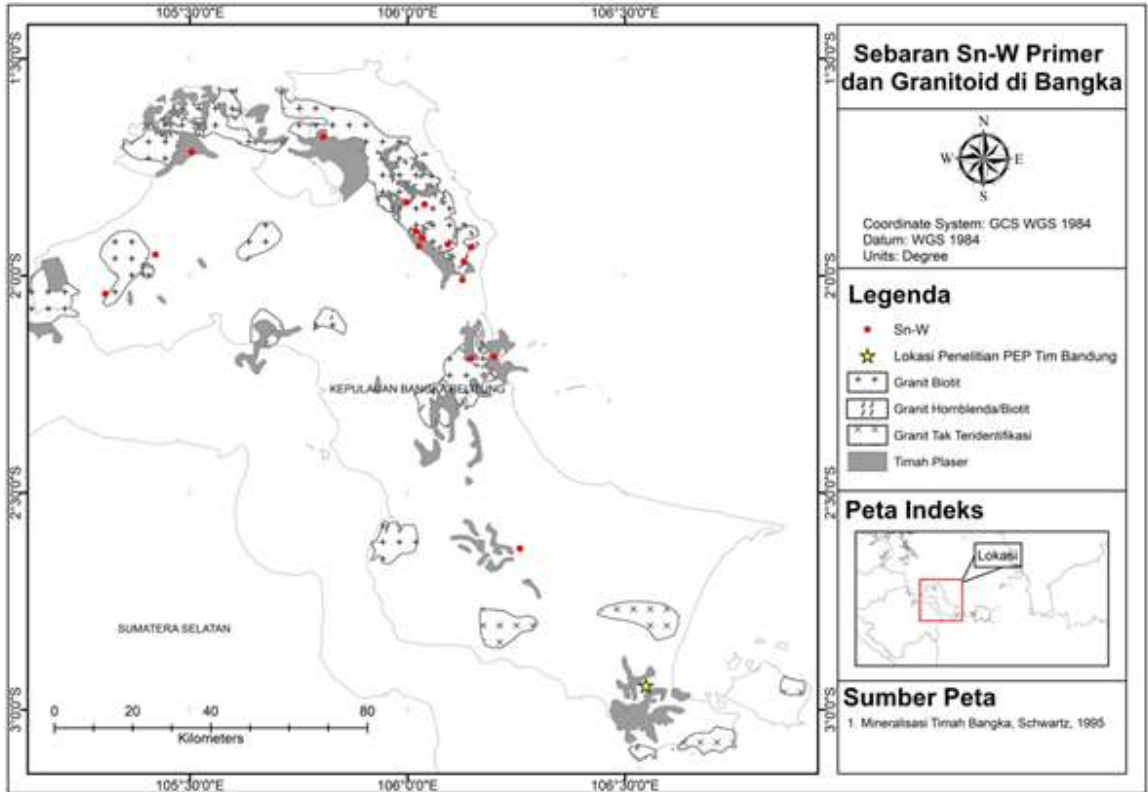
Sebaran lokasi keterdapatn cebakan wolfram di Pulau Bangka (Schwartz, dkk., 1995).

mata pahat, karena kekerasannya yang sangat tinggi sehingga bahkan bisa untuk memotong atau mengebor baja.

- 3. Industri Militer**, amunisi dan peluru berpandu karena densitasnya yang tinggi dan kemampuannya untuk menembus bahan keras.
- 4. Aplikasi Medis**, digunakan dalam radioterapi untuk pengobatan kanker, sebagai pelindung radiasi.
- 5. Aplikasi Listrik dan Termal**, sebagai elemen pemanas dalam *furnaces* industri dan aplikasi lainnya yang memerlukan suhu tinggi.
- 6. Paduan Logam**, digunakan dalam paduan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi, seperti dalam paduan super yang digunakan di industri penerbangan dan dirgantara.
- 7. Katalis**, digunakan dalam beberapa proses kimia sebagai katalis untuk meningkatkan efisiensi reaksi.

## Potensi Wolfram

Produksi Wolfram sudah ada sejak tahun 1924-1941. Di Eropa wolfram sudah menjadi *critical raw material* yang mana menjadi fokus atau prioritas untuk mencari mineral tersebut. Namun, di Indonesia sendiri potensi wolfram belum terjamah dengan baik. Negara produksi wolfram terbesar di dunia adalah negara China. Wolfram terbentuk berasosiasi dengan timah. Subduksi antara lempeng benua dengan lempeng benua menghasilkan granit tipe S, sebagai intrusi pembawa wolfram. Produksi wolframit di Indonesia tercatat pada tahun 1924 sd 1941. Berasal dari Tambang Timah Pulau Singkep dan Pulau Belitung. Kemudian di daerah Cirotan, Banten terdapat tambang emas dengan bijih emas polimetalik terdapat juga kandungan kasiterit dan wolframit. Sebaran Sn-W primer dan granitoid terdapat di Daerah Kundur, Batam, Bintan, Bangkinang, Singkep, Bangka dan Belitung (Schwartz dkk., 1995). Wolfram juga ditemukan di Hatapang, Sumatera Utara berupa urat kuarsa memotong



Sebaran lokasi keterdapatan cebakan wolfram di Pulau Belitung (Schwartz, dkk., 1995).

granit dan batuan samping, mengandung wolframit, fluorit, dan pirit (Hamidsyah dan Clarke, 1982). Anomali Geokimia Wolfram juga ditemukan di Pegunungan Tiga Puluh-Jambi berdasarkan hasil survei PSDG tahun 1989-1991 (Sunuhadi, 2018). Keberadaan wolfram sebagai mineral ikutan pada sistem mineralisasi timah di Toboali bersama dengan REE, Th, Mo, dan Pt (Hutabarat, dkk., 2022). Potensi wolfram terdapat di Sumatra, Bangka, Belitung, Singkep, Kundur, Bintan, dan Kalimantan.

Deposit wolfram dijumpai di Bukit Tumang, pada Pluton Dabo di Pulau Singkep. Endapannya terdiri dari kompleks urat kuarsa sub-paralel yang mempunyai kemiringan nyaris tegak berbatasan dengan zona greisen. Tubuh greisen berpola seperti lembaran serta urat-urat kuarsa tersebut berada pada granit biotit. Komposisi utama greisen adalah muskovit dan kuarsa, serta ada juga zona yang hampir seluruhnya terdiri dari muskovit.

Terdapat zona albitisasi yang bersamaan dengan yang greisen (Surjono dan Clarke, 1982). Tubuh greisen berbentuk seperti lembaran, mempunyai tingginya mencapai 10 m. Ketebalan urat berkisar dari beberapa sentimeter hingga 2 m (termasuk greisen yang berdekatan dengan zona perbatasannya). Mineralisasi bijih terdiri dari kasiterit dan wolframit, pirit, arsenopirit, kalkopirit, sfalerit, galena, dan molibdenit. Kasiterit juga melimpah di urat kuarsa dan di greisen, sedangkan wolframit terkonsentrasi terutama di urat kuarsa. Kasiterit berbutir kasar pada urat kuarsa dan berbutir halus pada urat greisen. Nilai rata-rata dari urat yang berbatasan dengan greisen sekitar 0,3% Sn (Schwartz, dkk., 1995).

Deposit wolfram Tambang Tikus, merupakan mineralisasi timah primer terpenting dengan *hostrock* granit, berada di Pulau Belitung. Endapan ini terletak di tengah Pluton Tanjung Pandan, dimana sekitar 500

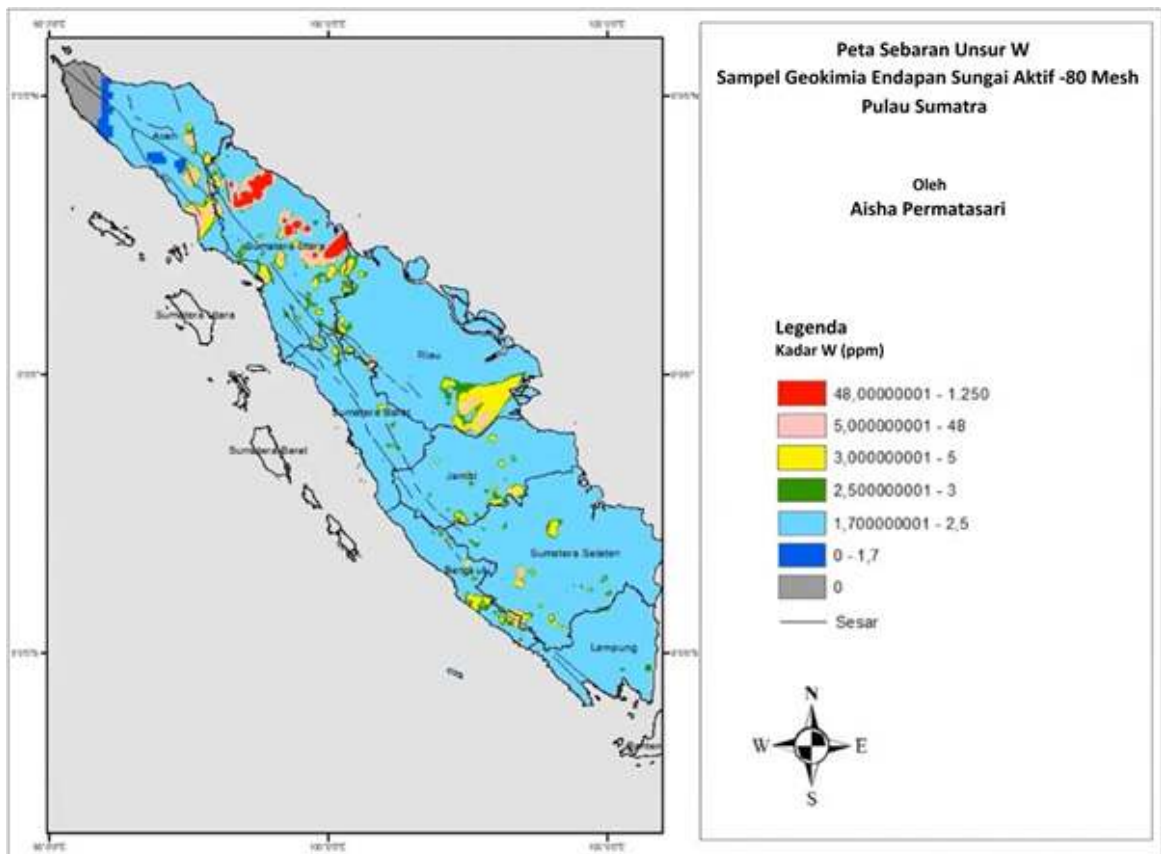
ton timah dan 400 ton tungsten di produksi antara tahun 1916 dan 1920. Operasi tambang dihentikan ketika tambang tersebut terendam banjir dan tidak dapat diakses saat itu. Program pengeboran oleh perusahaan pertambangan Indonesia PT Timah pada tahun 1984 dan 1985 diperoleh cadangan bijih sebesar 2 juta ton dengan kadar 0,3% Sn dan 0,1% W. Beberapa zona greisen dijumpai pada area selua 500x 400 m. Zona greisen utama telah terekspos pada zona operasi tambang pada empat tingkat dari -29 hingga - 105m.

### Potensi Wolfram di Sumatra dan Kalimantan

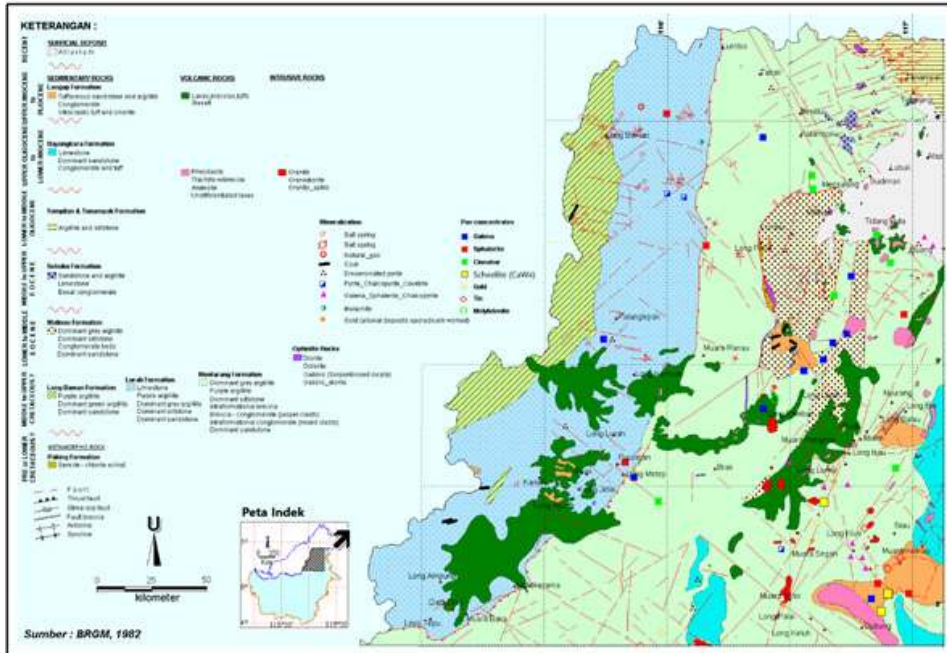
Potensi wolfram selain yang secara rinci telah ditemukan di Pulau Bangka, Singkep, dan Belitung. Ditemukan juga di Sumatra dan Kalimantan. Di Sumatra antara lain ditemukan

di Pegunungan Tiga Puluh dan Hatapang. Hasil pengolahan data sebaran unsur wolfram dari sampel geokimia endapan sungai -80 mesh oleh Permatasari (2023) didapatkan beberapa daerah anomali di Pulau Sumatra yang menarik untuk dilakukan eksplorasi lebih lanjut.

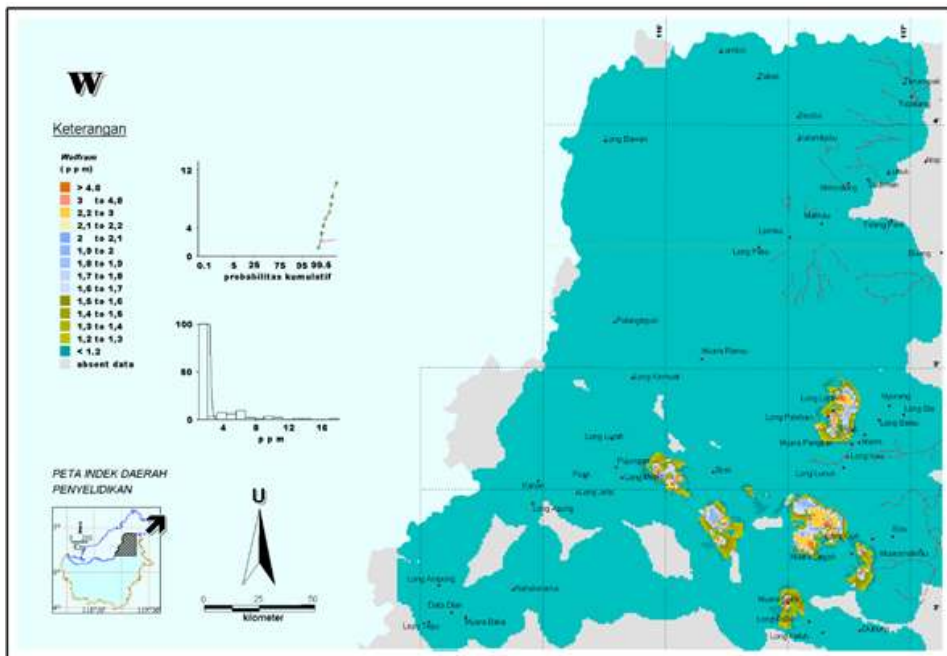
Selain di Sumatra terdapat juga indikasi adanya mineralisasi wolfram di Kalimantan. Dari peta geologi, mineralisasi, dan data konsentrat dulang, Daerah Kalimantan Utara (Sumartono, dkk., 2014) terdapat mineral *scheelite* ( $CaW_4$ ) pada konsentrat dulang di tiga lokasi, bagian ujung tenggara daerah penelitian. Hal ini didukung juga oleh hasil pengolahan data sebaran unsur wolfram dari sampel geokimia endapan sungai -80 mesh, dimana dijumpai beberapa daerah anomali, terutama di Daerah Segah dan sekitarnya.



Peta sebaran unsur wolfram, sampel geokimia endapan sungai aktif -80 mesh, Pulau Sumatra (Permatasari, 2023).



Peta geologi, mineralisasi, dan data konsentrat duglang, Daerah Kalimantan Utara. Terdapat mineral *scheelite* (CaW<sub>4</sub>) pada konsentrat duglang di tiga lokasi, bagian tenggara daerah penelitian (Sumartono, dkk., 2014)

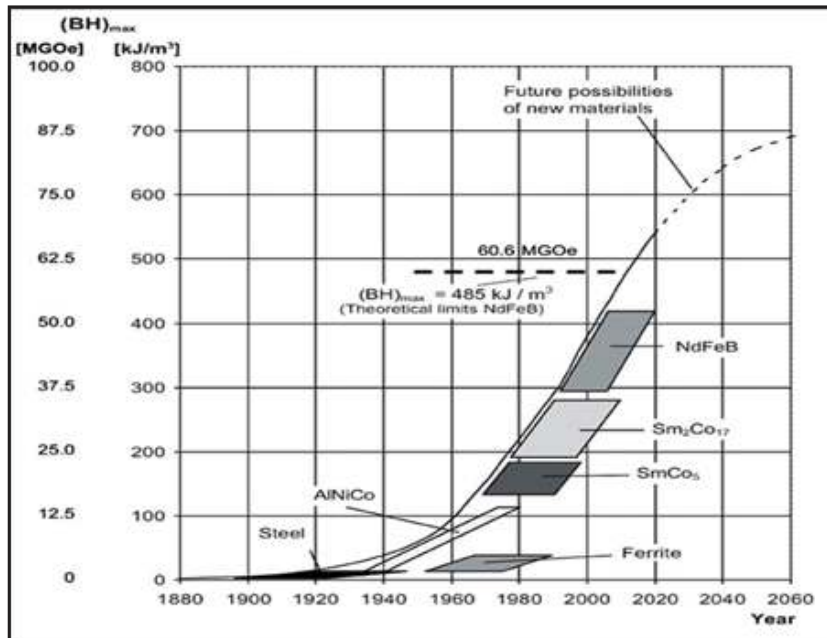


Peta sebaran unsur wolfram, sampel geokimia endapan sungai aktif -80 mesh, Daerah Kalimantan Utara. Terdapat beberapa daerah anomali unsur wolfram di bagian tenggara daerah penelitian (Sumartono, dkk., 2014).

Penulis: mahasiswa Teknologi Geologi, PEP Bandung, Angkatan 2022.

# Menuju Energi Bersih Bersama Neodymium

Oleh : Aditya Pratama



Neodymium, sebuah elemen langka dalam tabel periodik, telah menarik perhatian dunia beberapa tahun terakhir karena potensinya dalam teknologi, untuk menuju teknologi energi yang bersih seperti turbin angin yang digunakan untuk pembangkit listrik dan motor listrik yang menggunakan magnet neodymium-besi-boron (NdFeB). Kekuatan magnet neodymium menjadikannya bahan ideal untuk aplikasi ini, menawarkan harapan untuk mendorong transisi energi yang berkelanjutan.

## Karakteristik Neodymium

Neodymium, dikenal dengan unsur kimia Nd dengan nomor atom 60 menampilkan sejumlah sifat fisik dan kimia yang menarik. Neodymium merupakan anggota keempat dari deret lantanida yang dikenal karena warna peraknya yang khas. Massa atom unsur ini adalah sekitar 144,242, dengan titik leleh sekitar  $1.024 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $1.875 \text{ }^\circ\text{F}$ ) serta titik didih sekitar  $3.074 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $5.565 \text{ }^\circ\text{F}$ ) ini menunjukkan bahwa neodymium merupakan

logam yang relatif lunak dengan kemampuan untuk meleleh dan mendidih pada suhu yang moderat.

Neodymium dalam Sistem Periodik Unsur (SPU) merupakan logam transisi. Neodymium memiliki periode 6 dan berada pada blok f. Unsur ini berada satu golongan dengan unsur Lanthanum (La), Cerium (Ce), Praseodimium (Pr), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), Lutetium (Lu).

Massa jenis neodymium adalah sekitar  $7,01 \text{ g/cm}^3$  yang dimana sifat fisik tersebut menunjukkan kepadatan yang cukup tinggi dan konsisten dengan karakteristik logam berat. Sifat konduktifitas listrik Neodymium juga sangat baik, dengan konduktivitas listrik sekitar  $14,8 \times 10^6 \text{ S/m}$ , konduktivitas listrik tersebut menunjukkan neodymium merupakan salah satu unsur dengan konduktor listrik yang baik, cocok untuk aplikasi dimana konduktivitas listrik sangat diperlukan, contohnya dalam penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Selain itu juga neodymium memiliki sifat fisik konduktivitas termal dan kemagnetan yang baik, konduktivitas termal sekitar  $26,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  yang berarti logam ini dapat menghantarkan panas dengan efisien. Sifat kemagnetan unsur ini juga sangat kuat (paramagnetik) yang membuatnya ideal untuk digunakan dalam pembuatan magnet permanen yang kuat.

Unsur neodymium diperoleh dengan mengekstraksi unsur tersebut dari mineralnya dengan cara melalui berbagai proses kimia. Proses ekstraksi neodymium dari mineralnya cukup kompleks, dengan cara mineral yang mengandung neodymium digiling dan diolah secara kimia. Selanjutnya, neodymium dimurnikan melalui pertukaran ion dan kristalisasi fraksional.

Namun, ekstraksi dan pemrosesan neodymium tidak luput dari dampak negatif terhadap lingkungan. Penambangan bijih neodymium sering kali melibatkan bahan kimia beracun dan air dalam jumlah besar, berpotensi menyebabkan pencemaran air dan juga limbah berbahaya yang jika tidak dikelola dengan benar dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Mengatasi tantangan tersebut membutuhkan penerapan metode ekstraksi dan pemrosesan yang berkelanjutan.

Meskipun terdapat rintangan, neodymium tetap menjadi bahan penting untuk mencapai masa depan energi bersih. Dengan ekstraksi dan pemrosesan yang bertanggung jawab, neodymium dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menciptakan masa depan yang lebih bersih dan berkelanjutan bagi generasi mendatang.

## Genesa dan Keberadaan Neodymium

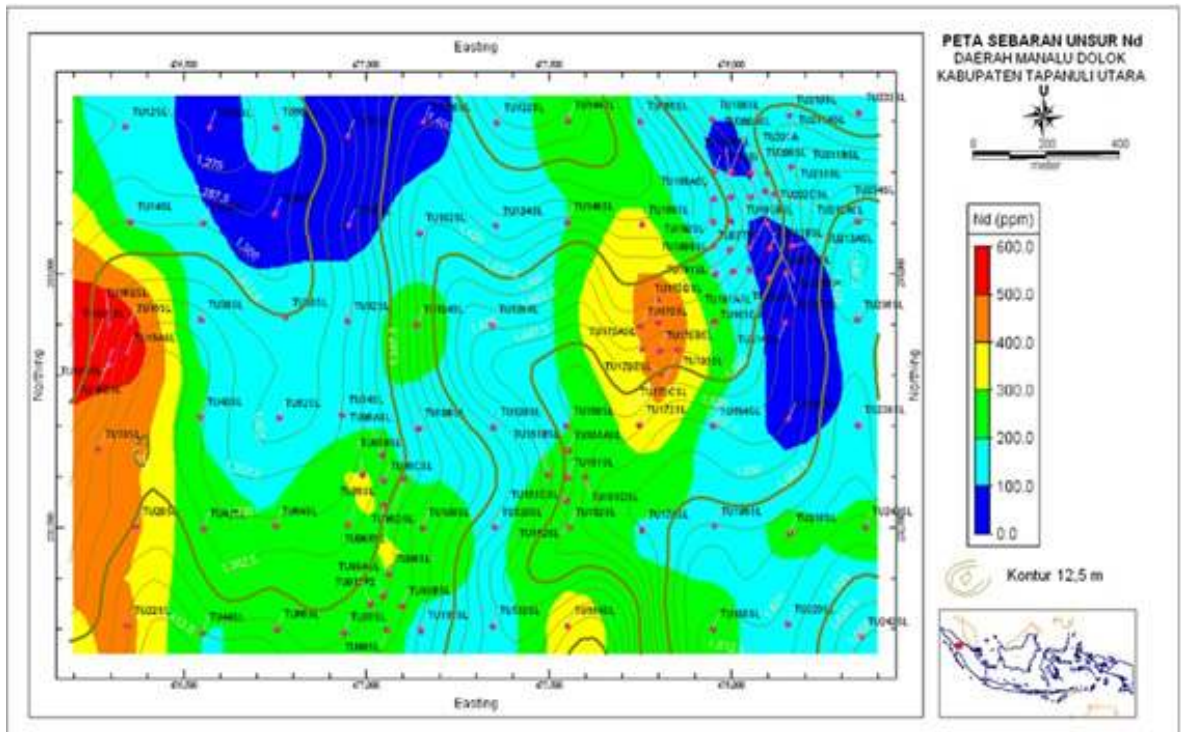
Secara Geologi, neodymium tergolong dalam unsur logam tanah jarang (LTJ). Meskipun relatif melimpah di dalam kerak bumi namun karena sifat fisik dan kimia yang sangat menarik dalam unsur ini, menjadikan neodymium salah satu unsur yang paling dicari. Untuk menerapkan teknologi yang bersih, yakni pada pembuatan bahan magnet khususnya untuk energi terbarukan, neodymium sangat diperlukan.

Neodymium ditemukan pada tahun 1885 oleh Carl Auer von Welsbach, seorang ahli kimiawi Austria. Neodymium merupakan elemen paling berlimpah ke-27 di kerak bumi, kelimpahannya di kerak bumi mencapai 12-24 ppm. Wilayah utama ditemukannya unsur ini adalah di Brazil, China, Amerika Serikat, India, Sri Lanka, dan Australia. Cadangan Neodymium diperkirakan mencapai 8 juta ton, produksi Neodymium Oksida dunia adalah sekitar 7.000 ton per tahun. Unsur ini berada hanya sedikit dibawah tembaga dan seng dalam kelimpahannya. Di Indonesia keberadaan sumber daya neodymium berada di beberapa lokasi, seperti di Bangka, Belitung, dan Sumatra Utara, namun belum dikembangkan hilirisasi industrinya. Neodymium tidak terdapat di alam sebagai unsur murni, melainkan terikat dengan mineral yang mengandung unsur lantanida. Mineral yang mengandung neodymium yang paling umum adalah:

- Monasit : Mineral fosfat yang kaya akan lantanida, termasuk neodymium.
- Bastnasit : Mineral karbonat yang juga kaya akan lantanida, termasuk neodymium.
- Xenotim : Mineral fosfat yang mengandung neodymium dan Yttrium
- Aeschynite : Mineral oksida yang mengandung neodymium, thorium, dan uranium

## Kegunaan Neodymium Untuk Menuju Energi Bersih

Neodymium memegang peran krusial sebagai solusi energi yang bersih guna mengurangi dampak perubahan iklim dan dalam mendorong revolusi energi global.



Peta sebaran neodimium endapan tipe adsorpsi ion, di daerah Manalu Dolok, Tapanuli Utara (Kisman, dkk.,2011)

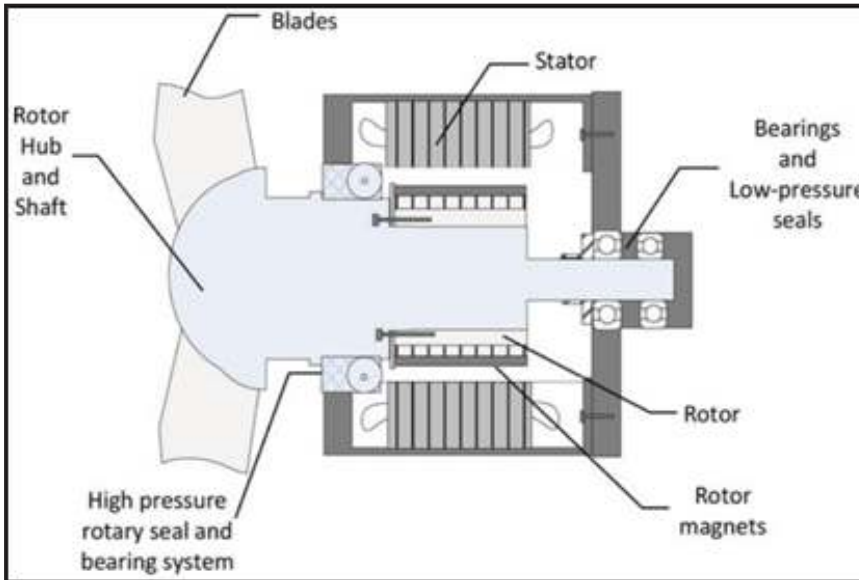
Sebagai salah satu unsur penting dalam pembuatan magnet permanen yang sangat kuat, neodimium mendukung perkembangan teknologi energi terbarukan seperti turbin angin dan motor listrik yang efisien.

Neodymium adalah elemen penting dalam pembuatan magnet neodimium-besi-boron (NdFeB), yang merupakan magnet terkuat yang tersedia secara komersial saat ini. Magnet ini tidak hanya efisien dalam penggunaan energi, tetapi juga memungkinkan perangkat energi terbarukan beroperasi lebih efisien. Turbin angin menggunakan generator yang dilengkapi dengan magnet NdFeB untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik dengan efisiensi yang tinggi. Magnet ini memungkinkan generator untuk menghasilkan tenaga listrik lebih besar daripada menggunakan magnet lainnya, sehingga meningkatkan produktivitas dan efisiensi turbin angin.

Generator *direct-drive airgap* tertutup yang merupakan jenis generator yang paling

umum digunakan dalam turbin angin, salah satu generator yang dilengkapi magnet NdFeB. Pada jenis generator ini, rotor langsung terhubung ke stator tanpa memerlukan *gearbox*. Hal ini menghilangkan kebutuhan akan roda gigi yang bisa membuat bising dan tidak efisien. Generator *direct-drive* juga efisien daripada generator *gearbox*, karena memiliki lebih sedikit bagian yang bergerak dan juga memiliki efisiensi yang tinggi dalam mengubah energi angin menjadi listrik.

Penggunaan neodimium juga semakin banyak digunakan dalam industri motor listrik, di mana motor listrik menggunakan magnet NdFeB untuk menggerakkan roda dengan tenaga lebih besar dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan motor pada umumnya. Ini membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca, mendukung tujuan energi bersih global. Salah satu jenis motor listrik yang menggunakan magnet NdFeB adalah motor *Permanent Magnet* (PM). Motor PM



Generator *direct-drive* airgap (<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/9/3174>)



Motor Brushless DC dengan magnet neodymium (<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?>)

menggunakan magnet permanen untuk menghasilkan medan magnet yang diperlukan untuk menghasilkan torsi.

Magnet neodymium (NdFeB) adalah salah satu jenis magnet permanen yang paling kuat dan banyak digunakan dalam motor PM. Magnet neodymium memiliki kekuatan magnet yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan magnet permanen lainnya. Hal ini memungkinkan motor PM yang menggunakan magnet neodymium untuk menghasilkan

torsi yang lebih besar dengan ukuran yang lebih kecil dan lebih ringan. Motor PM yang menggunakan magnet neodymium juga umumnya lebih efisien daripada motor induksi. Hal ini karena magnet neodymium memiliki medan magnet yang konstan, sehingga tidak ada energi yang terbuang untuk menghasilkan medan magnet.

Penulis : Mahasiswa Teknologi Geologi, PEP Bandung, Angkatan 2023



Penulis dengan latar belakang Tambang Grasberg di Papua

## Mencari Ilmu Sampai di Puncak Tertinggi di Indonesia

Oleh: **Indira Fitria Kholby**

Menginjakkan kaki di Tambang Terbuka Grasberg merupakan mimpi yang akhirnya menjadi kenyataan, dapat mempelajari ilmu geoteknik yang awalnya tidak direncanakan, terjun di dunia geoteknik. Ternyata, Tuhan telah menakdirkan saya untuk menjelajahi dunia geoteknik.

**M**elaksanakan praktik kerja industri selama dua semester merupakan program dari Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung yang dapat menjadi bekal pengalaman mahasiswa di dunia industri, tentunya dengan berkuliah di Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung mahasiswa akan banyak dibantu dalam penempatan lokasi praktik kerja industri, hal ini tidak terlepas bahwa Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung berada di bawah naungan KESDM dan telah menjalin kerja sama dengan banyak perusahaan pertambangan di Indonesia. Dengan adanya program tersebut saya memanfaatkan kesempatan



*Sunrise & Sunset di Tembagapura*

untuk memilih praktik kerja industri di tempat yang selama ini menjadi impian, yaitu di PT Freeport Indonesia. Tentu, tetap harus melalui seleksi, yakni diawali dari Program Studi, dari hasil seleksi dari masing-masing program studi, selanjutnya diajukan ke PT Freeport Indonesia. Dengan berkuliah di Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung sama halnya dengan kita mendapatkan *golden ticket* untuk melaksanakan praktik kerja industri di perusahaan pertambangan yang kita impikan. Anugerah yang sangat kami sukuri.

Berkelana di tanah Papua, daerah yang sedang rawan konflik bersenjata serta isu penembakan tentunya membuat orang tua khawatir untuk melepaskan anaknya melaksanakan praktik kerja industri di kawasan tersebut, akan tetapi kesempatan melaksanakan praktik kerja industri di PT Freeport Indonesia tidak datang dua kali dan ini merupakan kesempatan emas untuk menggali ilmu lebih banyak serta mendapatkan pengalaman berharga untuk dapat melaksanakan praktik kerja industri di perusahaan tambang penghasil tembaga, emas, dan perak terbesar di Indonesia. Pada area kerja PT Freeport Indonesia dapat dikatakan aman, karena dijaga secara ketat kawasannya, bahkan setiap *mile post* terdapat aparat dari TNI dan POLRI yang siaga, sehingga orang tua lambat laun merestui jika anaknya

mengambil tempat praktik kerja industri di PT Freeport Indonesia.

Sampainya di area kerja PT Freeport Indonesia, takjub akan keindahan pemandangan pegunungan yang mengelilingi area kerja PT Freeport Indonesia melihat *sunrise* hingga *sunset* membuat saya nyaman menikmati waktu di sana.

Ekspektasi semula, praktik kerja industri di PT Freeport Indonesia akan berkulat di *coreshed* dan deskripsi sampel *core*, tetapi Tuhan telah berkehendak lain, ternyata saya ditempatkan di departemen *geotechnical regional*. Hal seperti ini sering terjadi, dikarenakan lingkup kerja dari bidang geologi yang luas, tidak hanya di bagian eksplorasi saja, akan tetapi ahli geologi juga punya peran di bidang seperti geoteknik, geohidrologi, dan lingkungan, serta *grade control* di lokasi penambangan. Oleh karena telah terjun di dunia geoteknik, maka harus mencari pengetahuan tambahan yang tidak dipelajari saat kuliah, contohnya saat kuliah *software* yang sering digunakan yaitu Arcgis untuk membuat peta, dan ternyata *software* yang sering digunakan oleh departemen ini yaitu Autocad, oleh karena itu saya perlu mempelajari *software* tersebut dengan dibantu oleh karyawan departemen. Selain belajar dan mendapatkan ilmu baru, di antara karyawan di departemen ini juga mendapatkan ilmu



Inspeksi area MSR (*Mine Supply Road*)

baru, yakni kami saling *sharing* kemampuan yang kita miliki salah satunya di kampus saya diajarkan cara penggunaan alat *Schmidth Hammer* serta penentuan klasifikasi kekerasan batuan dari alat uji tersebut, sehingga saat pegawai departemen tersebut mendapat *project* untuk melakukan pengujian *Schmidth Hammer* pada *tunnel* saya dapat membantu untuk penggunaan alat dan cara pembacaan nilainya.

Area kerja pada departemen *Geotechnical Regional* cukup luas dari *Portsite- MSR (Mine Supply Road) - Mill Area - Grasberg*. Hal yang sangat mengesankan saat diajak untuk mengikuti inspeksi di area MSR (*Mine Supply Road*) dimana area tersebut termasuk *Red Zone* sehingga untuk melakukan inspeksi diwajibkan memakai APD Balistik yang terdiri dari rompi anti peluru seberat tiga kilogram, helm seberat 1,5 kg, dan menggunakan mobil

armored anti peluru. Awalnya timbul keraguan untuk mengajak seorang perempuan ke area tersebut dikarenakan harus memakai APD yang cukup berat dan area kerjanya memiliki *slope* curam, sehingga harus kuat menjaga keseimbangan diri. Namun, akhirnya karyawan departemen tersebut percaya jika saya bisa. Pengalaman baru dan kesempatan yang sangat langka, karena tidak setiap orang dibolehkan memasuki zona tersebut.

Tentu yang lebih penting adalah hasil magang, memperoleh ilmu dan pengalaman, yakni inspeksi area *mill*, memastikan infrastruktur dan lereng disekitar *mill area* dalam keadaan aman dari bahaya dan risiko geotek. Memahami pengoperasian alat pemantau lereng seperti radar monitoring untuk mengukur *deformasi* yang terjadi secara *real time* pada *scanned concern area*, *GPS Monitoring*, serta *Prisma Point Monitoring* untuk



Radar Monitoring (A), Inclinometer (B), GPS Monitoring (C)

mengukur pergerakan lateral maupun vertikal yang terjadi pada permukaan suatu lereng, serta *Inclinometer* untuk mengukur pergerakan di bawah permukaan.

PT Freeport Indonesia memiliki ciri khas yaitu tambang terbuka Grasberg dan juga tambang bawah tanah. Satu minggu sebelum mengakhiri praktik kerja industri di PT Freeport Indonesia, berkesempatan berkunjung ke Tambang Terbuka Grasberg. Untuk mencapai Tambang Terbuka Grasberg terdapat beberapa akses, melalui HEAT (*Heavy Equipment Access Trail*) Road yaitu jalan yang menghubungkan mill area menuju Tambang Terbuka Grasberg atau menggunakan kereta gantung (*Trem*). Kereta gantung di PT Freeport Indonesia ini merupakan kereta gantung tertinggi di Indonesia. Bersyukur saya berkesempatan melewati HEAT Road dan juga melalui kereta gantung (*Trem*). Sesampainya di Grasberg, takjub akan keindahannya, dari kejauhan tepatnya di area Museum Bunaken, dapat melihat es atau salju abadi yang berada di Pegunungan Jayawijaya, serta menyaksikan keindahan Puncak Jaya atau *Carstensz Pyramid*.

Banyak sekali hal yang dapat disyukuri dari kesempatan emas melaksanakan praktik kerja industri di PT Freeport Indonesia ini, walaupun sering kali muncul rasa takut, khawatir akan ekspektasi karyawan disana terhadap tuntutan kemampuan yang tidak dapat saya penuhi, serta di pundak memikul beban nama Kampus

Bersyukur saya berkesempatan melewati HEAT Road dan juga melalui kereta gantung (*Trem*). Sesampainya di Grasberg, takjub akan keindahannya, dari kejauhan tepatnya di area Museum Bunaken, dapat melihat es atau salju abadi yang berada di Pegunungan Jayawijaya, serta menyaksikan keindahan Puncak Jaya atau *Carstensz Pyramid*.

Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, yang harus dijaga. Namun, dibalik rasa takut dan cemas tersebut, ada perasaan bahagia, telah berhasil mewujudkan mimpi menjadi kenyataan, memasuki area kerja PT Freeport Indonesia, berhasil memperkenalkan kampus Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung kepada karyawan serta teman magang, banyak sekali pengalaman baru yang dirasakan saat praktik kerja industri di PT Freeport Indonesia ini.

Penulis: Mahasiswa Teknologi Geologi, Angkatan 2022

# Batu dari Tanah Liat yang Dibakar

Oleh: Akbar T Widodo



Serpis bitumen dapat dibakar dengan mudah karena mengandung kerogen, kaya akan kandungan organik, dan mengeluarkan asap dengan aroma hidrokarbon ketika terbakar (<https://www.e-education.psu.edu/earth104/node/1012>)

“yang melempari mereka dengan batu dari tanah liat yang dibakar,” (QS. Al-Fil [105]: 4). Di antara kita sudah tidak asing lagi dengan kisah “Burung Ababil dan Pasukan Gajah”. Kisah ini begitu familiar dalam sejarah agama Islam. Burung ababil sebagai pemeran utama dalam menghadapi ancaman terhadap Ka’bah yang merupakan bangunan suci bagi umat Islam dari serangan Pasukan Gajah. Burung-burung ini datang dengan membawa batu-batu kecil yang telah terbakar yang dijatuhkan ke arah pasukan gajah. Batu-batu inilah yang menjadi penyebab kehancuran serta kekalahan pasukan gajah.

Jika kita kaitkan dengan ilmu geologi, ternyata di bumi ini terdapat batu dari tanah liat (lempung) yang bisa dibakar. Batuan tersebut dalam geologi disebut dengan bitumen padat atau bisa juga disebut dengan serpis bitumen.

## Apa itu serpis bitumen?

Menurut beberapa ahli, dapat disimpulkan bahwa serpis bitumen merupakan batuan sedimen yang mengandung material organik tinggi sehingga ketika dilakukan proses *retorting* hingga suhu 550°C akan

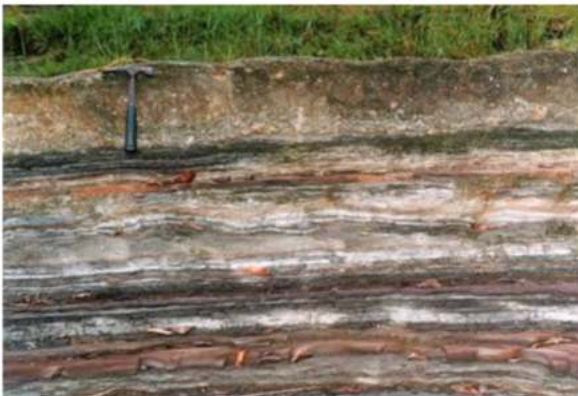
menghasilkan minyak. Serpih bitumen dikenal sebagai batuan sumber (*source rock*) bagi minyak bumi. Serpih bitumen atau bitumen padat mengandung material organik (*kerogen*) yang dapat menghasilkan sejumlah minyak ketika diekstraksi. Selain terdapat pada batuan serpih, bitumen padat juga terdapat di beberapa batuan seperti napal, dolomit, batu lempung karbonan, dan batubara sapropelik. Salah satu keunikan dari serpih bitumen adalah batu ini bisa dibakar.

Serpih bitumen merupakan minyak sintetik yang diperoleh melalui proses ekstraksi *in-situ* atau *retort* destruksi (penambangan). Selama proses ekstraksi, material-material organik yang terdapat di dalam serpih bitumen secara

termal mengalami *cracking* dan berubah menghasilkan minyak dan gas dengan residu abu serta arang (*char*). Proses dan metode ekstraksi serpih bitumen tergantung pada komposisi kerogen dan kehadiran senyawa non organik seperti fosfat, sulfur, dan nitrat.

### Tipe Serpih Bitumen

Serpih bitumen diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi petrologi yang dikembangkan oleh Hutton dengan mengadaptasi istilah dari terminologi batubara. Klasifikasi ini dapat diterapkan karena dapat mengkorelasikan beragam jenis material organik dalam serpih minyak dengan komposisi kimia hidrokarbon yang berasal



Serpih minyak tipe lamosit dari Formasi Sangkarewang, Sumatra Barat  
Sumber: Badan Geologi, 2008



Serpih minyak tipe kukersit dari Estonia  
Sumber: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:OilShaleEstonia.jpg>



Spesimen serpih minyak tipe lamosit dari Formasi Green River, Colorado  
Sumber: Dyni, 2006



Spesimen serpih minyak tipe cannel coal dari Pennsylvanian  
Sumber: [http://en.wikipedia.org/wiki/Cannel\\_coal](http://en.wikipedia.org/wiki/Cannel_coal)

Tipe-tipe serpih bitumen di dunia, Hidayat (2013)

dari serpih bitumen. Menurut Hutton, 1987 serpih bitumen merupakan salah satu batuan kaya organik yang dibagi menjadi 3 kelompok berdasarkan lingkungan pengendapannya, yaitu terestrial, lakustrin, serta marin. Pada serpih bitumen terdapat maseral liptinit yang merupakan unsur penting yang karena kelimpahannya serta kapasitasnya dapat menghasilkan hidrokarbon sehingga dijadikan dasar dalam pengklasifikasian serpih bitumen. Liptinit merupakan kelompok maseral yang berasal dari zat lilin, liptida, dan bagian tumbuhan seperti spora, kutikula, dan resin. Secara kimiawi, kelompok maseral ini memiliki kandungan hidrogen paling tinggi. Tipe serpih bitumen dapat diidentifikasi berdasarkan jenis serta kelimpahan maseral liptinitnya yang terbagi menjadi 6 tipe yaitu *cannel coal*, lamosit, torbanit, kukersit, tasmanit dan marinit. Diantara tipe-tipe tersebut, marinit dan lamosit merupakan serpih minyak yang memiliki kelimpahan serta endapan yang terbesar.

Apa saja komposisi dari serpih bitumen?

Komposisi dari serpih bitumen atau disebut juga bitumen padat dipengaruhi oleh lingkungan pengendapannya. Namun secara umum untuk komponen pembentuk serpih bitumen terdiri dari material organik dan anorganik. Dalam serpih bitumen material anorganik atau mineral merupakan komponen terbesar dan lebih dominan dibanding dengan batubara. Mineral-mineral yang terdapat dalam batubara juga bisa ditemukan dalam serpih bitumen. Unsur organik yang terdapat dalam serpih bitumen terdiri dari kerogen dan bitumen. Kerogen adalah bagian material organik dalam serpih bitumen yang tidak dapat larut dalam pelarut organik biasa serta tersusun oleh partikel-partikel yang dinamakan maseral.

Dalam serpih bitumen ditemukan juga unsur logam, unsur tanah jarang (REE), radioaktif serta berbagai mineral lainnya. Terdapat beberapa studi kasus di berbagai negara terkait dengan kandungan dari serpih bitumen salah satunya ditemukan di Jordania, serpih bitumen memiliki kandungan unsur logam strategis yang tinggi seperti nikel, tembaga, krom dan vanadium. Kemudian ditemukan juga di Estonia, Maroko dan Swedia batuan serpih bitumen yang memiliki

kandungan uranium antara 150-400 ppm.

## Kualitas Serpih Bitumen

Serpih bitumen memiliki kualitas yang bervariasi tergantung dari kandungan organik, jenis mineral serta parameter-parameter lain, diantaranya *Total Organic Carbon (TOC)* dan Jenis Kerogen.

### 1. Total Organic Carbon (TOC)

TOC merupakan indikator utama kandungan organik dari serpih bitumen. Semakin tinggi nilai TOC maka semakin besar potensi batuan tersebut sebagai sumber minyak atau gas. Serpih bitumen dengan kualitas tinggi memiliki TOC diatas 10%, sedangkan kualitas menengah berkisar antara 3-10% dan jika dibawah 3% maka dianggap rendah (Rahmat dan Suryana, 2009).

### 2. Jenis Kerogen

Material organik yang terdapat pada serpih bitumen tersusun atas kerogen, yang menentukan apakah batuan ini lebih cenderung menghasilkan minyak atau gas. Jenis kerogen dibagi menjadi beberapa tipe, diantaranya:

- Kerogen Tipe I (Algal)  
Menghasilkan minyak dengan kualitas tinggi dan sering ditemukan pada lingkungan danau (*lacustrine*).
- Kerogen Tipe II (Marine)  
Menghasilkan minyak dan gas yang terbentuk pada lingkungan laut dalam
- Kerogen Tipe III (Terrestrial)  
Secara dominan pada kerogen tipe III ini menghasilkan gas yang berasal dari material tumbuhan darat

## Bagaimana proses terbentuknya serpih bitumen?

Serpih bitumen terbentuk dari sisa alga, spora, polen serta komponen tumbuhan tinggi yang berkembang dalam suatu ekosistem perairan yang tenang, seperti lingkungan danau atau laut tertutup. Kondisi lingkungan yang dibutuhkan untuk dapat membentuk endapan serpih bitumen yaitu, lingkungan

yang terdapat adanya produksi material organik yang melimpah, rendahnya tingkat organisme pembusuk dan kondisi anaerobik selama masa awal pembentukan. Kondisi anaerobik merupakan kondisi lingkungan yang minim atau tidak memiliki oksigen (O<sub>2</sub>) bebas.

Serpilh bitumen terbentuk melalui proses geologi yang berlangsung selama jutaan tahun. Awalnya, material organik seperti ganggang, plankton, dan tumbuhan mati mengendap di dasar cekungan laut, danau, atau rawa. Lingkungan pengendapan ini harus memiliki produksi material organik yang tinggi agar terjadi akumulasi yang signifikan. Setelah material organik terendapkan, kondisi anaerobik (minim atau bebas O<sub>2</sub>) di dasar cekungan mencegah pembusukan total oleh mikroorganisme aerobik. Akibatnya, sisa-sisa organik tetap terawetkan dan bercampur dengan sedimen halus seperti lumpur dan lempung. Seiring waktu, lapisan sedimen ini semakin menebal dan terkubur di bawah lapisan baru, meningkatkan tekanan dan suhu pada material yang ada di bawahnya.

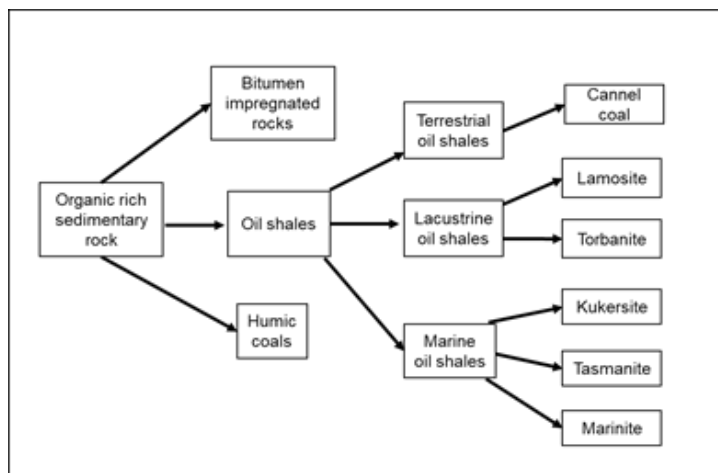
Proses diagenesis kemudian terjadi, di mana tekanan dan panas mengubah material organik menjadi kerogen, yaitu prekursor hidrokarbon yang belum matang sepenuhnya. Dalam kondisi tertentu, jika suhu terus meningkat hingga mencapai tahap katagenesis, kerogen dapat mengalami pemecahan lebih lanjut dan menghasilkan bitumen, suatu bentuk hidrokarbon berat. Namun, dalam serpilh bitumen, sebagian besar hidrokarbon

masih terperangkap dalam batuan dan tidak bermigrasi seperti minyak bumi konvensional. Hasil akhir dari proses ini adalah terbentuknya lapisan serpilh bitumen, yaitu batuan sedimen kaya organik yang memiliki potensi sebagai sumber energi. Untuk mengekstrak hidrokarbon dari serpilh bitumen, diperlukan proses pemanasan buatan (*retorting*) atau metode ekstraksi khusus seperti *pyrolysis* untuk mengubah kerogen menjadi minyak dan gas.

**Kandungan Mineral dan Abu**

Komposisi mineral pada serpilh bitumen menentukan efisiensi ekstraksi hidrokarbon. Kandungan kuarsa dan karbonat tinggi biasanya mempermudah proses, sedangkan kandungan lempung yang berlebih dapat menghambat proses pemanasan. Kandungan abu yang tinggi (>50%) menunjukkan kualitas rendah karena lebih banyak material anorganik dibandingkan dengan material organiknya.

Penggunaan serpilh bitumen ditentukan oleh kualitas serpilh bitumen. Kualitas serpilh bitumen dapat dinyatakan dalam nilai panas (kalori) atau jumlah minyak yang dihasilkan dari serpilh bitumen. Nilai panas ini dapat dijadikan sebagai nilai acuan jika serpilh bitumen akan dimanfaatkan secara langsung sebagai bahan bakar suatu pembangkit listrik. Nilainya dapat ditentukan menggunakan kalorimeter dalam satuan kkal/kg atau J/kg. Nilai kalori serpilh bitumen bervariasi berkisar 500-4000 kkal/kg dalam keadaan berat kering batuan.



Alur proses dan komponen pembentuk serpilh bitumen (Hutton, 1987)

**Kualitas serpih bitumen berdasarkan kandungan minyak yang dihasilkan melalui *retort* di laboratorium, Dyni (2006)**

Derajat	Oil yield (l/ton)	Contoh endapan
Marjinal	<45	Manitolin-Collingwood trend, Kanada (<40)
Rendah	45-90	Fushun oil shale, China (78-89) Timah deposit, Maroko (70) Irati oil shale, Brazil (70-90)
Moderat	90-150	Stuart oil shale, Australia (94)
Tinggi	> 150	Estonian dan St. Petersburg Kukersite (200) Green River oil shale, United State (150-250)

Potensi serpih bitumen dapat diukur melalui kandungan minyak yang dihasilkan selama analisis *retort* metode yang paling umum digunakan adalah modifikasi *Fischer assay*.

Metode tersebut merupakan tiruan dari evolusi pembentukan hidrokarbon di alam yang bisa berlangsung selama jutaan tahun. Begitu juga dengan nilai kalori, setiap endapan serpih bitumen dapat memberikan kandungan minyak yang beragam. Berdasarkan jumlah rata-rata minyak yang dihasilkan dari serpih bitumen, derajat endapan serpih bitumen dapat dikelompokkan menjadi 4 kategori yaitu marjinal, rendah, moderat, dan tinggi. Beberapa parameter lain yang dapat menunjukkan kualitas serpih bitumen antara lain kandungan unsur-unsur (C, H, O, N, S), persentase material organik, komposisi mineral, kadar abu serta kelembapan.

**Kenampakan Megaskopis di Lapangan**

Kenampakan serpih bitumen jika dilihat secara megaskopis atau langsung dengan mata telanjang, pada umumnya serpih bitumen dicirikan oleh sifat fisik yang berupa lapisan-lapisan tipis berlembar-lembar (laminasi), menyerpih, berselang-seling dengan batu lempung hingga batu lanau, dan memiliki warna abu-abu terang hingga abu-abu gelap. Warna ini disebabkan karena kandungan organik yang tinggi. Salah satu karakteristik unik dari serpih bitumen adalah baunya yang khas, terutama ketika batuan tersebut dihancurkan atau dibakar. Bau yang muncul menyerupai minyak bumi atau aspal



Singkatan serpih bitumen di Kalimantan (Cahyono, 2008)

dikarenakan adanya pelepasan hidrokarbon volatil.

Perbedaan antara serpih bitumen dengan serpih biasa terletak pada daya apung dan berat batuan tersebut. Serpih bitumen yang memiliki kandungan organik yang tinggi cenderung lebih ringan dibandingkan dengan serpih biasa. Bahkan beberapa jenis serpih bitumen yang memiliki kadar organik tinggi dapat mengapung di air.

**Sumber Daya Serpih Bitumen di Dunia**

Deposit serpih bitumen yang ditemukan dengan derajat tinggi jumlahnya hanya mencapai 1%. Sekitar 2/3 sumberdaya serpih bitumen dunia berada pada kelompok derajat marjinal hingga rendah yang artinya hanya menghasilkan minyak (*oil*) kurang dari 90 liter / ton serpih bitumen. Oleh karena itu potensi sumber daya serpih bitumen untuk di



Aktivitas tambang bawah tanah bitumen padat dengan teknik *room-and-pillar* di Estonia (Sumber: <https://www.agapito.com>)



Produksi serpih serpih minyak skala komersial di Narva Estonia memproduksi 3000 ton/hari pada 1980 dan menghasilkan 30.000 barel/hari pada 2016 (<http://ceri-mines.org>)

eksploitasi untuk kebutuhan ekonomi saat ini masih sangat terbatas. Pada saat ini deposit serpih bitumen yang sedang ditambang atau bahkan dikembangkan untuk ditambang secara ekonomis dapat dikategorikan sebagai cadangan. Dari sumber daya yang diketahui saat ini, hanya sekitar 0,25% dari 3,2 triliun barel minyak yang berasal dari serpih bitumen yang dapat dikategorikan sebagai cadangan yaitu mencapai 8 milyar barel. Berbagai studi yang telah dilakukan oleh lembaga energi internasional, seperti *Energy Information Administration (EIA)* dan *United States Geological Survey (USGS)*, menunjukkan bahwa sumber daya serpih bitumen tersebar di berbagai wilayah di dunia. Beberapa negara yang memiliki cadangan signifikan di antaranya, Amerika Serikat, Russia, Brazil, China, Australia, dan Estonia.

Amerika Serikat menjadi salah satu negara yang terdapat deposit serpih bitumen terbesar di dunia, dengan estimasi mencapai 4,3 triliun barel minyak yang dapat di ekstraksi. Wilayah utama yang mengandung cadangan serpih bitumen adalah *Green River Formation*, yang meliputi negara bagian Colorado, Utah, dan Wyoming.

Negara Rusia juga memiliki cadangan besar yang diperkirakan mencapai 2,5 triliun barel, yang berlokasi di wilayah Volga-Pechora

dan Siberia Timur. Begitu juga dengan Brazil yang menyimpan sekitar 1,5 triliun barel minyak. China juga memiliki sumber daya yang signifikan, yaitu sekitar 1,3 triliun barel. China telah mengembangkan teknologi ekstraksi serpih bitumen dalam beberapa dekade terakhir untuk dapat mengurangi ketergantungan pada impor minyak. China diprediksi akan terus melakukan eksplorasi dan pengembangan teknologi untuk dapat meningkatkan efisiensi produksi. Penelitian mengenai metode *Carbon Capture and Storage (CCS)* menjadi fokus utama dalam mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh industri serpih bitumen.

### **Potensi Serpih Bitumen di Indonesia**

Sejak tahun 2000, penyelidikan serpih bitumen telah dilakukan oleh Badan Geologi melalui Pusat Sumber Daya Geologi. Kegiatan ini juga meliputi survei serta pemetaan geologi pendahuluan formasi-formasi pembawa, sebaran dan perhitungan sumberdaya serpih bitumen. Mulai tahun 2000 hingga tahun 2013, telah dilakukan penyelidikan serpih bitumen yang tersebar di sebagian besar kepulauan di Indonesia diantaranya Pulau Sumatera, Jawa, Kalimantan dan Papua. Berdasarkan hasil penyelidikan yang telah dilakukan, Pulau Sumatera memiliki jumlah sumberdaya serpih

No	Pulau	Kandungan Minyak (Lt / Ton)		Sumber Daya (Juta Ton)		
		Min	Max	Hipotetik	Tereka	Total
1	Jawa	2	140	27,47	7,26	34,73
2	Kalimantan	1	360	156,47	94,24	250,71
3	Maluku	1	0	39,29	0,00	39,29
4	Papua	0	75	56,21	0,00	56,21
5	Sulawesi	2	330	94,90	76,79	171,69
6	Sumatera	1	256	10.710,32	1.176,17	11.886,49
Total				11.084,67	1.354,46	12.439,12

Neraca sumber daya bitumen di Indonesia, status tahun 2022 (KESDM, 2002)

bitumen terbesar dibandingkan dengan pulau lainnya. Jumlah sumberdaya terbesar di Pulau Sumatera terdapat pada Provinsi Sumatera bagian Barat.

Penelitian serpih bitumen oleh Badan Geologi antara lain menemukan endapan di Daerah Tangko Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau. Endapan serpih bitumen ditemukan pada satuan serpih anggota bawah, Formasi Telisa. Tebal endapan serpih bitumen yang ditemukan tersebut berkisar antara 2,50 – 14 m. Ditemukan juga serpih bitumen dalam satuan batu pasir, ketebalan berkisar 1,3 – 1,5 m. Dalam satuan batu pasir terdapat endapan batubara dengan tebal berkisar 6 – 10 m.

Singkapan serpih beitemen yang ditemukan terdiri dari 2 lapisan yang membentuk struktur sinklin. Tebal serpih bitumen pada lapisan pertama berkisar 2,5 m – 11,3 m dan tebal pada lapisan kedua adalah 9,7 m – 14 m. Diperkirakan panjang sebaran serpih bitumen ke arah jurus sekitar 5 km. Hasil analisis *retort* dari 10 sampel serpih bitumen, kandungan minyak Satuan Serpih berkisar antara 8 lt/ton – 48 lt/ton, sampel dari Satuan Batu pasir berkisar antara 5 lt/ton – 212 lt/ton (Amarullah, 2001).

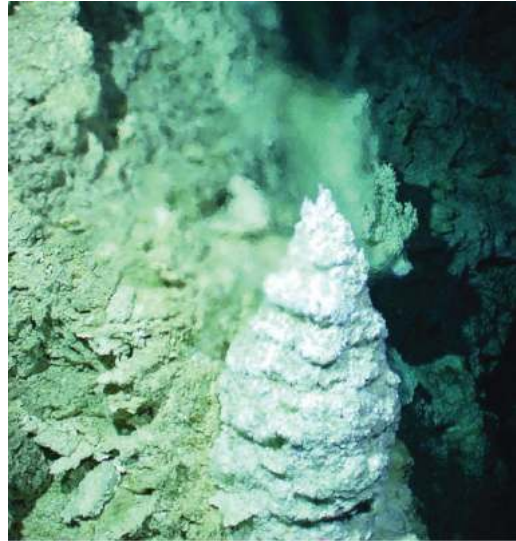
**Penulis: mahasiswa Teknologi Geologi, Angkatan 2022**

#### Hasil Analisis *Retort* sampel Serpih Bitumen Daerah Tangko, Provinsi Riau (Amarullah, 2001)

Satuan Batuan		Serpih		Batupasir	
Lapisan		1	2	1	2
Kandungan Minyak	Rata-rata (lt/ton)	15,3	23,25	-	-
	Kisaran (lt/ton)	8-22	13-48	212*	5*
Kandungan Air	Rata-rata (lt/ton)	118,7	101	-	-
	Kisaran (lt/ton)	94-136	36-168	68*	66*
SG Minyak (gram/ton)		0,95		1,075	

# Endapan Barit

Oleh : Akbar T Widodo dan Grace Aura Lovetine



Keluarnya hidrotermal di dasar laut, black smokers (kiri) menghasilkan suspensi dan endapan sulfida (Cardoso dan Cartwright, 2017) dan white smokers (kanan) menghasilkan presipitasi barit (Pirajno, 2009).

Di dunia pengeboran minyak dan gas sudah tidak asing dengan bahan pemberat yang digunakan dalam lumpur pengeboran minyak dan gas serta meningkatkan tekanan hidrostatik lumpur pengeboran sehingga dapat mencegah runtuhnya dinding lubang bor dan pengendalian tekanan yang baik. Bahan tersebut merupakan Barit (barium sulfat), apa itu barit? bagaimana proses terbentuknya barit dan di manakah lingkungan pembentukan barit?

## Karakteristik

Barit ( $BaSO_4$ ) merupakan mineral yang namanya diambil dari Bahasa Yunani yaitu *barys* yang berarti "berat". Dinamakan barit karena memiliki berat jenis yang tinggi. Barit dapat terbentuk urat namun pada umumnya barit ditemukan pada batuan sedimen. Kekerasan barit sekitar 3 hingga 3,5 Mohs. Sebagian besar barit yang ditemukan di batuan sedimen yang terbentuk ketika barium sulfat ( $BaSO_4$ ) diendapkan di dasar laut. Barit

dapat mengendap di laut melalui mekanisme-mekanisme yang melibatkan interaksi antara ion barium dan sulfat dalam air laut.

Barium memiliki mobilitas terbatas di lingkungan dan barium yang terpapar di sekitar tambang barit menimbulkan risiko minimal bagi kesehatan manusia atau ekosistem. Yang lebih mengkhawatirkan adalah potensi limpasan asam yang mengandung logam di lokasi di mana bijih barit atau batuan sisa

mengandung banyak mineral sulfida. Risiko ini berkurang secara alami jika batuan induk di lokasi tersebut bersifat asam-netral, dan risikonya juga dapat dikurangi dengan tindakan rekayasa.

Sebagai unsur alkali tanah (Golongan IIA tabel periodik), barium memiliki banyak sifat fisika dan kimia yang sama dengan alkali tanah lainnya, yang meliputi berilium, magnesium, kalsium, strontium, dan radium. Barium dengan mudah melepaskan dua elektron terluarnya, membentuk kation divalen ( $Ba^{+2}$ ) dalam larutan. Namun, karena memiliki potensial ionik yang relatif rendah, ia masuk ke dalam larutan sebagai ion terhidrasi. Garam klorida, nitrat, dan bromida dari barium larut dalam air, tetapi garam karbonat, sulfat, fosfat, dan asam fosfat memiliki kelarutan yang sangat rendah dalam air. Garam anorganik barium yang paling tidak larut adalah barium sulfat, barit ( $BaSO_4$ ), dengan hasil kali kelarutan ( $Ba^{+2} [M] \times SO_4^{-2} [M]$ ) sekitar  $1,05 \times 10^{-10}$  (Snively, 1989a,b). Karena konsentrasi sulfat anorganik terlarut yang tinggi dalam air laut ( $\sim 0,028 M$ ), kelarutan barium sangat rendah. Pada suhu  $25^\circ C$  dan tekanan 1 atmosfer, kelarutan barium dalam air laut yang seimbang dengan  $BaSO_4$  berada dalam kisaran 37 hingga  $52 \mu g Ba/L$  (Chow dan Goldberg, 1960; Church, 1970).

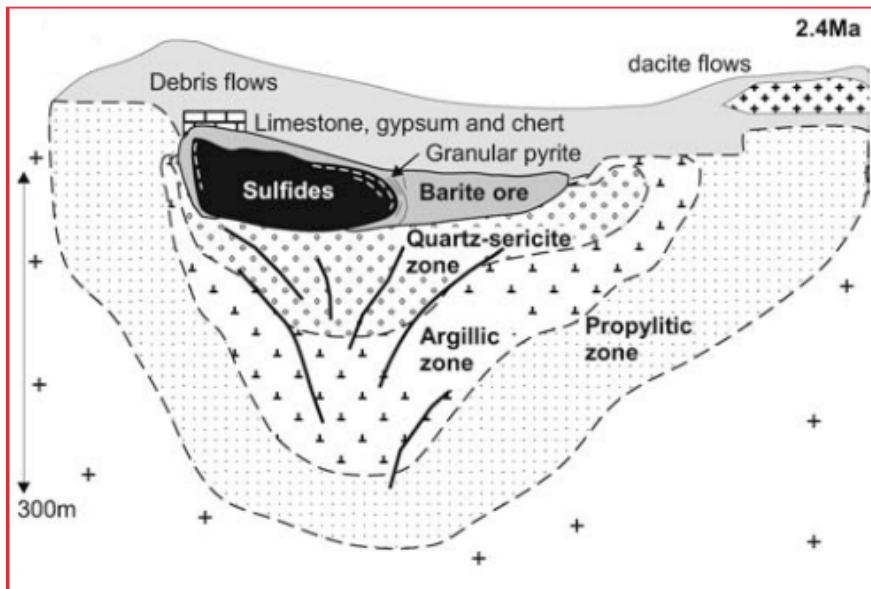
## Genesa

Endapan barit dapat dibagi menjadi lima tipe utama yaitu: sedimen-berlapis; vulkanik marin, urat, metasomatik, dan residu. Endapan sedimen berlapis, yang ditemukan di batuan sedimen dengan karakteristik produktivitas biologis tinggi selama akumulasi sedimen, adalah sumber utama produksi barit dan menyumbang sebagian besar cadangan, baik di Amerika Serikat maupun di seluruh dunia. Pada tahun 2013, Cina dan India adalah produsen barit terkemuka, dan kedua negara ini memiliki sumber daya teridentifikasi yang besar yang memposisikan mereka untuk menjadi produsen signifikan di masa mendatang. Namun, potensi sumber daya barit yang belum ditemukan di Amerika Serikat dan di banyak negara lain cukup besar.

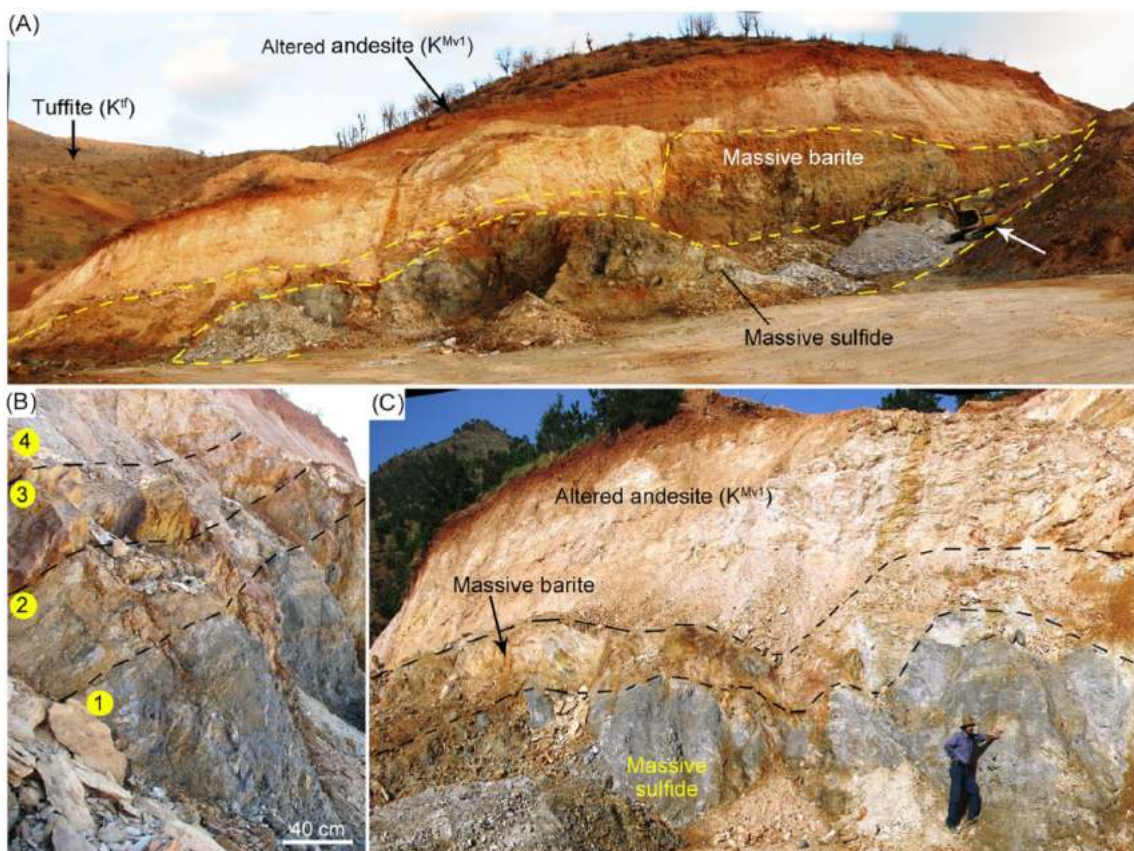
Sebagian besar air laut memiliki tingkat kejenuhan yang rendah jika dibandingkan dengan Barit ( $BaSO_4$ ). Sebagian besar Barit yang ditemukan di lautan terbentuk dari pencampuran cairan Barium ( $Ba^{2+}$ ) dan Sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) sehingga terjadi proses supersaturasi setelah pencampuran. Supersaturasi merupakan keadaan di mana larutan atau uap senyawa mengandung lebih banyak zat terlarut atau uap daripada yang seharusnya. Sebagai salah satu unsur alkali tanah, Barium memiliki banyak kesamaan sifat fisika dan juga kimia

Konsentrasi barium terlarut di perairan permukaan lepas pantai.  
Konsentrasi dalam  $\mu g/L$  (Neff, 2002)

Water Body	Barium Concentration	Reference
Oceanic Average	15.0	Li, 1991
Atlantic Ocean	8.2 – 13.2	Jeandel et al., 1996
S. Atlantic	4.9	Bishop, 1990
NE Atlantic Ocean	7.4 – 14.0	Rhein et al., 1987
NW Pacific	5.0	Chow & Snyder, 1980
NW Pacific	5.4	Roe & Froelich, 1984
Gulf of Alaska	4.2 – 19.4	Epstein & Zander, 1979
Gulf of Mexico	11 – 12	Chan & Hanor, 1982
Offshore Gulf of Mexico	10	Deslarzes et al., 1995
NW Gulf of Mexico	10 – 90 <sup>a</sup>	Trefry et al., 1995, 1996
Caribbean Sea	6 – 19	Falkner et al., 1993
Arctic Ocean	6.0 – 6.7	Chan et al., 1977
Antarctic Ocean (surface)	10.7	Jeandel et al., 1996
Black Sea	19.1 – 33.4	Falkner et al., 1991, 1993
W. Mediterranean	11	Bernat et al., 1972
Indian Ocean	10.3 – 12.9	Dehairs et al., 1989
Indian Ocean (surface)	5.8	Jeandel et al., 1996
Bay of Bengal	6.9	Monnin et al., 1999



Model endapan sulfida masif dan endapan barit masif, pada mineralisasi tipe *volcanogenic massive sulphide* di Pulau Wetar (Scotney dkk. 2005)



A: Gambar lapisan tipe stratiform pada mineralisasi sulfida masif dan barit masif dan alterasi hidrotermal dari andesit pada *hanging wall*; (B): Lapisan mineralisasi tipe *stratiform* pada Deposit Barika deposit: 1) sulfida masif, 2) sisipan sulfida dan barit, 3) sisipan barit dan ekshalatif silikaan, 4) *Hanging wall* batuan gunung api andesitik; (C): Singkapan sulfida masif berada di bawah lapisan barit masif dan andesit teralterasi hidrotermal. Lokasi di Sanandaj-Sirjan, Iran (Tajeddin, dkk., 2019).

dengan unsur alkali tanah lainnya, berupa beryllium, magnesium, calcium, strontium dan radium. Barium mudah melepaskan elektron terluarnya dan membentuk kation divalent ( $Ba^{+2}$ ) dalam larutan. Kelarutan barium didalam air laut sebagian besar dikarenakan adanya kandungan barit ( $BaSO_4$ ) yang memiliki kelarutan rendah. Kelarutan barit di laut cenderung meningkat seiring dengan kedalamannya.

Tingkat saturasi maksimum lautan terhadap barit laut adalah 63% di Atlantik, 88% di Samudera Hindia dan 111% di Pasifik inilah yang menyebabkan sebagian besar air laut tidak jenuh terhadap barit. Kedalaman saturasi barit maksimalnya adalah 1.000 m di Atlantik dan 2.000 m di Samudera Hindia dan Pasifik. Tetapi, konsentrasi barium terlarut berada dalam kesetimbangan dengan barit di sebagian besar permukaan dan perairan dalam seluruh dunia. Sementara konsentrasi barium di perairan lepas Pantai berkisar antara 3 hingga 34  $\mu g/L$  dengan konsentrasi yang biasanya meningkat seiring dengan kedalaman.

Karena hubungan yang positif antara kedalaman air (tekanan) dan kelarutan barit, konsentrasi barium terlarut meningkat seiring dengan kedalaman di lautan. Sebagai contoh di Perairan Palung San Diego, California, konsentrasi barium terlarut rata-rata meningkat dari yang awalnya 11  $\mu g/L$  pada kedalaman air 1 m menjadi 22  $\mu g/L$  pada kedalaman 968 m. Sedangkan di samudera Hindia konsentrasi barium terlarut meningkat dari 6,9  $\mu g/L$  di permukaan menjadi 13,7  $\mu g/L$  pada kedalaman 2.000 m. Konsentrasi partikulat barium yang sebagian besar berupa barit menurun secara tidak teratur seiring dengan bertambahnya kedalaman di lautan, mungkin karena pelarutan dan variasi presipitasi yang terkait dengan biodegradasi bahan organik. Biodegradasi adalah proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme seperti, jamur, bakteri dan ragi.

Dengan demikian, sedimen karbonat yang berasal dari kalsit ( $CaCO_3$ ) biasanya mengandung konsentrasi barium yang rendah, sedangkan pasir karang sering mengandung konsentrasi barium yang tinggi. Barium cenderung mengendap bersama strontium

(Sr) didalam silisit ( $SrSO_4$ ). Sedimen laut dalam banyak endapani mengandung konsentrasi strontium dan barium yang tinggi begitu juga serpih yang kayak lempung mengandung konsentrasi barium yang tinggi. Konsentrasi barium yang terdapat di sedimen laut dan muara sangat bervariasi. Sedimen karbonat mengandung kurang dari 100  $\mu g/L$  barium.

Barit merupakan salah satu penciri endapan hidrotermal yaitu *Volcanogenic Massive Sulfide (VMS)*. Endapan VMS merupakan mineral-mineral sulfida dalam bentuk perlapisan yang dibentuk oleh hasil presipitasi larutan hidrotermal di permukaan atau di lantai samudera (*sea floor*) pada jutaan tahun yang lalu atau bahkan yang masih berlangsung hingga sekarang. Larutan hidrotermal yang terbentuk akan mengalami perubahan suhu, komposisi dan konsentrasi volatil akibat beberapa proses interaksi dengan batuan sampling. Sirkulasi yang terjadi menyebabkan presipitasi urat-urat sulfida logam seperti Cu, Zn, Pb dan Fe pada suhu berkisar antara 350 - 550°C serta menyebabkan terjadinya alterasi. Susunan hidrotermal yang terbentuk pada umumnya memiliki urutan dari dalam ke luar rekahan di antaranya: Sulfida Cu, Zn dan sulfida Fe, sulfida *colloform*, sulfat (barit, anhidrit yang secara umum berasosiasi dengan Au).

Aktivitas ini berangsur-angsur akan berhenti akibat telah terisinya rekahan-rekahan dan pori-pori yang ada. Adanya proses pemekaran samudera (*sea floor spreading*) akan menghasilkan rekahan-rekahan yang baru dan siklus baru dari pengendapan urat hidrotermal dimulai. Hal ini akan berlangsung terus-menerus selama rentang waktu ratusan atau bahkan ribuan tahun yang kemudian menghasilkan tubuh bijih sulfida *massive* yang luas. Larutan yang mengandung logam mengalami reduksi, dengan pH 2 hingga 6 serta menerobos melalui sistem rekahan lalu keluar di lantai samudera dalam sebagai *hot spring (black dan white smokers)* pada suhu sekitar 350-400°C.

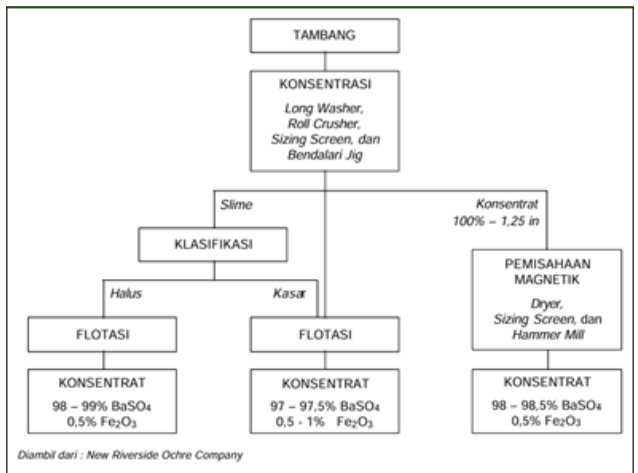
### Potensi Barit

Indonesia memiliki potensi cadangan barit yang signifikan dengan persebaran di

berbagai wilayah kepulauan. Berdasarkan neraca yang dikeluarkan KESDM tahun 2022, sumber daya barit di Indonesia yakni: hipotetik 1.282.160.420,00 ton, tereka 4.954.151.560,00 ton, terunjuk 89.479.600,00 ton, dan sumber daya terkira 1.675.100,00 ton. Tiga lokasi utama dengan cadangan barit terbesar adalah:

- Kawasan Flores Timur: wilayah Omesuri, Lebatukan, dan Buyasari di Flores Timur memiliki deposit barit jenis metasomatis. Deposit ini terbentuk melalui proses intrusi larutan magma yang mengandung barit ke dalam rekahan batuan beku asam dan zona tufa andesit, membentuk struktur urat-urat barit (*fissure vein*). Di Buyasari, barit dengan ketebalan urat 0,01-1,85 meter, panjang 25-50 meter, cadangan perkiraan: 8.500 ton dengan kadar  $BaSO_4$ : 40-78%. Di Omesuri dan Lebatukan terdapat barit dengan cadangan terukur 308.000 ton, kadar  $BaSO_4$ : 87% serta berat jenis 4,2.
- Pulau Wetar, Maluku Selatan: deposit barit di Pulau Wetar merupakan cebakan sedimen vulkanik marin (*volcanogenic massive sulphide*), mengandung kadar Au dan Ag yang tinggi, terbentuk melalui proses mineralisasi dalam tahap hidraulik breksia laterit dan vulkanoklastik, memiliki struktur berbentuk *pod* yang tersemen dalam vulkanik, disertai mineral kuarsa, limonit, hematit, dan lempung, memiliki cadangan terukur: 2 juta ton dengan kadar rata-rata  $BaSO_4$ : 40%
- Kendawangan, Kalimantan Barat: di daerah Lanjut, Kendawangan, deposit barit hadir sebagai cebakan eksogen dengan bentuk berupa urat dan pod, warna putih hingga abu-abu, mediumnya yakni mengisi celah batu gamping terkarsikan, ketebalan urat: 0,01-0,07 meter beserta cadangan tereka: 1,7 juta ton.

Selain tiga lokasi utama tersebut, endapan barit juga ditemukan di Jawa Barat: Tasikmalaya, Jawa Tengah: Kulonprogo dan Purworejo; Pangulu, Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat; dan Tanah Toraja, Sulawesi Selatan



Tahapan Produksi Barit.

### Pemanfaatan

Barit (barium sulfat,  $BaSO_4$ ) sangat penting bagi industri minyak dan gas karena merupakan komponen utama dari lumpur yang digunakan untuk mengebor sumur minyak dan gas. Barium elemental adalah aditif dalam kaca optik, glasir keramik, dan produk lainnya. Di Amerika Serikat, barit terutama diproduksi dari tambang di Nevada. Impor pada tahun 2011 (tahun terakhir yang datanya lengkap tersedia) menyumbang 78 persen dari konsumsi domestik dan sebagian besar berasal dari Cina.

Sebagian besar produksi barit dunia digunakan dalam industri perminyakan. Pemakaian ini mencapai sekitar 85 – 90% dari produksi barit secara keseluruhan. Sisanya digunakan sebagai bahan baku dalam industri kimia barium, sebagai bahan pengisi dan pengembang (*filler dan extender*), dan agregat semen. Tahap pengolahan barit, terutama untuk menghasilkan barit murni (di atas 95%  $BaSO_4$ ) dengan bermacam-macam kegunaannya.

Penulis : Akbar T Widodo (Teknologi Geologi Angkatan 2022) dan Grace Aura Lovetine (Teknologi Geologi Angkatan 2023)

# Karakteristik dan Pengendapan Gypsum

Oleh: Jesbin Natanael Ghodang Manurung



Gypsum jenis satin spar (kiri) dan gypsum jenis selenit (kanan). Sampel koleksi Laboratorium PEP Bandung.

Gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) adalah salah satu bahan galian industri yang mempunyai kegunaan cukup penting di sektor industri, konstruksi maupun bidang kedokteran; baik sebagai bahan baku utama maupun bahan baku pendukung. Di bidang kedokteran gypsum berfungsi sebagai pembuatan cetakan gigi dan juga untuk pembuatan gips yang berguna untuk menahan dan menjaga tulang yang patah tetap pada posisi yang tepat, serta mencegah area di sekitarnya bergerak selama proses penyembuhan.

**D**i Indonesia, penggunaan gypsum baru menyentuh angka 100 juta meter persegi dari 260 juta penduduk dengan 95 persennya digunakan sebagai bahan langit-langit (Pitoko, 2016). Konsumsi gypsum di Indonesia dalam lima tahun terakhir (2015-2019) mengalami pertumbuhan rata-rata 2,9% per tahun dan perkembangan sektor industri pemakai gypsum di Indonesia telah menunjukkan peningkatan yang cukup berarti, terutama industri semen. Hal ini telah mengakibatkan semakin meningkatnya permintaan akan gypsum di dalam negeri. Meskipun Indonesia memproduksi gypsum, namun untuk pemenuhan kebutuhan industri pemakai gypsum di dalam negeri, masih harus mengimpor dari negara lain. Meskipun Indonesia sudah memproduksi gypsum alam

dan gypsum sintesis, untuk pemenuhan sebagian kebutuhan industri pemakai gypsum di dalam negeri, masih harus mengimpor dari negara lain.

Endapan gypsum terdiri lima jenis, yaitu :

1. Gypsum berbentuk granular dan buram, mengandung sedikit dolomit, batu kapur, dan kadar  $\text{CaSO}_4$  : 76%.
2. Gipsit, bersifat lunak dan kurang murni.
3. Alabaster, berbentuk padat, berbutir halus, berwarna putih, dan agak bening.
4. Satin spar, berbentuk serat dan berkilap (fiber), sering kali ditemukan dalam lapisan tipis dengan bentuk kristal.
5. Selenit, berbentuk kristal dan transparan.

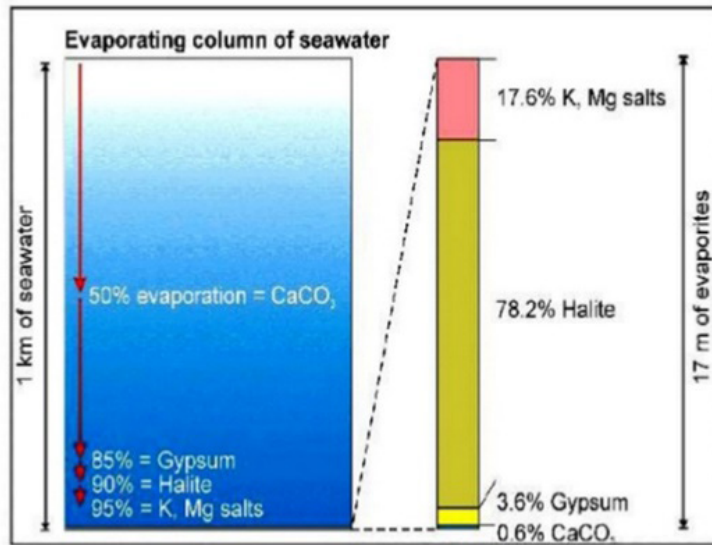
## Lingkungan Geologi Pengendapan Gypsum

Gypsum terbentuk secara alami di beberapa kondisi geologi, yakni terkait dengan kondisi geologi dan lingkungan tertentu. Berikut ini lingkungan pembentukan gypsum:

- **Endapan Sedimen:** Latar geologi yang paling umum untuk pembentukan gypsum adalah lingkungan sedimen, terutama lapisan yang mengandung mineral evaporit. Mineral evaporit terbentuk sebagai hasil dari penguapan air dari laut purba, danau, atau badan air lainnya. Gypsum salah satu dari beberapa mineral evaporit, termasuk halit (garam), dan anhidrit.
- **Lingkungan Gurun:** Gypsum juga dapat terbentuk di daerah gurun atau gersang dengan tingkat penguapan tinggi. Air tanah yang membawa ion kalsium dan sulfat terlarut merembes ke permukaan. Seiring waktu, saat air menguap, kristal gypsum dapat mengendap, menyebabkan terbentuknya endapan gypsum di permukaan.
- **Endapan Gua:** Kristal gypsum dapat terbentuk di gua melalui proses yang dikenal sebagai speleogenesis. Proses ini terjadi ketika air tanah yang mengandung gypsum terlarut bersentuhan dengan lingkungan gua, menyebabkan pengendapan kristal gypsum di dinding, langit-langit, dan lantai gua. Formasi gypsum ini sering disebut «bunga gypsum» atau «selenit».
- **Endapan Lingkungan Vulkanik Darat:** gypsum terbentuk sebagai hasil kegiatan vulkanik, tempat gas  $H_2S$  dari fumarol dan sulfatara, bereaksi dengan batu gamping. Endapan gypsum jenis dapat dijumpai di sekitar Kawah Gunung Ijen.
- **Endapan Lingkungan Vulkanik Marin:** terbentuk pada lingkungan vulkanik bawah laut, hasil interaksi antara fluida hidrotermal



Endapan gypsum di Banyu Pahit, Gunung Ijen, hasil reaksi antara batu gamping ( $CaCO_3$ ) dengan air kawah ( $H_2SO_4$ ) (Priatna, 2004)



Model kolom penguapan air laut. (sumber: <https://www.alexstrekeisen.it>)

yang keluar di dasar laut dengan air laut, membentuk endapan gipsium, umumnya berasosiasi dengan endapan barit.

### Mekanisme Pengendapan Gipsium

Pengendapan gipsium dapat melalui beberapa mekanisme.

- **Deposisi:** Gipsium awalnya terbentuk sebagai ion kalsium dan sulfat yang terlarut dalam air. Ion-ion ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk pelarutan mineral yang mengandung kalsium dalam batuan dan pelindian senyawa sulfur dari bahan organik dan emisi vulkanik.
- **Penguapan:** Di lingkungan dengan tingkat penguapan tinggi, seperti daerah kering atau laut purba yang menguap, air menjadi pekat dengan ion kalsium dan sulfat terlarut saat menguap perlahan. Peningkatan konsentrasi ion ini membuat gipsium lebih mungkin mengendap dan mengkristal dari larutan.
- **Kristalisasi:** Saat konsentrasi ion kalsium dan sulfat terus meningkat, kristal gipsium mulai terbentuk. Kristal-kristal ini dapat tumbuh seiring waktu, akhirnya

terakumulasi dalam lapisan atau lapisan dalam batuan sedimen atau mengendap sebagai kristal tersendiri di gua-gua atau lingkungan bawah tanah lainnya.

- **Alterasi :** Seiring berjalannya waktu, gipsium dapat mengalami proses alterasi, seperti hidrasi dan dehidrasi, tergantung pada perubahan suhu, tekanan, dan keberadaan mineral lainnya. Proses ini dapat menyebabkan perubahan gipsium menjadi anhidrit atau mineral lainnya.

Proses yang umum pada pembentukan gipsium adalah pengendapan langsung melalui penguapan air garam, hidrasi anhidrit, oksidasi sulfida, dan aksi larutan asam sulfat pada batuan yang mengandung kalsium. Endapan gipsium-anhidrit menunjukkan berbagai tekstur yang berbeda termasuk lamelar, nodular, pegmatitik (kristal selenit lensoid) dan masif. Air laut mengandung sekitar 3,5% berat bahan terlarut, sekitar 80% di antaranya adalah natrium klorida dan sekitar 4% kalsium sulfat. Urutan pengendapan garam dari air laut yang telah terbukti secara eksperimental adalah: kalsium karbonat; kalsium sulfat; natrium klorida; sulfat dan klorida magnesium-natrium bromida dan kalium klorida. Jika semua garam

dari kolom air sepanjang 1000 m diendapkan, maka hanya akan terbentuk endapan garam sepanjang 15 m, yang mana sekitar 0,4 m adalah kalsium sulfat, 11,6 m halit, sisanya adalah garam yang mengandung kalium dan magnesium. Namun, tidak penting untuk memiliki kondisi cekungan yang dalam untuk pembentukan kalsium sulfat; kalsium sulfat dapat terbentuk di lingkungan laguna, dan di dataran garam.

### Sifat Gypsum

Gypsum memiliki karakteristik kimia dan fisika yang khas. Oleh karena itu kegunaan dari gypsum berdasarkan karakteristik tersebut.

1. Struktur Terhidrasi: Gypsum adalah mineral terhidrasi, artinya mengandung molekul air dalam struktur kristalnya. Secara khusus, setiap unit gypsum mengandung dua molekul air ( $2\text{H}_2\text{O}$ ) yang terikat secara kimia dengan ion kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). Struktur terhidrasi ini sangat penting bagi sifat dan aplikasinya.
  2. Dehidrasi: Salah satu sifat kimia gypsum yang paling menonjol adalah kemampuannya untuk mengalami dehidrasi terkendali saat dipanaskan. Saat gypsum terkena panas, biasanya pada suhu berkisar antara  $150^\circ\text{C}$  hingga  $190^\circ\text{C}$  ( $300^\circ\text{F}$  hingga  $375^\circ\text{F}$ ), sebagian atau seluruh kandungan airnya akan hilang. Proses ini disebut kalsinasi. Tingkat dehidrasi bergantung pada suhu dan durasi pemanasan.
    - Dehidrasi Sebagian: Ketika gypsum mengalami dehidrasi sebagian, gypsum akan membentuk material yang dikenal sebagai "plaster Paris" atau "gypsum yang dikalsinasi." Plaster Paris adalah zat bubuk berwarna putih yang dapat dicampur dengan air untuk membuat pasta plester yang dapat digunakan, yang digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi dan artistik.
    - Dehidrasi Lengkap: Jika gypsum dipanaskan pada suhu yang lebih tinggi dan dalam jangka waktu yang lama, gypsum akan kehilangan semua
- kandungannya, berubah menjadi kalsium sulfat anhidrat ( $\text{CaSO}_4$ ), yang umumnya dikenal sebagai "anhidrit." Anhidrit memiliki sifat yang berbeda dibandingkan dengan gypsum dan lebih jarang digunakan dalam konstruksi.
3. Rehidrasi: Salah satu sifat unik gypsum adalah kemampuannya untuk menyerap kembali air dan kembali ke bentuk terhidrasi aslinya saat bersentuhan dengan kelembapan. Sifat rehidrasi ini dimanfaatkan dalam produksi bahan konstruksi berbasis gypsum seperti *drywall* (papan gypsum). Saat *drywall* terkena kelembapan, ia dapat menyerap air, yang membantu menahan api dan menjadi pelindung terhadap api.
  4. Stabilitas Kimia: Gypsum stabil secara kimia dalam kondisi normal, tetapi dapat larut perlahan dalam air seiring waktu. Sifat ini membuatnya cocok untuk aplikasi pertanian yang dapat digunakan untuk menyediakan nutrisi kalsium dan sulfur penting bagi tanaman. Gypsum juga dapat memperbaiki struktur tanah dengan menggantikan ion natrium dalam tanah sodik.
  5. Kotoran Kimia: Meskipun rumus kimia gypsum relatif sederhana ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), endapan gypsum alami mungkin mengandung kotoran, termasuk sejumlah kecil mineral atau unsur lainnya. Kotoran ini dapat memengaruhi warna, kemurnian, dan kesesuaian untuk aplikasi tertentu.

Penulis: mahasiswa Teknologi Geologi, PEP Bandung, angkatan 2024.



Endapan belerang di Kawah Ijen (Priatna, 2004)

## Sulfur: Si Kuning dari Tambang dan Kilang Migas

Oleh: Angeliqne Agischa Natasya Tampi

Siapa sangka, di balik kekayaan mineral yang mencolok seperti emas dan tembaga, tersembunyi harta karun lain yang tak kalah bernilai. Sulfur, unsur kimia yang seringkali dianggap sebagai belerang belaka, ternyata memiliki peran krusial dalam berbagai industri dan sebagai bahan baku dalam pembuatan asam sulfat. Sulfur dari kedalaman tambang, hingga jantung kilang minyak dimana sulfur hadir sebagai produk sampingan yang tak ternilai, menjadi pahlawan tak terlihat yang menopang kehidupan modern. Mungkinkah sebuah zat yang berbau menyengat dan sering dianggap sebagai limbah memiliki peran yang sangat vital dalam kehidupan modern?

**Mengenal Lebih Dalam Tentang Sulfur**

**Sulfur** atau belerang adalah unsur kimia dengan lambang S dan nomor atom 16. Unsur non-logam ini cukup melimpah di alam dan memiliki ciri khas warna kuning cerah. Dalam bentuk murni, belerang sering ditemukan di kawasan gunung berapi. Belerang memiliki peran penting dalam berbagai industri, mulai dari pembuatan asam sulfat hingga produksi ban vulkanisir. Senyawa belerang juga ditemukan dalam tubuh makhluk hidup, berperan dalam pembentukan protein. Meskipun terkadang ditemukan dalam bentuk yang murni, belerang biasanya terdapat sebagai mineral sulfida dan sulfat.

Secara historis dan dalam literatur, belerang juga disebut sebagai *brimstone*, yang berarti "batu yang terbakar". Saat ini, hampir semua belerang elemental diproduksi sebagai produk sampingan dari penghilangan kontaminan yang mengandung belerang dari gas alam dan minyak bumi. Meskipun dikenal dengan bau yang khas dan tidak sedap, sulfur memiliki beragam manfaat dalam berbagai industri dan aplikasi, serta memegang peranan penting dalam ekologi dan proses alam.

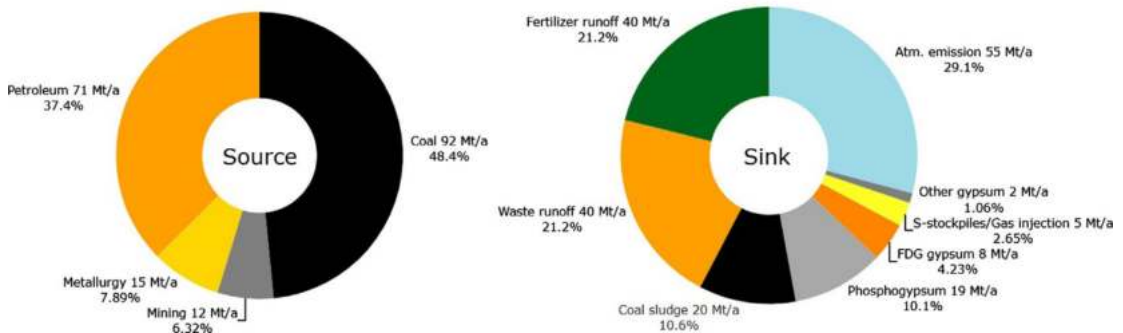
Sulfur memiliki karakteristik fisik yang cukup khas. Secara visual, kristal belerang umumnya berwarna kuning, namun warna ini dapat bervariasi menjadi kuning kegelapan hingga kehitaman akibat adanya unsur pengotor. Dengan berat jenis sekitar 2,05 hingga 2,09, belerang tergolong cukup padat. Meskipun begitu, kekerasannya tergolong

rendah, yakni berada pada skala 1,5 hingga 2,5 Mohs. Hal ini membuat belerang menjadi material yang getas dan mudah hancur. Ketika dipecahkan, belerang akan menghasilkan permukaan yang tidak rata dengan kilap seperti damar. Uniknnya, belerang memiliki rasa yang khas, menyerupai batu ambar. Goresan yang dihasilkan belerang pun berwarna putih.

Belerang biasanya ditemukan dalam bentuk mineral elemental sulfur (S) yang berwarna kuning cerah. Di endapan belerang, mineral lain yang sering terkait adalah gipsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ). Di beberapa lokasi, contohnya bijih dari PT Freeport Indonesia, belerang dapat hadir bersama dengan mineral logam sulfida seperti kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), kovelit ( $\text{CuS}$ ), dan pirit ( $\text{FeS}_2$ ). Saat ini, unsur sulfur merupakan produk sampingan yang dihasilkan dari pengelolaan gas asam dan minyak mentah untuk mengurangi emisi sulfur dioksida yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil (Ober, 2002).

Salah satu karakteristik penting dari industri sulfur adalah alur aliran material. Sebagian besar sulfur merupakan hasil siklus antropogenik, yakni dihasilkan dari membakar bahan energi fosil secara langsung sehingga menghasilkan sulfur sebagai emisi atmosfer. Oleh karena itu, sulfur tidak masuk ke dalam siklus daur industri sulfur. Kalaupun sulfur dihasilkan, sebagai unsur sulfur atau asam sulfat, namun sulfur tidak sebagai produk akhir, akan tetapi umumnya lebih lanjut digunakan

Estimated rates for global industrial sources and sinks in Mt Sulfur per year



Sumber sulfur antropogenik dan setimasi serapan pemakaian 190 Mt/tahun (Rappold dan Lackner, 2010).

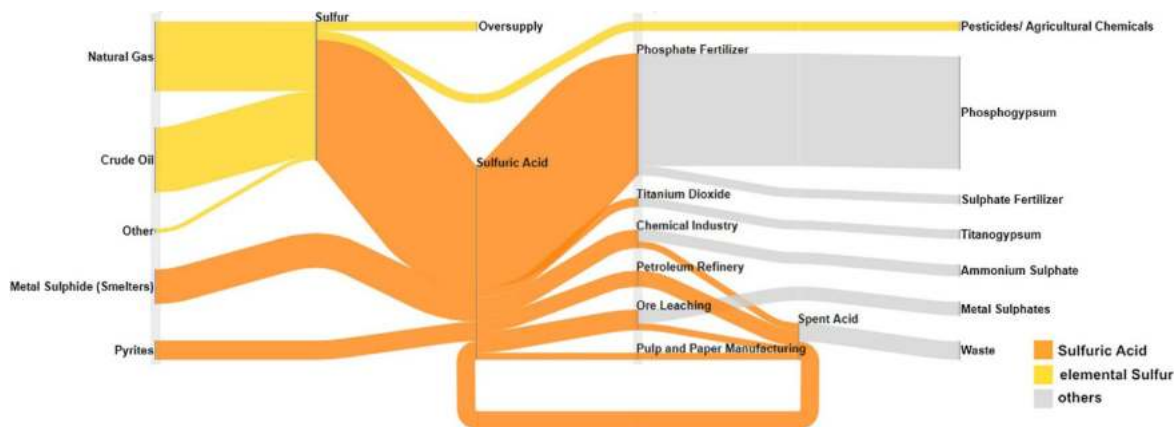


Diagram alir bahan sulfur: asal - penggunaan – sasaran hasil akhir, dari tahun 2012 hingga 2015 (Lokkiluoto dkk., 2012; Rappold dan Lackner, 2010; Ober, 2002)

untuk bahan keperluan industri tertentu.

Kebanyakan belerang diubah menjadi asam sulfat. Sebagian kecil unsur sulfur dimanfaatkan untuk pestisida, bahan kimia pertanian, atau aplikasi kimia dan farmasi lainnya. Asam sulfat banyak digunakan sebagai pereaksi kimia dalam proses pelindian atau katalitik: contohnya adalah penambangan bijih atau pengolahan fosfat, alkilasi minyak bumi, pembuatan metil metakrilat (prekursor untuk akrilik) dan kaprolaktam (prekursor nilon). Pada akhir siklus hidup industri, sulfur pada umumnya akan dibuang sebagai limbah, biasanya dalam bentuk garamnya (sulfat). Sebagian besar industri sulfur dilepaskan ke lingkungan sebagai sulfit (emisi atmosfer) atau sulfat (limpasan, gipsum).

Sebagai contoh yang paling menonjol, dan berperan lebih dari 50% konsumsi sulfur global, produksi asam fosfat menunjukkan situasi penggunaan dan tujuan akhir yang relevan. Asam sulfat digunakan sebagai perantara dalam pembilasan batuan fosfat untuk menghasilkan pupuk fosfat, dan sulfur pada umumnya berakhir sebagai produk sampingan dalam bentuk *phosphogypsum*, yang jumlahnya melebihi lebih dari 200 juta ton per tahun (Sahu dkk., 2014). Karena keberadaan NORM (bahan radioaktif yang terbentuk secara alami) yang terdapat pada banyak sumber batuan fosfat, *phosphogypsum* cenderung bersifat radioaktif ringan, sehingga diperlakukan sebagai limbah dan ditimbun/disimpan

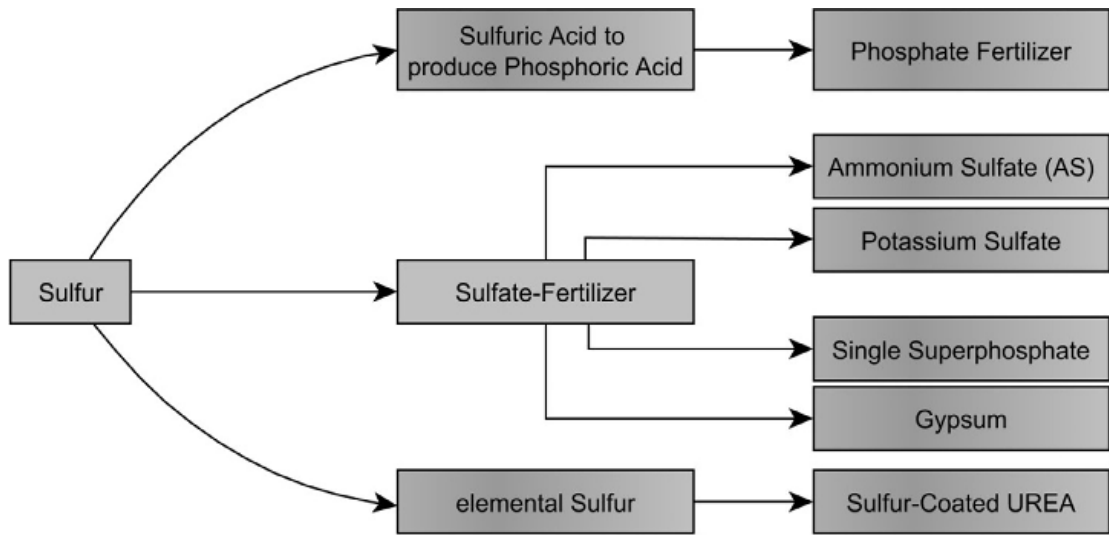
(Saadaoui dkk., 2017) atau dibuang ke laut (El Gueddar dkk., 2015). Contoh penggunaan langsung sulfur adalah dalam pestisida, aditif pupuk, dan obat-obatan.

Menurut Rappold dan Lackner (2010), mengubah sulfur yang berlebih menjadi asam sulfat yang diikuti dengan netralisasi kimiawi, misalnya dengan batuan alkali, merupakan praktik terbaik dari sudut pandang lingkungan. Biaya pembuangan sulfur ini dapat diimbangi dengan energi yang dilepaskan dari proses konversi. Kasus dimana sulfur harus diproses hanya sebagai produk limbah yang tidak berharga, hanya akan menjadi skenario yang sangat kecil kemungkinannya terjadi di masa depan.

### Pemanfaatan Sulfur

Sampai saat ini, konsumen sulfur terbesar adalah industri pupuk, yang menyumbang sekitar 60% dari permintaan sulfur. Pupuk menyediakan nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Unsur hara ini dapat dibagi menjadi unsur hara primer NPK (nitro, fosfor, dan kalium) dan unsur hara sekunder (kalsium, magnesium, dan sulfur).

Meskipun belerang merupakan nutrisi tanaman yang penting, sebagian besar belerang dikonsumsi dalam bentuk asam sulfat untuk menghasilkan asam fosfat dan selanjutnya pupuk yang mengandung fosfor.



Berbagai aplikasi sulfur untuk pupuk (Jan-Georg Wagenfeld, Khalid Al-Ali, Saif Almheiri, Angela F. Slavens, Nicolas, 2019)

Sebagian besar belerang digunakan untuk memproduksi pupuk fosfat, sehingga tidak ada belerang yang merupakan produk akhir. Dengan meningkatnya defisiensi sulfur dalam tanah, tentunya pupuk yang mengandung sulfur akan memainkan peran penting di masa yang akan mendatang.

Berdasarkan jurnal penelitian dari Elsevier, bahan pupuk yang mengandung sulfur dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu pupuk yang mengandung sulfat dan pupuk yang mengandung unsur sulfur. Pupuk yang mengandung sulfat sebagian besar digunakan pada tanah. Sumber yang paling utama digunakan adalah amonium sulfat, superfosfat tunggal (SSP), kalium sulfat, kalium magnesium sulfat, dan gipsum. Amonium sulfat merupakan produk sampingan dari industri kimia namun dapat diproduksi secara langsung juga dengan mereaksikan amonia dan asam sulfat (Chou et al., 1996; Hunt Ramsbottom, 2013).

Pupuk yang mengandung unsur sulfur yang tidak kalah menariknya adalah urea berlapis sulfur. Abu Dhabi Fertilizer Industries Company (ADFERT) memproduksi/menjual urea berlapis sulfur dengan kandungan sulfur 13%. UEA sendiri saat ini mengekspor 2 juta ton

urea per tahun. Jika urea berlapis sulfur dapat diedarkan secara efisien kepada pelanggan, maka akan ada jumlah sulfur yang relatif signifikan yang dapat digunakan.

Peningkatan kebutuhan pupuk berkaitan dengan pertumbuhan populasi dan perubahan pola makan. Hal ini tidak akan menghabiskan kelebihan pasokan sulfur yang diproyeksikan dalam waktu dekat, tetapi kelangkaan pasokan sulfur dapat terjadi pada suatu saat di masa depan (mungkin setelah tahun 2030), akibat dari pertumbuhan penduduk yang dikombinasikan dengan berkurangnya produksi sulfur akibat peningkatan energi terbarukan dan pemanfaatan minyak serpih/gas.

### Belerang Produk Sampingan Pengolahan Minyak

Belerang atau sulfur seringkali dianggap sebagai produk sampingan yang tidak diinginkan dalam proses pengolahan minyak bumi. Namun, seiring berkembangnya teknologi dan meningkatnya kesadaran akan nilai ekonomisnya, sulfur kini telah menjadi komoditas yang sangat berharga. Sulfur ditemukan dalam minyak bumi dalam bentuk senyawa organik seperti hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S).

Proses pengolahan minyak bumi bertujuan untuk menghilangkan senyawa belerang ini karena dapat merusak peralatan, mencemari lingkungan, dan menurunkan kualitas produk akhir seperti bensin dan solar.

Sulfur perlu dipisahkan dari minyak bumi dikarenakan sulfur memiliki senyawa korosif. Sulfur dalam produk akhir dapat menyebabkan polusi udara dan hujan asam. Adanya sulfur dalam pengolahan minyak bumi dapat menurunkan kualitas produk akhir. Berdasarkan Keputusan Dirjen Migas No. 3675 & No 13483 Tahun 2006, Indonesia masih memberikan batas kandungan kadar sulfur dalam bahan bakar solar cukup tinggi yakni sebesar 3.500 ppm solar dan 300 ppm untuk biosolar. Maka dari itu, ada beberapa metode yang digunakan dalam proses desulfurisasi, yaitu proses yang dilakukan untuk menghilangkan kandungan belerang dari minyak bumi.

Proses desulfurisasi terdapat beberapa metode yang digunakan, yaitu hidrodessulfurisasi (HDS), desulfurisasi oksidatif (ODS), metode adsorpsi, dan dengan teknologi kalium. Dilansir dari Lembaran Publikasi dan Gas Minyak Bumi Vol. 49 No. 2, metode hidrodessulfurisasi atau HDS merupakan proses yang umum digunakan. Proses ini sangat efisien untuk menghilangkan tiol, sulfida dan disulfida dengan suhu dan tekanan yang tinggi ( $350^{\circ}\text{C}$  dan 100 bar), dan konsumsi hidrogen yang tinggi pula sehingga modal yang besar dan biaya operasi yang tinggi tidak dapat dihindari (Campos-Martin et al, 2005). Sayangnya, metode HDS sulit untuk mengurangi senyawa sulfur seperti diBenzothiophene dan derivatifnya terutama 4,6-dimethyldiBenzothiophene (4,6-DMDBT).

Proses desulfurisasi menggunakan metode desulfurisasi oksidatif (ODS) bisa menjadi alternatif di masa yang akan mendatang. Oksidasi dan ekstraksi cairan adalah dua tahapan yang terlibat dalam proses ODS (Campos-Martin et al, 2005). Keuntungan menggunakan proses ODS yaitu terjadi ketika kondisi reaksi ringan (kurang dari  $100^{\circ}\text{C}$  dan tekanan atmosfer), tidak memerlukan gas hidrogen yang mahal dan senyawa-senyawa sulfur (thiophene, 2-methylthiophene,



Sulfur (latar depan, warna kuning) produk sampingan dari pengolahan minyak bumi (Shaffer, 2015)

Benzothiophene, 2-methylbezothiophene, dibenzothiophen, 4-methyldiBenzothiophene, dan 4,6-dimethyldiBenzothiophene) dengan mudah dapat teroksidasi (Campos-Martin et al. 2005). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan katalis berbasis Ti-MCM-41 dapat secara signifikan mengurangi kadar sulfur dalam bahan bakar. Metode ini dapat beroperasi pada suhu dan tekanan yang lebih rendah dibandingkan HDS. Namun, masih disayangkan karena proses ODS memiliki kendala yaitu  $\text{H}_2$   $\text{O}_2$  yang bersifat polar tidak dapat bercampur dengan fasa minyak yang bersifat nonpolar, sehingga reaksi senyawa-senyawa sulfur menggunakan hidrogen peroksida untuk menghasilkan sulfoxides dan

**Perbandingan proses HDS dan ODS (Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi  
Vol. 49 No. 2, Agustus 2015: 91 – 100)**

NO	KRITERIA	ODS	HDS
1.	Aplikasi feedstock	Gas Oils dan produk HDS	Gas Oil, LCO,HCO
2.	Sulfur feedstoc	< 4500 ppm S	500 – 9000 ppm S
3.	Produk	<10 ppm sulfur	< 10 ppm sulfur
4.	Hidrogen	Non	450 – 550 ft <sup>3</sup> /bbl
5.	Temperatur operasi	80 °C	280 – 350 °C
6.	Tekanan operasi	Tekanan atm	45 – 80 atm
7.	Tambah unit	Non	Plant Syngas dan H <sub>2</sub>
8.	Total kapital Cost (US\$/ bpd)	1000 - 1500	2500 - 3500

sulfones membutuhkan penambahan solven lainnya untuk memfasilitasi terjadinya reaksi.

Menggunakan adsorben seperti karbon aktif atau zeolit alam juga dapat membantu mengurangi kadar sulfur. Proses ini melibatkan penyerapan senyawa sulfur ke permukaan material adsorben, sehingga menurunkan konsentrasi sulfur dalam minyak. Berdasarkan jurnal penelitian “Peningkatan Kualitas Warna Pertasol CC Menggunakan Adsorpsi Karbon Aktif di Pusdiklat Migas Cepu”, proses treating dengan metode adsorpsi karbon aktif dapat mengurangi kadar sulfur pertasol CC dari 289,9 ppm menjadi 167,8 ppm (desulfurasi 42,12%). Untuk pemakaian zeolit, menurut penelitian dari jurnal “Desulfurisasi Minyak Solar Dengan Menggunakan Adsorben Zeolit Alam”, Hubungan antara kapasitas adsorpsi dan pengurangan sulfur menunjukkan semakin tinggi bobot zeolit kapasitas adsorpsi agak menurun, akan tetapi pengurangan sulfur meningkat.

Pada 2013, di Caltech, Dr. Alexey Fedorov dan Anton Alexandrovich Toutov, memulai penelitian yaitu penggunaan teknologi kalium untuk menghilangkan sulfur dari bahan bakar. Metode ini terbukti

sangat efektif. Peneliti berhasil mengurangi konsentrasi sulfur dari sampel bahan bakar diesel yang kaya sulfur, dari 10.000 bagian per sejuta menjadi dua bagian per sejuta, melebihi syarat peraturan sulfur internasional untuk bahan bakar transportasi yang ambisius, dan melakukannya pada suhu dan tekanan rendah.

Pada tahun 2017, artikel dipublikasikan oleh ilmuwan Cina yang berasal dari berbagai institusi di Jiangsu, Shandong dan Beijing menerapkan metode berbasis kalium untuk menghilangkan sulfur dari batubara mentah di wilayah Xinyu dan Guxian. Mereka berhasil menghilangkan lebih dari 60% sulfur dari batubara dalam tabung uji.

Penulis:  
Mahasiswi Teknologi Geologi,  
Angkatan 2024

# Kokas Metalurgi: Bahan Bakar Penting di Balik Industri Baja Modern

Oleh: **Muhamad Ismatulloh dan Nabilah Ainayah**



Kokas Metalurgi (Sumber: PT Tribhakti Inspektama)

Kokas adalah salah satu produk penting dalam industri metalurgi, terutama dalam proses pembuatan besi dan baja. Kokas merupakan hasil pemanasan batu bara bituminus pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa udara (karbonisasi), yang menghasilkan material dengan kandungan karbon tinggi dan sifat fisik yang keras serta berpori. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan zat volatil dalam batu bara, sehingga diperoleh kokas dengan karakteristik yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan bakar dan reduktor dalam tanur tinggi.

Sebagai bahan bakar, kokas memiliki keunggulan dalam menghasilkan panas tinggi dengan sedikit residu abu, sehingga efisien dalam proses peleburan logam.

Kokas juga digunakan dalam berbagai industri lainnya, seperti pembuatan bahan kimia dan karbon aktif, yang menunjukkan keberagaman manfaat dari material ini.

Dalam industri modern, tantangan utama dalam produksi kokas adalah ketersediaan

batu bara berkualitas tinggi serta dampak lingkungan yang ditimbulkan. Emisi gas rumah kaca dan polutan dari proses karbonisasi menjadi perhatian utama dalam pengembangan teknologi produksi yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian terus dilakukan untuk menemukan metode yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam pembuatan kokas, termasuk penggunaan bahan alternatif dan teknologi pengurangan emisi.

Dengan peranannya yang sangat vital dalam industri metalurgi, kokas tetap menjadi bahan yang tidak tergantikan dalam proses produksi besi dan baja. Adapun saat ini, dikarenakan pasokan yang melebihi permintaan harga kokas di pasaran mengalami penurunan, harga kokas metalurgi di pasaran saat ini adalah sekitar US\$280/ton, sedangkan kokas metalurgi dengan abu rendah mencapai US\$295/ton.

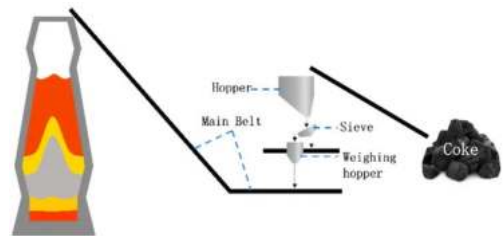
**Proses Produksi Kokas Metalurgi**

Untuk digunakan dalam pembuatan kokas, batubara harus memiliki sifat tertentu seperti plastisitas tinggi, kadar abu rendah, dan kandungan zat volatil yang cukup. Untuk mempercepat proses karbonisasi, batubara dengan kualitas ini dihancurkan menjadi ukuran partikel tertentu sebelum diproses. Ukuran partikel batubara yang seragam sangat penting untuk menghasilkan kokas dengan kualitas yang sama (Anggayana et al., 2022).

Kokas metalurgi dihasilkan melalui proses yang dikenal dengan nama karbonisasi batubara. Karbonisasi dilakukan di dalam oven kokas pada suhu antara 1.000 hingga 1.200°C selama 16-24 jam. Oven kokas dirancang untuk memanaskan batubara secara tidak langsung tanpa kontak dengan udara. Dalam kondisi ini, zat volatil, seperti air, hidrokarbon, dan gas lainnya, dikeluarkan, menyisakan karbon padat (kokas). Hasilnya adalah material berpori dengan struktur yang kuat dan sifat kimia yang stabil (Rahardjo, 2012).

Setelah karbonisasi selesai, kokas didinginkan secara cepat menggunakan air atau nitrogen. Proses pendinginan ini dilakukan

untuk mencegah oksidasi dan menjaga kualitas kokas. Kokas kemudian disortir berdasarkan ukuran dan dikemas sesuai kebutuhan pengguna. Kokas yang dihasilkan diuji untuk memastikan kekuatan mekanis, kadar karbon tetap, kandungan abu, dan reaktivitasnya. Kualitas kokas sangat menentukan efisiensi proses dalam tanur tiup. Kokas berkualitas rendah dapat menyebabkan masalah pada aliran gas dan efisiensi energi di dalam tanur (Herianto, 2013).

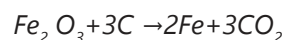


Skematik feeding coke dalam blast furnace (sumber: Li et al., 2022)

**Peran Kokas dalam Proses Pengolahan Baja**

Kokas sangat penting dalam proses produksi baja, terutama ketika menggunakan tanur tinggi (*blast furnace*). Dalam proses ini, kokas digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan panas yang diperlukan untuk mencairkan bijih besi. Tanur tinggi adalah peralatan besar berbentuk vertikal yang mengubah bijih besi ( $Fe_2O_3$ ) menjadi besi cair melalui proses reduksi dimana kokas berfungsi sebagai agen reduksi utama.

Kokas juga digunakan sebagai bahan bakar. Kokas menghasilkan suhu tinggi yang dibutuhkan untuk meleburkan bijih besi dan membedakan logam dari logam pengotor lainnya. Selain itu, kokas berfungsi sebagai agen reduksi dengan menghilangkan oksigen dari oksida besi. Dalam tanur tinggi, reaksi kimia berikut terjadi:



Di dalam tanur, kokas akan bereaksi dengan oksigen yang terdapat dalam bijih besi untuk menghasilkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan besi cair yang siap untuk diproses lebih lanjut menjadi baja.

Selain itu, kokas juga berfungsi untuk mengontrol kadar karbon dalam besi cair, yang sangat penting untuk menentukan kualitas baja yang dihasilkan.

### **Dampak Lingkungan dari Penggunaan Kokas**

Penggunaan kokas memiliki dampak pencemaran udara akibat emisi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ). Karbon dioksida dihasilkan dari pembakaran kokas sebagai bahan bakar karena kokas yang mengandung karbon tinggi bereaksi dengan oksigen menghasilkan  $\text{CO}_2$  yang merupakan gas rumah kaca utama yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Sedangkan sulfur dioksida berasal dari kandungan sulfur dalam batu bara yang digunakan untuk membuat kokas. Yang mana saat kokas dibakar ataupun digunakan dalam reaksi reduksi besi sulfur di dalamnya bereaksi dengan oksigen membentuk  $\text{SO}_2$  yang dapat menyebabkan asam dan polusi udara.

Begitu pula nitrogen oksida yang bukan hanya berbahaya bagi lingkungan karena mengakibatkan hujan asam tapi juga berbahaya bagi kesehatan pernapasan manusia. Nitrogen oksida terbentuk dalam proses pembakaran pada suhu tinggi yang mana nitrogen dalam udara bereaksi dengan oksigen membentuk  $\text{NO}_x$ .

Selain itu limbah pada dari proses produksi kokas juga dapat mencemari tanah dan sumber air karena mengandung berbagai zat berbahaya termasuk logam berat, senyawa organik beracun, dan residu karbon yang sulit terurai. Selama produksi kokas, abu, tar, dan limbah batu bara yang tidak terbakar sering kali mengandung senyawa seperti arsenik, merkuri, timbal, serta hidrokarbon aromatik polisiklik (PAHs) yang bersifat *toxic* bagi lingkungan.

Dan jika limbah ini tidak dikelola dengan baik, zat-zat tersebut dapat meresap ke tanah dan mengganggu kesuburan lahan serta mencemari air tanah dan perairan sekitarnya. Oleh karena itu pengolahan limbah harus dilakukan dengan ketat dan harus terus dilakukan inovasi agar produksi dan penggunaan kokas dapat berjalan dengan aman dan berkelanjutan.

Penulis:  
Mahasiswa Teknologi Metalurgi  
2022)

# Pencucian Batubara: Tujuan, Manfaat dan Teknik

Muhamad Ismatulloh\_



Gambar 3 Pengolahan Batubara PT Kalimantan Prima Persada (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Batubara yang ditambang seringkali mengandung pengotor (*impurities*) seperti abu, sulfur, dan material lainnya. Hal ini dapat memberikan dampak lingkungan akibat terbakarnya sulfur pada Batubara menghasilkan emisi gas Sox yang dapat menyebabkan hujan asam. Pencucian batubara merupakan proses untuk mengurangi dan memisahkan pengotor ini serta meningkatkan kualitas batubara agar memenuhi standar penggunaan tertentu dan meningkatkan nilai jualnya.

**P**roses ini penting dalam industri batubara karena dapat mempengaruhi nilai ekonomi dan dampak lingkungan dari penggunaan batubara.

## Tujuan dan Manfaat Pencucian Batubara

Tujuan dilakukan proses pencucian Batubara sebagai berikut:

1. Meningkatkan kualitas Batubara dengan mengurangi kadar abu dan sulfur dalam batubara. Dengan menghilangkan material pengotor, kualitas batubara dapat ditingkatkan sehingga memenuhi standar yang ditetapkan oleh pasar (Bramantha, 2022).
2. Memenuhi standar pasar: Banyak pengguna batubara, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), memiliki spesifikasi tertentu terkait kadar abu dan nilai kalor. Pencucian membantu memastikan bahwa batubara yang diproduksi memenuhi kriteria ini, biasanya dengan kadar abu tidak lebih dari 10% dan nilai kalor di atas 6000 kcal/kg (Situmorang, 2014).
3. Meningkatkan Nilai Ekonomi: Dengan meningkatkan kualitas batubara, perusahaan dapat menjual produk dengan harga yang lebih tinggi. Hal ini berkontribusi pada profitabilitas dan daya saing perusahaan di pasar global (Alfredo, 2021).



Gambar 1 Pengolahan Batubara PT Kalimantan Prima Persada (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4. Mengurangi dampak lingkungan: Pencucian batubara dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi lainnya yang dihasilkan dari pembakaran batubara berkualitas rendah. Dengan menggunakan batubara yang lebih bersih, dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalisir (Amin et al., 2019).

Pencucian batubara memberikan berbagai manfaat, baik dari segi ekonomi maupun lingkungan. Beberapa manfaat tersebut adalah peningkatan nilai ekonomi, pengurangan dampak lingkungan, efisiensi energi yang lebih baik, dan keberlanjutan sumber daya.

### **Teknik dan Metode Pencucian Batubara**

Berbagai teknik dan metode digunakan dalam pencucian batubara, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangan tersendiri. Berikut Teknik pencucian batubara:

1. *Dense Medium Separation (DMS)*

DMS adalah metode yang menggunakan media berat untuk memisahkan batubara dari pengotor berdasarkan perbedaan berat jenis. Dalam proses ini, batubara dicelupkan ke dalam suspensi padatan yang memiliki berat jenis antara batubara bersih dan pengotor. DMS efektif untuk ukuran batubara mulai dari 0,5 mm hingga 100 mm (Alfredo, 2021; Truscott, 1923).



Gambar 2 Coal Washing Plant (Sumber: Zainuri., 2006)

## 2. Jigging

Jigging adalah proses pemisahan mineral berdasarkan perbedaan berat jenis dengan menggunakan aliran fluida vertikal. Proses ini memungkinkan terjadinya stratifikasi partikel, di mana partikel yang lebih berat akan berada di bagian bawah dan partikel yang lebih ringan akan mengapung ke permukaan (Achmad, 2004). Metode ini sering digunakan untuk ukuran batubara yang lebih besar.

## 3. Flotasi

Flotasi adalah metode yang memanfaatkan gelembung udara untuk memisahkan partikel batubara dari pengotor. Dalam proses ini, campuran air dan bahan kimia (kolektor dan frother) ditambahkan untuk meningkatkan efisiensi pemisahan. Flotasi sangat efektif untuk ukuran halus (<0,5 mm) dan dapat menghasilkan konsentrat berkualitas tinggi (Alfredo, 2021; Gennes, 2004).

## 4. Gravity Concentration

Metode ini menggunakan gaya gravitasi untuk memisahkan batubara dari material pengotor berdasarkan perbedaan densitas. Proses ini sering dilakukan dengan menggunakan alat seperti shaking table atau spiral separator. *Gravity concentration* cocok untuk berbagai ukuran partikel dan merupakan salah satu metode yang

paling umum digunakan dalam pencucian batubara (Brantha et al., 2022).

## Peralatan Pencucian Batubara

Proses ini memerlukan berbagai peralatan khusus yang dirancang untuk memisahkan batubara dari kotoran dan meningkatkan nilai kalori produk akhir. Artikel ini akan membahas tiga jenis peralatan utama yang digunakan dalam pencucian batubara: jig, hydrocyclone, dan flotasi. Gambar 1 menunjukkan peralatan pada *coal washing plant*.

Di Indonesia, perusahaan seperti PT Arutmin Indonesia dan PT Kaltim Prima Coal menerapkan teknik pencucian yang efektif untuk mencapai kualitas yang diinginkan.

Mahasiswa Teknologi Metalurgi

# Mengenal Nikel dan Pengolahan Nikel Laterit: PT Vale Indonesia Tbk

Oleh: Muh Insan Kamil Basri & Nabilah Ainayah

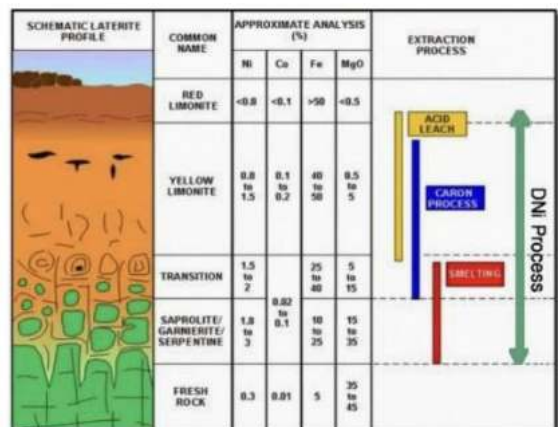


Nikel & PT Vale Tbk  
(Sumber: Pribadi)

Nikel adalah salah satu logam yang sangat berharga dalam industri modern. Dari baja tahan karat hingga baterai kendaraan listrik, keberadaan nikel menjadi semakin penting. Namun, tahukah Anda bahwa nikel ditemukan dalam dua jenis deposit utama, yaitu nikel laterit dan nikel sulfida? Meskipun keduanya mengandung nikel, proses pembentukan, cara ekstraksi, dan pemanfaatannya sangat berbeda. Mari kita bahas lebih dalam.

Nikel laterit adalah jenis endapan nikel yang terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik dalam lingkungan tropis dan subtropis. Proses ini terjadi dalam waktu jutaan tahun akibat kombinasi suhu tinggi, curah hujan tinggi, dan reaksi kimia yang melarutkan unsur-unsur lain, meninggalkan konsentrasi nikel di permukaan tanah. Endapan nikel ini berada di daerah tropis seperti Indonesia, Filipina, dan Kaledonia Baru. Endapan nikel laterit terbagi dalam 3 zona sebagai berikut:

- Pada zona limonit (lapisan atas) terdapat oksida besi dalam bentuk mineral dominan berupa goetit dan magnetit. Adapun kandungan pada zona ini adalah 40-50% Fe, 0,5-5% MgO, 0,8-1,5% Ni, 0,1-0,2% Co.



Generalisasi laterit (Sumber: Elias)

## GetmePop

- Pada zona saprolite merupakan zona pengayaan unsur nikel (Ni). Komposisinya berupa oksida besi, serpentin, magnetit dengan kadar 10-25% Fe, 15-33% MgO, 1,-3% Ni, 0,02-0,1% Co.

Berbeda dengan nikel laterit, nikel sulfida terbentuk dari proses magmatisme di dalam kerak bumi. Dan nikel sulfida biasanya ditemukan dalam batuan beku ultramafik dimana magma yang kaya logam mengalami pendinginan dan mengendapkan nikel bersama dengan tembaga, kobalt, dan logam berharga lainnya seperti platinum.

Adapun endapan nikel sulfida ini biasanya ditemukan di Kanada, Rusia, dan Australia dan mengandung nikel dalam bentuk mineral sulfida seperti pentlandite ( $(\text{FeNi})_9\text{S}_8$ ) dan memiliki kadar nikel lebih tinggi dari pada nikel laterit yaitu 1-5%. Endapan nikel sulfida juga sering ditemukan bersama dengan tembaga (Cu) dan *platinum group metals* (PGM).

Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan nikel untuk baterai kendaraan listrik semakin meningkat. Hal ini membuat nikel laterit, khususnya dari zona limonit, menjadi semakin berharga karena dapat diolah menjadi bahan baku baterai seperti *Mixed Hydroxide Precipitate* (MHP). Namun, nikel sulfida tetap lebih mudah dan murah untuk diekstraksi, sehingga masih menjadi pilihan utama untuk banyak aplikasi industri.

Indonesia, sebagai negara dengan cadangan nikel laterit terbesar di dunia,

memiliki peran penting dalam industri ini.

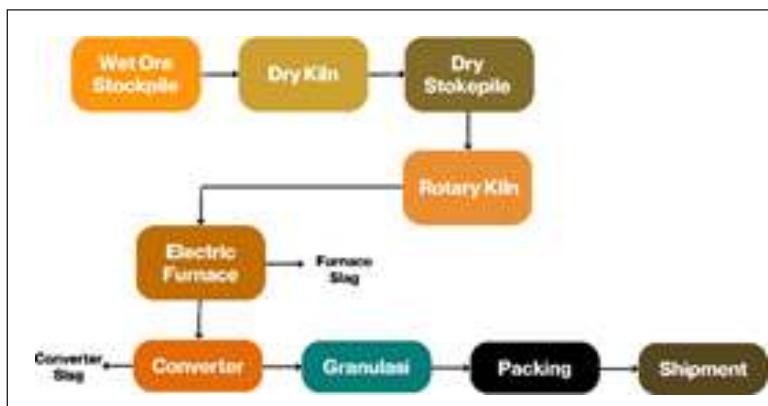
Dengan perkembangan teknologi ekstraksi yang lebih efisien, potensi nikel laterit sebagai sumber daya energi masa depan semakin terbuka lebar.

Adapun keduanya memiliki perbedaan metode ekstraksi. Nikel laterit diekstraksi dengan 2 cara tergantung bijih tersebut terdapat di zona mana. *High Pressure Acid Leaching* (HPAL) yang dilakukan oleh PT Halmahera Persada Lygent.

Metode ini digunakan untuk zona limonit yang mana bijih dihancurkan dan dicampur dengan asam sulfat. Hasil akhir dari metode ini adalah *Mixed Hydroxide Precipitate* (MHP) atau *Mixed Sulfide Precipitate* (MSP), yang digunakan dalam produksi baterai kendaraan listrik.

Lalu nikel laterit juga dapat diekstraksi dengan cara *pyrometallurgy* (*smelting*) seperti yang dilakukan oleh PT Vale Indonesia. Metode ini digunakan untuk zona saprolit yang mana bijih di lebur dalam tanur listrik untuk menghasilkan feronikel (Fe-Ni) atau nikel matte yang biasa digunakan dalam industri baja tahan karat.

Adapun nikel sulfida diekstraksi dengan metode flotasi, smelting dan refining. Pada metode flotasi bijih sulfida akan dipisahkan dengan pengotornya menggunakan zat kimia tertentu dan menghasilkan konsentrat nikel yang lebih kaya kandungan nikelnya. Lalu konsentrat nikel ini akan dilebur menjadi nikel matte dan dimurnikan menggunakan proses mond (karbonilasi) atau elektrolisis hingga



Alur Proses  
(Sumber: Pribadi)

menghasilkan nikel dengan kemurnian tinggi yang biasanya digunakan dalam elektronik.

Baik nikel laterit maupun nikel sulfida memiliki keunggulan masing-masing. Nikel laterit lebih banyak ditemukan di daerah tropis seperti Indonesia dan menjadi bahan baku penting untuk baterai kendaraan listrik. Sementara itu, nikel sulfida lebih mudah diolah dan sering ditemukan bersama logam berharga lainnya.

Dengan meningkatnya kebutuhan akan kendaraan listrik dan energi ramah lingkungan, nikel laterit akan memainkan peran yang semakin besar di masa depan. Namun, tantangan dalam proses ekstraksinya masih menjadi faktor yang perlu terus dikembangkan.

Untuk mengenal lebih dalam mengenai pengolahan nikel laterit kita pada artikel ini akan dibahas proses ekstraksi nikel laterit menjadi nikel matte di PT Vale Indonesia.

Alur proses pengolahan dan pemurnian nikel laterit menjadi nikel matte menggunakan beberapa proses untuk mendapatkan hasil yang baik dengan tetap menjaga kualitas produk dapat dijelaskan sebagai berikut:

Proses awal setelah dilakukan penambangan ore akan disimpan pada area *stockpile*. Ore hasil tambang masih memiliki *moisture* 30-35 % sehingga dilakukan pengeringan menggunakan *rotary kiln* dengan temperatur 300°C- 600°C hingga *moisture* hasil *rotary kiln* menurun 19 – 20%. Hasil dari *rotary kiln* di transfer menggunakan *conveyor* pada



Dry Ore Stockpile (Sumber: Pribadi)

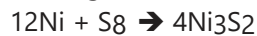
*dry stockpile* hal ini disebabkan karena adanya perbedaan jenis ore.

Kedua jenis ore *diblending* kemudian ditambahkan batubara saat proses di transfer ke *rotary kiln* untuk dilakukan proses pengeringan lanjut (untuk memastikan *moisture* di dalam ore sudah menurun, selanjutnya proses kalsinasi untuk menurunkan air kristal di dalam ore ( $xH_2O$ ),

kemudian dilanjutkan proses *reduction* sehingga ore yang mengandung oksida akan tereduksi oleh batubara reaksi sebagai berikut :



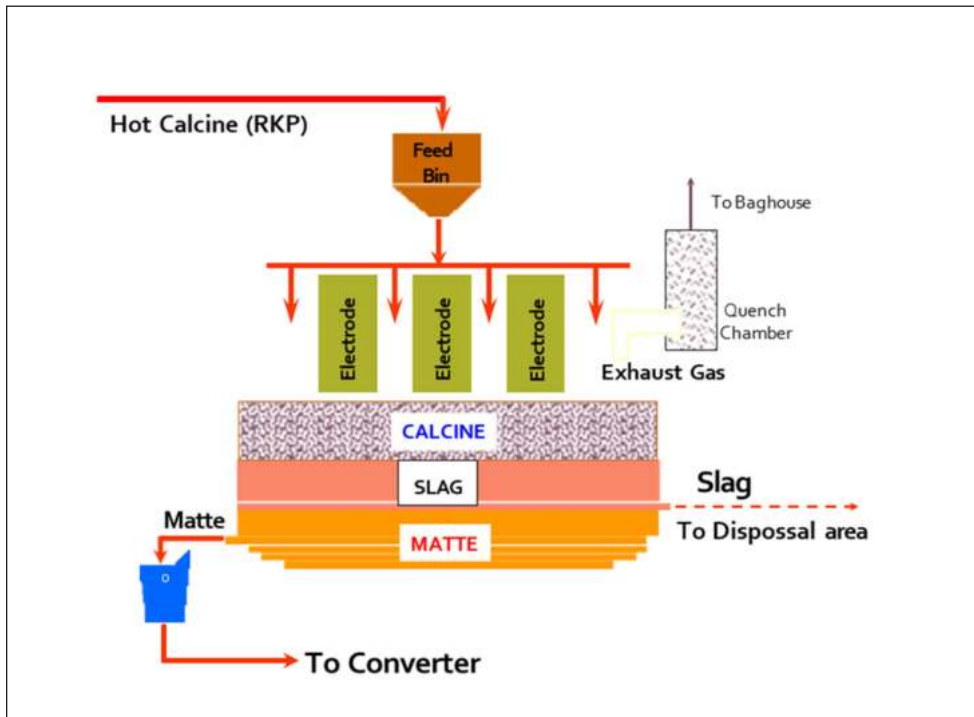
Kemudian dilanjutkan proses sulfidasi dengan menyempromkan sulfur cair pada calcine reaksi sebagai berikut :



Rotary Kiln (Sumber: Pribadi)

Selanjutnya dilakukan proses pemisahan antara *slag* dengan *matte* menggunakan *Electric Arc Furnace* berdasarkan nilai viskositas, sehingga di dalam furnace terdapat 3 layer yaitu pada layer pertama terdapat *calcine*, *slag* berada pada layer ke 2 dan dilakukan proses *tapping* jika *slag* sudah memiliki ketinggian 10-15 inch, sedangkan *matte* berada pada bagian bawah dan dilanjutkan proses *tapping* untuk mengeluarkan *matte*.

Selanjutnya dilanjutkan proses pemurnian



Electric Furnace



Converter (Sumber: Pribadi)

menggunakan *converter* dengan menggunakan udara berlebih sehingga logam-logam pengotor seperti Fe akan mengalami teroksidasi lebih dulu yang disebabkan oleh nilai afinitas Fe lebih rendah dibandingkan dengan Ni dan Co.

*Matte* yang sudah memiliki kadar nikel yang tinggi dilanjutkan proses granulasi



Nikel Matte (Sumber: Pribadi)

menggunakan air bertekanan sehingga output dari proses granulasi mendapatkan nikel dengan kemurnian 78- 80% kemudian dilanjutkan proses packing dan pengiriman ke konsumen.

Penulis:  
(Mahasiswa Teknologi Metalurgi)



# Monasit Mengandung Logam Tanah Jarang dan Radioaktif

Oleh : Firli Tianis Ramadhani Farsya

Mineral yang mengandung Logam Tanah Jarang (LTJ) dan unsur radioaktif, monasit ini termasuk ke dalam kelompok mineral kritis. Monasit sebagai produk sampingan tambang timah, merupakan mineral ikutan pada timah aluvial, telah terus menerus diproduksi bersamaan dengan aktivitas tambang timah. Tambang timah telah dimulai sejak abad 18, atau telah berlangsung sekitar 300 tahun. Oleh sebab itu keberadaannya mempunyai nilai strategis, sehingga perlu diselamatkan.

**T**imbunan pasir monasit, produk sampingan tambang timah, mengandung Logam Tanah Jarang (LTJ) dan unsur radioaktif (Sucipta, 2022). Mengingat sifat radioaktif monasit, maka lokasi penyimpanannya terisolasi, jauh dari masyarakat.

## Karakteristik

Monasit adalah mineral fosfat berwarna coklat, mengandung [logam tanah jarang dan unsur radioaktif](#). Mineral ini memiliki kekerasan mulai dari 5,0 sampai dengan 5,5 [skala Mohs](#), densitas sebesar 4,6 sampai 5,7 g/cm<sup>3</sup>. Radioaktif yang terkandung dalam

monasit yaitu uranium (U), thorium (Th), serta posfat (PO<sub>3</sub>). Secara umum rumus kimia monasit adalah (U, Th, LTJ)PO<sub>3</sub>. Monasit memiliki kandungan LTJ sebesar 20-67%, Uranium (U) sebesar 0,15-0,3 %, Thorium (Th) sebesar 2,5-3,6%, dan PO<sub>3</sub> sebesar 18-30%. Unsur-unsur tersebut dapat dimanfaatkan sesuai fungsinya jika telah dipisahkan satu dengan yang lainnya.

Terdapat beberapa jenis monasit yang dibedakan berdasarkan unsur dominan di dalamnya. Berikut adalah jenis-jenis monasit:

1. Monasit-Ce (Monasit-Cerium) dengan rumus kimia (Ce,La,Nd,Th)PO<sub>4</sub>, jenis monasit yang paling umum, dengan

kandungan utama berupa Cerium (Ce), bersama dengan lantanum (La), neodimium (Nd), dan praseodimium (Pr).

2. Monasit-La (Monasit-Lantanum) dengan rumus kimia  $(La,Ce,Nd)PO_4$ , kandungan dominan berupa Lantanum (La). Kandungan yang lain berupa Cerium (Ce), neodimium (Nd), dan praseodimium (Pr).
3. Monasit-Nd (Monazite-Neodymium) dengan rumus kimia  $(Nd,La,Ce)PO_4$ , kandungan dominan, Neodimium (Nd). Kandungan lain berupa Cerium (Ce), lantanum (La), dan praseodimium (Pr).
4. Monasit-Sm (Monazite-Samarium), dengan kandungan dominan, Samarium (Sm), jenis ini lebih jarang ditemukan dibandingkan yang lain.

Sampel pasir monasit di Laboratorium PEP Bandung, saat dilakukan pengukuran paparan radiasinya diperoleh sebesar 17,21  $\mu$ Sv/jam. Hal ini menunjukkan tingkat radiasi monasit sangat tinggi. Kandungan radioaktif di dalam monasit, terutama dari thorium dan uranium, memberikan tantangan dalam penanganannya. Radiasi yang dipancarkan oleh thorium dan uranium, terutama radiasi alfa, memang tidak menembus kulit, tetapi bisa berbahaya jika terhirup atau tertelan. Oleh karena itu, penambangan dan pengolahan monasit harus dilakukan dengan protokol keamanan ketat. Di Indonesia, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) menetapkan batasan paparan radiasi dan aturan keselamatan untuk melindungi pekerja serta lingkungan sekitar dari potensi bahaya radiasi, batas dosis maksimum untuk masyarakat umum sebesar 1 mSv/tahun.



Mengukur paparan radioaktif pasir monasit di Laboratorium Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung



Tambang timah aluvial di Desa Teluk Dalam, Kecamatan Tanjung Pandan, Belitung (Widhiyatna, dkk. (2005). Menghasilkan produk sampingan, antara lain pasir monasit.

## Potensi Monasit

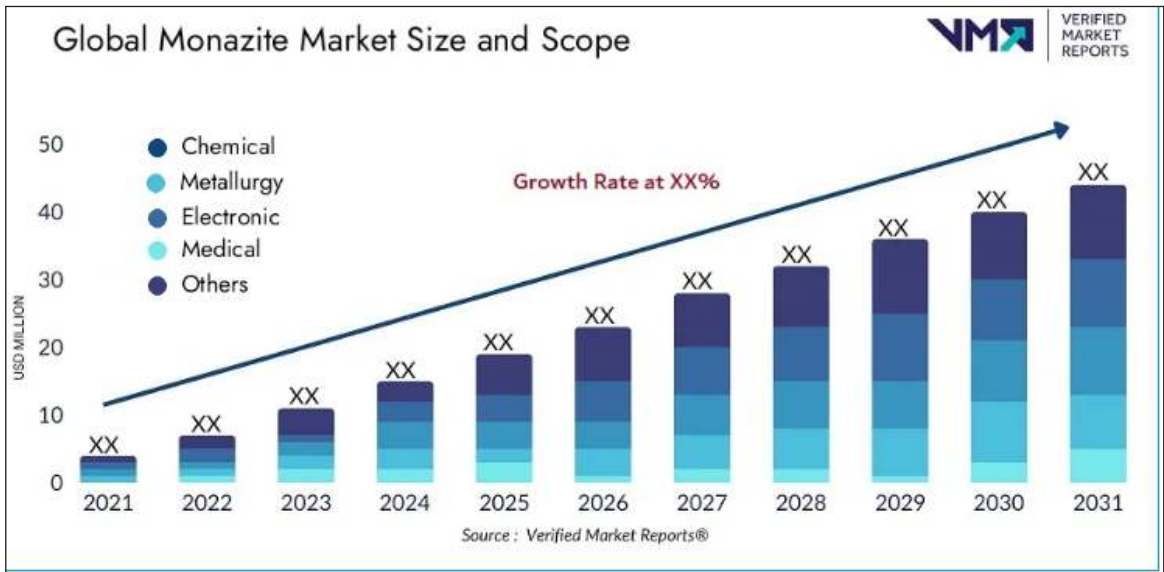
Di Indonesia, monasit terdapat di sepanjang jalur timah dan di Kalimantan. Monasit di Kalimantan Barat terdapat berasosiasi dengan uranium (U). Monasit yang terdapat pada jalur timah pengolahannya dilakukan secara gravitasi, magnetik, dan elektostatik, merupakan produk sampingan dari pengolahan pasir timah. Pada neraca sumber daya mineral, yang dikeluarkan KESDM, 2022, tercatat sumber daya bijih monasit tereka 6.925.308 ton, terunjuk 203.501 ton, dan sumber daya terukur 432.442 ton. Potensi tersebut terdapat pada daerah-daerah penghasil timah utama, meliputi Bangka, Belitung, Kunder, dan Kampar. Sedangkan perkembangan akhir-akhir ini dengan kegiatan eksplorasi yang semakin intensif, temuan sumber daya monasit diharapkan akan meningkat.

## Pemanfaatan

Monasit yang memiliki kandungan LTJ dan radioaktif sangat bermanfaat untuk teknologi sekarang. Logam tanah jarang banyak digunakan di berbagai macam produk teknologi tinggi. Penggunaan logam tanah jarang ini memicu berkembangnya material baru, dengan menggunakan Logam Tanah Jarang memberikan perkembangan teknologi yang cukup signifikan dalam ilmu material.

Perkembangan material ini banyak diaplikasikan di dalam industri untuk meningkatkan kualitas produk. Contoh perkembangan, yaitu magnet. Logam Tanah Jarang mampu menghasilkan neomagnet, yaitu magnet yang memiliki medan magnet biasa, sehingga memungkinkan munculnya perkembangan teknologi berupa penurunan berat dan volume *speaker* yang ada, memungkinkan munculnya dinamo yang lebih kuat sehingga mampu menggerakkan mobil. Dengan adanya Logam Tanah Jarang, memungkinkan munculnya mobil bertenaga Listrik yang digunakan untuk perjalanan jauh. Oleh karena itu mobil *hybrid* mulai marak dikembangkan.

Radioaktif yang digunakan dalam teknologi nuklir, terutama dalam pembangkit energi listrik, kesehatan, dan industri. Dalam pembangkit energi, bahan radioaktif seperti uranium-235 dan plutonium-239 dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam reaktor nuklir. Proses fisi yang terjadi saat inti atom-atom ini terpecah menghasilkan energi panas yang digunakan untuk memanaskan air, menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin yang akhirnya memproduksi listrik. Berdasarkan data dari World Nuclear Association, sekitar 10% listrik dunia dihasilkan dari energi nuklir yang memanfaatkan reaksi fisi dari bahan radioaktif ini.



Pasar global monasit, status pada bulan Desember 2024. Sumber: <https://www.verifiedmarketreports.com>.

Di bidang kesehatan, isotop radioaktif seperti iodine-131 digunakan dalam pengobatan tiroid, sementara technetium-99m sangat berguna dalam pencitraan medis untuk mendeteksi berbagai penyakit. Menurut Badan Energi Atom Internasional (IAEA), radioisotop berperan besar dalam diagnosis dan terapi kanker serta pengobatan lain melalui prosedur radioterapi dan kedokteran nuklir.

Selain itu, di industri, radioaktif digunakan untuk pemeriksaan kualitas material melalui radiografi industri, seperti deteksi cacat pada logam. IAEA juga menjelaskan bahwa radioaktif dimanfaatkan dalam teknik penanggalan radiometrik untuk menentukan usia fosil atau batuan melalui isotop karbon-14 dan uranium-238.

Pemanfaatan logam tanah jarang dan radioaktif yang terkandung di mineral Monasit ini sudah sangat beragam di dunia, sehingga material ini merupakan material masa depan. Mengingat bahwa material tersebut menjadi pemicu lahirnya teknologi baru yang masih

akan terus berkembang seperti LCD, magnet, dan baterai *hybrid*. Hal ini mengakibatkan permintaan LTJ dan radioaktif akan terus meningkat.

Pemanfaatan logam tanah jarang dan radioaktif akan mampu membuka Indonesia terhadap penguasaan dan pengembangan teknologi, terutama teknologi elektronik. Peningkatan kualitas industri metalurgi di Indonesia, dan banyak manfaat yang dapat diperoleh Indonesia dari pengolahan logam tanah jarang terutama meningkatkan perkembangan industri.

Penulis :  
Mahasiswa Teknologi Geologi,  
Angkatan 2024



# Mengenal Proses Hall-Héroult: Teknologi Kunci di Balik Produksi Aluminium Dunia

Oleh: **Muhamad Ismatulloh dan Nabilah Ainayah**

Aluminium (Sumber: Design Pribadi) Aluminium adalah salah satu logam yang paling banyak digunakan di dunia modern karena sifatnya yang ringan, tahan korosi, serta mudah dibentuk. Logam ini sangat penting untuk berbagai industri, termasuk konstruksi, penerbangan, mobil, dan peralatan rumah tangga. Namun, tidak banyak yang tahu bahwa proses Hall-Héroult sebuah teknologi revolusioner membuat produksi aluminium dalam skala besar mungkin. Artikel ini akan membahas sejarahnya, prosesnya, dan keuntungan dan kekurangan proses tersebut.

## Sejarah Proses Hall-Héroult

Aluminium adalah logam yang sangat langka dan mahal pada awal abad ke-19. Awalnya aluminium hanya dapat dibuat melalui metode kimia yang ditemukan oleh Friedrich Wöhler pada tahun 1827 yang menggunakan

aluminium klorida dan kalium. Namun, metode ini mahal jadi aluminium dianggap sebagai logam mewah dan digunakan dalam barang-barang simbolik yang dimiliki oleh keluarga kerajaan seperti perhiasan dan alat makan.

Seiring dengan perkembangan revolusi

industri, kebutuhan akan bahan yang kuat, ringan, dan tahan korosi semakin meningkat. Aluminium memenuhi semua kriteria ini. Namun, cara terbaik untuk memisahkan aluminium dari alumina ( $Al_2O_3$ ) adalah masalah utama.

Dua ilmuwan muda yaitu Charles Martin Hall dari Oberlin College di Amerika Serikat dan Paul Héroult dari École Normale Supérieure di Prancis, secara independen menemukan metode yang sama untuk mengekstraksi aluminium dengan elektrolisis pada tahun 1886. Penemuan mereka telah menciptakan sebuah kisah yang tidak dapat dipisahkan dalam sejarah teknologi.



Charles Martin Hall, USA



Paul Louis Toussaint Héroult, France

Di Oberlin College, Hall merupakan mahasiswa kimia di bawah bimbingan Frank Fanning Jewett. Eksperimen dimulai oleh Hall untuk memisahkan aluminium dari alumina dengan elektrolisis. Pada Februari 1886, setelah berbagai upaya yang tidak berhasil, ia menemukan bahwa alumina dapat dilelehkan dalam kriolit dan dielektrolisis untuk

menghasilkan aluminium cair. Kesuksesannya dalam penemuan ini merupakan tanda awal proses Hall-Héroult.

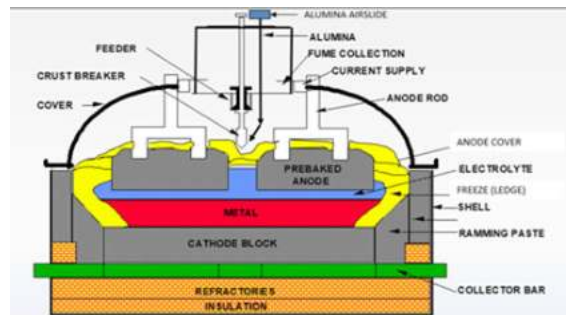
Eksperimen serupa dilakukan oleh Héroult pada waktu yang hampir bersamaan di Prancis. Héroult menggunakan metode yang sama dengan Hall yaitu menggunakan kriolit cair sebagai pelarut untuk alumina dalam sel elektrolisis dan ia mematenkan teknik ini pada tahun yang sama.

Meskipun mereka tidak tahu satu sama lain, penemuan mereka yang terjadi secara bersamaan dianggap sebagai salah satu inovasi yang paling signifikan dalam sejarah teknologi.

Pada tahun 1888, Hall mendirikan salah satu perusahaan aluminium terbesar di dunia yaitu Pittsburgh Reduction Company, yang sekarang dikenal sebagai Alcoa. Di sisi lain, Héroult membantu mengembangkan industri aluminium di Eropa. Penemuan mereka mengubah ketersediaan aluminium di seluruh dunia, menurunkan harganya dan membuatnya menjadi salah satu sektor logam yang paling penting.

### Proses Hall Heroult

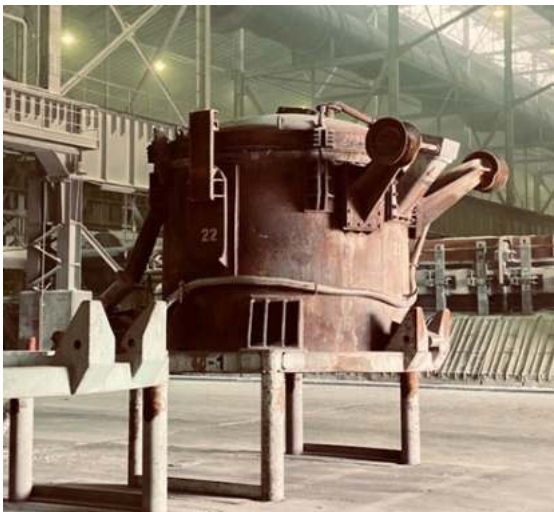
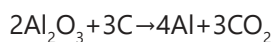
Proses Hall Heroult adalah metode utama dalam industri untuk mengekstraksi aluminium dari bijih bauksit. Proses ini berlangsung dalam sebuah tungku, secara lengkap bagian-bagian dari tungku adalah sebagai berikut:



Bagian-Bagian Tungku Elektrolisis (Sumber: Oye, Trondheim course)

Dalam tungku, anoda terbuat dari karbon dan keunikan proses Hall Heroult dibandingkan dengan proses elektrometalurgi lainnya adalah katoda pada tungku proses Hall Heroult terdapat pada bagian bawah sel, katoda ini berbahan dasar grafit. Yang mana lapisan terbawah dari sel adalah metal atau aluminium cair dan lapisan teratasnya adalah larutan kriolit. Lalu apa itu larutan kriolit? larutan kriolit atau  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  berfungsi sebagai pelarut untuk menurunkan titik lebur alumina dari sekitar  $2000^\circ\text{C}$  menjadi sekitar  $950\text{-}980^\circ\text{C}$  sehingga dapat menghemat energi.

Adapun prosesnya saat arus listrik searah (DC) dialirkan, reaksi elektrolisis terjadi di anoda yang mana karbon akan bereaksi dengan oksigen dari alumina membentuk karbon dioksida atau  $\text{CO}_2$ , sementara di katoda ion aluminium direduksi menjadi aluminium cair yang kemudian terkumpul di dasar sel. Untuk pengambilan aluminium cair akan dilakukan penghisapan menggunakan alat yang dikenal dengan nama *vacuum ladle*. Reaksi keseluruhannya adalah:



Ladle (Sumber: Pribadi)



Proses *Hall Heroult* di PT Inalum (Sumber: Medan Headlines)

### Keuntungan Proses Hall Heroult

Proses *hall heroult*/elektrolisis adalah metode paling efisien untuk mengekstraksi aluminium dari alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dikarenakan mampu memproduksi aluminium dengan jumlah yang banyak dan dengan kemurnian yang tinggi.

### Tantangan Proses Hall Heroult

Proses *hall heroult* sangat bergantung pada listrik dengan konsumsi listrik sebanyak 13-15 MWh hanya untuk 1 ton aluminium. Yang mana listrik sebanyak ini bisa menghidupi 100 rumah selama satu bulan atau 8 rumah selama satu tahun. Hal inilah yang menjadikannya mahal dalam segi konsumsi energi. Selain itu proses ini menghasilkan gas berbahaya yaitu hidrogen fluorida yang sangat korosif dan dapat menembus jaringan tubuh hingga merusak tulang. Namun di PT Inalum gas hidrogen fluorida telah dimanfaatkan kembali dengan cara direaksikan dengan alumina dan dimasukkan kembali menjadi bahan baku dalam elektrolisis.

Penulis:  
(Mahasiswa Teknologi Metalurgi)

# Mengenal Raksasa Tambang: Heavy Duty Dump Truck sebagai Alat Angkut

Oleh: Muhamad Ismatulloh



Foto penulis dan tim dengan HD 785 yang sangat besar di PT Kalimantan Prima Persada (Sumber: Dokumentasi Pribad)

Ketika berbicara tentang operasi tambang berskala besar, salah satu alat berat yang langsung terbayang adalah *dump truck*. Alat berat ini menunjukkan kemampuan manusia untuk mengelola sumber daya alam secara besar-besaran. *Dump truck* tambang tidak hanya mengangkut material tambang seperti batu bara, emas, dan bijih besi, tetapi juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas tambang.

Dengan ukuran dan kapasitas yang mengesankan dump truck layak disebut sebagai "raksasa tambang". Dua contoh populer yang sering digunakan di Indonesia adalah Komatsu HD 785 dan Komatsu HD 465, dua varian dari rigid dump truck yang dirancang khusus untuk tugas berat di industri tambang. *Dump truck* adalah alat berat yang

dirancang untuk mengangkut sejumlah besar material, terutama di lokasi pertambangan terbuka. *Dump truck* tambang berbeda dengan *dump truck* biasa yang sering digunakan dalam proyek konstruksi dan memiliki kapasitas yang jauh lebih besar, bahkan sering mencapai ratusan ton per angkut. Alat ini memainkan peran penting dalam pengangkutan bahan

di tambang dan memastikan bahwa bahan mentah dapat dipindahkan dengan cepat dari tempat penambangan ke tempat pengolahan.

Menurut Johnson dan Smith (2020), "keberadaan *heavy duty dump truck* dalam industri tambang modern adalah simbol dari kemajuan teknologi alat berat. Dengan kapasitas dan teknologi terkini, alat ini memungkinkan operasi tambang berjalan lebih cepat dan hemat biaya". Hal ini diperkuat dengan aporan dari Komatsu Ltd. (2020), penggunaan haul truck seperti HD 785 mampu meningkatkan efisiensi tambang hingga 30% dibandingkan metode pengangkutan manual.

### Komatsu HD 785



HD 785 di PT Kalimantan Prima Persada (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Salah satu bintang dalam dunia *rigid dump truck* adalah Komatsu HD 785. Komatsu HD 785 adalah salah satu contoh rigid dump truck yang memiliki daya angkut besar. Dengan kapasitas muatan hingga 91 ton, kendaraan ini dijuluki "raksasa tambang". Ditenagai oleh mesin Komatsu SAA12V140E-3 dengan tenaga 1.200 HP, HD 785 mampu melaju hingga kecepatan 65 km/jam tanpa muatan. Sistem hidrolik canggih yang dimilikinya memungkinkan bak belakang kendaraan ini dengan mudah diangkat untuk membongkar material. Tidak hanya itu, HD 785 juga dilengkapi dengan retarder hidrolik yang memastikan keamanan saat membawa muatan berat di jalan menurun.

Kendaraan ini sering digunakan di tambang batu bara dan bijih logam berskala besar, seperti yang ada di Kalimantan. Dengan efisiensi bahan bakar yang tinggi dan struktur yang kokoh, HD 785 menjadi pilihan utama bagi perusahaan tambang yang ingin meningkatkan produktivitas operasional mereka.

### Komatsu HD 465



HD 465 di PT Kalimantan Prima Persada (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Di sisi lain, Komatsu HD 465 merupakan varian *rigid dump truck* yang lebih kecil dibandingkan HD 785, tetapi memiliki fleksibilitas yang lebih baik. Dengan kapasitas muatan antara 55 hingga 60 ton, HD 465 lebih cocok digunakan pada tambang berskala sedang atau proyek konstruksi besar. Kendaraan ini menggunakan mesin

**Perbandingan HD 785 dan HD 465**

<b>Fitur Utama</b>	<b>Komatsu HD 785</b>	<b>Komatsu HD 465</b>
<b>Kapasitas Muatan</b>	<b>91 ton</b>	<b>55-60 ton</b>
<b>Tenaga Mesin</b>	<b>1.200 HP</b>	<b>533 HP</b>
<b>Jenis Medan</b>	<b>Tambang besar</b>	<b>Tambang sedang/konstruksi</b>
<b>Ukuran dan Bobot</b>	<b>Lebih besar</b>	<b>Lebih kecil dan fleksibel</b>
<b>Efisiensi Bahan Bakar</b>	<b>Konsumsi lebih tinggi</b>	<b>Lebih hemat</b>

Komatsu SAA6D170E-7 dengan tenaga 533 HP dan dapat melaju hingga 70 km/jam tanpa muatan. Salah satu keunggulan HD 465 adalah ukurannya yang lebih kompak, sehingga memungkinkannya untuk bermanuver di jalan sempit atau area kerja yang lebih kecil. Selain itu, mesin hemat bahan bakar yang dimilikinya membuatnya menjadi pilihan ekonomis untuk operasi jarak pendek. Proyek-proyek seperti pembangunan jalan raya, bendungan, atau tambang kecil sering memanfaatkan HD 465 karena fleksibilitas dan efisiensinya.

**Mengapa Dump Truck Tambang Itu Penting?**

*Dump truck* tambang seperti HD 785 dan HD 465 menjadi tulang punggung operasi pertambangan modern. Kemampuan mereka untuk mengangkut material dalam jumlah besar dengan aman dan efisien membantu perusahaan tambang menghemat waktu, tenaga, dan biaya. Selain itu, teknologi canggih yang disematkan dalam kendaraan ini, seperti sistem pengereman hidrolik dan kabin ergonomis, tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga memberikan keamanan tambahan bagi pengemudi yang bekerja di medan berat. Tanpa kendaraan ini,

proses pemindahan material akan menjadi lebih lambat dan membutuhkan tenaga kerja lebih banyak.

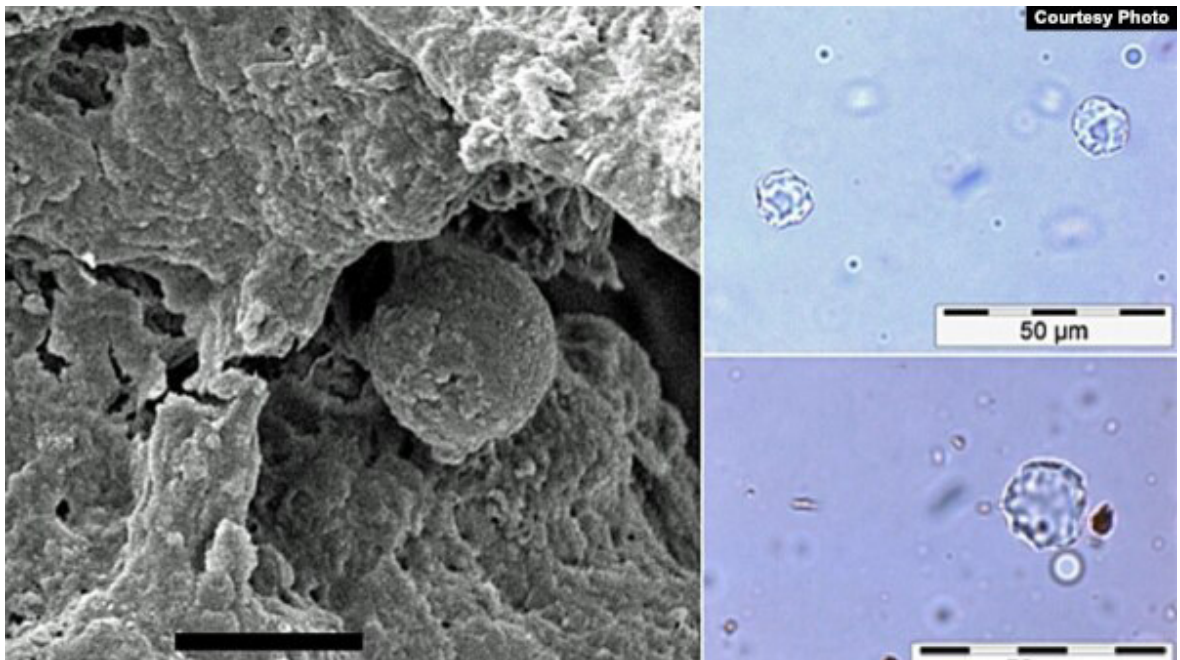
Kesimpulannya, dump truck tambang seperti Komatsu HD 785 dan Komatsu HD 465 adalah alat angkut yang tak tergantikan dalam dunia pertambangan. Dengan kapasitas besar, daya tahan, dan kemampuan untuk menghadapi tantangan medan berat, keduanya memainkan peran penting dalam mendukung efisiensi dan produktivitas operasi tambang. *Dump truck* ini bukan hanya sekadar alat berat, tetapi juga simbol dari kemajuan teknologi yang terus mendorong industri tambang menuju masa depan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

**Keterangan Penulis**

# Biji Sawi di Dalam Batu

Oleh: Ahmad Dzakwan Sa'd

Luqman berkata: “Hai anakku, sesungguhnya jika ada (sesuatu perbuatan) seberat biji sawi, dan berada dalam batu atau di langit atau di dalam bumi, niscaya Allah akan mendatangkannya (membalasinya). Sesungguhnya Allah Maha Halus lagi Maha Mengetahui” (QS. Luqman: 16). Apakah fosil biji memang benar ada di dalam batu atau di langit atau di dalam bumi? Dan Apakah fosil biji dalam batuan memiliki kaitannya dalam keilmuan geologi?”



Gambar hasil dari mikroskop elektron (SEM) fosil berumur 6000 tahun, berupa biji sawi jenis *Alliaria Petiolata*, merupakan fosil biji untuk bumbu yang pertama ditemukan dalam kondisi masih menyatu dengan alat memasak berupa pecahan batu (University of York, BioArCh, dalam voanews.com).

**B**agi Masyarakat awam sudah banyak yang mengenali fosil sebagai barang-barang dari peninggalan zaman purbakala atau masa lalu seperti sisa-sisa tulang-belulang dari hewan purba atau peninggalan barang purba lainnya. Hal tersebut merupakan sebagian kecil dari pengertian fosil yang sebenarnya, karena fosil memiliki pengertian yang dapat lebih dirincikan.

Kata fosil berasal dari Bahasa Latin yaitu *fodere*, yang bermakna: menggali keluar dari

dalam tanah. Karena itu, fosil berhubungan dengan “sesuatu yang ditemukan di dalam tanah dengan cara menggali”. Antara tahun 1550-1800, sangat lazim dikenal bahwa semua benda-benda yang diperoleh harus melalui penggalian, disebut fosil, baik yang asalnya berupa mineral ataupun sisa-sisa Binatang (Cassanoca, 1960). Semua sisa-sisa, jejak, ataupun cetakan dari manusia, binatang, dan tumbuh-tumbuhan yang telah terawetkan dalam suatu endapan batuan dari masa geologis atau prasejarah yang telah berlalu

(Bates and Jackson, 1984). Maka fosil secara khususnya tidak hanya sebagai sisa, jejak, atau cetakan dari makhluk hidup, tetapi sesuatu tersebut dapat dikatakan sebagai fosil juga harus memperhitungkan dalam masa geologis atau prasejarah dalam ribuan tahun yang lalu. Menurut masa geologis, masa yang paling muda adalah masa Holosen, yang dimulai 11.000 tahun yang lalu hingga saat ini. Meskipun tidak menutup kemungkinan, bahwa kurang dari 11.000 tahun fosil bisa telah terbentuk.

### Proses Pembentukan Fosil

Sebelum suatu komponen temuan sisa-sisa makhluk hidup zaman purbakala tersebut dapat dikatakan sebagai fosil, terdapat beberapa hal yang terjadi. Proses sebuah tulang belulang, kayu, atau sisa makhluk hidup lainnya menjadi fosil melalui proses yang dinamakan dengan fosilisasi. Proses fosilisasi ini memiliki beberapa faktor. Faktor yang pertama adalah bahan baku (*raw material*), komponen utama dari fosil harus berupa komponen organik dari makhluk hidup, seperti manusia, hewan, dan tumbuh-tumbuhan. Kedua, sisa-sisa makhluk hidup seperti manusia, hewan, dan tumbuh-tumbuhan tersebut harus terendapkan dalam suatu lingkungan pengendapan yang memungkinkan sebuah bahan baku tersebut menjadi fosil. Sebagai contoh lingkungan pengendapan yang sangat memungkinkan sebagai media pembentukan fosil adalah endapan vulkanik atau lingkungan gamping. Dengan lingkungan yang didominasi dengan silika atau kwarsa menjadikan proses fosilisasi semakin cepat terjadi, sedangkan lingkungan yang didominasi oleh kandungan asam komponen bahan baku fosil akan musnah dan tidak terendapkan. Ketiga, merupakan faktor masa atau waktu yang diperlukan komponen bahan baku fosil menjadi fosil. Jika dalam suatu lingkungan pengendapan yang sangat baik, diperlukan waktu minimal 7.000 tahun untuk proses fosilisasi. Namun sebaliknya, untuk endapan yang kurang baik untuk sebagai media fosilisasi akan memerlukan waktu yang lebih lama. Maka dari itu, proses fosilisasi memiliki 3 faktor utama yang harus ada agar komponen tersebut dapat

dikatakan sebagai fosil. Komponen bahan baku dari sisa-sisa makhluk hidup tersebut tidak akan merubah struktur (bentuk) nya tetapi yang berubah hanya komposisinya. Terdapat mineral-mineral yang umum sebagai pengganti komponen organik yaitu: silika, kalsium karbonat, dan pirit.

### Tumbuhan Berbiji

Daratan di Bumi hanya mencakup 30% dari seluruh wilayah Bumi yang 70% nya adalah lautan. Kemudian tumbuhan menjadi kontributor terbesar mewakili segalanya sebanyak 82% dari semua materi hidup. Karena itu, tumbuhan khususnya tumbuhan berbiji menjadi salah satu organisme yang paling penting di bumi. Kehidupan daratan saat ini didominasi oleh tumbuhan berbiji secara besar-besaran. Golongan tumbuhan berbiji ini sudah muncul di sepanjang Paleozoikum. Akhir bersama-sama mendominasi tumbuhan (flora) darat dengan paku-pakuan, *lycopodi*, dan *sphenopsids*. Namun, semenjak zaman awal Mesozoikum, hampir semua tumbuhan dan hutan terdiri dari tumbuhan berbiji.

Diketahui tumbuhan berbiji yang tertua adalah tumbuhan paku berbiji dari Devonian Akhir (Famennian) di West Virginia. Meskipun fosil yang ditemukan hanya terdiri dari batang kecil yang menghasilkan biji, namun fragmen tersebut sangat terawatkan. Tumbuhan berbiji dahulu dengan tumbuhan berbiji yang saat ini memiliki perbedaan seperti, tumbuhan biji terdahulu yang menghasilkan biji di cabang tanpa struktur khusus seperti bunga. Biji-biji tersebut dihasilkan secara tunggal atau berpasangan, kemudian diselubungi dengan struktur cawan yang longgar. Cawan ini menghasilkan ruangan yang sedikit terlindung di salah satu ujung biji. Integument disebut sebagai biji yang diselubungi oleh jaringan yang lebih rapat didalam cawan tersebut. Integument dapat ditemukan pada lapisan jaringan di semua biji yang dihasilkan oleh tanaman induk. Seiring dengan berkembangnya integument untuk menutupi biji lebih erat, terbuka lubang di salah satu ujung yang disebut *micropyle*. *Micropyle* memungkinkan polen masuk dan menyediakan sperma untuk mengawinkan sel telur.



Sisa-sisa makanan prasejarah yang hangus, berumur 6000 tahun terdapat pada pecahan batu untuk masak (University of York, BioArCh, dalam voanews.com).

### Fosil Biji Sawi

Untuk menjawab pertanyaan, apakah fosil biji memang benar ada di dalam batu. Berdasarkan uraian sebelumnya, bahwa biji sawi di dalam batu tersebut dari aspek geologi, dapat mempunyai pengertian biji sawi tersebut sebagai fosil.

Fosil biji sawi ditemukan di wilayah Mediterania dan Asia Barat, yang merupakan daerah asal tanaman sawi (genus *Brassica*). Biji sawi sudah lama dibudidayakan oleh manusia sejak zaman kuno, dan bukti keberadaannya dapat ditemukan di situs arkeologi yang terkait dengan peradaban kuno, seperti Mesir Kuno, Yunani, dan Romawi. Penemuan biji sawi di situs arkeologi menunjukkan bahwa tanaman ini telah digunakan dalam berbagai aspek kehidupan manusia selama ribuan tahun, terutama sebagai rempah-rempah atau bumbu dan untuk pengobatan.

Namun, fosil biji sawi jarang ditemukan. Biji sawi berukuran kecil cenderung mudah terurai dan jarang membentuk fosil yang utuh. Fosil biji sawi lebih sering ditemukan dalam bentuk sisa arkeobotani, seperti yang tersimpan dalam lapisan tanah atau bersama sisa-sisa makanan yang diawetkan di situs purbakala.

Para arkeolog menemukan fosil jejak-jejak bijih sawi pada alat memasak jaman pra Sejarah. Mereka menemukan jejak mikroskopis bijih sawi pada kerak pot berusia 6000 tahun di Jerman dan Denmark. Jejak-jejak biji sawi

ini menunjukkan bahwa digunakan untuk rempah-rempah bumbu memasak pada masa prasejarah. Umumnya biji sawi cepat membusuk, tidak terawetkan. Namun, pada temuan kali ini, terdapat jejak yang masih bisa dikenali, dimana komposisi biji telah tergantikan oleh silika.

Untuk mengenali jejak-jejak biji sawi harus menggunakan alat pembesar berupa *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang mampu memperbesar sampai puluhan bahkan ratusan ribu kali. Sehingga walaupun fosil biji sawi yang ditemukan berukuran sangat kecil, bisa dikenali.

### Penutup

Dari karakteristik biji sawi yang mudah membusuk, maka sangat langka bisa terawetkan menjadi fosil. Sehingga keterdapatannya fosil biji sawi sangat jarang ditemukan, dibandingkan biji-bijian yang lain. Terkait dengan QS. Luqman: 16, dapat dipahami bahwa sekecil apapun amal perbuatan dengan kondisi seperti fosil biji sawi tersebut yakni sangat sulit ditemukan, serta berukuran sangat kecil sehingga memerlukan alat bantu berupa mikroskop untuk melihatnya, Allah SWT akan tetap membalasinya.

Penulis:  
Mahasiswa Teknologi Geologi Angkatan 2023

# Zaman Perunggu

Perunggu pertama kali dikembangkan oleh manusia sekitar 3300 SM di wilayah Mesopotamia dan kemudian menyebar ke berbagai belahan dunia. Kemampuan manusia untuk menciptakan paduan logam ini menandai kemajuan besar dalam teknologi dan budaya, yang menjadi ciri khas Zaman Perunggu.



Gambar 1. Masa Perundagian: Perkembangan Manusia sebagai Pelopor Perdagangan dan Penghubung Peradaban (ft/istimewa)

Oleh: Ainun Salsabila

## Apa Itu Perunggu?

Perunggu adalah logam paduan (alloy) yang terbuat dari campuran tembaga (Cu) dan timah (Sn). Perunggu merupakan salah satu produk penting dari perkembangan metalurgi, yaitu ilmu dan teknologi yang mempelajari cara mengolah logam. Dibandingkan dengan tembaga murni, perunggu memiliki beberapa keunggulan, seperti kekuatan yang lebih tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan lebih mudah dibentuk. Hal ini membuat perunggu menjadi material yang sangat berharga pada masanya, terutama untuk pembuatan alat, senjata, dan benda seni.

## Kapan Zaman Perunggu?

Zaman Perunggu merupakan bagian dari Tiga Zaman Prasejarah yang diusulkan oleh arkeolog, yang mencakup Zaman Batu, Zaman Perunggu, dan Zaman Besi. Zaman ini dimulai setelah Zaman Batu Akhir dan sebelum Zaman Besi. Periode ini menandai kemajuan besar dalam teknologi pengolahan logam, khususnya penggunaan perunggu (paduan tembaga dan timah) untuk membuat alat, senjata, dan benda-benda lainnya. Tanggal di mana Zaman

Perunggu dimulai bervariasi di berbagai wilayah seperti di Yunani dan Cina dimulai 3000 SM, sedangkan di Inggris, itu tidak dimulai sampai sekitar 1900 SM.

Awal periode ini kadang-kadang disebut Zaman Chalcolithic (Tembaga-Batu), yang mengacu pada penggunaan awal tembaga murni (bersama dengan bahan pembuat perkakas pendahulunya, batu). Langka pada awalnya, tembaga pada awalnya hanya digunakan untuk benda-benda kecil atau benda-benda berharga. Penggunaannya dikenal di Anatolia timur pada tahun 6500 SM, dan segera menyebar luas. Pada pertengahan milenium ke-4, metalurgi tembaga yang berkembang pesat, dengan peralatan cor dan senjata, merupakan faktor yang menyebabkan urbanisasi di Mesopotamia. Pada tahun 3000, penggunaan tembaga sudah dikenal di Timur Tengah, meluas ke arah barat ke daerah Mediterania, dan mulai menyusup ke dalam budaya Neolitikum di Eropa.

Zaman Perunggu berakhir ketika manusia mulai menguasai teknik pengolahan besi yang lebih kuat dan lebih mudah didapatkan sehingga menandai dimulainya **Zaman Besi**

## Produk dengan Bahan Perunggu

Salah satu pencapaian terbesar pada masa ini adalah penguasaan teknologi pengolahan perunggu. Produk-produk berbahan perunggu tidak hanya mencerminkan kemajuan teknologi, tetapi juga menjadi bukti perkembangan sosial, ekonomi, dan budaya manusia. Penggunaan perunggu dalam berbagai aspek kehidupan menunjukkan bagaimana manusia mampu beradaptasi dan memanfaatkan sumber daya alam untuk meningkatkan kualitas hidup.

Berikut adalah beberapa produk berbahan perunggu yang menjadi bukti kemajuan peradaban manusia pada Zaman Perunggu.

### 1. Alat Pertanian: Meningkatkan Efisiensi dan Produktivitas

Alat-alat ini tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga memungkinkan manusia untuk mengolah lahan yang lebih luas, mendorong pertumbuhan populasi dan stabilitas ekonomi. Beberapa contohnya meliputi:

- **Cangkul:** Digunakan untuk menggali tanah dan menyiapkan lahan pertanian.
- **Sabit:** Alat untuk memanen tanaman dengan lebih efisien.
- **Mata Bajak:** Membantu petani membajak sawah dengan lebih dalam dan cepat.

### 2. Senjata: Mengubah Wajah Peperangan

Senjata perunggu tidak hanya meningkatkan kemampuan bertahan dan menyerang, tetapi juga menjadi simbol kekuatan dan kekuasaan. Beberapa senjata perunggu yang terkenal antara lain:

- **Pedang:** Senjata andalan prajurit Zaman Perunggu, yang lebih tajam dan kuat dibandingkan senjata batu.
- **Tombak:** Digunakan untuk berburu dan berperang, dengan ujung tombak yang lebih tahan lama.
- **Kapak:** Multifungsi, digunakan sebagai senjata dan alat sehari-hari.
- **Baju Zirah:** Pelindung tubuh yang terbuat dari lempengan perunggu,



Gambar 2. Kapak perunggu berumur 4000 tahun dengan kandungan timah yang rendah ditemukan di Swedia. Flickr/ The Swedish History Museum, CC BY

meningkatkan daya tahan prajurit di medan perang.

### 3. Perhiasan dan Benda Seni: Ekspresi Budaya dan Status Sosial

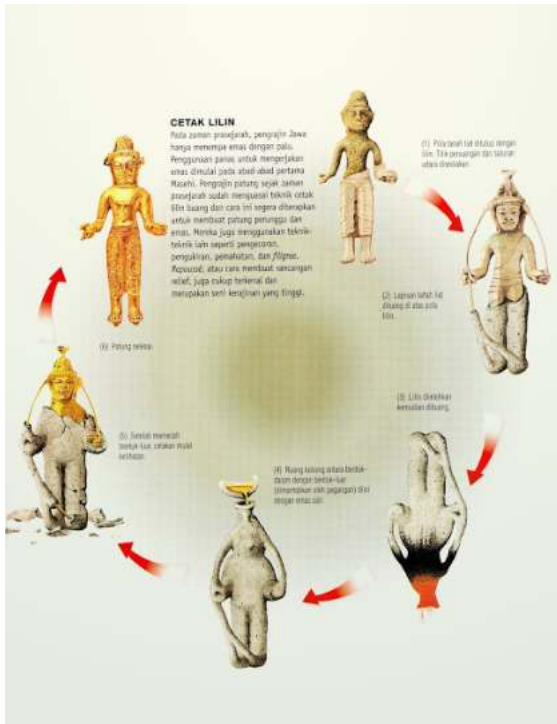
Benda-benda ini tidak hanya memiliki nilai fungsional, tetapi juga menjadi warisan budaya yang menggambarkan kepercayaan dan nilai-nilai masyarakat Zaman Perunggu. Beberapa contohnya adalah:

- **Gelang dan Kalung:** Perhiasan yang menunjukkan status sosial pemakainya.
- **Patung:** Patung dewa-dewa atau tokoh penting, yang digunakan dalam ritual keagamaan.
- **Ornamen Ritual:** Benda-benda yang digunakan dalam upacara keagamaan, seperti bejana dan piring persembahan.

### 4. Peralatan Rumah Tangga: Kekuatan dan Ketahanan

Perunggu digunakan untuk membuat peralatan rumah tangga yang lebih tahan lama dibandingkan tembikar atau batu. Contohnya meliputi:

- **Bejana:** Wadah untuk menyimpan makanan atau minuman.
- **Piring dan Mangkuk:** Alat makan yang lebih kuat dan tahan lama.



Gambar 3. Ilustrasi teknik a cire perdue.

- **Alat Masak:** Seperti kualu dan sendok, yang meningkatkan kualitas hidup sehari-hari.

**Efek/Peran Perunggu pada Perkembangan Peradaban Manusia**

Kemunculan perunggu menandai lompatan besar dalam teknologi. Dibandingkan dengan logam sebelumnya, perunggu yang merupakan campuran tembaga dan timah, memiliki kekuatan dan daya tahan yang jauh lebih unggul. Hal ini memungkinkan manusia untuk menciptakan alat-alat pertanian yang lebih efisien, seperti bajak dan sabit, yang secara signifikan meningkatkan hasil panen dan mendukung pertumbuhan populasi. Selain itu, perunggu juga digunakan untuk membuat senjata yang lebih mematikan, seperti pedang, tombak, dan perisai, yang mengubah lanskap peperangan dan memungkinkan masyarakat untuk memperluas wilayah dan pengaruh

mereka. Pengembangan teknik peleburan logam yang canggih, seperti teknik *cire perdue*, juga menjadi krusial dalam pembuatan berbagai benda perunggu yang kompleks dan presisi.

Hal ini juga memacu pada penggunaan perunggu memiliki dampak yang luas terhadap struktur sosial dan ekonomi masyarakat. Kebutuhan akan bahan baku perunggu, seperti tembaga dan timah, mendorong terjadinya perdagangan jarak jauh antara berbagai wilayah. Jaringan perdagangan ini tidak hanya membawa komoditas, tetapi juga ide-ide baru, teknologi, dan budaya, yang mempercepat pertukaran dan kemajuan peradaban. Selain itu, penguasaan teknologi perunggu juga menciptakan hierarki sosial, di mana mereka yang memiliki akses dan kontrol terhadap sumber daya perunggu memiliki status dan kekuasaan yang lebih tinggi. Benda-benda perunggu, seperti perhiasan, artefak ritual, dan senjata, sering kali menjadi simbol status dan kekayaan, yang memperkuat stratifikasi sosial.

Dari segi budaya, perunggu membuka jalan bagi seni dan budaya yang lebih maju dengan kemampuan untuk menciptakan benda-benda perunggu yang indah dan rumit memungkinkan masyarakat untuk mengekspresikan diri melalui seni dan kerajinan. Patung-patung perunggu, ukiran, dan ornamen sering kali digunakan untuk menghiasi kuil, istana, dan rumah-rumah orang kaya, yang mencerminkan kepercayaan, nilai-nilai, dan estetika masyarakat. Selain itu, benda-benda perunggu juga sering digunakan dalam upacara ritual dan keagamaan, seperti nekara (drum perunggu) yang digunakan untuk memanggil hujan, roh leluhur, atau merayakan peristiwa penting. Penggunaan perunggu dalam konteks budaya ini memperkaya kehidupan spiritual dan sosial masyarakat, serta memperkuat identitas dan solidaritas kelompok.

**Keterangan Penulis**

# Alumni bekerja di Puruk Cahu Murung Raya

Kali ini Update Alumni mengangkat cerita dari Puruk Cahu Kabupaten Murung Raya Kalimantan Tengah oleh Rahmi Nurul Aini yang biasa dipanggil Rahmi merupakan lulusan Politeknik Energi dan Pertambangan (PEP) Bandung Teknologi Metalurgi Angkatan 2021 dan diwisuda pada tanggal 8 Agustus 2024.

Oleh: Rahmi Nurul Aini

Satu bulan sebelum wisuda, Rahmi mendapatkan informasi mengenai lowongan pekerjaan dari Ketua Prodi Teknologi Metalurgi. Informasi mengenai rekrutmen ini datang langsung dari Administration Manager PT Indo Muro Kencana (PT IMK) yang mengirimkan surat resmi kepada Ketua Program Studi Teknologi Metalurgi Politeknik Energi dan Pertambangan (PEP) Bandung.

Rahmi bersiap-siap menyiapkan CV sesuai dengan standar *Applicant Tracking System* (ATS), semenarik mungkin dan penuh dengan informasi *hard skill* maupun *soft skill*. Saat itu Rahmi belum melaksanakan sidang Tugas Akhir namun pihak perusahaan mengizinkan untuk mendaftar sebagai kandidat *Fresh Graduate Development Program* (FGDP) dengan mengumpulkan dokumen seperti CV dan transkrip nilai. Saat itu pihak perusahaan meminta 10 (sepuluh) orang kandidat yang dipilih berdasarkan nilai IPK terbaik.

Setelah lulus dari tahap administrasi Rahmi mulai mempelajari mengenai proses



di perusahaan dan mengulang kembali pelajaran hidrometalurgi. Ada beberapa tes yang perlu dilewati yaitu psikotes, tes tertulis dan wawancara. Tes tertulis terdapat soal-soal yang berkaitan dengan dasar pengolahan mineral dan juga proses pengolahan emas. Soal berbentuk essay dengan menggunakan bahasa Inggris. Setelah tes tertulis dan psikotes Rahmi melakukan wawancara dengan Manager. Beberapa pertanyaan penting adalah mengenai kesiapan bekerja di industri pertambangan, jauh dari keluarga, bekerja di tempat terpencil dan kesanggupan untuk lama waktu bekerja di perusahaan.

Di hari yang berbeda setelah wawancara dengan Manager Rahmi melakukan wawancara dengan user. Rahmi diberi beberapa pertanyaan mengenai studi kasus yang ada di lapangan seperti perhitungan *recovery* logam emas dan perak, *residence time* sebuah proses dan penurunan rumus yang biasa dipakai di dunia metalurgi. Selain itu Rahmi juga diminta menceritakan pengalaman Praktik Kerja Industrinya yang dilakukan di pertambangan



emas yang memiliki kemiripan proses dengan tempat yang dilamar.

Hingga akhirnya Rahmi diterima bekerja dan setelah mengikuti Wisuda, Rahmi pun berangkat ke Puruk Cahu Kabupaten Murung Raya dimana plant pengolahan dan ekstraksi emas PT IMK berada. Pekerjaan Rahmi sebagai metallurgits sangat berkaitan dengan ilmu metalurgi yang dipelajari. Hal ini karena PEP Bandung mengkonsentrasikan bidang keilmuan Metalurginya secara spesifik pada Metalurgi Ekstraktif atau yang dikenal dengan Metalurgi Tambang. Sebagian besar ilmu metalurgi yang dipelajari selama berkuliah dapat diimplementasikan dalam pekerjaan ini.

Selanjutnya Rahmi terus belajar mendalami lebih lanjut proses ekstraksi emas. Terdapat beberapa tantangan yang dihadapi tidak hanya proses pengolahan suatu mineral, tetapi semua yang berhubungan dengan prosesnya. Sebagai contoh Rahmi saat ini mendapatkan *job desk tailing treatment* di PT IMK yang pengolahan limbahnya menggunakan ReCyn plant. Pembelajaran lanjut untuk mengetahui alat apa saja yang digunakan seperti bagian dari pompa, jenis valve, pengaturan proses sesuai dengan parameter sehingga target produksi dapat tercapai dengan pengontrolan proses menggunakan sebuah *software*. Secara fisik Rahmi juga siap untuk naik dan turun tangki *leaching* (pelindian). Risiko lain dalam

pekerjaan ini adalah risiko menghirup gas HCN. Karena itu Rahmi harus bekerja dengan selamat demi keselamatan dan kesehatan diri sendiri, kawan sekerja dan perusahaan.

Walaupun sebagai metallurgist banyak sekali risiko pekerjaan tapi Rahmi sangat menyenangi pekerjaan ini. Menyenangi ilmu metalurgi bukanlah hal yang diniatkan untuk menyukainya diawal, tetapi ketika Rahmi mengetahui bahwa sebuah logam berharga berasal dari sebuah batu Rahmi benar benar merasa metalurgi adalah sebuah ilmu yang ajaib. Sebagian besar orang tidak tahu bagaimana sebuah batu dapat disulap menjadi sebuah emas yang mereka pakai menjadi perhiasan dan merupakan investasi di masa depan.

Harapan Rahmi untuk PEP Bandung adalah meningkatkan kualitas mahasiswa dengan melatih skill baru yang dapat digunakan di dunia pekerjaan. Rahmi yakin semua mahasiswa PEP Bandung memiliki mental dan jiwa yang kuat untuk bekerja di dunia pertambangan.

# Update Alumni dari Kawasan IMIP Morowali

Oleh: Iqbal Fadhilah Erviantori

Kali ini Update Alumni mengangkat cerita kembali dari kawasan Morowali oleh Iqbal Fadhilah Erviantori yang biasa dipanggil Iqbal merupakan lulusan Politeknik Energi dan Pertambangan (PEP) Bandung Teknologi Metalurgi Angkatan 2021 dan diwisuda pada tanggal 8 Agustus 2024.

**M**orowali Sulawesi Tengah merupakan masa depan Indonesia di bidang peningkatan nilai tambah dan hilirisasi mineral. Pembangunan dan perkembangan berbagai industri metalurgi mulai dari Smelter Nikel, Plant High Pressure Acid Leaching (HPAL), Pabrik Besi dan Baja serta Elektrolisis Nikel dan Kobalt. Nikel dan Kobalt serta logam ikutan lainnya seperti besi, scandium, dan logam tanah jarang lainnya yang sangat dibutuhkan dalam era advanced technology termasuk penyimpanan energi dan perkembangan energi baru dan terbarukan. Tidak hanya nikel, Sulawesi Tengah juga terkenal dengan emasnya mulai dari utara Bolaang Mongondow, Gorontalo hingga Palu. Sehingga tentunya ekonomi Indonesia dan perhatian dunia tertuju pada Sulawesi Tengah. Pengembangan sumber daya manusia juga sangat dibutuhkan dikawasan ini khususnya Metalurgi.

Tiga hari setelah wisuda, Iqbal mendapatkan panggilan wawancara dari tim HRD Indonesia Morowali Industrial Park (PT IMIP) Sulawesi Tengah. Setelah melewati beberapa seleksi dan wawancara, Iqbal berangkat tepatnya pada tanggal 28 September 2024 dan diterima bekerja



di PT Dexin Steel Indonesia (PT DSI). Iqbal diterima bekerja di PT DSI setelah melalui proses rekrutmen yang cukup kompetitif, meliputi seleksi administrasi, tes kesehatan, wawancara dan evaluasi kemampuan dalam bidang metalurgi. Latar belakang pendidikan dan pengalaman magang industri (program kampus) kurang lebih 8 bulan di bidang metalurgi menjadi faktor penting dalam lolosnya Iqbal ke tahap akhir. Selain itu, pemahaman mengenai proses produksi serta kemampuan analisis dalam teknik metalurgi



membantu saya memenuhi kualifikasi yang dibutuhkan perusahaan.

Dalam bidang metalurgi, pekerjaan Iqbal mencakup pengendalian proses produksi, khususnya pada tahap *batching* dan *blending* dalam departemen sintering. Sebagai *Batching and Blending Technician* di industri sintering, peran Iqbal sangat erat kaitannya dengan ilmu metalurgi ekstraktif dan fisik. Dalam industri ini, pengendalian bahan baku dan komposisi campuran sangat krusial karena akan mempengaruhi hasil akhir produk, baik dari segi sifat mekanik, struktur mikro, maupun efisiensi produksi. Tugas utama Iqbal meliputi pengawasan parameter proses, optimalisasi komposisi material, serta memastikan kualitas produk sesuai dengan standar yang ditetapkan. Selain itu, Iqbal juga terlibat dalam analisis performa material dan perbaikan proses untuk meningkatkan efisiensi produksi.

Ketertarikan Iqbal terhadap ilmu metalurgi berawal dari pemahaman bahwa bidang ini memiliki peran penting dalam industri manufaktur dan pengolahan hasil tambang untuk meningkatkan nilai jual dalam hal ekstraksi logam. Proses pengolahan material yang kompleks dan tantangan dalam meningkatkan efisiensi produksi menjadi aspek yang menarik bagi Iqbal karena prosesnya yang penuh tantangan dan solusinya yang selalu berkembang, maka setiap hari Iqbal harus belajar bagaimana meningkatkan efisiensi proses, mengoptimalkan kualitas material,

dan mencari cara baru untuk membuat produksi lebih ramah lingkungan. Dengan ilmu metalurgi memungkinkan Iqbal memahami dan mengendalikan proses tersebut, selain itu, perkembangan teknologi dalam metalurgi juga membuka peluang inovasi yang membuat bidang ini semakin dinamis dan menantang.

Iqbal berharap program pendidikan Diploma 3 yang diberikan oleh PEPB dapat terus berkembang dalam memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang metalurgi, khususnya dalam aplikasi industri, dengan memperbarui kurikulum agar selaras dengan perkembangan industri. Selain itu, Iqbal berharap adanya lebih banyak kerja sama dengan perusahaan untuk dapat menciptakan lebih banyak peluang kerja dan kolaborasi dengan industri dalam bentuk magang, penelitian, atau studi kasus industri sehingga mahasiswa dapat memperoleh pengalaman praktis yang lebih relevan, sehingga lulusan yang dihasilkan memiliki keterampilan yang sesuai dengan kebutuhan pasar kerja. Fasilitas laboratorium dan penelitian juga diharapkan terus ditingkatkan agar mahasiswa memiliki akses terhadap teknologi terbaru. Terakhir, Iqbal berharap PEPB dapat terus mencetak lulusan yang kompeten dan siap bersaing di dunia kerja, khususnya di bidang metalurgi dan material.



# Getme

Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung  
Jl. Jend. Sudirman No. 623 Bandung 40211,  
Telp: 0822-1999-5001  
Email: [getme.pepb@gmail.com](mailto:getme.pepb@gmail.com)  
Website: <https://pepbandung.ac.id>

