



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG



Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



Pengolahan Mineral dan Sumber Sekunder untuk Mendukung Sirkularitas

Profesor Edy Sanwani

Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan
Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB
6 Desember 2025

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

**PENGOLAHAN MINERAL
DAN SUMBER SEKUNDER
UNTUK MENDUKUNG SIRKULARITAS
DAN KEBERLANJUTAN
INDUSTRI METALURGI**

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

**PENGOLAHAN MINERAL
DAN SUMBER SEKUNDER
UNTUK MENDUKUNG SIRKULARITAS
DAN KEBERLANJUTAN
INDUSTRI METALURGI**

Prof. Edy Sanwani

Tanggal 6 Desember 2025
Aula Barat ITB



Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:

Pengolahan Mineral dan Sumber Sekunder untuk Mendukung Sirkularitas dan Keberlanjutan Industri Metalurgi

Penulis : Prof. Edy Sanwani

Reviewer : Prof. Muhammad Zaki Mubarak

Editor Bahasa : Rina Lestari

Cetakan I : 2025

ISBN : 978-623-297-834-8

e-ISBN : 978-623-297-835-5(PDF)



📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132
☎ +62 22 20469057
🌐 www.itbpress.id
✉ office@itbpress.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

“Dan tidaklah Aku menciptakan jin dan manusia melainkan untuk menyembah-Ku..”
QS. 51 ayat 56

Menjadi bahan renungan bahwa tugas manusia adalah menyembah Allah Swt. dengan menjadikan setiap kegiatan kita adalah dalam rangka ibadah pada Allah Swt. semata.

PRAKATA

Alhamdulillah robbil 'alamiin, penulis memanjatkan puji syukur kepada Allah Swt. atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan buku orasi ilmiah ini dengan judul *Pengolahan Mineral dan Sumber Sekunder untuk Mendukung Sirkularitas dan Keberlanjutan Industri Metalurgi*. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan dan Forum Guru Besar – Institut Teknologi Bandung (ITB) atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyusun buku orasi ilmiah ini dan menyampaikan orasi ilmiah.

Buku ini berisi dasar-dasar pengolahan mineral dan topik-topik penelitian yang dilakukan dan dikembangkan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB, dalam ranah pengolahan mineral dan sumberdaya sekunder yang menyangkut karakterisasi bijih, liberasi mineral yang melibatkan proses peremukan (*crushing*), penggerusan (*grinding*), pengayakan (*screening*), klasifikasi (*classifying*), serta proses konsentrasi yang terdiri atas konsentrasi gravitasi, konsentrasi magnetik, konsentrasi elektrostatik, dan flotasi.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan apresiasi mendalam kepada rekan-rekan di Kelompok Keahlian Teknik Metalurgi FTTM ITB, yang telah memberikan dukungan, bantuan, kolaborasi, dan semangat kebersamaan. Terima kasih juga disampaikan kepada seluruh *civitas academica* ITB atas terciptanya lingkungan akademik yang positif dan kondusif. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak, khususnya bagi yang ingin mengenal dan mendalami pengolahan mineral dan sumberdaya sekunder, serta industri metalurgi secara umum.

Bandung, 6 Desember 2025

Penulis

SINOPSIS

Republik Indonesia adalah negara yang sangat luas dengan potensi sumberdaya dan cadangan berbagai mineral yang cukup besar. Sumberdaya dan cadangan mineral yang cukup besar ini untuk bisa dimanfaatkan harus dilakukan rangkaian proses mulai eksplorasi-geologi, penambangan, pengolahan mineral, ekstraksi logam, sampai menjadi logam dan paduan logam. Pada setiap tahapan proses selalu dihasilkan limbah berupa *tailing*, residu, terak, serta limbah barang logam sehabis dipakai (seperti *scrap* dan limbah elektronik). Limbah yang jumlahnya semakin banyak ini menjadi sumber baru logam, dan kemudian disebut sebagai sumber sekunder. Sementara sumber logam yang berasal dari alam disebut sebagai sumber primer. Dengan demikian akan tercipta sirkularitas (*circularity*) dan ini tentu akan mendukung keberlanjutan (*sustainability*) industri metalurgi.

Bagian selanjutnya setelah pendahuluan adalah konsep dasar pengolahan mineral, yang menjelaskan dasar-dasar pengolahan mineral. Dalam pengolahan mineral itu sendiri, rangkaian prosesnya cukup panjang dan selalu dimulai dengan upaya untuk memahami karakteristik bijih (kumpulan mineral). Memahami karakteristik bijih sangatlah penting karena akan memengaruhi proses-proses berikutnya, yaitu proses liberasi mineral yang meliputi pengecilan ukuran bijih melalui proses peremukan (*crushing*), penggerusan (*grinding*), lalu proses pemisahan ukuran (melalui proses pengayakan dan klasifikasi), dan akhirnya proses konsentrasi dengan berbagai metode. Produk akhir dari pengolahan mineral merupakan produk antara yang biasa disebut konsentrat.

Setelah pengenalan dasar-dasar pengolahan mineral, berikutnya adalah berbagai penelitian di bidang pengolahan mineral, baik dari sumber primer (mineral) maupun penelitian untuk sumber sekunder yang dilakukan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB. Beragam jenis mineral dan sumber sekunder dengan berbagai metode proses disajikan dalam naskah buku ini.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	vii
SINOPSIS	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
1 PENDAHULUAN.....	1
2 PRINSIP DASAR PENGOLAHAN MINERAL.....	5
2.1 Karakterisasi Bijih.....	5
2.2 Liberasi Mineral.....	8
2.3 Proses Pemisahan Ukuran (<i>Size Separation</i>).....	11
2.4 Proses Konsentrasi.....	13
3 PENELITIAN PENGOLAHAN MINERAL (SUMBERDAYA PRIMER) DI LABORATORIUM PENGOLAHAN BAHAN GALIAN	21
3.1 Proses Kominusi (Pengecilan Ukuran).....	21
3.2 Proses Konsentrasi.....	26
4 PENELITIAN PENGOLAHAN SUMBERDAYA SEKUNDER DI LABORATORIUM PENGOLAHAN BAHAN GALIAN	39
4.1 Proses Kominusi (Pengecilan Ukuran).....	39
4.2 Proses Konsentrasi.....	41
5 PENUTUP.....	53
6 UCAPAN TERIMA KASIH	55
DAFTAR PUSTAKA	59
CURRICULUM VITAE	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Neraca sumber daya dan cadangan mineral logam komoditas utama di Negara Republik Indonesia pada tahun 2024[1]	1
Gambar 1.2	Ilustrasi kegiatan industri pertambangan dan metalurgi untuk sirkularitas dan keberlanjutan proses	2
Gambar 2.1	Contoh hasil analisis QEMSCAN deposit <i>nonsulfide Zn-Pb</i> [9]	7
Gambar 2.2	Hasil analisis <i>optical microscopy</i> bijih timah primer asal Pulau Bangka, Indonesia pada berbagai fraksi ukuran partikel bijih [10].....	7
Gambar 2.3	Jenis-jenis asosiasi dan ikatan fisik mineral-mineral dalam bijih : I. <i>Rectilinear boundaries</i> , II. <i>Veins</i> , III. <i>Shell</i> , dan IV. <i>Occlusion (Dessiminated)</i> [4]	8
Gambar 2.4	Ilustrasi proses pengecilan ukuran (kominusi) partikel bijih yang mengandung mineral berharga (warna biru tua) dan mineral pengganggu (warna biru muda).....	9
Gambar 2.5	Gambar skematik sel flotasi [2]	17
Gambar 3.1	Kurva P80 produkta tiap waktu <i>grinding</i> : (a) tanpa reagen Flosperse 1000 dan (b) dengan reagen Flosperse 1000 [15]	22
Gambar 3.2	Kurva viskositas produkta tiap waktu <i>grinding</i> [15]	22
Gambar 3.3	Kurva viskositas produkta <i>grinding</i> tiap variasi pH <i>slurry</i> dengan penambahan reagen Flosperse 1000 [15].....	22
Gambar 3.4	Kurva P80 produkta <i>grinding</i> tiap variasi pH <i>slurry</i> dengan penambahan reagen Flosperse 1000 [15].....	23
Gambar 3.6	Grafik <i>fitting</i> antara data pengukuran dan persamaan kinetika sampel bijih sulfida kompleks galena-sfalerit produk <i>grinding</i> variasi (a) <i>Dry Ceramic Ball</i> (DCB) dan (b) <i>Dry Steel Ball</i> (DSB) [18].....	25
Gambar 3.7	Grafik <i>fitting</i> antara data pengukuran dan persamaan kinetika sampel bijih sulfida kompleks galena-sfalerit produk <i>grinding</i> variasi (a) <i>Wet Ceramic Ball</i> (WCB) dan (b) <i>Wet Steel Ball</i> (WSB) [18].....	25

Gambar 3.8	Rangkaian peralatan percobaan menggunakan meja goyang	26
Gambar 3.9	Rangkaian peralatan percobaan menggunakan <i>jig</i>	27
Gambar 3.10	Hasil percobaan konsentrasi menggunakan meja goyang pada berbagai fraksi ukuran partikel	28
Gambar 3.11	Hasil percobaan konsentrasi menggunakan meja goyang pada berbagai laju alir air pencuci (<i>washed water</i>)	28
Gambar 3.12	Hasil percobaan konsentrasi menggunakan meja goyang pada berbagai kemiringan dek meja	28
Gambar 3.13	Hasil percobaan konsentrasi menggunakan <i>jig</i> pada berbagai fraksi ukuran partikel	29
Gambar 3.14	Hasil percobaan konsentrasi menggunakan <i>jig</i> pada berbagai laju air.....	29
Gambar 3.15	Pengaruh pH terhadap kadar pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor PAX [19]	30
Gambar 3.16	Pengaruh pH terhadap perolehan pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor PAX [19]	30
Gambar 3.18	Pengaruh pH terhadap perolehan pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor SIBX [19].....	31
Gambar 3.19	Pengaruh pH terhadap kadar pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor <i>dithiophosphate</i> [19]	31
Gambar 3.20	Pengaruh pH terhadap perolehan pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor <i>dithiophosphate</i> [19]	31
Gambar 3.21	<i>Lift-type induced roll magnetic separator</i> [20].....	33
Gambar 3.22	(a) Kadar Sn pada produk magnetik, (b) kadar Sn pada produk nonmagnetik, (c) kadar Fe pada produk magnetik, (d) kadar Fe pada produk nonmagnetik hasil konsentrasi magnetik bijih <i>skarn</i> [20].....	33
Gambar 3.23	Percobaan mikroflotasi dengan <i>modified Hallimond tube</i> [21]	35
Gambar 4.1	Kurva distribusi ukuran sampel dan produkta <i>roll crusher</i> terak FeNi	39
Gambar 4.2	<i>Initial rate of formation</i> pada (a). Variasi <i>ball filling</i> , (b). Variasi rasio umpan dengan bola gerus.....	40
Gambar 4.3	Kurva P80 hasil penggerusan terak FeNi hingga 150 menit untuk setiap variasi <i>ball filling</i>	40

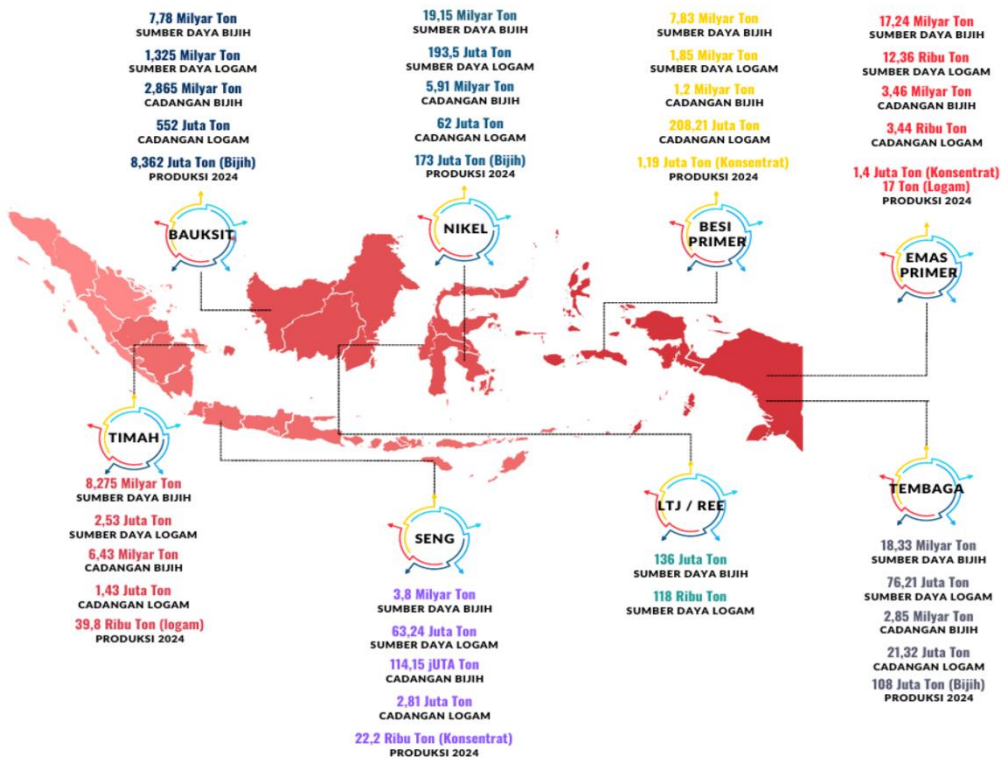
Gambar 4.4	Kurva P80 hasil penggerusan terak FeNi hingga 150 menit setiap variasi rasio umpan dengan bola gerus	40
Gambar 4.5	Diagram alir karakterisasi umpan	43
Gambar 4.6	Diagram alir preparasi bakteri	44
Gambar 4.7	Diagram alir karakterisasi bakteri	44
Gambar 4.9	Sampel dua jenis PCB, (a). PCB TV dan (b) PCB <i>power brown</i> [29]	47
Gambar 4.10	Diagram alir percobaan proses konsentrasi multi tahap menggunakan <i>magnetic separator - electrostatic separator - shaking table</i> untuk <i>recovery</i> logam pada <i>printed circuit board (PCB) TV</i>	50
Gambar 4.11	Hasil proses konsentrasi pada setiap tahapan proses[31]	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi alat dan kondisi operasi proses <i>grinding</i> [18]	24
Tabel 4.1	Umpan yang digunakan dalam penelitian.....	43
Tabel 4.2	<i>Strain</i> bakteri yang digunakan dalam penelitian.....	43
Tabel 4.3	Berat komponen setelah <i>dismantling</i>	47
Tabel 4.4	Hasil analisis <i>size sy size</i> pada PCB <i>power brown</i> hasil <i>shredding</i> sebagai umpan konsentrasi magnetik	47
Tabel 4.5	Hasil analisis <i>size sy size</i> pada PCB TV hasil <i>shredding</i> sebagai umpan konsentrasi magnetik.....	48

1 PENDAHULUAN

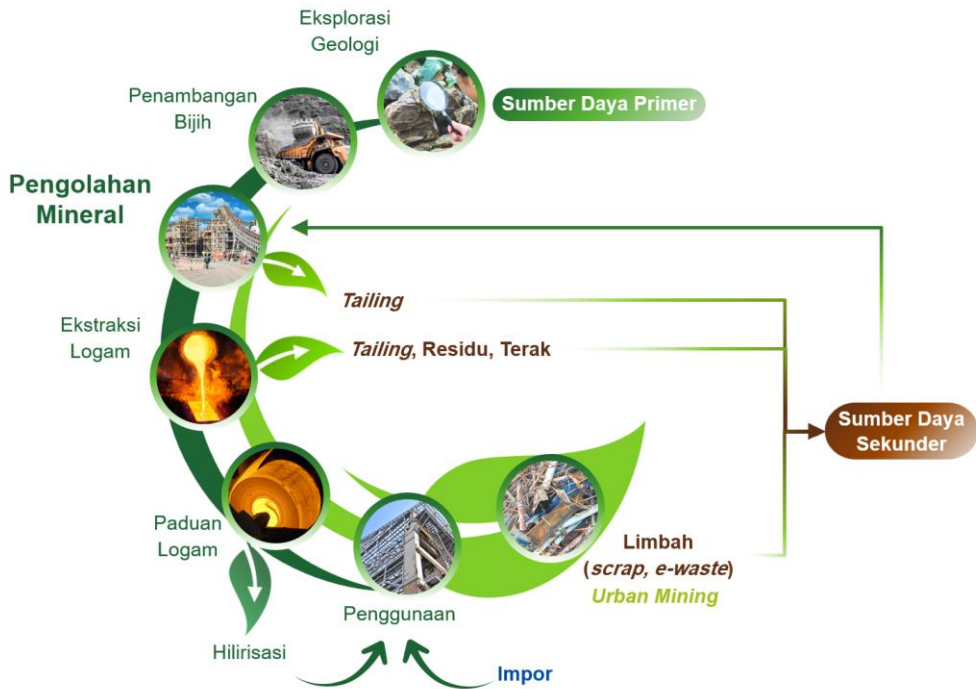
Negara Republik Indonesia merupakan negara yang meliputi area yang sangat luas, secara geografis terletak di area antara 96° – 141° BT dan 6° LU – 12° LS, dengan potensi sumberdaya dan cadangan berbagai mineral yang cukup besar (Gambar 1.1 [1]). Seperti terlihat pada Gambar 1.1, mineral logam komoditas utama yang terdapat serta terkuantifikasi dalam sumberdaya bijih, sumberdaya logam, cadangan bijih, cadangan logam, serta produksi pada tahun 2024 meliputi bauksit, timah, nikel, seng, tembaga, emas, besi, dan komoditas yang hanya terkuantifikasi dalam sumberdaya bijih dan sumberdaya logam adalah logam tanah jarang (LTJ) atau *rare earth element (REE)*.



Gambar 1.1 Neraca sumber daya dan cadangan mineral logam komoditas utama di Negara Republik Indonesia pada tahun 2024[1]

Logam dan paduan logam pada awalnya diproduksi dari sumber alami yang disebut bijih. Bijih adalah kumpulan mineral yang daripadanya dapat diambil (*di-recovery*) satu atau lebih mineral berharga serta dapat dilakukan

ekstraksi logam secara menguntungkan berdasarkan teknologi dan aspek lingkungan yang berlaku pada saat itu [2,3,4]. Ilustrasi bagaimana suatu logam dan paduan logam diproduksi sehingga dapat digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari, digambarkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Ilustrasi kegiatan industri pertambangan dan metalurgi untuk sirkularitas dan keberlanjutan proses

Keberadaan mineral dalam bentuk bijih di alam dapat ditemukan serta ditentukan jumlah dan sebarannya melalui kegiatan geologi-eksplorasi. Berdasarkan data-data geologi eksplorasi, kegiatan penambangan yang didahului oleh perencanaan tambang, dilakukan untuk “mengangkat” bijih ke permukaan bumi. Bijih yang sudah diangkat ke permukaan bumi ini, masih belum bisa dimanfaatkan logamnya secara langsung oleh manusia. Pada bijih ini harus dilakukan tahapan-tahapan proses yang terdiri atas proses *recovery* mineral atau disebut pengolahan mineral (memproses bijih menjadi konsentrat), ekstraksi logam (memproses konsentrat menjadi logam, baik dengan metode hidrometalurgi maupun pirometalurgi), dan proses pemaduan logam (untuk menghasilkan paduan logam tertentu sesuai penggunaannya) sehingga logam dan paduan logam dapat digunakan oleh

manusia sesuai keperluannya. Sering kali untuk dapat menggunakan paduan logam untuk keperluan atau penggunaan yang spesifik, dibutuhkan logam-logam tertentu yang walaupun jumlah yang dibutuhkan sedikit namun masih belum ada atau diproduksi di Indonesia sehingga harus diimpor.

Pada setiap tahapan proses yang pada akhirnya menghasilkan logam dan paduan logam, dihasilkan limbah. Limbah dari pengolahan mineral disebut *tailing*, sedangkan limbah dari proses ekstraksi hidrometalurgi disebut residu (ada pula yang disebut *tailing*). Sementara itu, limbah dari proses ekstraksi pirometalurgi disebut terak (*slag*). Seiring berjalannya waktu, jumlah limbah ini semakin meningkat, dan penelitian tentang topik *recovery* mineral dan logam dari limbah telah semakin banyak dilakukan. Demikian pula, penelitian tentang *recovery* logam dari limbah elektronik (*e-waste*) telah semakin banyak dilakukan. Saat ini, sumber mineral dan logam yang berasal dari sumber alami disebut sumber daya primer, sedangkan sumber mineral dan logam yang berasal dari limbah pengolahan (*tailing*, residu, terak, *e-waste*) disebut sebagai sumberdaya sekunder. Dengan mengolah kembali sumberdaya sekunder yang secara teknis dan ekonomis bisa dilakukan maka akan menciptakan sirkularitas (*circularity*) sehingga dapat mengurangi limbah, penghematan sumberdaya, dan penggunaan sumberdaya yang lebih efisien sehingga mendukung keberlanjutan (*sustainability*) pembangunan khususnya industri metalurgi.

Pembahasan pada buku ini, ditekankan pada aspek pengolahan mineral baik pada sumberdaya primer (mineral) maupun sumberdaya sekunder (*tailing*, residu, terak). Pengolahan mineral (*minerals processing*) sering disebut juga sebagai proses pemisahan fisik (*physical separation*) karena setiap bagian proses di dalamnya berlangsung secara fisik. Ada beberapa proses yang berlangsung dengan penambahan bahan kimia (dengan jumlah atau dosis yang tidak signifikan), namun penambahan bahan kimia tidak dimaksudkan untuk mereaksikan bahan kimia dengan mineral dalam bijih agar mineral menjadi logam, akan tetapi reagen kimia yang ditambahkan dimaksudkan untuk proses preparasi permukaan mineral agar memiliki sifat permukaan tertentu sehingga kemudian dapat dilakukan proses pemisahan mineral secara fisik.

Pengolahan atau pemisahan fisik sumber daya sekunder pada dasarnya mengikuti prinsip pemisahan fisik sumberdaya primer (lebih dikenal sebagai

pengolahan mineral). Pengolahan mineral, yang selalu diawali dengan karakterisasi bijih, kominusi (peremukan (*crushing*) dan penggerusan (*grinding*)) untuk liberasi mineral, pemisahan ukuran (pengayakan dan klasifikasi), serta proses konsentrasi (dengan metode-metode gravitasi, magnetik, elektrostatik, dan flotasi), juga berlaku untuk proses pemisahan fisik pada sumberdaya sekunder. Proses pemisahan fisik untuk *recovery* mineral dan logam sangat ramah lingkungan karena tidak menambahkan reagen kimia yang signifikan atau berlangsung pada suhu tinggi. Penerapan proses pemisahan fisik pada sumberdaya sekunder akan semakin menjamin keberlanjutan pasokan bahan baku (*feed*) untuk proses ekstraksi logam melalui proses hidrometalurgi dan pirometalurgi sehingga menciptakan sirkularitas (*circularity*) dan mendukung keberlanjutan (*sustainability*) industri metalurgi.

2 PRINSIP DASAR PENGOLAHAN MINERAL

Secara prinsip dan disederhanakan, pengolahan mineral terdiri atas dua proses utama, yaitu proses liberasi mineral dan proses konsentrasi. Proses liberasi mineral adalah proses membebaskan ikatan fisik suatu mineral dari mineral lainnya. Dalam hal ini membebaskan mineral berharga (*valuable mineral*) dari mineral pengganggu atau pengotor (*gangue mineral*). Aspek karakterisasi bijih (mineralogi bijih) adalah aspek yang sangat penting yang harus dipahami untuk dapat menentukan metode liberasinya. Secara umum, proses liberasi dilakukan dengan mengecilkan ukuran bijih (proses kominusi) dengan peremukan (*crushing*) dan penggerusan (*grinding*). Target ukuran hasil proses kominusi menjadi sangat penting dan ini sangat bergantung pada ukuran mineral dalam bijih (ukuran liberasi) dan proses berikutnya (proses konsentrasi). Selain target ukuran partikel yang harus dihasilkan dalam proses kominusi, keseragaman ukuran (*homogeneity*) juga tidak kalah pentingnya. Untuk itu, diperlukan proses pemisahan ukuran dengan proses pengayakan (*screening*) atau dengan proses klasifikasi (*classifying*). Setelah ukuran partikel bijih disiapkan sesuai dengan target yang ditentukan serta distribusi ukurannya relatif homogen, maka proses berikutnya adalah proses konsentrasi, yaitu proses pemisahan mineral berharga dari mineral pengganggu atau pengotor sehingga diperoleh konsentrat dengan kadar mineral berharga yang tinggi dan sisanya adalah *tailing*. Metode-metode proses konsentrasi yang bisa diterapkan adalah proses-proses konsentrasi gravitasi, magnetik, elektrostatik, dan flotasi.

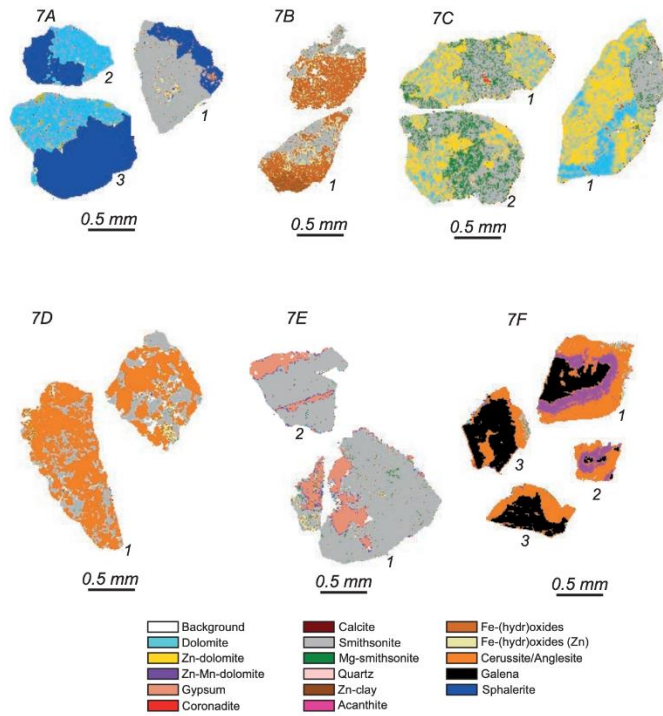
2.1 Karakterisasi Bijih

Karakteristik mineralogi bijih yang ditemukan di alam sangatlah beragam. Aspek mineralogi juga menjadi bahan kajian berbagai bidang keahlian seperti geologi, geofisika, eksplorasi, tambang, dan lain-lain dengan fokus kajian sesuai bidang keahlian masing-masing. Dari sisi bidang keahlian metalurgi, khususnya pengolahan mineral, aspek-aspek mineralogi dari bijih yang sangat perlu dipahami di antaranya adalah jenis mineral yang ada dalam bijih, kadar mineral dan atau logam dalam bijih, distribusi ukuran mineral dalam bijih, asosiasi mineral-mineral dalam bijih, dan bentuk dan ikatan fisik mineral-mineral dalam bijih.

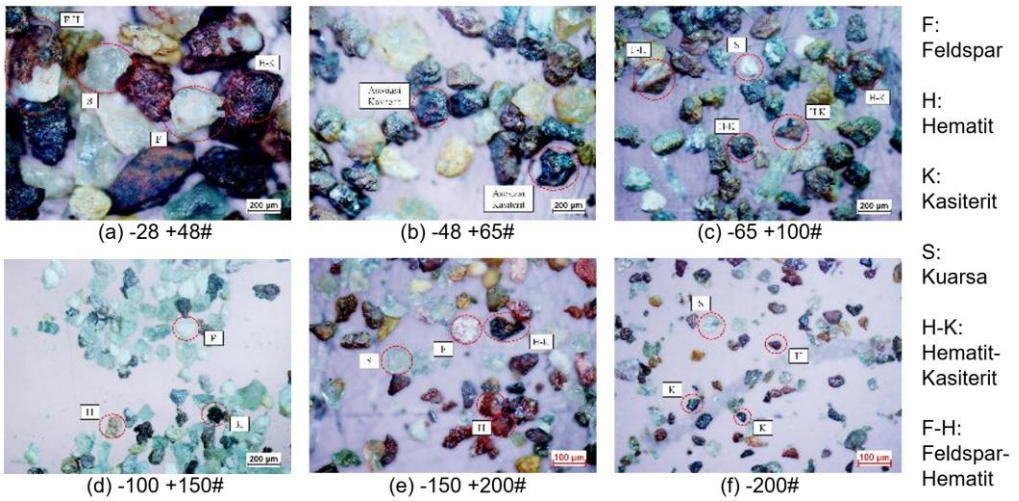
Karakteristik-karakteristik mineralogi dari bijih akan dapat dipelajari dan dipahami dengan melakukan berbagai analisis seperti analisis *XRF (X-Ray Fluorescence)*, *XRD (X-Ray Diffraction)*, *AAS (Atomic Absorption Spectroscopy)*, *ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry)*, *ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry)*, *Fire Assay*, *Optical Microscopy*, *SEM-EDS (Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Spectrometry)*, *EPMA (Electron Probe Micro Analyzer)*, *Automated Mineralogy seperti QEMSCAN (Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy)*, dan lain-lain [5,6,7,8,9]. Setiap peralatan analisis tersebut memiliki fungsi masing-masing dan hasil analisis dari setiap peralatan akan saling mengisi dan saling memvalidasi.

Salah satu contoh hasil karakterisasi bijih dengan QEMSCAN pada beberapa butir suatu bijih diperlihatkan pada Gambar 2.1 [9]. Pada Gambar 2.1. tersebut, terlihat sebaran jenis mineral pada butir partikel bijih, distribusi ukuran mineral, serta bentuk mineral dalam bijih. Analisis lebih lanjut menggunakan *software* akan dapat ditentukan kadar mineral dan derajat liberasi pada fraksi ukuran partikel tertentu. Informasi yang diperoleh dari hasil analisis ini akan sangat membantu dalam menentukan rencana proses pengecilan ukuran (kominusi) untuk meliberasi mineral berharga dari mineral pengotornya.

Contoh lain karakterisasi bijih adalah hasil *optical microscopy* pada berbagai fraksi ukuran bijih timah primer asal Pulau Bangka, Indonesia seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2. [10]. Pada Gambar 2.2. tersebut, tampak perbedaan asosiasi dan ikatan fisik antarmineral pada fraksi ukuran yang berbeda. Dengan mengamati karakteristik mineralogi pada berbagai fraksi ukuran bijih, akan membantu dalam menentukan target ukuran hasil proses kominusi untuk meliberasi mineral berharga (dalam hal ini mineral kasiterit sebagai sumber logam timah) dari mineral pengotornya.



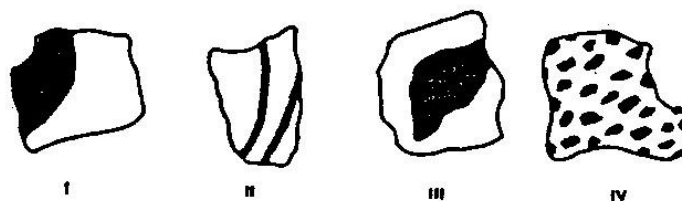
Gambar 2.1 Contoh hasil analisis QEMSCAN deposit *nonsulfide Zn-Pb* [9]



Gambar 2.2 Hasil analisis *optical microscopy* bijih timah primer asal Pulau Bangka, Indonesia pada berbagai fraksi ukuran partikel bijih [10]

2.2 Liberasi Mineral

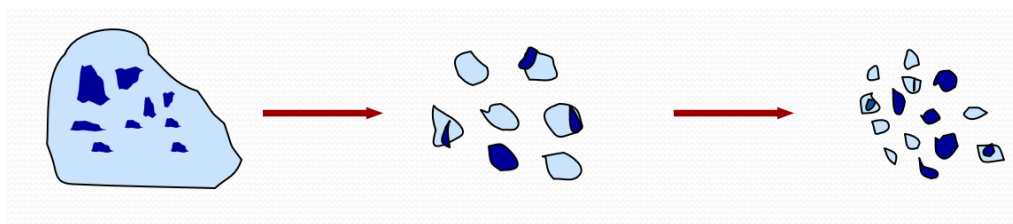
Liberasi mineral adalah upaya yang dilakukan untuk membebaskan ikatan fisik mineral dari mineral lainnya. Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya bahwa karakteristik mineralogi bijih sangat beragam. Secara umum, asosiasi dan ikatan fisik mineral-mineral dalam bijih dapat digolongkan ke dalam empat macam jenis, yaitu *rectilinear boundaries*, *veins*, *shell*, *occlusion* (sering disebut juga *dessiminated*), seperti dapat digambarkan pada Gambar 2.3 [4].



Gambar 2.3 Jenis-jenis asosiasi dan ikatan fisik mineral-mineral dalam bijih : I. *Rectilinear boundaries*, II. *Veins*, III. *Shell*, dan IV. *Occlusion (Dessiminated)* [4]

Upaya untuk membebaskan mineral berharga (*valuable mineral*) dari mineral pengganggu (*gangue mineral*) dilakukan dengan mereduksi ukuran partikel (kominusi) dengan peremukan (*crushing*) dan penggerusan (*grinding*). Faktor penting dalam proses kominusi yang harus diperhatikan adalah ukuran awal bijih, ukuran target akhir, dan kekerasan bijih. Ukuran awal bijih adalah ukuran bijih yang dihasilkan dari proses penambangan yang umumnya berkisar antara 40 cm – 80 cm. Ukuran target akhir akan sangat bergantung pada jenis asosiasi, ikatan fisik, dan distribusi ukuran mineral dalam bijih. Semakin kecil ukuran mineral dalam bijih dan semakin kompleks asosiasi mineral dengan mineral lainnya maka dibutuhkan target hasil proses kominusi yang semakin halus agar mineral berharga dapat terliberasi dengan baik. Semakin halus ukuran hasil proses kominusi maka akan semakin baik derajat liberasinya (derajat liberasi adalah prosentase berat mineral berharga yang bebas sempurna terhadap berat total mineral berharga tersebut). Namun jika terlalu halus bisa memberikan dampak negatif pada proses berikutnya, yaitu proses konsentrasi. Umumnya, ukuran target akhir proses kominusi adalah sekitar 75 μ m sampai 10 μ m atau bahkan bisa lebih halus lagi.

Proses pengecilan ukuran (kominusi) suatu bijih terjadi karena adanya energi yang diterapkan terhadap bijih melalui tiga mekanisme, yaitu *impact (shatter)*, *compression (cleavage)*, dan *abrasion (attrition)*. Ilustrasi proses kominusi pada suatu partikel yang besar menjadi partikel yang lebih kecil serta dampaknya terhadap liberasi mineral berharga dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.4. Pada Gambar 2.4 tersebut, digambarkan mineral berharga dengan warna biru tua dan mineral pengganggu dengan warna biru muda. Semakin kecil ukuran partikel sebagai hasil proses kominusi maka semakin banyak mineral yang terliberasi sempurna.



Gambar 2.4 Ilustrasi proses pengecilan ukuran (kominusi) partikel bijih yang mengandung mineral berharga (warna biru tua) dan mineral pengganggu (warna biru muda).

2.2.1 Peremukan (*Crushing*)

Proses peremukan (*crushing*) adalah proses pengecilan ukuran bijih hasil proses penambangan (berukuran sekitar 40 cm – 80 cm) menjadi berukuran sekitar 2,0 – 2,5 cm. Bergantung pada ukuran awal saat akan dilakukan proses peremukan (ukuran partikel hasil penambangan) dan kekerasan dari pada bijih, proses peremukan dapat dilakukan dalam beberapa tahap. Pada praktiknya, jarang dilakukan dalam satu tahap saja. Umumnya dilakukan dalam dua atau tiga tahap. Tahapan proses peremukan dilakukan karena setiap alat proses peremukan memiliki batasan dalam mereduksi ukuran bijih (nisbah reduksi atau *reduction ratio*). Proses peremukan bijih tahap pertama disebut *primary crushing* (peremukan primer), dan peremukan tahap kedua dan ketiga disebut *secondary crushing* (peremukan sekunder) dan *tertiary crushing* (peremukan tertier).

Peralatan proses peremukan primer (tahap pertama) yang paling banyak digunakan di industri adalah *jaw crusher* dan *gyratory crusher*, untuk karakteristik bijih yang keras. Untuk karakteristik bijih yang relatif lebih lunak dapat menggunakan *roll crusher* atau *hammer mill*. Sementara itu, untuk proses peremukan sekunder (tahap kedua), peralatan yang paling banyak

digunakan di industri adalah *cone crusher* untuk bijih yang relatif keras. Sedangkan untuk bijih yang relatif lebih lunak bisa menggunakan alternatif peralatan seperti *roll crusher* atau *hammer mill* (dengan ukuran peralatan yang lebih kecil dibandingkan dengan peralatan yang digunakan untuk peremukan primer). Untuk peremukan tertier (tahap ketiga), peralatan yang digunakan umumnya sama jenisnya dengan peralatan yang digunakan untuk peremukan sekunder, hanya saja ukuran peralatan lebih kecil. Peralatan proses peremukan yang dikembangkan belakangan yang juga banyak digunakan untuk industri, khususnya pada tahapan peremukan sekunder maupun tertier adalah *high pressure grinding roll (HPGR)*.

Proses peremukan biasanya berlangsung dalam kondisi kering (tanpa aliran air). Pada proses peremukan, energi yang dihasilkan oleh peralatan yang digunakan untuk meremukan partikel bijih sehingga ukurannya menjadi lebih kecil adalah energi yang dihasilkan melalui mekanis *impact (shatter)*, *compression (cleavage)*, dan *abrasion (attrition)*. Mekanisme yang dominan pada proses peremukan ini adalah *impact (shatter)*, *compression (cleavage)* karena mekanisme inilah yang dibutuhkan untuk mengecilkan ukuran partikel yang besar. Mekanisme *abrasion (attrition)* yang terjadi tidak signifikan meskipun selalu terjadi. Efek *attrition* pada partikel ini akan menghasilkan ukuran partikel yang halus (*finest particle*) yang sebenarnya tidak dikehendaki pada tahap peremukan ini.

2.2.2 Penggerusan (*Grinding*)

Proses penggerusan adalah proses pengecilan ukuran dari partikel bijih hasil proses peremukan dengan ukuran sekitar 2,0 – 2,5 cm menjadi ukuran tertentu yang menjadi target ukuran akhir dari proses kominusi secara keseluruhan. Sebagaimana disebutkan sebelumnya, target ukuran akhir ini akan sangat tergantung pada distribusi ukuran mineral dalam bijih (ukuran liberasi) dan aspek pengaruh ukuran partikel pada keberhasilan (performa) proses selanjutnya, yaitu proses konsentrasi. Target ukuran akhir dari proses penggerusan ini sangat penting karena akan memengaruhi jumlah dan jenis tahapan proses penggerusan itu sendiri yang tentunya akan memengaruhi biaya proses, dan keberhasilan proses konsentrasi yang merupakan kelanjutan proses dari proses penggerusan.

Proses penggerusan dalam skala industri bisa dilakukan dalam satu tahap atau dua tahap, tergantung pada target ukuran akhir proses pengecilan ukuran partikel dan kekerasan dari bijih. Jika target ukuran hasil proses penggerusan tidak perlu sampai sangat halus, mungkin satu tahap proses sudah cukup. Namun jika target ukuran hasil proses penggerusan relatif halus atau sangat halus, maka sering kali dibutuhkan dua tahap, yaitu penggerusan primer (*primary grinding*) dan penggerusan sekunder (*secondary grinding* atau sering disebut juga *fine grinding*). Proses penggerusan dapat berlangsung pada kondisi kering (penggerusan kering) dan dapat berlangsung pada kondisi basah (penggerusan basah).

Peralatan proses penggerusan yang banyak digunakan di industri adalah *semi autogenous grinding (SAG) mill*, *ball mill*, *rod mill*, *verti mill*, dan *Isa mill*. *SAG mill*, *ball mill*, dan *rod mill* biasanya banyak digunakan untuk penggerusan primer (tahap kesatu). *Ball mill* juga sering digunakan untuk penggerusan sekunder (tahap kedua) jika target akhir ukuran tidak perlu terlalu halus (sampai sekitar 75 μm). Namun, jika target ukuran akhir yang diperlukan adalah ukuran yang halus bahkan sangat halus (di bawah 75 μm) maka biasanya digunakan *verti mill* atau *Isa mill*.

Biaya proses penggerusan pada suatu pabrik pengolahan mineral bisa mencapai 40-60% dari total biaya produksi dari suatu pabrik pengolahan. Oleh karenanya banyak upaya-upaya yang dilakukan termasuk penelitian-penelitian terkait proses penggerusan yang dilakukan agar proses penggerusan dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien sehingga dapat mengurangi biaya penggerusan sehingga memberikan dampak pengurangan biaya produksi secara keseluruhan secara signifikan..

2.3 Proses Pemisahan Ukuran (*Size Separation*)

Ukuran partikel bijih hasil proses peremukan (*crushing*) dan proses penggerusan (*grinding*) pada umumnya tidak dalam kondisi homogen alias selalu dalam kondisi heterogen (terdistribusi dengan distribusi ukuran tertentu). Untuk mendapatkan hasil akhir distribusi ukuran yang relatif homogen maka pada proses peremukan maupun proses penggerusan selalu dilakukan proses pemisahan ukuran pada produkta hasil peremukan dan produkta hasil proses penggerusan. Pemisahan ukuran partikel biasanya

dilakukan dengan dua cara atau metode, yaitu proses pengayakan (*screening*) dan proses klasifikasi (*classifying*).

Proses pengayakan umumnya dilakukan pada bijih yang masih berukuran kasar, yaitu pada bijih hasil proses peremukan. Sebagai *rules of thumb*, biasanya proses pengayakan diterapkan pada tahap akhir dari proses peremukan yang dirangkai dalam sirkit tertutup (*closed circuit*). Jika suatu proses peremukan dilakukan dengan dua tahap, maka pada tahap kedua dilakukan dengan rangkaian sirkit tertutup. Sementara itu tahap pertama proses peremukan dilakukan dengan sirkit terbuka, artinya produkta peremukan tahap pertama seluruhnya diteruskan ke peremukan tahap kedua. Dalam sirkit tertutup pada proses peremukan dua tahap, produkta yang lolos pengayakan menjadi produkta akhir proses peremukan secara keseluruhan dan kemudian diteruskan pada tahap proses penggerusan, dan adapun produkta yang tidak lolos ayakan dikembalikan atau dialirkan kembali ke proses peremukan sebelumnya peremukan tahap kedua). Demikian juga jika proses peremukan dilakukan dalam tiga tahap, maka proses pengayakan dilakukan pada produkta peremukan tahap ketiga dalam sirkit tertutup. Sementara itu, peremukan tahap pertama dan tahap kedua dilakukan dengan sistem sirkit terbuka.

Secara umum, peralatan proses pengayakan atau ayakan terbagi dalam dua jenis, yaitu ayakan statis (*static screen*) dan ayakan dinamis (*dynamic screen*). Beberapa jenis ayakan statis di antaranya *stationary grizzly* dan *sieve bend*. Sedangkan jenis-jenis ayakan dinamis di antaranya *vibrating screen* (baik yang horizontal maupun yang miring (*inclined*)), *revolving screen* (seperti *trommel screen* dan *centrifugal screen*), dan *rotary shifters*. Proses pengayakan dapat berlangsung pada kondisi kering (*dry screening*) maupun kondisi basah (*wet screening*).

Proses klasifikasi (*classifying*) adalah proses pemisahan ukuran partikel dengan prinsip kecepatan pengendapan partikel dalam media fluida (biasanya air). Dalam media fluida seperti air, partikel yang berukuran kasar (*coarse particles*) akan memiliki kecepatan pengendapan yang lebih besar dibandingkan partikel halus (*finer particle*) sehingga partikel kasar bisa dipisahkan dari partikel halus. Proses klasifikasi diaplikasikan untuk bijih yang memiliki distribusi ukuran yang sudah relatif halus, yang apabila dilakukan pemisahan ukuran menggunakan ayakan menjadi tidak efektif.

Pada partikel dengan distribusi ukuran yang halus, jika pemisahan ukuran menggunakan ayakan, akan mudah menutup lubang ayakan sehingga proses pemisahan ukuran menjadi tidak efektif.

Pada rangkaian proses pengolahan mineral, proses klasifikasi dilakukan untuk pemisahan ukuran pada produkta hasil proses penggerusan dalam rangkaian atau sirkit tertutup (*closed circuit*) antara *mill* (alat proses penggerusan) dan *classifier* (alat proses klasifikasi). Keberhasilan dan efektifitas sirkit tertutup ini menjadi sangat penting karena akan memengaruhi hasil akhir proses pengecilan ukuran (kominusi) secara keseluruhan. Produkta proses klasifikasi ada dua, yaitu *overflow* (merupakan produk akhir proses pengecilan ukuran yang seterusnya akan diproses lebih lanjut pada proses berikutnya, yaitu proses konsentrasi) dan *underflow* (produkta dari *classifier* yang masih berukuran kasar dan produkta ini dikembalikan lagi ke *mill* untuk dilakukan penggerusan ulang).

Proses klasifikasi dapat dilakukan pada kondisi kering (tanpa media fluida atau air) dan kondisi basah (ditambahkan fluida atau air sebagai media proses). Adapun jenis *classifier* secara umum dibagi dua, yaitu *mechanical classifier* dan *cyclone*. Pada *mechanical classifier*, proses pemisahan ukuran selalu berlangsung pada kondisi basah, sementara itu pada *cyclone*, pemisahan ukuran bisa berlangsung pada kondisi kering maupun kondisi basah (disebut *hydrocyclone*). Saat ini, proses klasifikasi di pabrik pengolahan mineral banyak digunakan *hydrocyclone* daripada *mechanical classifier*. *Hydrocyclone* dianggap lebih efisien dan membutuhkan ruang yang lebih sedikit secara signifikan sehingga lebih disukai untuk digunakan di pabrik pengolahan mineral.

2.4 Proses Konsentrasi

Proses konsentrasi adalah proses untuk memisahkan mineral berharga (*valuable mineral*) dari mineral pengganggu (*ganggue mineral*) dengan memanfaatkan perbedaan sifat fisik dari mineral-mineral yang ada dalam bijih sehingga didapatkan produkta berharga yang disebut konsentrat dan produkta tak berharga yang disebut *tailing*. Pemisahan mineral berharga dari mineral pengganggu dilakukan secara fisik, tanpa bahan kimia agar terjadi reksia kimia, berlangsung pada tekanan normal, temperatur atmosfer normal (bukan temperatur tinggi). Pada beberapa proses, ditambahkan reagen kimia,

namun penambahan kimia ini dosisnya sangat rendah dan bukan dimaksudkan untuk reaksi kimia dengan mineral. Reagen kimia yang ditambahkan hanya untuk menciptakan kondisi (seperti memodifikasi permukaan mineral) agar pemisahan fisik mineral berharga dari mineral pengotor berlangsung efektif dan efisien. Karakteristik atau sifat-sifat fisik mineral yang penting yang menjadi dasar metode pemisahan (proses konsentrasi) adalah berat jenis (*specific gravity*), sifat kemagnetan (*magnetic susceptibility*), sifat daya hantar listrik (*electrical conductivity*), dan sifat permukaan apakah mudah menempel pada udara (*hydrophobicity*) atau tidak (*hydrophylicity*).

2.4.1 Konsentrasi Gravitasi

Konsentrasi gravitasi adalah proses pemisahan mineral berharga dari mineral pengganggu dengan memanfaatkan perbedaan berat jenis dalam suatu media fluida, yang biasanya air. Prinsip pemisahan ini adalah adanya perbedaan kecepatan pengendapan dari mineral yang memiliki berat jenis tinggi (disebut mineral berat) dan mineral yang memiliki berat jenis rendah (disebut mineral ringan). Dalam media fluida seperti air, mineral berat akan memiliki kecepatan pengendapan yang lebih besar dibandingkan dengan mineral ringan yang memiliki kecepatan pengendapan yang rendah, sehingga keduanya dapat dipisahkan. Dengan demikian, salah satunya akan menjadi konsentrat (kumpulan mineral berharga) dan yang lain menjadi *tailing* (kumpulan mineral pengganggu).

Metode pemisahan mineral dengan konsentrasi gravitasi dapat dilakukan pada kondisi fluida yang tenang, aliran fluida secara horizontal, maupun aliran fluida vertikal dengan bantuan berbagai gaya yang bekerja seperti gaya gravitasi, gaya sentrifugal, dan gaya dorong (gaya hentak) pada partikel bijih. Berbagai metode dan peralatan proses konsentrasi telah banyak dihasilkan dan digunakan di industri seperti *dense medium separation* (dengan segala jenisnya seperti *dense medium cyclone* dan *dense medium bath*), *sluice box*, jig (dengan berbagai jenisnya seperti Denver jig, harz jig, Pan American Jig, circular jig, dan lain-lain), *shaking table*, *spiral concentrator*, *multi gravity separator*, *Knelson concentrator*, *Falcon concentrator*, dan lain-lain.

Keuntungan konsentrasi gravitasi adalah prosesnya yang mudah dengan biaya operasi yang biasanya lebih murah dari metode-metode lainnya.

Adapun kekurangannya adalah proses pada konsentrasi hanya efektif pada ukuran partikel yang relatif kasar dan kurang efektif pada partikel bijih berukuran halus. Semakin halus ukuran partikel, semakin kurang efektif proses pada konsentrasi gravitasi ini. Konsentrasi gravitasi akan menjadi pilihan utama proses konsentrasi jika mineral berharga dan mineral pengganggu dalam bijih memiliki perbedaan berat jenis yang signifikan dan ukuran liberasi terjadi pada ukuran partikel yang relatif kasar. Konsentrasi gravitasi biasanya berlangsung pada kondisi basah (proses basah dengan media fluida berupa air), namun ada beberapa proses yang berlangsung dengan media udara.

2.4.2 Konsentrasi Magnetik

Konsentrasi magnetik adalah proses pemisahan mineral berharga dari mineral pengganggu (mineral tak berharga) dengan memanfaatkan perbedaan sifat kemagnetan (*magnetic susceptibility*) antara mineral berharga dan mineral pengganggu. Proses pemisahan mineral dilakukan dalam suatu alat yang menghasilkan medan magnet (disebut *magnetic separator*) dengan kekuatan medan magnet tertentu (sebagian peralatan ada yang kekuatan medan magnetnya bisa diatur mulai dari rendah sampai tinggi dan sebagian peralatan bekerja pada kekuatan medan magnet yang tetap) sehingga mineral yang memiliki sifat kemagnetan tinggi dapat dipisahkan dari mineral yang memiliki sifat kemagnetan rendah. Proses pada konsentrasi magnetik bisa berlangsung pada kondisi basah (*wet process*) maupun pada kondisi kering (*dry process*).

2.4.3 Konsentrasi Elektrostatik

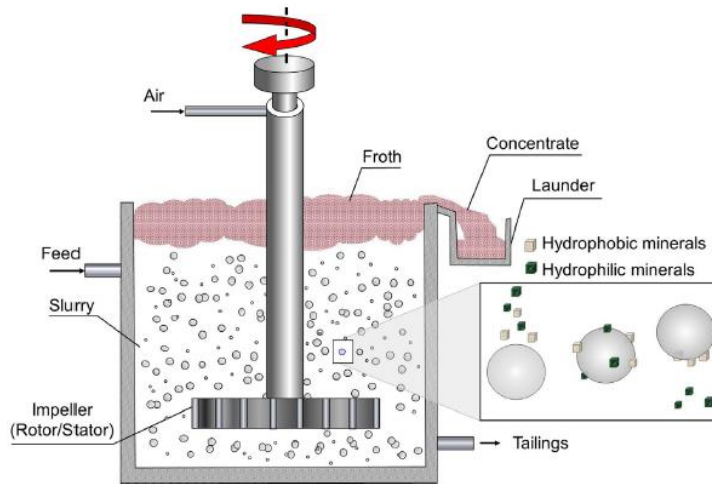
Konsentrasi elektrostatik adalah proses pemisahan mineral berharga dari mineral pengganggu (mineral tak berharga) dengan memanfaatkan perbedaan sifat daya hantar listrik (konduktivitas listrik) antara mineral berharga mineral pengganggu. Proses pemisahan mineral dilakukan dalam suatu alat yang menghasilkan muatan listrik untuk memuat partikel bijih. Partikel yang mengandung mineral dengan tingkat konduktivitas yang berbeda (mineral konduktor dan mineral nonkonduktor) akan memberikan efek yang berbeda, sehingga dapat dipisahkan antara mineral konduktor dan mineral nonkonduktor. Salah satunya (mineral konduktor atau mineral nonkonduktor) akan menjadi konsentrat dan yang lain menjadi *tailing*.

Tergantung jenis peralatan, produkta bisa ada tiga, yaitu mineral konduktor, mineral nonkonduktor, dan *midling*. Produkta *midling* dapat dihasilkan, biasanya karena partikel masih mengandung dua atau lebih mineral, yaitu mineral-mineral yang masih belum terliberasi dengan baik. Proses pada konsentrasi elektrostatis ini hanya bisa berlangsung dengan baik pada kondisi bijih yang benar-benar kering sehingga sering kali dibutuhkan proses pemanasan bijih sebelum dilakukan konsentrasi.

2.4.4 Flotasi

Flotasi adalah proses pemisahan mineral berharga dari mineral tak berharga yang dilakukan berdasarkan perbedaan sifat permukaan mineral, apakah mudah menempel pada gelembung udara (bersifat hidrofobik) atau tidak mudah menempel pada gelembung udara (bersifat hidrofilik). Sifat mineral yang mudah menempel pada gelembung udara berarti juga sulit dibasahi, dan sebaliknya sifat yang sulit menempel pada gelembung udara berarti mudah dibasahi. Proses flotasi merupakan proses interaksi kompleks antara karakteristik fisikokimia spesies yang terlibat dengan kondisi hidrodinamik dan operasi dalam sel flotasi. Proses ini paling banyak digunakan dalam pengolahan mineral untuk proses konsentrasi bijih dan *recovery* mineral berharga.

Proses flotasi dilakukan dalam alat yang biasa disebut sel flotasi, yang secara skematik seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4 [2]. Sel flotasi, yang menciptakan kondisi hidrodinamik yang sesuai untuk proses flotasi, dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu sel flotasi mekanikal, sel flotasi pneumatik, sel flotasi kolom, dan sel flotasi *froth separators* [11]. Di antara keempatnya, sel flotasi mekanikal telah digunakan secara dominan dalam industri mineral sejak awal flotasi diterapkan di seluruh dunia.



Gambar 2.5 Gambar skematik sel flotasi [2]

Flotasi, khususnya flotasi buih (*froth flotation*) dapat dianggap sebagai teknik pengolahan mineral yang paling penting, tetapi teorinya kompleks dan belum sepenuhnya dipahami meskipun banyak aspek telah dipelajari dan ditinjau [2]. Klimpel (1998) [12] dan Klimpel, dkk. (1986) [13] telah memvisualisasikan proses flotasi sebagai sistem interaktif tiga arah yang terdiri atas:

- Faktor kimia: kolektor, *frother*, aktivator, depresan, dan pH.
- Faktor operasional: laju umpan, mineralogi, ukuran partikel, densitas pulp, dan suhu.
- Faktor peralatan (mesin): desain sel, agitasi (kecepatan *impeller*), aliran udara, konfigurasi bank sel, dan kontrol bank sel.

Terdapat tiga mekanisme proses partikel mineral menjadi buih (*froth*) pada proses flotasi, yaitu [2]:

- *True flotation*, yaitu mineral yang bersifat hidrofobik akan melekat pada gelembung udara sehingga dapat terapungkan,
- *Entrainment*, yaitu partikel mineral baik yang bersifat hidrofobik maupun yang bersifat hidrofilik ikut terbawa oleh aliran air di antara gelembung-gelembung udara yang mengapung,
- *Entrapment*, yaitu partikel mineral baik yang bersifat hidrofobik maupun yang bersifat terhimpit atau terjebak secara fisik oleh

mineral-mineral hidrofobik di antara gelembung-gelembung udara sehingga ikut terapungkan.

Dalam proses flotasi, ditambahkan berbagai reagen kimia (disebut reagen flotasi) yang berfungsi untuk menciptakan lingkungan proses flotasi yang memungkinkan terjadi proses flotasi dengan baik. Setiap reagen kimia yang ditambahkan mempunyai fungsi yang spesifik. Ada tiga kelompok utama reagen kimia yang biasa digunakan dalam proses flotasi yaitu kolektor, *frother* (pembuih), dan *modifier*.

1. **Kolektor**, yaitu reagen kimia yang dapat mengubah permukaan mineral yang semula hidrofilik (dapat dibasahi) menjadi hidrofobik (tidak dapat dibasahi). Banyaknya pemakaian (dosis) kolektor yang dipakai tergantung pada faktor-faktor berikut :

- Total luas permukaan partikel yang akan diselimuti (merupakan fungsi dari kadar dan ukuran partikel).
- Ion-ion yang ada dalam *pulp* yang berinteraksi dengan kolektor.
- Tingkat oksidasi permukaan mineral.

Contoh untuk kolektor *xanthate*, pemakaiannya antara 10 - 100 gram per ton bijih kering. Pemakaian kolektor juga ada kaitannya dengan besarnya sudut kontak. Semakin kecil sudut kontak maka semakin banyak kolektor yang harus ditambahkan. Kolektor yang baik adalah kolektor yang selektif terhadap mineral tertentu, walaupun pada kenyataannya kolektor biasanya selektif terhadap kelompok mineral. Kolektor biasanya dikenal dengan nama dagangnya, oleh karena itu untuk mengetahui strukturnya perlu melihat katalog dari pabrik yang bersangkutan.

2. **Frother**, yaitu reagen kimia yang digunakan dalam proses flotasi yang berfungsi menurunkan tegangan permukaan air sehingga mudah membentuk gelembung yang relatif stabil. Selama masa pengapungan, gelembung yang terbentuk harus stabil/tidak pecah dan setelah keluar dari sel flotasi gelembung tersebut pecah sehingga partikel-partikel yang menempel pada gelembung tersebut bisa ditampung. Jika setelah keluar dari sel flotasi gelembung masih tetap stabil atau gelembung belum pecah maka akan menyulitkan dalam penanganan material yang diapungkan maupun penanganan untuk proses berikutnya seperti *drying* (pengeringan), *filtering*, dan lain-lain. Di samping dapat menstabilkan

gelembung, *frother* yang baik harus dapat larut dalam air (mempunyai daya larut yang tinggi).

3. **Modifier** atau **regulator**, yaitu reagen kimia lain (selain kolektor dan *frother*) yang ditambahkan dalam proses flotasi yang berfungsi mengatur lingkungan yang sesuai dengan lingkungan flotasi sehingga selektifitas kolektor menjadi bertambah baik dan dengan demikian dapat memperbaiki *recovery* (perolehan) proses flotasi. *Modifier* terdiri atas macam-macam *reagen*, yaitu: *pH regulator*, *depressant*, *activator*, dan *dispersant*.

a) *pH Regulator*

pH regulator adalah reagen kimia yang berfungsi untuk mengatur pH lingkungan flotasi. *pH regulator* perlu ditambahkan dalam proses flotasi karena mineral mengapung dengan baik pada pH tertentu, reagen lebih stabil pada pH tertentu, dan kolektor juga bekerja dengan baik pada pH tertentu. pH di mana mineral-mineral dapat mengapung dengan baik disebut pH kritis. pH kritis dari suatu mineral tergantung pada macam kolektor yang dipakai dan konsentrasi (jumlah pemakaian) dari kolektor. Ada dua jenis *pH regulator*, yaitu :

- *pH regulator asam*, yaitu *pH regulator* dalam lingkungan asam, contoh : H_2SO_4
- *pH regulator basa*, yaitu *pH regulator* dalam lingkungan basa, contoh : *lime* (CaO), soda abu (Na_2CO_3), NaOH.

b) *Depressant*

Depressant adalah reagen kimia yang berfungsi untuk mencegah interaksi kolektor terhadap mineral tertentu sehingga mineral tersebut tetap bersifat hidrofilik agar tidak terapungkan. Beberapa contoh *depressant* adalah $ZnSO_4$ (berfungsi untuk men-*depress sphalerit* (ZnS) pada pH cukup tinggi (sekitar pH = 9 - 11) dan NaCN (berfungsi untuk men-*depress sphalerit*, pirit, Au, Ag).

c) *Activator*

Activator adalah reagen yang berfungsi membantu kolektor agar interaksi kolektor dengan mineral tersebut bekerja dengan baik. Contoh *activator* $CuSO_4$ dan $Na_2S \cdot 9H_2O$. Pada penggunaan $CuSO_4$, ion Cu^{++} diadsorpsi (diserap) oleh permukaan mineral yang

sebelumnya bekerja kurang baik dengan kolektor. Dengan diserapnya ion-ion Cu^{++} pada permukaan mineral akhirnya mineral tersebut menjadi hidrofobik (suka udara). Pada penggunaan $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$, ion-ion S^{2-} di-*adsorp* oleh permukaan mineral sulfida yang berubah menjadi oksida sehingga permukaan mineral menjadi sulfida lagi.

d) *Dispersant*

Dispersant adalah reagen kimia yang berfungsi untuk melepas penempelan partikel-partikel halus (*slimes coating*) pada permukaan mineral yang akan diapungkan. Contoh *dispersant* adalah sodium silikat ($m\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$), namun penambahan sodium silikat tidak boleh berlebihan karena mempunyai efek terhadap gelembung udara (gelembung udara cepat pecah).

3 PENELITIAN PENGOLAHAN MINERAL (SUMBERDAYA PRIMER) DI LABORATORIUM PENGOLAHAN BAHAN GALIAN

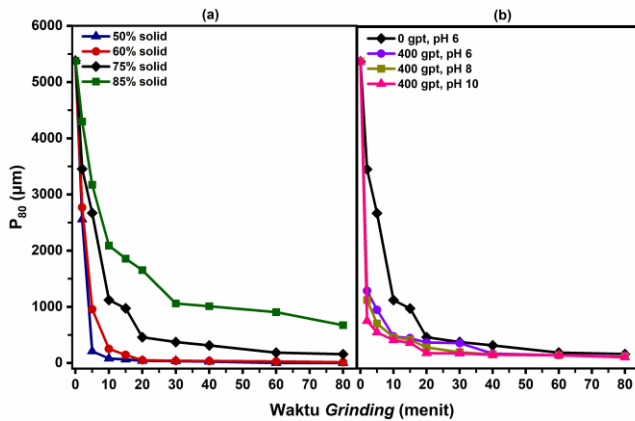
Penelitian-penelitian dengan topik terkait pengolahan mineral (sumberdaya primer) telah banyak dilakukan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung. Beberapa penelitian dengan sub-topik proses kominusi (pengecilan ukuran partikel) dan proses konsentrasi ditampilkan berikut ini.

3.1 Proses Kominusi (Pengecilan Ukuran)

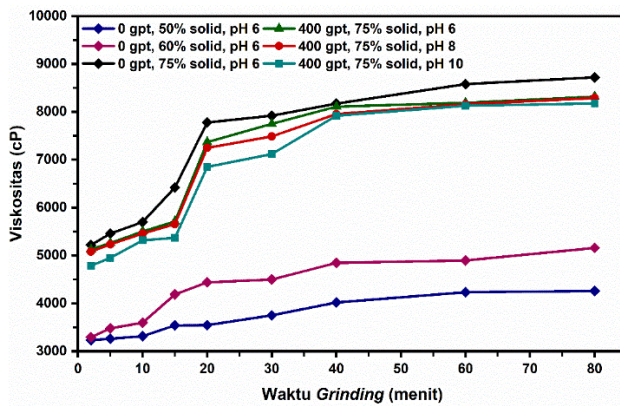
Studi Modifikasi Reologi Slurry pada Penggerusan Bijih Timah Primer Asal Batubesi, Belitung

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh modifikasi rheologi *slurry* pada penggerusan basah bijih timah primer jenis oxide asal Batubesi, Belitung menggunakan *ball mill*. Modifikasi rheologi *slurry* dilakukan dengan penambahan *grinding aids* (GA) pada berbagai variabel %-solid *slurry* dan pH. Dengan memodifikasi *rheologi slurry* (viskositas *slurry*) diharapkan proses penggerusan basah dapat berlangsung pada %-solid yang lebih tinggi sehingga kapasitas penggerusan (*mill throughput*) untuk menghasilkan produkta dengan ukuran sesuai target tertentu menjadi lebih tinggi.

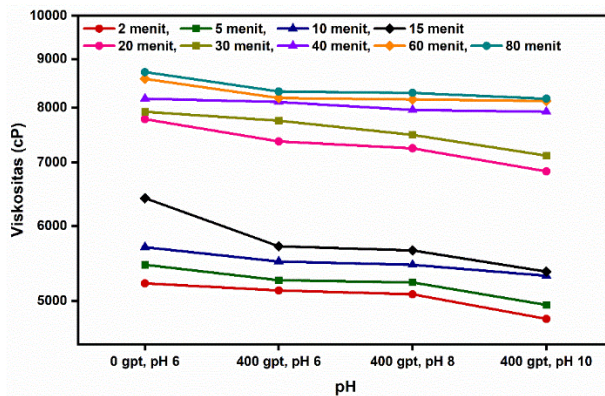
Viskositas *slurry* dapat dimodifikasi melalui penambahan *grinding aids* (GA) berupa reagen *viscosity modifier*, sehingga persen solid *slurry* dapat tinggi, tetapi seolah-olah encer. Reagen *viscosity modifier* yang umum digunakan berupa dispersan dalam bentuk polimer larut dalam air, contohnya *polyacrylic acid* (PAA) [14]. Dalam penelitian ini, Flosperse 1000 yang merupakan salah satu dispersan komersial berjenis PAA, digunakan sebagai reagen *viscosity modifier*. Beberapa hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.6 sampai dengan Gambar 2.9.



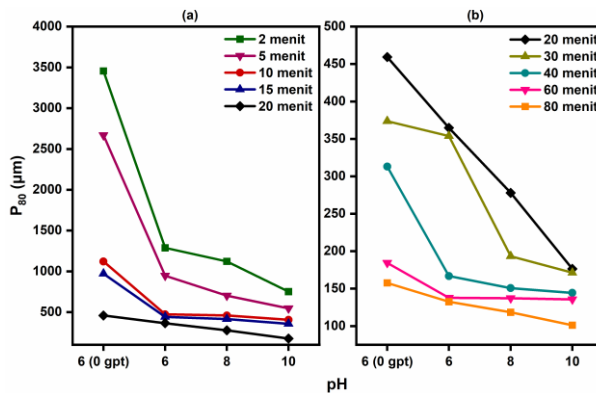
Gambar 3.1 Kurva P_{80} produkta tiap waktu *grinding*: (a) tanpa reagen Flosperser 1000 dan (b) dengan reagen Flosperser 1000 [15]



Gambar 3.2 Kurva viskositas produkta tiap waktu *grinding* [15]



Gambar 3.3 Kurva viskositas produkta *grinding* tiap variasi pH *slurry* dengan penambahan reagen Flosperser 1000 [15]



Gambar 3.4 Kurva P_{80} produkta *grinding* tiap variasi pH *slurry* dengan penambahan reagen Flosperse 1000 [15]

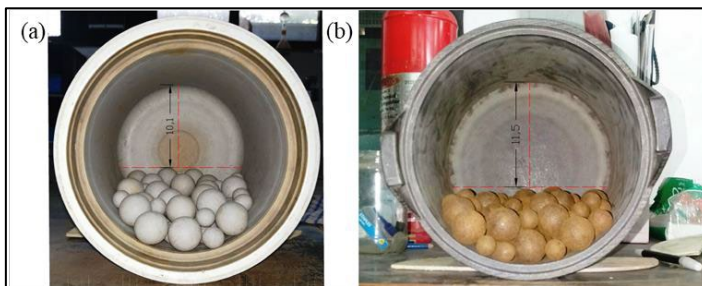
Hasil-hasil percobaan menunjukkan bahwa penambahan viscosity modifier Flosperse 1000 dapat memperbaiki *rheology slurry* proses penggerusan bijih timah primer tipe *oxide* menggunakan *ball mill* skala laboratorium, yaitu viskositas menurun sehingga P_{80} produkta menjadi lebih halus pada %-solid yang sama. Dengan demikian, %-solid dapat ditingkatkan untuk menghasilkan P_{80} produkta yang sama sehingga berarti kapasitas (*mill throughput*) meningkat. Dispersan (*viscosity modifier*) bekerja dengan cara meningkatkan muatan antarmuka partikel menjadi negatif yang berasal dari gugus fungsi anionik dispersan, sehingga gaya tolak-menolak antarpartikel atau *electrostatic repulsion* dapat terjadi [16]. Selain itu, rantai polimer yang menempel menutupi permukaan partikel dapat memberikan efek *steric* yang dapat membantu partikel-partikel agar tidak saling menempel [16]. Dua mekanisme kerja dispersan ini dikenal sebagai *electrosteric stabilization* [17].

Studi Pengaruh Media Bola Keramik dan Bola Baja dalam Kondisi Penggerusan Kering dan Basah terhadap Kinetika dan Karakteristik Distribusi Ukuran Butir Bijih Sulfida Kompleks Galena-Sfalerit

Penelitian ini ini dilakukan dengan tujuan untk menentukan kinetika *grinding* dan karakteristik distribusi ukuran butir bijih sulfida kompleks galena-sfalerit produk *grinding*, dengan variasi tipe media dan kondisi *grinding*. Media *grinding* yang digunakan dalam percobaan adalah bola keramik (*Ceramic Ball-CB*) dan bola baja (*Steel Ball-SB*), *grinding jar* yang digunakan dalam percobaan adalah *ceramic jar* dan *steel jar*. Percobaan *grinding* dilakukan dengan variasi media bola keramik kondisi kering (*Dry Ceramic Ball-DCB*), media bola

keramik kondisi basah (*Wet Ceramic Ball-WCB*), media bola baja kondisi kering (*Dry Steel Ball-DSB*) dan media bola baja kondisi basah (*Wet Steel Ball-WSB*). Tiap variasi percobaan *grinding* dilakukan selama 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 menit. Distribusi ukuran butir dan karakteristik dari distribusi ukuran butir produkta *grinding* adalah distribusi ukuran butir fraksi kasar (partikel berukuran +200#) menggunakan metode ayak kering (*dry sieve*) dan ayak basah (*wet sieve*) dan distribusi ukuran butir fraksi halus (partikel berukuran -200#) menggunakan alat laser *diffraction particle size analyzer*. Model kinetika *grinding* produk *grinding* menggunakan *non-first-order law*. Model distribusi ukuran butir menggunakan persamaan *logistic*, Rosin-Rammler (RR) dan Gates-Gaudin-Schuhmann (GGS).

Ball mill (dalam skala laboratorium sering disebut juga sebagai *jarr mill*) dan *grinding ball* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5 [18], sedangkan spesifikasi alat dan *grinding ball* dapat dirangkumkan seperti pada Tabel 3.1 [18].

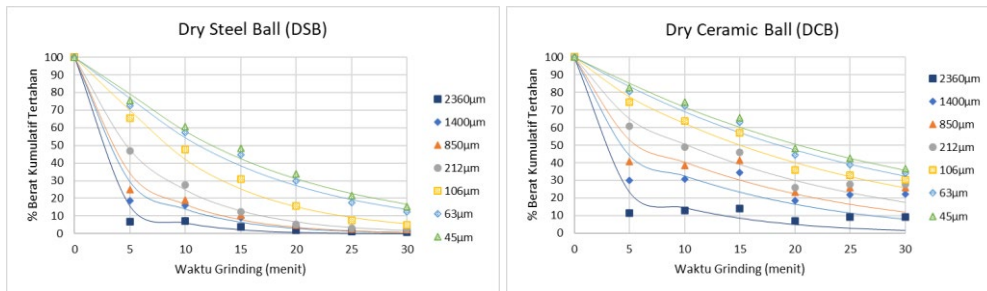


Gambar 3.5 *Ball mill* (*jarr mill*) dan *grinding ball* yang digunakan dalam percobaan: (a) *Ball mill* keramik dan *grinding ball* keramik, (b) *Ball mill* baja dan *grinding ball* baja [18]

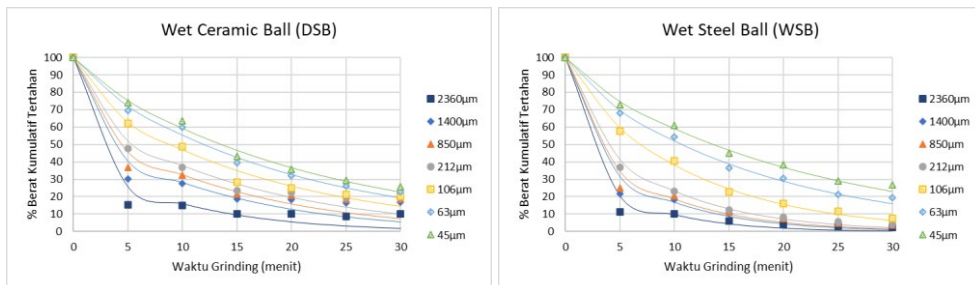
Tabel 3.1 Spesifikasi alat dan kondisi operasi proses *grinding* [18]

Spesifikasi dan Kondisi Operasi	Keramik	Baja	
<i>Ball mill</i>	Diameter, cm	17,09	19,33
	Panjang, cm	19,9	20,01
	Volume, cm ³	4561,17	5868,97
	Kecepatan operasi, N (rpm)	106,99	100,58
	Kecepatan kritis, N _c = 80%N (rpm)	85,6	80,5
	Diameter, mm	17, 18, 19, 30	
<i>Grinding ball</i>	Jumlah	20, 40, 16, 23	29, 56, 20, 31
	Berat, gr	216,5; 493,9; 208; 1257	584; 1332,2; 561,1; 3391,1
	Berat total, gr	2175,4	5868,9
	Massa Jenis, gr/cm ³	3,52	7,38

Spesifikasi dan Kondisi Operasi	Keramik	Baja
Bijih	Massa Jenis, gr/cm ³	3,16
	Berat bijih, gr	217,5
		586,9
Mill Charge, %		38,05
Rasio bijih: media <i>grinding</i>		1:10
Rasio bijih: air (untuk <i>grinding</i> kondisi basah)		1:2
Berat air, gr	435	1173,8
Persen solid	33,33	33,33



Gambar 3.6 Grafik *fitting* antara data pengukuran dan persamaan kinetika sampel bijih sulfida kompleks galena-sfalerit produk *grinding* variasi (a) *Dry Ceramic Ball* (DCB) dan (b) *Dry Steel Ball* (DSB) [18]



Gambar 3.7 Grafik *fitting* antara data pengukuran dan persamaan kinetika sampel bijih sulfida kompleks galena-sfalerit produk *grinding* variasi (a) *Wet Ceramic Ball* (WCB) dan (b) *Wet Steel Ball* (WSB) [18]

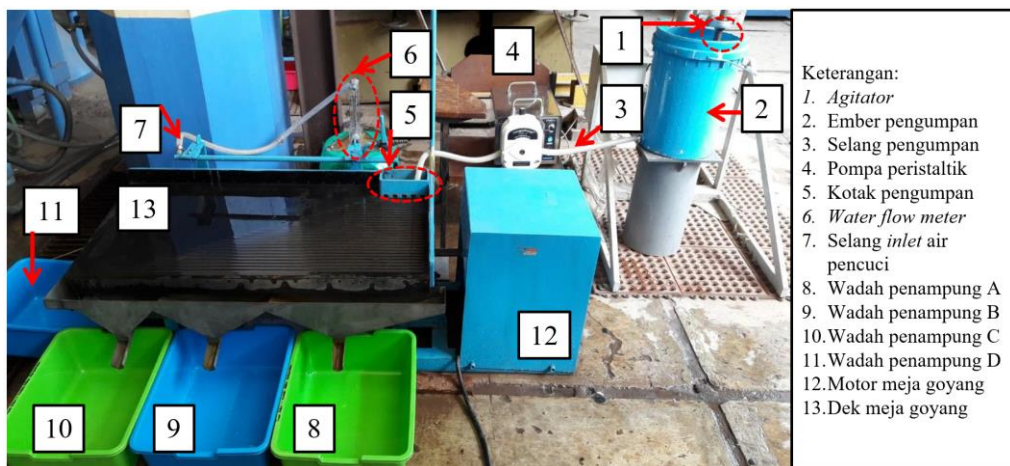
Hasil-hasil percobaan [18] menunjukkan bahwa variasi *grinding* menggunakan bola baja dalam kondisi kering merupakan kondisi paling efektif dalam mereduksi ukuran bijih sulfida kompleks galena-sfalerit, ditunjukkan oleh %-berat kumulatif lolos yang tinggi, modulus ukuran rendah, indeks keseragaman tinggi, laju penggerusan tinggi, partikel halus tinggi dan nilai *specific surface area* (SSA) tinggi. Media bola baja lebih efektif dalam mereduksi ukuran bijih dibanding media bola keramik baik dalam kondisi kering maupun basah. *Grinding* menggunakan bola keramik kondisi

basah lebih baik dibandingkan kondisi kering, sebaliknya *grinding* menggunakan bola baja kondisi kering lebih baik dibandingkan kondisi basah. Model kinetika *grinding* Alyavdin dapat menggambarkan perilaku kinetika *grinding* bijih sulfida kompleks galena-sfalerit. Distribusi ukuran butir produk variasi *grinding* menggunakan bola keramik dalam kondisi basah dan kering mengikuti model persamaan Rosin-Rammler sedangkan *grinding* menggunakan bola baja mengikuti model persamaan *logistic*.

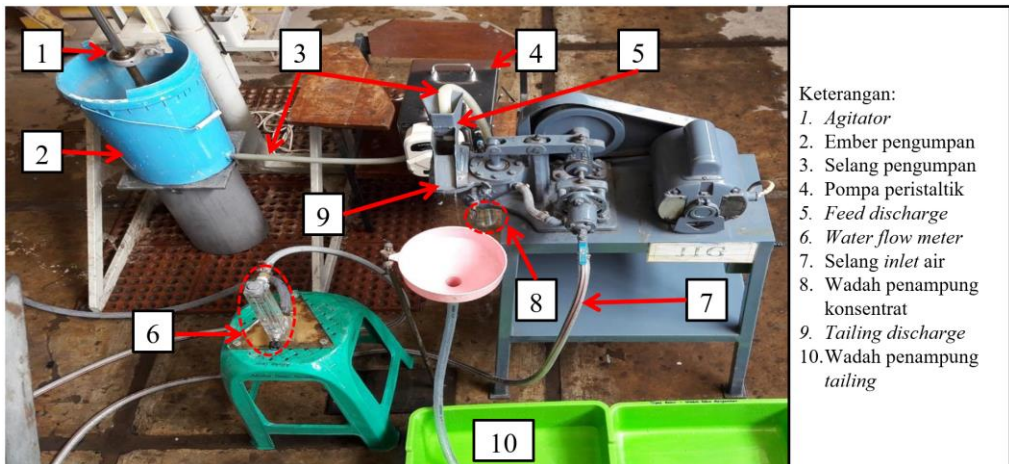
3.2 Proses Konsentrasi

Konsentrasi Gravitasi Bijih Timah Primer Asal Pulau Bangka Menggunakan Meja Goyang dan Jig

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik bijih timah primer asal Pulau Bangka, mempelajari pengaruh variabel operasi pada konsentrasi gravitasi menggunakan meja goyang terhadap persen kadar dan perolehan timah, mempelajari pengaruh variabel operasi pada konsentrasi gravitasi menggunakan *jig* terhadap persen kadar timah dan perolehan timah, dan membandingkan hasil antara konsentrasi gravitasi menggunakan meja goyang dengan *jig*. Rangkaian peralatan percobaan menggunakan meja goyang dapat dilihat pada Gambar 3.8, sementara itu untuk rangkaian peralatan percobaan menggunakan *jig* dapat dilihat pada Gambar 3.9 [10].



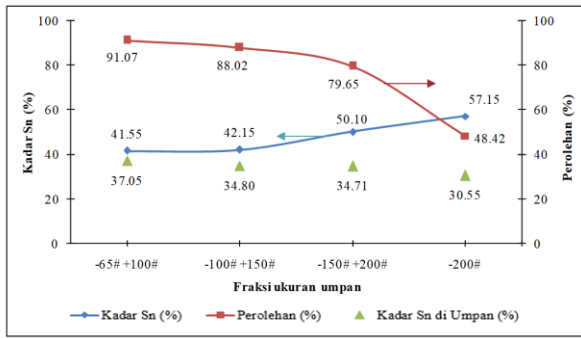
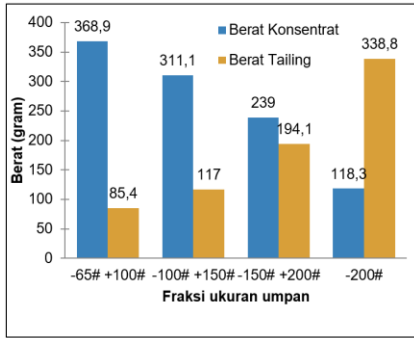
Gambar 3.8 Rangkaian peralatan percobaan menggunakan meja goyang



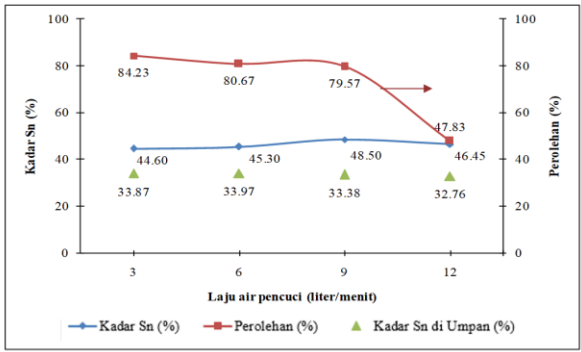
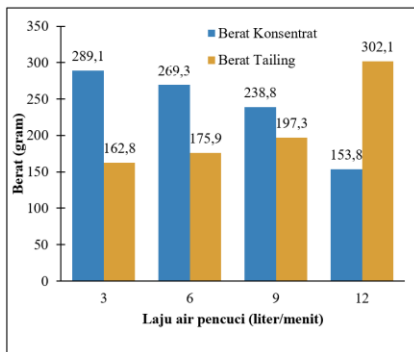
Gambar 3.9 Rangkaian peralatan percobaan menggunakan jig

Hasil-hasil percobaan dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 3.10 sampai Gambar 3.14. Beberapa kesimpulan dari hasil percobaan ini dapat dirangkumkan sebagai berikut:

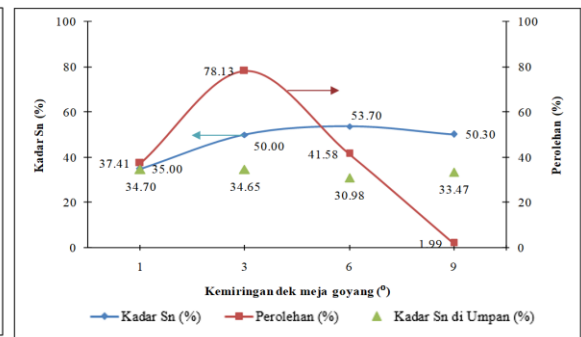
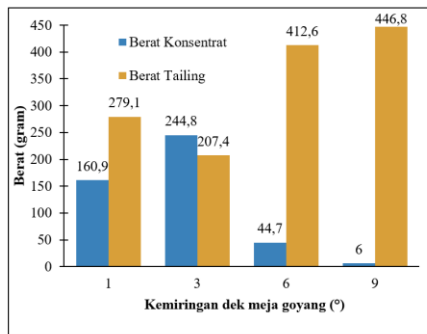
- Umpan semakin kecil meningkatkan persen kadar namun menurunkan persen perolehan timah hasil pemisahan meja goyang dan jig.
- Peningkatan laju air menurunkan perolehan timah hasil meja goyang dan jig. Kadar timah hasil meja goyang relatif stagnan, hasil *jigging* mengalami peningkatan.
- Dek meja goyang yang semakin curam menurunkan persen perolehan timah, namun meningkatkan kadar.
- Jig tidak efektif untuk umpan lebih halus dari 65#, meja goyang efektif pada rentang -65#+200#. Pemisahan menggunakan meja goyang lebih baik dibandingkan jig.
- Pemisahan terbaik meja goyang saat ukuran umpan -150# +200#, laju air 9 liter/menit, dan kemiringan dek meja 3°. Sedangkan jig pada umpan -48# +65# dan laju air 4 liter/menit



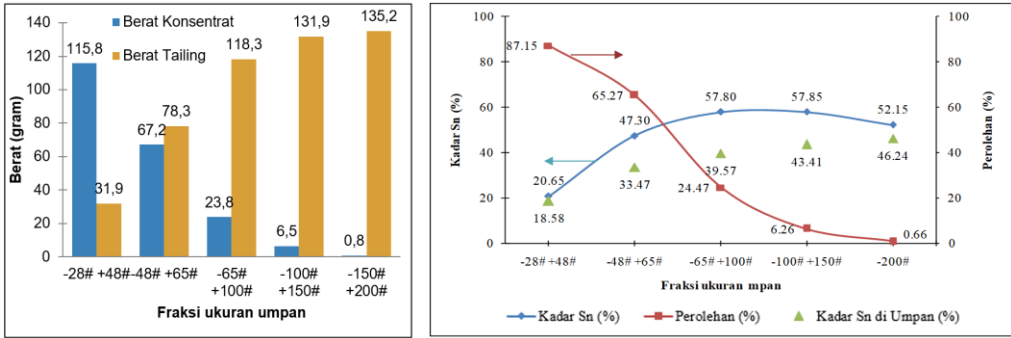
Gambar 3.10 Hasil percobaan konsentrasi menggunakan meja goyang pada berbagai fraksi ukuran partikel



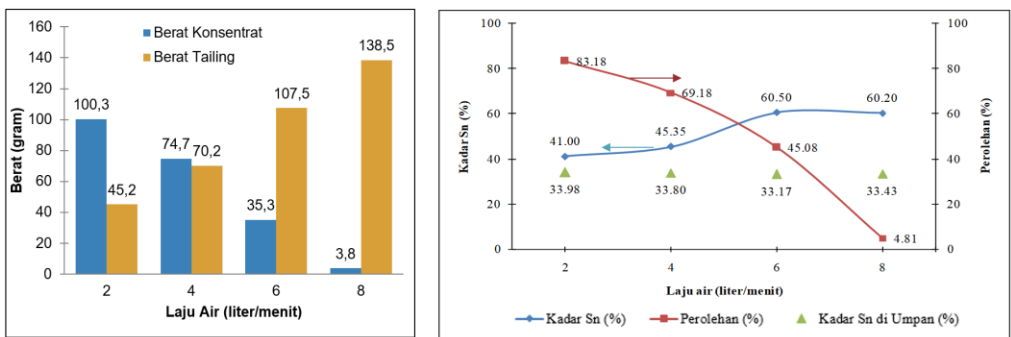
Gambar 3.11 Hasil percobaan konsentrasi menggunakan meja goyang pada berbagai laju alir air pencuci (washed water)



Gambar 3.12 Hasil percobaan konsentrasi menggunakan meja goyang pada berbagai kemiringan dek meja



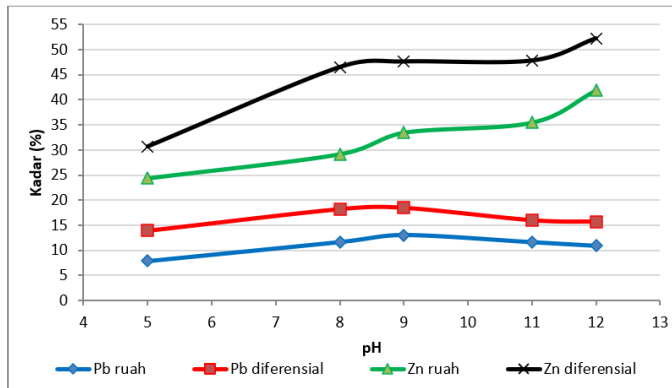
Gambar 3.13 Hasil percobaan konsentrasi menggunakan jig pada berbagai fraksi ukuran partikel



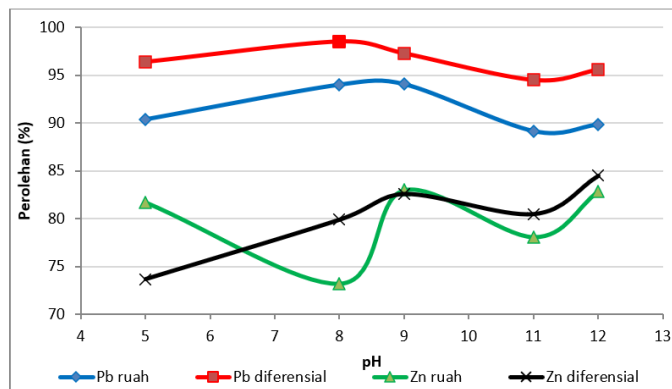
Gambar 3.14 Hasil percobaan konsentrasi menggunakan jig pada berbagai laju air

Studi Flotasi Bijih Kompleks Pb-Zn Asal Kabupaten Bogor dengan Metode Flotasi Ruah dan Flotasi Diferensial

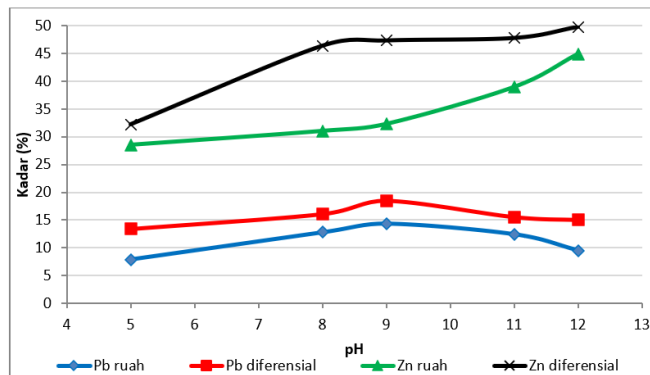
Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari keefektifan flotasi dengan dua jenis kolektor *xanthate*, yaitu *potassium amyl xanthate (PAX)*, *sodium isobutyl xanthate (SIBX)*, dan satu kolektor lainnya yaitu *ammonium alkyl dithiophosphate* untuk proses konsentrasi timbal dan seng dari bijih kompleks Pb-Zn dari Kabupaten Bogor. Untuk semua percobaan, *frother* yang digunakan adalah Dowfroth 1012. Percobaan flotasi dilakukan menggunakan sel flotasi Denver skala laboratorium. Sebagian hasil-hasil percobaan terpenting digambarkan dalam bentuk grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 3.15 sampai Gambar 3.20 [19].



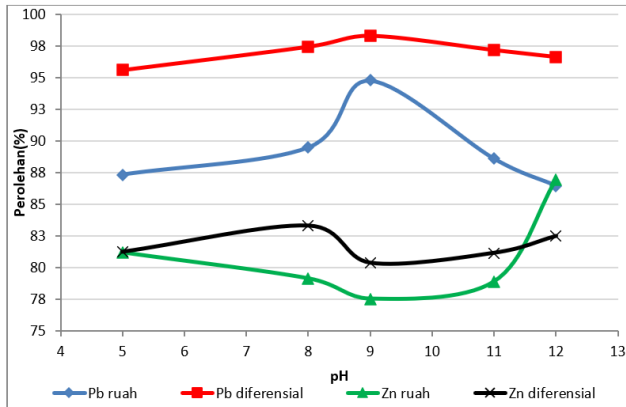
Gambar 3.15 Pengaruh pH terhadap kadar pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor PAX [19]



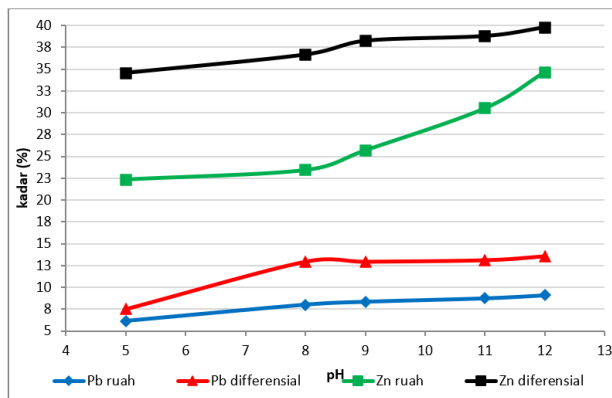
Gambar 3.16 Pengaruh pH terhadap perolehan pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor PAX [19]



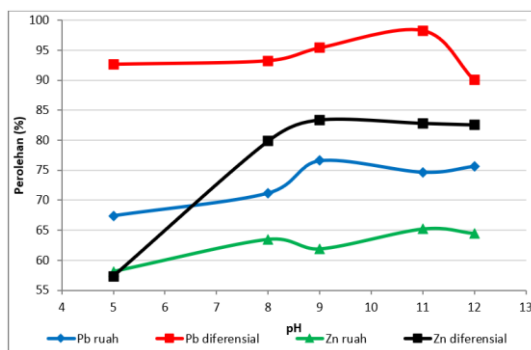
Gambar 3.17 Pengaruh pH terhadap kadar pada flotasi ruah dan flotasi dferensial dengan kolektor SIBX [19]



Gambar 3.18 Pengaruh pH terhadap perolehan pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor SIBX [19]



Gambar 3.19 Pengaruh pH terhadap kadar pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor dithiophosphate [19]

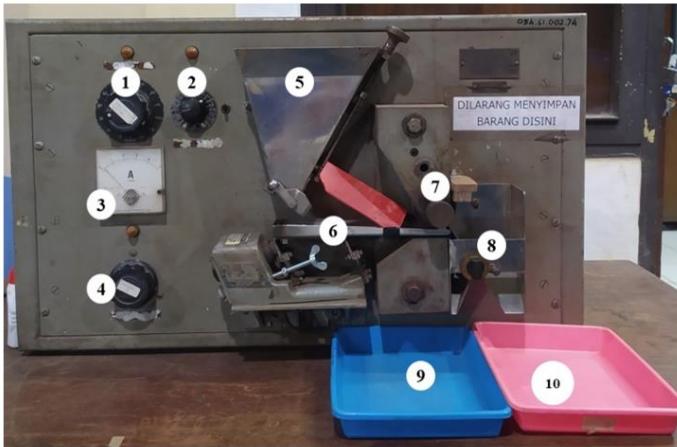


Gambar 3.20 Pengaruh pH terhadap perolehan pada flotasi ruah dan flotasi diferensial dengan kolektor dithiophosphate [19]

Dari penelitian yang dilakukan [19], hasil pengukuran sudut kontak menunjukkan hasil galena dan sfalerit menjadi hidrofobik dengan adanya interaksi dengan tiap kolektor, sedangkan kuarsa tetap menjadi hidrofilik. Nilai kadar dan perolehan Pb-Zn pada proses flotasi ruah maupun flotasi diferensial dengan menggunakan kolektor PAX dan SIBX tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Kolektor *dithiophosphate* memberikan kadar yang lebih rendah daripada kolektor *xanthate*. Flotasi galena mencapai hasil optimum pada pH 9 dengan kolektor PAX dengan kadar Pb 18,47% dan perolehan 98,32% pada metode flotasi diferensial. Flotasi sfalerit mencapai hasil optimum pada pH 12 dengan kolektor PAX dengan kadar Zn 52,24%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode flotasi diferensial pada bijih kompleks Pb-Zn menghasilkan konsentrat dengan kadar dan perolehan yang lebih baik daripada metode flotasi ruah.

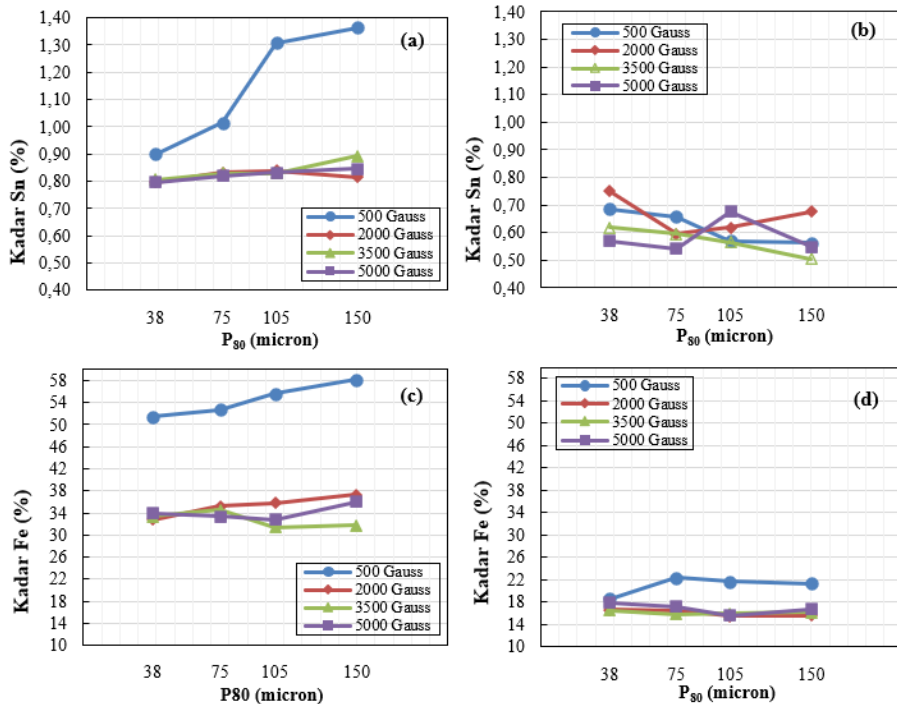
Studi Benefisasi Bijih Timah Primer Jenis Skarn dan Oxide Asal Batubesi Belitung Menggunakan Magnetic Separator

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari karakteristik bijih timah primer jenis skarn dan oxide asal daerah Batubesi; mempelajari pengaruh variasi ukuran P_{80} umpan, intensitas magnet, dan kecepatan *roll* terhadap kadar timah, perolehan timah, kadar besi, dan perolehan besi pada proses konsentrasi magnetik; mempelajari pengaruh proses konsentrasi magnetik multistage terhadap kadar timah, perolehan timah, kadar besi, dan perolehan besi; menentukan variabel ukuran P_{80} umpan, intensitas magnet, dan kecepatan *roll* dengan hasil terbaik pada proses konsentrasi magnetik bijih timah primer jenis skarn dan oxide. Percobaan dilakukan menggunakan peralatan *lift-type induced roll magnetic separator* (Gambar 3.21) [20].



1. Knob RPM
2. Knob Getaran *Vibrating Feeder*
3. *Ammeter*
4. Knob Intensitas Medan Magnet
5. *Gate Feed Hopper*
6. *Vibrating Feeder*
7. *Induced Magnetic Roll*
8. *Splitter*
9. *Tampungan Produk Non-magnetik*
10. *Tampungan Produk Manetik*

Gambar 3.21 *Lift-type induced roll magnetic separator*[20]



Gambar 3.22 (a) Kadar Sn pada produk magnetik, (b) kadar Sn pada produk nonmagnetik, (c) kadar Fe pada produk magnetik, (d) kadar Fe pada produk nonmagnetik hasil konsentrasi magnetik bijih *skarn*[20]

Sebagian hasil-hasil percobaan terpenting disajikan pada Gambar 3.22. Gambar 3.22 memperlihatkan pengaruh fraksi ukuran terhadap kadar Sn dan kadar Fe pada berbagai intensitas magnet.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar timah awal pada bijih timah primer jenis *skarn* dan *oxide* adalah 0,79% dan 0,29% dan kadar besi awal pada bijih timah primer jenis *skarn* dan *oxide* adalah 29,02% dan 34,36%. Pada produk nonmagnetik hasil konsentrasi magnetik bijih timah primer jenis *skarn* dan *oxide*, kadar timah cenderung meningkat dan persen perolehan timah cenderung turun seiring dengan naiknya intensitas magnet, kadar dan perolehan timah cenderung turun seiring dengan naiknya ukuran umpan, dan kadar dan persen perolehan timah cenderung turun seiring dengan naiknya kecepatan *roll*. Pada produk magnetik hasil konsentrasi magnetik bijih timah primer jenis *skarn* dan *oxide*, kadar besi cenderung meningkat dan persen perolehan besi cenderung turun seiring dengan turunnya intensitas magnet, kadar besi cenderung meningkat dan persen perolehan besi cenderung turun seiring dengan naiknya ukuran umpan, dan persen perolehan besi cenderung naik dan kadar besi cenderung turun dengan naiknya kecepatan *roll*. Hasil akhir yang diperoleh pada penelitian ini adalah 0,37% Sn dan 82,37% perolehan Sn pada produk nonmagnetik bijih *oxide* dan 39,97% Fe dan 27,63% perolehan Fe pada produk magnetik bijih *oxide*. Sedangkan pada bijih *skarn*, 0,77% Sn dan 66,69% perolehan Sn pada produk nonmagnetik dan 58,52% Fe dan 53,55% perolehan Fe pada produk magnetik.

Studi Penggunaan Bakteri Penghasil Biosurfaktan Sebagai Bioreagent pada Mikroflotasi Kalkopirit, Pirit, dan Silika

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari penggunaan bakteri penghasil biosurfaktan sebagai bioreagent untuk mikroflotasi kalkopirit, pirit, dan silika. Jenis bakteri yang digunakan adalah *Citrobacter youngae strain SKC-4*, *Bacillus pumilus strain SKC-2*, *Pseudoclavibacter aromaticivorans strain SKC/XLWT*, dan *Citrobacter youngae strain SKC-5*. Mikroflotasi dilakukan pada *Modified Hallimond Tube* (Gambar 3.23 dan 3.24) [21] dengan beberapa variabel percobaan, yaitu variasi jenis bakteri penghasil biosurfaktan, waktu *conditioning*, konsentrasi bakteri, dan pH untuk melihat pengaruhnya terhadap perolehan kalkopirit, pirit, dan silika.



Gambar 3.23 Percobaan mikroflotasi dengan *modified Hallimond tube* [21]



Gambar 3.24 *Froth* yang terbentuk pada saat mikroflotasi [21]

Percobaan dengan variasi jenis bakteri menghasilkan perolehan kalkopirit tertinggi yaitu 43,73% dicapai pada penggunaan *Citrobacter youngae* strain SKC-4 dengan waktu *conditioning* 30 menit, dan pH natural yang terukur yaitu pada pH 4. Lamanya waktu *conditioning* menghasilkan kecenderungan pada meningkatnya perolehan kalkopirit. Waktu *conditioning* yang optimum adalah 60 menit untuk mencapai perolehan kalkopirit sebesar 34% dengan *Citrobacter youngae* strain SKC-4. Pada variasi konsentrasi bakteri, perolehan kalkopirit tertinggi yaitu sebesar 18,31% dicapai pada konsentrasi bakteri $8,4 \times 10^9$ koloni/gram. Sementara untuk pH optimum dicapai pada pH 2 dengan perolehan kalkopirit sebesar 18,14%. Penggunaan bakteri sebagai kolektor maupun *depressant* masih belum optimum, namun sangat potensial digunakan sebagai *biofrother* [21].

Bioflotasi Selektif Bijih Kompleks Galena-Sfalerit Berdasarkan Interaksi Mineral dengan Bakteri Mixotrof sebagai Alternatif Bioreagen

Manfaat proses bioflotasi adalah bagaimana bakteri yang berbeda dapat menghasilkan pengayaan mineral yang ada di dalam bijih terutama bijih kompleks dan berkadar rendah. Hal ini melibatkan pemisahan selektif mineral yang tidak diinginkan (*gangue mineral*) dari mineral berharga melalui interaksi mineral dengan bakteri dalam proses seperti bioflotasi selektif. Adhesi bakteri ke permukaan mineral menyebabkan perubahan fisika-kimia permukaan yang dapat memodifikasi sifat hidrofobisitas suatu mineral. Oleh karena karakteristik permukaan mineral diperlukan untuk melihat modifikasi permukaan sebelum dan setelah berinteraksi dengan bakteri untuk mengetahui dan mengontrol proses bioflotasi. Bakteri yang berbeda memiliki sifat permukaan yang berbeda dan adaptasi bakteri dengan menumbuhkannya dalam medium yang menghadirkan sejumlah mineral dapat memperkenalkan perubahan lebih lanjut terhadap sifat permukaannya.

Penelitian ini melibatkan sepuluh strain bakteri mixotrof dengan kultur murni dan juga subkultur yang telah diadaptasi dengan mineral (galena/sfalerit/ pirit/ silika) menggunakan sel flotasi Hallimond *tube* untuk memperoleh kondisi optimum percobaan pada pemisahan selektif. Percobaan ini menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus velezensis* dapat dijadikan sebagai alternatif bioreagen flotasi yang selektif. Modifikasi permukaan masing-masing mineral setelah berinteraksi dengan bakteri dikarakterisasi dengan analisis Analisis *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS).

Penelitian lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan bakteri *Bacillus velezensis* sebagai bioreagen dalam proses bioflotasi bijih kompleks galena-sfalerit yang berkadar rendah menggunakan sel flotasi Denver. Berbagai kondisi bakteri dan adaptasinya serta kondisi percobaan bioflotasi dengan berbagai waktu *conditioning* dilakukan untuk memperoleh hasil flotasi yang selektif. *Strain* murni bakteri *Bacillus velezensis* (B.v) bersama dengan subkultur yang telah teradaptasi dengan galena, sfalerit, dan pirit digunakan dalam penelitian ini sebagai alternatif bioreagen. Kadar dan *recovery* masing-masing produk hasil proses bioflotasi (konsentrat dan *tailing*) dihitung dan dianalisis untuk menentukan kondisi optimum dalam penelitian ini. Kultur

murni bakteri B.v dapat menjadi alternatif bioreagen dalam pemisahan selektif mineral galena dari mineral lainnya di mana kultur ini dapat meningkatkan kadar galena dengan *Enrichment Ratio* (ER) 3,05 dan *recovery* Pb, Zn dan Fe masing-masing adalah 85,32%, 34,29% dan 12,85%. Proses adaptasi bakteri dan lamanya waktu inkubasi menjadi faktor yang memengaruhi kinerja bakteri sebagai alternatif bioreagen flotasi. Hasil optimum yang diberikan dengan penggunaan subkultur bakteri B.v yang teradaptasi mineral adalah dengan adaptasi galena yang dapat meningkatkan kadar sfalerit dengan ER 2,44 dan *recovery* Pb, Zn dan Fe masing-masing adalah 60,75%, 89,27% dan 16,8%.

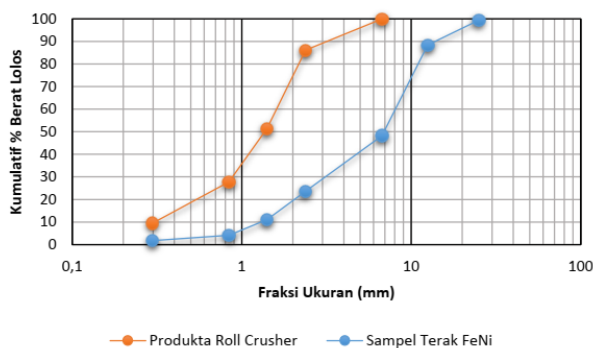
4 PENELITIAN PENGOLAHAN SUMBERDAYA SEKUNDER DI LABORATORIUM PENGOLAHAN BAHAN GALIAN

4.1 Proses Kominusi (Pengecilan Ukuran)

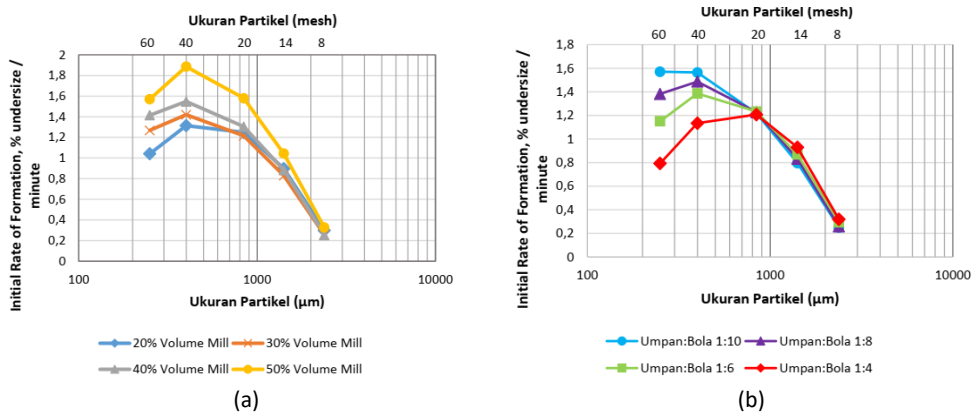
Studi Kinetika dan Karakterisasi Produkta *Grinding* Terak *Ferronickel* pada Variasi *Ball Filling* dan Rasio Jumlah Umpan dengan Bola Gerus

Pada penelitian ini dilakukan percobaan *grinding* untuk mengetahui pengaruh variabel *ball filling* dan rasio umpan dengan bola gerus terhadap ukuran produkta dan kinetika *grinding* terak FeNi serta karakteristik produk yang dihasilkan. Secara spesifik, tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari karakteristik perubahan nilai P80 terhadap waktu *grinding*; mempelajari laju penggerusan (*grinding rate*) dari penggunaan variabel persen volume *mill* (*ball filling*) dan rasio umpan dengan bola gerus; mempelajari pengaruh variabel persen volume *mill* (*ball filling*) terhadap ukuran produkta *grinding* yang dihasilkan; mempelajari pengaruh variabel rasio umpan dengan bola gerus terhadap ukuran produkta *grinding* yang dihasilkan; membuat model yang menunjukkan hubungan antara P80 dengan waktu *grinding*, persen volume *mill* (*ball filling*) dan rasio umpan dengan bola gerus; melakukan pengamatan mineragrafi dan liberasi senyawa dari produkta terak FeNi pada rentang ukuran : +20,+40,+60, +80, +100, +140, +200, dan -200 mesh.

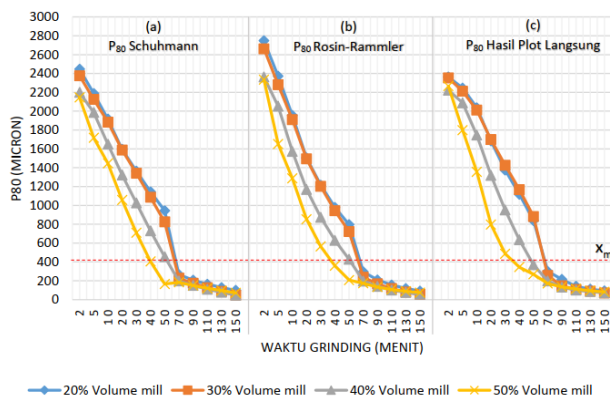
Hasil-hasil penting dari penelitian ini [22] dapat digambarkan seperti disajikan pada Gambar 4.1 sampai 4.4.



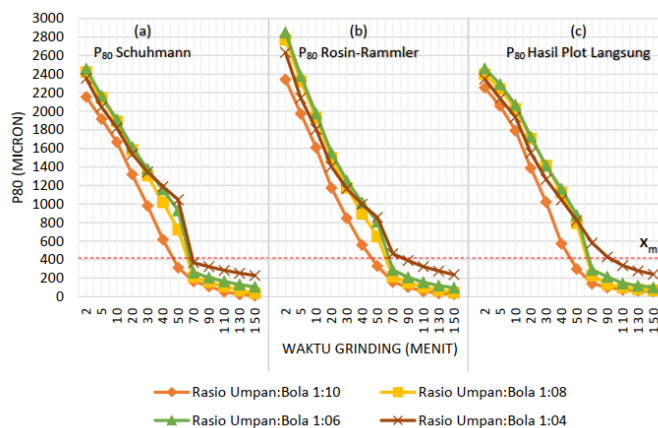
Gambar 4.1 Kurva distribusi ukuran sampel dan produkta *roll crusher* terak FeNi



Gambar 4.2 Initial rate of formation pada (a). Variasi ball filling, (b). Variasi rasio umpan dengan bola gerus



Gambar 4.3 Kurva P80 hasil penggerusan terak FeNi hingga 150 menit untuk setiap variasi ball filling



Gambar 4.4 Kurva P80 hasil penggerusan terak FeNi hingga 150 menit setiap variasi rasio umpan dengan bola gerus

Berdasarkan hasil penelitian ini, ditunjukkan bahwa ukuran produkta semakin kecil seiring bertambahnya waktu *grinding*. Penurunan nilai P80 secara tajam terjadi pada rentang waktu hingga 70 menit akibat mekanisme *impact breakage* yang dominan terjadi dan turun secara landai pada 70 menit hingga 150 menit akibat mekanisme *attrition breakage* yang dominan. Studi kinetika pada percobaan *grinding* terak FeNi dengan variasi *ball filling* menunjukkan bahwa *initial rate of formation* (laju pembentukan partikel halus) optimal untuk 20%, 30%, 40% dan 50% volume *mill* dicapai pada ukuran partikel 400 μm di mana *initial rate of formation* terbaik terjadi pada 50% volume *mill*. Studi kinetika pada percobaan *grinding* terak FeNi untuk variasi rasio umpan dengan bola gerus menunjukkan bahwa *initial rate of formation* optimal untuk rasio 1:10, 1:8 dan 1:6 dicapai pada ukuran partikel 400 μm dan 1:4 pada 841 μm di mana *initial rate of formation* terbaik terjadi pada rasio 1:10. Pada penelitian ini dihasilkan dua model regresi yang dapat memprediksi nilai P80 produkta proses penggerusan sebagai fungsi dari variabel waktu, *ball filling* dan rasio umpan dengan bola gerus. Berdasarkan analisis mineragrafi, senyawa silikat pada terak FeNi sudah mulai terliberasi pada ukuran -40 +60 mesh (-400 μm +250 μm)

4.2 Proses Konsentrasi

Pengembangan Proses Bioflokulasi Selektif Besi dari Red Mud

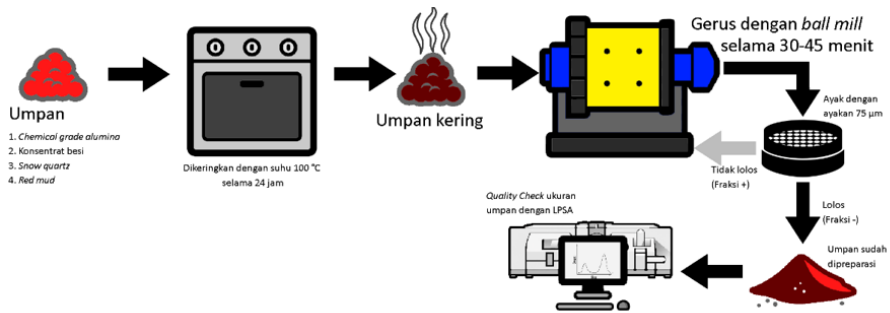
Ide dasar dari penelitian ini adalah upaya untuk memanfaatkan *red mud*, khususnya mendapatkan konsentrat Fe dari bahan limbah hasil proses melalui proses bioflokulasi mengingat ukuran partikel *red mud* yang relatif sangat halus. *Red mud* adalah limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan bauksit menjadi alumina. *Red mud* bersifat sangat alkali dengan pH 9 hingga 12 karena berasal dari pelarutan bauksit dengan basa kuat natrium hidroksida (NaOH). *Red mud* ini dikategorikan sebagai bahan berbahaya dan beracun (B3) di banyak negara, termasuk Indonesia [23, 24, 25]. Jumlahnya yang sangat besar—satu hingga dua setengah ton per satu ton alumina yang diproduksi—menimbulkan tantangan besar bagi industri pengolahan bauksit, terutama terkait ketersediaan lahan penyimpanan dan biaya pengelolaan yang. Meskipun memiliki potensi ekonomi karena kandungan unsur-unsur berharga seperti besi, aluminium, dan logam tanah jarang, pemanfaatan *red mud* sampai saat ini masih terbatas di skala laboratorium dan belum layak dalam skala industri. Dampak lingkungan dari proses ekstraksi, seperti polusi

gas dan residu pelindian, juga menjadi hambatan lain yang menambah kerumitan pengelolaan *red mud*.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah memanfaatkan *red mud* sebagai sumber mineral besi sekunder untuk menghasilkan konsentrat (flok) yang dapat dipakai sebagai umpan proses industri besi baja; memahami dan menjelaskan cara kerja bakteri mixotrof sebagai bioreagen dalam proses bioflokulasi selektif dengan penelitian menggunakan umpan mineral dengan kemurnian tinggi; membuktikan hipotesa bahwa bakteri dapat berperan sebagai bioflokulan sekaligus *pH regulator* dalam proses bioflokulasi selektif besi dari *red mud* melalui serangkaian tahap penelitian dan optimasi; menentukan kondisi tumbuh optimum bakteri dan kondisi optimum proses bioflokulasi untuk menghasilkan konsentrat (flok) sesuai dengan kriteria, dan mendesain sistem serta melakukan pengujian proses semikontinu dengan skala yang lebih besar sebagai gambaran awal penerapan industri. Sasaran penelitian adalah menghasilkan flok dengan kadar besi di atas 60%. Flok yang dihasilkan dari proses bioflokulasi selektif besi dari *red mud* diharapkan dapat menjadi umpan dalam proses peleburan dalam industri besi baja.

Diagram alir proses preparasi dapat dilihat pada Gambar 4.5. Umpan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 4.1. Semua jenis umpan melewati proses preparasi yang sama. Pertama, umpan dikeringkan dalam oven bersuhu 100 °C selama sekitar 24 jam. Setelah kering, umpan dihaluskan menggunakan ball mill selama 30-45 menit. Selanjutnya, pengayakan dilakukan untuk mendapatkan produk yang lolos ayakan 200 *mesh* (P100 75 µm). Ukuran umpan yang telah dipreparasi diverifikasi menggunakan *Laser Particle Size Analyzer* (LPSA).

Strain bakteri yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2, sedangkan diagram alir preparasi bakteri disajikan pada Gambar 4.6. Selanjutnya, diagram alir karakterisasi bakteri disajikan pada Gambar 4.7, sedangkan diagram alir uji pengendapan ditampilkan pada Gambar 4.8.



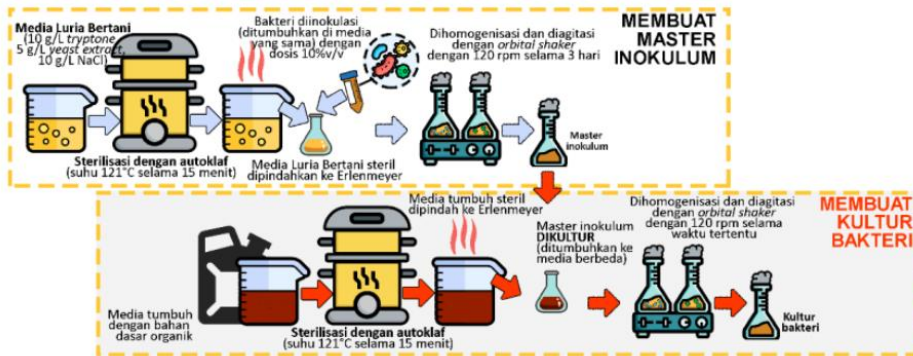
Gambar 4.5 Diagram alir karakterisasi umpan

Tabel 4.1 Umpan yang digunakan dalam penelitian

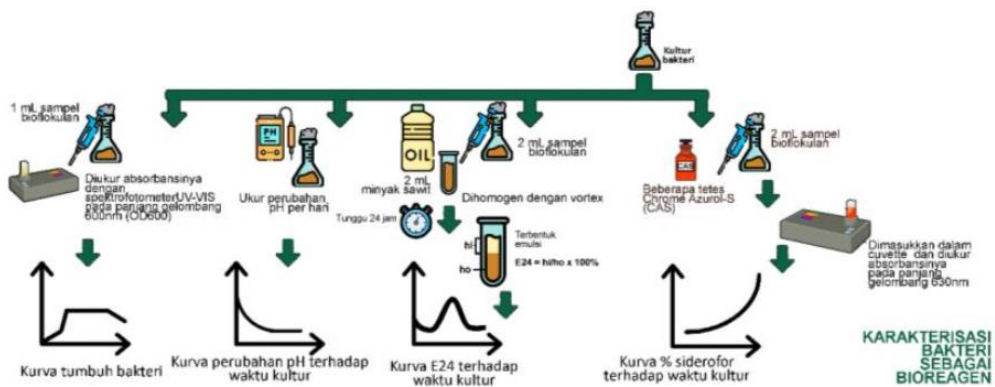
Jenis umpan	Kandungan utama	Disuplai oleh
<i>Chemical grade alumina</i> (CGA)	Alumina (Al ₂ O ₃)	CV Kimiopedia
Konsentrat besi (KB)	Hematit (Fe ₂ O ₃)	PT Timah, Belitung
<i>Snow quartz</i> (SQ)	Kuarsa (SiO ₂)	CV Gemafia
Komposit	Gabungan dari CGA:KB : SQ = 1 : 2 : 1 (Perbandingan sesuai komposisi mineral dalam <i>red mud</i> hasil penelitian sebelumnya oleh Jeremy (2021))	-
<i>Red mud</i>	Hematit, gutit, kuarsa, gibbsit,	PT Indonesia Chemical Alumina, Tayan, Kalimantan Barat

Tabel 4.2 *Strain* bakteri yang digunakan dalam penelitian

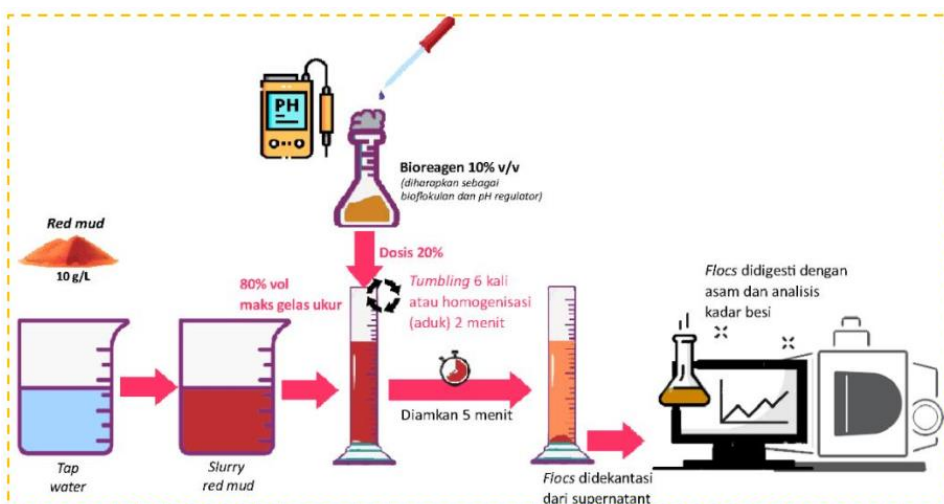
Kode	<i>Strain</i> bakteri	Asal
B	<i>Bacillus aryabhatai</i> strain SKC-5	Endapan karat pada pipa air limbah, Bandung, Provinsi Jawa Barat, Indonesia
Bismik 5	<i>Citrobacter freundii</i> strain SKC-4	Endapan Kawah Domas, Gunung Tangkuban Perahu, Bandung, Provinsi Jawa Barat, Indonesia
LA	<i>Pseudoclavibacter sp.</i> strain SKC/La	Minyak mentah
Lusi 2.1	<i>Bacillus nitrireducens</i> strain SKC/L-2	Tanah yang terkontaminasi Kromium (Cr), Rancaekek, Bandung, Provinsi Jawa Barat, Indonesia
Sutina 8	<i>Bacillus altitudinis</i> strain SKC/S-8	Lapisan transisi (Blok Barat), area tambang Nikel Laterit, Sorowako, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia



Gambar 4.6 Diagram alir preparasi bakteri



Gambar 4.7 Diagram alir karakterisasi bakteri



Gambar 4.8 Diagram alir uji pengendapan

Kesimpulan penelitian adalah sebagai berikut.

1. *Red mud* dapat dimanfaatkan sebagai sumber mineral besi sekunder. Proses bioflokulasi selektif dengan kondisi tertentu dapat menghasilkan flok dengan kadar besi $60,58 \pm 1,36\%$ serta perolehan proses hingga 96,63%. Dengan kriteria kadar besi, produk dapat dipakai sebagai umpan proses industri besi baja.
2. Secara umum, mekanisme bakteri sebagai bioreagen ada dua : (1) menghasilkan asam untuk menetralkan permukaan mineral, dan (2) menghasilkan EPS yang akan membantu proses jembatan (*bridging*) partikel yang halus. Maka dari itu, pengaturan pH kultur menjadi hal yang penting untuk diobservasi.
3. Bakteri dapat berperan sebagai bioflokulan sekaligus *pH regulator* dalam proses bioflokulasi selektif besi. Hal tersebut perlu dibantu oleh penambahan asam kuat. Akan tetapi, penambahan asam kuat memengaruhi pertumbuhan bakteri.
4. Kondisi tumbuh optimum bakteri didapat setelah tiga kali kultivasi dengan jarak antarkultivasi tiga hari. Pada kondisi tersebut, hasil optimum bioflokulasi selektif dapat diperoleh 5. Sistem semikontinu dengan skala yang lebih besar berhasil dirancang dan diuji dan menghasilkan hasil optimum berupa sebagai gambaran awal penerapan industri. Flok yang dihasilkan memiliki kadar besi 56,91% dengan perolehan 21,98%.

Kontribusi ilmiah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mekanisme proses bioflokulasi selektif besi dari *red mud* telah dapat dijelaskan.
2. Beberapa faktor yang berpengaruh signifikan terhadap proses bioflokulasi selektif besi dari *red mud*, seperti pH sistem dan pH kultur yang harus diatur, lama siklus kultivasi, kondisi kultivasi bakteri, dan % *solid*, telah diketahui nilainya dan kondisi optimumnya.
3. Faktor desain untuk proses bioflokulasi selektif besi dari *red mud* dengan variasi kondisi umpan telah diketahui. Pemisahan selektif akan terjadi bila tangki memiliki desain dengan rasio aspek di bawah 4,65.
4. Sebuah sistem semi kontinu dengan skala pengolahan *slurry* mencapai 20L telah didesain dan berhasil menghasilkan flok dengan kadar besi

56,91% dan perolehan 21,98%. Karena perolehan masih cukup rendah, desain masih harus ditingkatkan kembali.

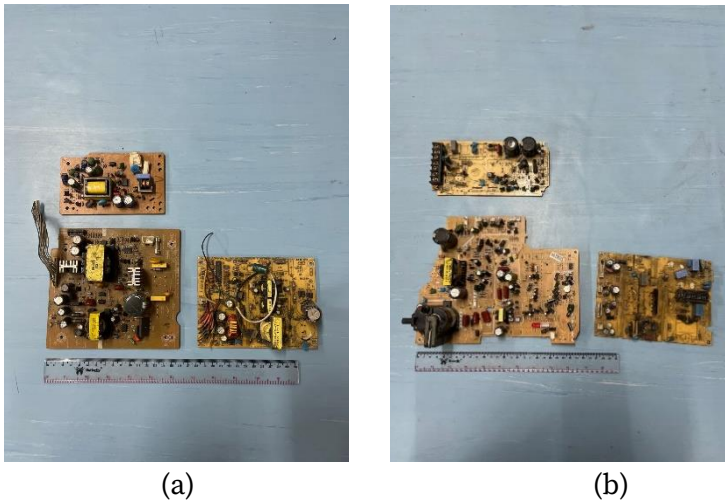
Studi Pengaruh Intensitas Magnet dan Fraksi Ukuran terhadap Proses Konsentrasi Dua Jenis Printed Circuit Board Menggunakan Dry Magnetic Separator

Printed circuit board (PCB) adalah komponen elektronik yang memiliki lapisan konduktif listrik untuk menghubungkan antarkomponen elektronik menjadi suatu kesatuan sistem. PCB sendiri memiliki potensi untuk menjadi sumber utama dalam pengolahan logam. Namun, pada kenyataannya tingkat daur ulang PCB di dunia hanya sebesar 17,4% dan 82,6% persennya tidak di daur ulang. Padahal, di dalam PCB terdapat banyak logam berharga yang dapat didaur ulang dengan metode pengolahan fisik. Penelitian ini membahas mengenai karakterisasi PCB dan mempelajari kondisi proses konsentrasi paling optimum menggunakan *dry magnetic separator* dengan sampel PCB *power brown* dan PCB TV untuk mengambil logam berharga, khususnya logam ferromagnetik seperti Ni dan Fe.

Penelitian dimulai dengan preparasi awal pada. Preparasi awal dimulai dengan *dismantling*, yaitu memisahkan antara *board* dengan *electronic components*. Kemudian dilanjutkan dengan proses *shredding*, yaitu melakukan kominusi (pengecilan ukuran) hingga mendapatkan sampel di bawah ukuran 10 *mesh*. Sebelum dilakukan konsentrasi magnetik, kedua sampel dikarakterisasi terlebih dahulu menggunakan XRF (*X-ray fluorescence*), XRD (*X-ray diffraction*), Fire Assay, ICP-OES (*inductively coupled plasma-optical emission spectrometry*), AAS (*atomic absorption spectroscopy*), *Proximate Analysis*, *LECO for sulfur and carbon analyzer*, *mineragrafi*, *particle size distribution* (PSD), dan terakhir FTIR (*fourier transform infra red*). Setelah itu, konsentrasi magnetik dilakukan dengan variasi intensitas magnet sebesar 6500G, 3500G, dan 1500G dan fraksi ukuran -10 mesh, -10+28 mesh, dan -28 mesh untuk mengetahui kondisi optimal proses konsentrasi logam magnetik.

Penampakan fisik sampel dari kedua jenis PCB dapat dilihat pada Gambar 4.9. *Dismantling* dilakukan dengan menggunakan tang, gunting, dan palu. Berat yang diterima dari pihak kedua adalah 39,26 kg untuk PCB TV dan 46,96

kg untuk PCB *power brown* dan setelah dilakukan *dismantling* didapatkan berat *board* dan *electronic components* seperti terlihat pada Tabel 4.3.



Gambar 4.9 Sampel dua jenis PCB, (a). PCB TV dan (b) PCB *power brown* [29]

Tabel 4.3 Berat komponen setelah *dismantling*

Jenis Sampel	Berat	
	<i>Electronic Components</i> (gr)	<i>Board</i> (gr)
PCB TV	25,11	13,28
PCB <i>Power Brown</i>	29,5	9,48

Hasil analisis *size by size* pada PCB *power brown* dan PCB TV hasil *shredding* sebagai umpan konsentrasi magnetik dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Hasil analisis *size sy size* pada PCB *power brown* hasil *shredding* sebagai umpan konsentrasi magnetik

Fraksi Ukuran	Kadar Unsur (%)								
	mm	Al	Cu	Fe	Pb	Si	Ti	Zn	Sn
-2,00	2,3	11,88	6,25	1,97	4,32	0,29	0,57	6,8	0,05
-2 +0,59	1,10	10,43	1,04	3,03	1,66	0,14	0,27	4,31	0,03
-0,59	3,44	8,44	1,77	1,84	5,76	0,53	0,71	4,46	0,12

Tabel 4.5 Hasil analisis *size by size* pada PCB TV hasil *shredding* sebagai umpan konsentrasi magnetik

Fraksi Ukuran		Kadar Unsur (%)							
mm	Al	Cu	Fe	Pb	Si	Ti	Zn	Sn	Ni
-2	0,91	12,23	4,45	3,67	1,82	0,16	0,354	6,16	0,03
-2 +0,59	2,35	9,2	7,23	2,39	4	0,31	0,33	5,11	0,1
-0,59	1,78	8,3	1,34	2,82	2,58	0,29	0,53	3,51	0,07

Analisis XRF, ICP-OES, AAS, dan *fire assay* ditujukan untuk menentukan kadar unsur yang ada pada kedua sampel PCB. Hasil analisis XRF menunjukkan, terdapat beberapa unsur yang terdeteksi di rentang batas basis alat XRF, seperti Al, Ba, Cl, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mg Mn, Pb, S, Sb, Si, Ti, Zn, Sn, dan Ni. Terdapat perbedaan dari kedua sampel, pertama pada PCB *power brown* unsur Cl tidak terdeteksi pada nilai rentang basis alat sehingga dapat dinyatakan bahwa kadar unsur Cl di bawah 0,003%. Hal ini juga berlaku pada unsur Cr pada PCB TV yang memiliki kadar di bawah 0,001%. Kedua, terdapat perbedaan pada kadar unsur magnetik dan nonmagnetik, seperti logam diamagnetik Cu yang lebih banyak pada PCB TV sebanyak 12,230% dibandingkan dengan PCB *power brown* yang memiliki kadar Cu 11,880%. Hal ini karena kegunaan TV yang memiliki fungsi untuk mengubah sinyal elektromagnetik menjadi suara dan gambar sehingga membutuhkan logam dengan sifat kelistrikan yang baik seperti Cu dalam jumlah yang cukup besar. Ketiga, logam magnetik seperti Fe, Al, Ti, dan Ni memiliki kadar yang lebih besar pada PCB *power brown* dibandingkan PCB TV sebesar 6,25%, 2,30%, 0,290%, dan 0,05%. Jika dikomparasi dengan hasil dari ICP-OES, kadar PCB *power brown* selalu lebih tinggi dari PCB TV dan besar kadarnya relatif tidak jauh dengan hasil dari XRF. Perbedaan hasil ICP-OES yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan XRF disebabkan oleh tahapan preparasi sampel untuk analisis ICP-OES. Pada saat preparasi, sampel di-*digest* dalam asam yang menghancurkan sampel tersebut dan tidak mempertahankan kondisi aslinya [30]. Metode ICP-OES sendiri lebih efektif digunakan untuk mengukur kadar logam yang relatif sangat rendah [30]. Oleh karena itu, analisis ICP-OES dapat menghitung kadar *rare earth element* yang ada di dalam kedua sampel PCB seperti yttrium. Komposisi yttrium pada PCB *power brown* sendiri lebih banyak dibandingkan dengan PCB TV, yaitu sebanyak 0,002%.

Analisis *fire assay* dilakukan untuk logam berharga seperti *platinum group metal* (PGM) dan Au. Pada analisis *fire assay* diperoleh kadar Au pada PCB *power brown* sebesar 4,21 ppm atau setara dengan 0,00042% sehingga kadar Au

pada PCB *power brown* lebih tinggi dibandingkan PCB TV. Unsur Pd dan Pt tidak dapat terdeteksi pada kedua sampel, seperti Pd pada PCB TV yang nilai kadarnya tidak terdapat pada basis rentang laboratorium senilai 0,015 ppm, begitu pula pada Pt yang tidak terdeteksi pada basis rentang senilai 0,3 ppm.

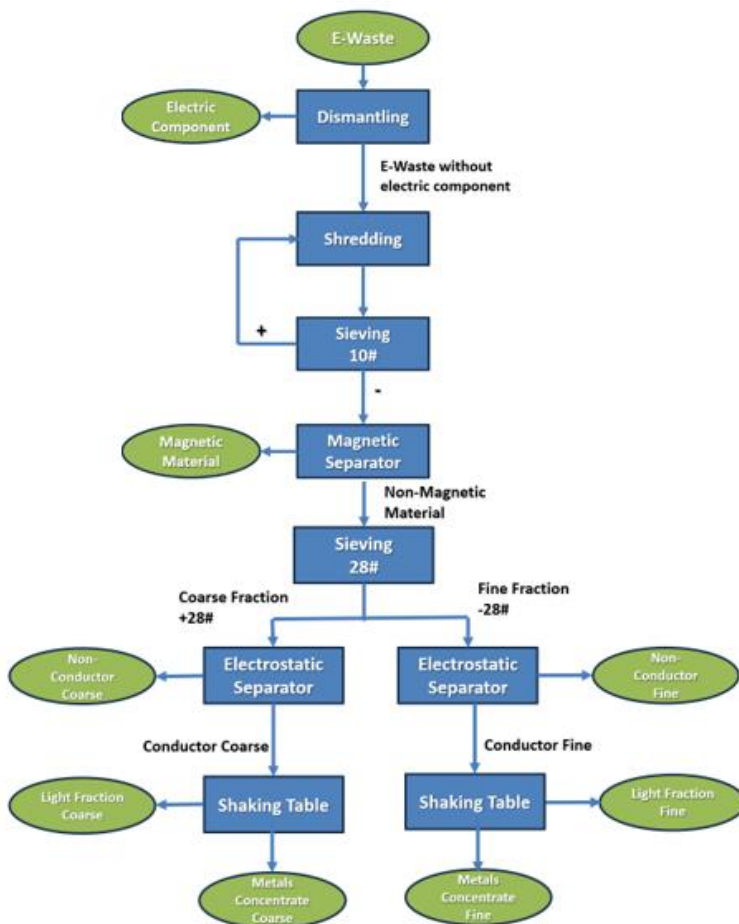
Hasil konsentrasi magnetik menunjukkan bahwa kondisi optimum proses konsentrasi pada PCB *power brown* dan PCB TV terdapat pada intensitas magnet 1500G. Pada intensitas magnet tersebut, kadar Fe berada di atas 40% dan Ni berada di atas 0,2% untuk kedua sampel PCB. Selain itu, *recovery* Fe berada di atas 70%, Ni berada di atas 60% , dan logam nonmagnetik berada di bawah 25% untuk kedua sampel PCB. Untuk variasi fraksi ukuran, fraksi ukuran terbaik terdapat pada -10 +28 mesh dengan kadar Fe berada di atas 40% dan Ni berada di atas 0,8% untuk kedua sampel PCB. Selain itu, *recovery* Fe dan Ni berada di atas 90% dan kebanyakan logam non magnetik berada di bawah 30% untuk kedua sampel PCB.

Studi Proses Konsentrasi Multi Tahap Menggunakan *Magnetic Separator - Electrostatic Separator - Shaking Table* untuk *Recovery* Logam pada *Printed Circuit Board*

Printed circuit board (PCB) merupakan salah satu jenis limbah elektronik yang kian hari kian bertambah. Pada tahun 2019, jumlahnya mencapai 54,6 juta ton dan tiap tahunnya limbah PCB bertambah sebanyak 2 juta ton. Akan tetapi, hanya 17,4% dari total keseluruhan PCB di dunia yang dimanfaatkan kembali. Padahal, di dalam PCB terkandung banyak logam berharga seperti tembaga, timah, perak, emas yang dapat dimanfaatkan kembali. Penelitian ini mempelajari pengaruh konsentrasi fisik multi tahap terhadap kadar serta *recovery* dari logam yang terkandung di dalam PCB, khususnya logam tembaga. Proses konsentrasi fisik yang digunakan adalah konsentrasi magnetik, elektrostatik, dan gravitasi.

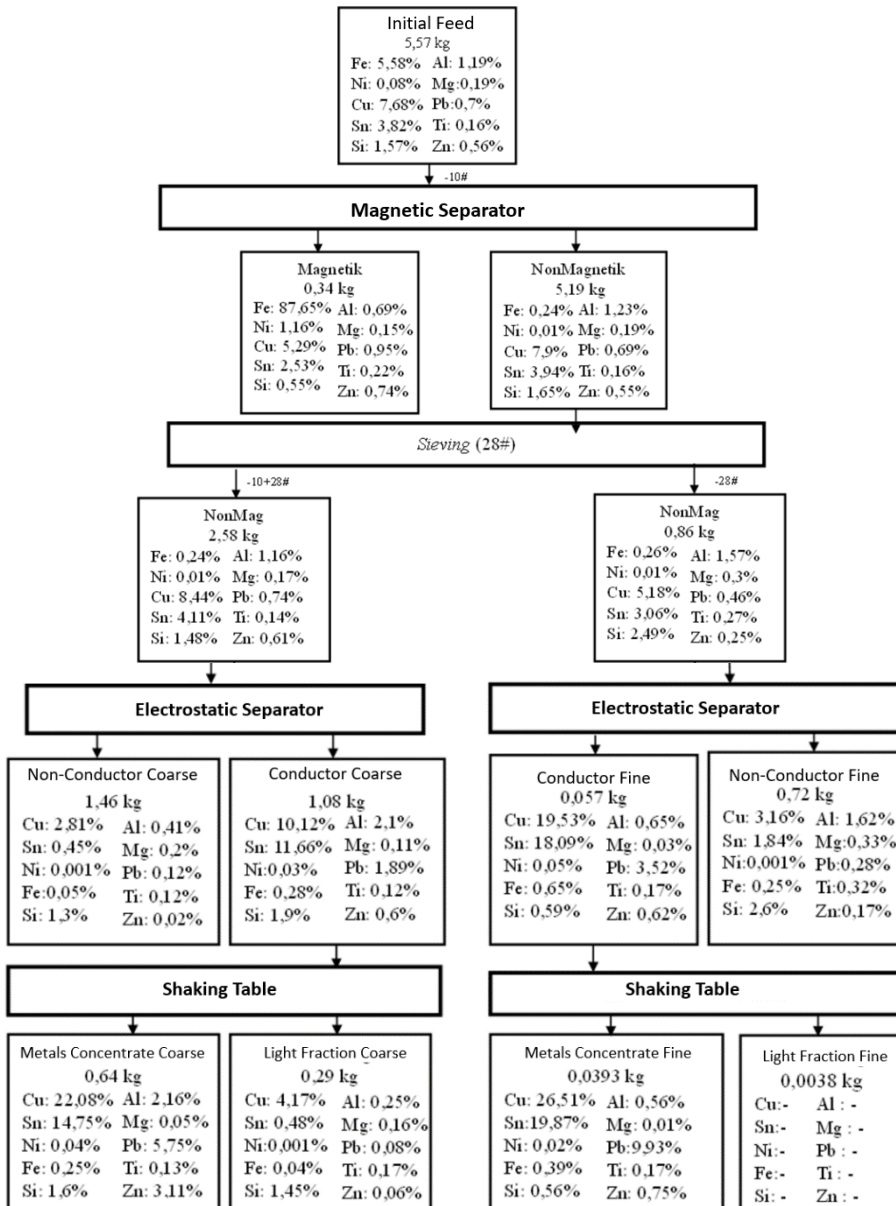
Percobaan dilakukan menggunakan jenis sampel PCB TV. Limbah PCB perlu dikecilkan ukurannya terlebih dahulu agar dapat dikonsentrasi menggunakan *magnetic separator*, *electrostatic separator*, dan *shaking table*. Sebelum dikecilkan ukurannya, komponen elektrik yang berada di permukaan PCB dilepas terlebih dahulu. Kemudian, PCB dikecilkan ukurannya menggunakan *shredder* sehingga lolos ayakan ukuran 10#. Setelah

itu, dilakukan proses konsentrasi magnetik, di mana produk nonmagnetiknya digunakan sebagai umpan proses elektrostatis. Produk nonmagnetik diayak terlebih dahulu menggunakan ayakan 28# karena percobaan konsentrasi elektrostatis dan konsentrasi gravitasi dilakukan pada fraksi ukuran -10+28# dan -28#. Produk konduktor dari proses elektrostatis digunakan sebagai umpan proses konsentrasi gravitasi. Umpan awal dan produk dari tiap proses konsentrasi diuji menggunakan XRF untuk mengetahui kadar logam di dalamnya. Diagram alir percobaan proses konsentrasi multi tahap ini dapat digambarkan seperti terlihat pada Gambar 4.9. Hasil proses konsentrasi pada setiap tahapan proses dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram alir percobaan proses konsentrasi multi tahap menggunakan *magnetic separator* - *electrostatic separator* - *shaking table* untuk *recovery* logam pada *printed circuit board (PCB) TV*

Proses konsentrasi tiga tahap menghasilkan konsentrat akhir berupa konsentrat magnetik hasil dari konsentrasi magnetik dan konsentrat nonmagnetik hasil dari konsentrasi magnetik, elektrostatik, dan gravitasi. Konsentrat magnetik menghasilkan kadar dan *recovery* besi sebesar 87,65% dan 95,93% untuk PCB TV. Konsentrat non-magnetik menghasilkan kadar dan *recovery* tembaga sebesar 22,34% dan 66,98% untuk PCB TV.



Gambar 4.11 Hasil proses konsentrasi pada setiap tahapan proses[31]

5 PENUTUP

Buku ini telah membahas aspek pengolahan mineral dan sumberdaya sekunder sebagai bagian dari proses panjang penyediaan logam dan paduannya untuk sirkularitas dan keberlanjutan industri metalurgi. Proses pengolahan mineral selalu dimulai dengan pemahaman mengenai bahan yang akan diolah, yaitu mineral yang berasal dari alam (yang kemudian disebut juga sebagai sumber primer) atau sumberdaya sekunder yang memanfaatkan limbah hasil pengolahan seperti *tailing*, residu, dan *slag* serta limbah elektronik seperti *printed circuit board* (PCB) yang masih banyak mengandung berbagai logam berharga dan jumlahnya semakin bertambah dengan berjalannya waktu.

Sirkularitas dan keberlanjutan produksi logam dan paduannya tidak akan berjalan dengan baik jika tidak didukung oleh semua bagian yang terlibat, mulai dari geologi-ekplorasi, penambangan, pengolahan mineral, ekstraksi logam, pemaduan logam, sampai produk akhir yang dimanfaatkan oleh pengguna. Semua bagian atau komponen harus terus meningkatkan pengetahuan dan kemampuan di bidangnya masing-masing untuk kemajuan bersama.

Di bidang pengolahan mineral yang sudah dikenal sejak lama, yaitu sejak manusia mulai mengenal mineral, walaupun banyak teknologi yang sudah lama dikembangkan dan bahkan tetap dipakai hingga saat ini di industri, tetap perlu terus berkembang mengingat dunia juga terus berkembang dengan tantangan-tantangan yang juga terus berkembang termasuk tantangan terkait lingkungan yang semakin perlu dijaga kelestariannya untuk peningkatan kualitas hidup manusia. Tantangan teknologi ke depan dari sisi pengolahan mineral adalah berkaitan dengan karakteristik mineralogi bahan galian maupun sumberdaya sekunder yang dicirikan oleh struktur mineral yang amorf (seperti bahan galian lateritik), ukuran mineral yang sangat halus, ikatan fisik mineral yang semakin kompleks, dan lain-lain. Dengan demikian, masih akan ada ruang untuk terus berkembang.

6 UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillaahirrohmaanirrohiim. Alhamdulillah robil ‘alamiin, segala puji bagi Alloh Swt. atas nikmat, rahmat, pertolongan, dan hidayah-Nya yang telah memberi karunia dan amanah yang besar kepada penulis untuk menyanggah jabatan Guru Besar dalam Bidang Pengolahan Mineral dan Sumber Sekunder di Institut Teknologi Bandung.

Dengan kerendahan hati, pada kesempatan yang berbahagia ini, penulis bermaksud menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan mendalam kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta kontribusi yang tidak ternilai, sehingga perjalanan akademik penulis dapat mencapai puncaknya dalam jabatan Guru Besar ini.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pimpinan ITB, Senat Akademik ITB, Pimpinan dan segenap anggota Forum Guru Besar ITB, Senat Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Dosen serta Tendik Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, khususnya di Program Studi Teknik Metalurg, serta Civitas Akademika ITB atas dukungannya sehingga penulis mendapat amanah jabatan guru besar, melaksanakan orasi ilmiah, dan menerbitkan buku ini.

Terima kasih kepada pimpinan Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan periode sebelumnya, Prof. Ridho Kresna Wattimena, Dr. Susanti Alawiyah, dan Prof. Syafrizal, serta Prof. Eddy Agus Basuki, dan Prof. Zulfiadi Zulhan, keduanya selaku Ketua Kelompok Keahlian Teknik Metalurgi saat proses kenaikan jabatan penulis, atas semua dukungan untuk kenaikan jabatan akademik Guru Besar.

Terima kasih kepada para Guru Besar pemberi rekomendasi, Prof. (Emiritus) Tim Napier-Munn, Prof. Bambang Suharno, Prof. Yazid Bindar, Prof. Eddy Agus Basuki, dan Prof. M. Zaki Mubarok.

Terima kasih kepada semua Dosen senior di ITB khususnya di Jurusan Teknik Pertambangan ITB yang telah mengajar, mendidik, dan memberi masukan kepada penulis selama ini. Ucapan terima kasih kepada pembina penulis, Prof. Djamhur Sule (Alm.) dan Prof. Arief S. Sudarsono (Alm.). Terima kasih Prof. M. Zaki Mubarok telah bersedia menjadi *reviewer* buku ini.

Terima kasih kepada Dr. Eng. Nurulhuda Halim, Muhammad Abdur Rasyid Ph.D., Satria Lazuardy Hasan, M.T., M. Wildanil Fathoni M.T., Andri Apriyatna, kolega Dosen KK Teknik Metalurgi, kolega Dosen ITB, GBFit ITB, serta semua alumni bimbingan yang telah bersama-sama berkarya dalam penelitian.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Prof. J-P Franzidis, Prof. (Emiritus) Tim Napier-Munn, dan Prof. EV Manlapig yang telah menjadi dosen dan pembimbing selama penulis menempuh program Ph.D. di Julius Krutchnitt Mineral Research Centre, The University of Queensland, Australia.

Saya mengucapkan terima kasih kepada semua kepercayaan dari pemerintah khususnya Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Perindustrian, Kementerian Bdan Usaha Milik Negara, BRIN, tekMira, juga mitra kerjasama dari fihak Asosiasi, BK Teknik Metalurgi PII, Perhapi, dan Prometindo

Saya mengucapkan terima kasih atas kerja sama dan kepercayaan yang diberikan selama ini kepada PT Antam Tbk., PT Timah Tbk., PT ICA, PT Freeport Indonesia, SNF Indonesia, PT Gag Nikel, PT KPC, PT Arutmin, PT BSI, PT IBC, PLN EPI, PT Florrea, dan PT PKN,

Terima kasih kepada semua guru dan pengajar baik pendidikan formal (SMA, SMP, SD) dan nonformal atas semua pendidikan, nasihat, dorongan, dan doa yang tulus.

Terima kasih kepada seluruh rekan alumni: Julius Krutchnitt Mineral Research Centre - The University of Queensland, Jurusan Teknik Pertambangan ITB, TA-86, SMAN Sampang '86, SMPN 1 Sampang '83, dan SDN Banyuanyar I Sampang '80.

Ucapan terima kasih kepada Bapak Mertua, Ir. E. Hidayat (Alm.) dan Ibu Mertua, Marsaulina Siahaan serta kepada adik-adik ipar dan keponakan atas perhatian, nasihat, kepercayaan, doa, dan dukungan yang selalu diberikan.

Saya menyampaikan ucapan terima kasih, rasa syukur, rasa hormat, dan khidmat kepada kedua orang tua saya, Ibu Hj. Siti Musrifah (Alm.) dan Bapak H. Abdul Halik (Alm.) untuk semua didikan, ilmu, kesabaran, perjuangan, keteladanan, doa yang tak putus, dan nilai-nilai yang ditanamkan kepada penulis. Terima kasih kepada kakak kandung saya, Hj. Siti Alfiah, adik-adik

saya, H. Achmad Huzaini, Sri Sunarsih, Erwien Kadarisno, dan kakak ipar saya, H. Bachtiar Arifin (Alm.).

Ucapan terima kasih dan rasa syukur secara khusus kepada isteri tercinta, Hj. Reina Reestianti Hidayat, atas pengorbanan, pengertian, kesabaran, perjuangan, dan doanya selama ini. Terima kasih karena telah selalu menyayangi, menenangkan hati, dan menguatkan langkah. Juga kepada anak-anak tersayang, Royyan Fauzan Akbar, Nadya Astianur Putri, Naqisyah Astriandari Putri Sanwani, Nafeesa Astikaswari Putri Sanwani, cucu tersayang Kai Zander Wijaya, serta menantu Firdaus Rachmat Wijaya atas pengertian, menjadi sumber semangat, energi, dan tawa serta doa dan kepatuhannya.

Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang tidak disebutkan, yang telah membantudan berkontribusi, serta semua pihak yang memiliki hak atas diri penulis. Semoga Allah Swt., Tuhan Yang Maha Kuasa membalas segala kebaikan yang telah diberikan dengan lebih baik dan melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Aamiin ya robbal 'alamiin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Buku Neraca Sumber Daya Mineral dan Batubara Indonesia Tahun 2025, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Republik Indonesia.
- [2]. Wills, B.A. and Finch, J.A. (2016). “*Wills’ Mineral Processing Technology – An Introduction to Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*”, 8th ed., Elsevier Ltd., Oxford.
- [3]. Wills, B.A. and Napier-Munn, T.J. (2007). “*Wills’ Mineral Processing Technology - An Introduction to Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, 7th ed., Elsevier Ltd., Oxford.
- [4]. Kelly, E.G., dan Spottiswood, D.J. (1982). “*Introduction to Mineral Processing*”, John Wiley and Sons, New York.
- [5]. Petruk, W. (2000). “*Applied Mineralogy in The Mining Industry*”, Elsevier, Ottawa, Ontario, Canada.
- [6]. Becker, M., Wightman, E.M., and Evans, C.L. (2016). “*Process Mineralogy*”, JKMRM Monograph Series in Mining and Mineral Processing : No. 6, The University of Queensland, Brisbane, Australia.
- [7]. Guanira, K., Valente, T.M., Rios, C.A, Castellanos, O.M., Salazar, L., Lattanzi, D., and Jaime, P. (2020). “Methodological Approach for Mineralogical Characterization of Tailings from a Cu(Au,Ag) Skarn Type Deposit using QEMSCAN (Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy)”, *Journal of Geochemical Exploration* 209 (2020) 106439.
- [8]. Krolop, P., Jantschke, A., Gilbricht, S., Niiranen, K., dan Seifert, T. (2019). “Mineralogical Imaging for Characterization of the Per Geijer Apatite Iron Ores in the Kiruna District, Northern Sweden: A Comparative Study of Mineral Liberation Analysis and Raman Imaging”, *Minerals* 2019, 9, 544.
- [9]. Santoro, L., Rollinson, G.K., Boni, M., and Mondillo, N. (2015). “Automatic Scanning Electron Microscopy (QEMSCAN) Based Mineral Identification and Quantification of The Jabali Zn-Pb-Ag NonSulfide Deposit (Yemen)”, *Economic Geology*, 10 :. 1083-1099.
- [10]. Hanafi, A.G. (2017). “Konsentrasi Bijih Timah Primer Asal Pulau Bangka Menggunakan Meja Goyang dan Jig”, *Tugas Akhir*, Program

Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.

- [11]. Young, P. (1982). "Flotation machines", *Ming. Mag.*, 146:35-39.
- [12]. Klimpel, R.R. (1998). "Introduction to solid-solid separation of fine particles by froth flotation", *Particle Science and Technology*, Ed: Rajagopalan, R., University of Florida, Gainesville, 40 pp.
- [13]. Klimpel, R.R., Hansen, R.D., Fee, B.S. (1986). "The selection of flotation reagents for mineral flotation", *Design and Installation of Concentration and Dewatering Circuits*, Ed: Mular, A.L. and Anderson, M.A., SME, Inc., Littleton, Colorado, Chapter 26, pp. 388-404.
- [14]. Swift, T., L. Swanson, M. Geoghegan, and S. Rimmer. (2016). "The pH-responsive behaviour of poly(acrylic acid) in aqueous solution is dependent on molar mass," *Soft Matter*, vol. 12, no. 9, pp. 2542–2549.
- [15]. Nuriyansyah, Rizki. (2024). "Studi Pengaruh Persen *Solid*, pH, dan Penambahan Reagen *Viscosity Modifier* terhadap Produkta Hasil Wet Grinding Bijih Timah Primer Tipe *Oxide* Asal Batubesi, Belitung", *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- [16]. Mukherjee, N. (2024). "How polymeric dispersants work in industrial water?," <https://www.linkedin.com/pulse/how-polymeric-dispersants-work-industrial-water-why-used-mukherjee>.
- [17]. Joshi, A. C., A. L. Rufus, and S. Velmurugan. (2018). "Poly(acrylic acid-co-maleic acid), a polymer dispersant for the control of oxide deposition over nuclear steam generator surfaces," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 498, pp. 421–429.
- [18]. Pratiwi, I. dan **Sanwani, E.** (2023). "Studi Pengaruh Penggilingan Kondisi Kering dan Basah terhadap Kinetika dan Karakteristik Distribusi Ukuran Butir Bijih Sulfida Kompleks Galena Sfalorit – Uji Pendahuluan", *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol. 19, No. 2, hal. 125 – 139.
- [19]. Fadhilah, E.H. (2018). "Studi Flotasi Bijih Kompleks Pb-Zn Asal Kabupaten Bogor dengan Metode Flotasi Ruah dan Flotasi Diferensial", *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- [20]. Turnip, P.G. (2023). "Studi Benefisiasi Bijih Timah Primer Jenis Skarn dan Oxide Asal Batubesi Belitung Menggunakan *Magnetic Separator*",

- Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- [21]. Sanwani, E., Hidayati, D., dan Chaerun, S.K. (2016). "Utilization of *Bacillus pumillus* and *Citrobacter youngae* as Flotation Bioreagents in the Microflotation of Chalcopyrite, Pyrite, and Silica", *Microbiology Indonesia*, Vol. 10, No. 1, p. 15 – 22.
- [22]. Sanwani, E. dan Ikhwanto, M.. (2017). "Kinetic Study of Ferronickel Slag Grinding at Variation of Ball Filling and Ratio of Feed to Grinding Balls", Proceedings of the 1st International Process Metallurgy Conference (IPMC 2016), American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings 1805, 050002.
- [23]. Bott, R., and Langeloh, T. (2015). "Process Options for the Filtration and Washing of Bauxite Residue", *Bauxite Residue Valorisation and Best Practice*, Leuven, 61–70.
- [24]. Cui, Y., Chen, J., Zhang, Y., Peng, D., Huang, T., and Sun, C. (2019). "pH-Dependent Leaching Characteristics of Major and Toxic Elements from Red Mud", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(11).
- [25]. Sahu, R. C., Patel, R. K., and Ray, B. C. (2008). "Neutralization of red mud using mine water", *Emerging Trends in Mining and Allied Industries*, NIT, Rourkela, 2(January 2008), 70–73.
- [26]. Jeremy, E., Sanwani, E.*, Chaerun, S.K., and Mubarok, M.Z.. (2025). "Enhancing selective bioflocculation of iron from red Mud: An Eco-Friendly approach through pH optimization for bacterial growth", *Minerals Engineering* 233 (2025) 109549.
- [27]. Jeremy, E., Sanwani, E.*, Chaerun, S.K., and Mubarok, M.Z. (2024), "Exploring Bioflocculation: A Novel Approach for Iron Recovery From Red Mud – a Review", *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2, 45,1-21.
- [28]. Jeremy, E. (2025). "Pengembangan Proses Bioflokulasi Selektif Besi dari *Red Mud*", *Disertasi*, Program Studi Doktor Rekayasa Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- [29]. Rasyadi, A.N. (2023). "Studi Pengaruh Intensitas Magnet dan Fraksi Ukuran terhadap Proses Konsentrasi Dua Jenis *Printed Circuit Board* Menggunakan *Dry Magnetic Separator*", *Tugas Akhir*, Program Studi

Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.

- [30]. Maliki, A.A, Al-lami, A.K., Hussain, H. M. and Al-Ansari, N. (2017). "Comparison between inductively coupled plasma and X-ray fluorescence performance for Pb analysis in environmental soil samples," *Environ Earth Sci*, vol. 76, no. 12, p. 433.
- [31]. Putra, V.P. (2024). "Studi Proses Konsentrasi Multi Tahap Menggunakan *Magnetic Separator - Electrostatic Separator - Shaking Table* untuk *Recovery Logam* pada *Printed Circuit Board*", *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.

CURRICULUM VITAE



Nama : Edy Sanwani
Tempat/tgl lahir : Sampang, 18 Februari 1968
Kel. Keahlian : Teknik Metalurgi
Alamat Kantor : Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132
Nama Istri : Reina Reestianti Hidayat
Nama Anak : Royyan Fauzan Akbar
Nadya Astianur Putri
Naqisyah Astriandari Putri Sanwani
Nafeesa Astikaswari Putri Sanwani

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2020 : Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi Bandung
2001 – 2006 : Ph.D. (S-3), Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, The University of Queensland, Australia.
1993 – 1997 : Master (S-2), Bidang Khusus Teknologi Pemanfaatan Batubara, Program Magister Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.
1986 – 1992 : Sarjana (S-1), Opsi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.
1983 – 1986 : SMA Negeri Sampang, Madura.
1980 – 1983 : SMP Negeri 1 Sampang, Madura
1974 – 1980 : SD Negeri Banyuwanyar 1, Sampang, Madura

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

- 2025 – sekarang : Ketua Kelompok Keahlian Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
2016 – 2020 : Ketua Program Studi Magister Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
2012 – sekarang : Kepala Laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.

- 2006 – sekarang : Anggota staf dosen Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- 2010 – 2011 : Ketua Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- 2006 – 2009 : Kepala Laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- 1992 – 2006 : Anggota staf dosen Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- 2024 : Pembina Tk I (IV/b)
- 2016 : Pembina (IV/a)
- 2014 : Penata Tk. I (III/d)
- 2004 : Penata (III/c)
- 1999 : Penata Muda Tk. I (III/b)
- 1994 : Penata Muda (III/a)

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- 2024 : Guru Besar (Profesor)
- 2013 : Lektor Kepala
- 2001 : Lektor
- 1998 : Asisten Ahli (150)
- 1995 : Asisten Ahli (100)

V. KEGIATAN PENELITIAN

1. Ketua Tim “Study on Cause Analyses of Temperature Increase of Pinang Coal at Hiroshima Power Plant, Chugoku Electric Power Co., Inc.”, 2025.
2. Ketua Tim, “Pengolahan Limbah Electronic Printed Circuit Board (PCB) untuk Mengambil (Recovery) Logam-logam Berharga dengan Metode Proses Konsentrasi Multitahap”, Penelitian PPMI ITB, 2025.
3. Ketua Tim “Kajian Pendamping Pengadaan Kontraktor Pengembangan FeNi-3”, 2025.

4. Ketua Tim “Kajian Rencana Kerja Sama PT ANTAM Tbk., Zhejiang Huayou Cobalt Ltd. dan PT Indonesia Pomalaa Industrial Park”, 2024 – 2025.
5. Tenaga Ahli Metalurgi dalam penyusunan AMDAL Pengembangan Kegiatan Pertambangan Emas DMP (dan Mineral Pengikut) Tujuh Bukit dan Fasilitas Pendukungnya PT Bumi Suksesindo di Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur, 2025.
6. Ketua Tim “Reviu Revisi Master Plan PT FHT”, Tahun 2024 – 2025.
7. Ketua Tim “Evaluasi Konseptual Desain Rencana Pembangunan Pabrik Gasifikasi Batubara Kerjasama PT Pesona Khatulistiwa Nusantara dan Wuhuan Engineering Co. Ltd.”, 2024 - 2025.
8. Ketua Tim, “Proses Pemisahan Fisik (Physical Separation) Limbah Elektronik Printed Circuit Board (PCB) sebagai Sumberdaya Sekunder (Secondary Resources) untuk Mengambil (Recovery) Logam-logam Berharga”, Penelitian PPMI ITB, 2024.
9. Tenaga Ahli Metalurgi dalam Studi Kelayakan Pertambangan Sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (“GoIFS #7”) Proyek Tujuh Bukit PT Bumi Suksesindo”, 2024.
10. Ketua Tim “Kajian Penyusunan Metode Perhitungan Recovery/Metal Accountability dan Optimasi Proses di Sirkuit Mineral Processing PT ANTAM Tbk. Unit Bisnis Pengolahan dan Pemurnian Logam Mulia (ANTAM LM)”, 2024."
11. Ketua Tim “Kajian Perubahan Parameter Kualitas Batubara dari Pit Tambang, Port of Loading sampai Port of Discharge”, 2024.
12. Anggota Tim Tenaga Ahli (Mineral Processing Expert) dalam “Rencana Pengembangan dan Optimalisasi Tambang Bawah Tanah dan Tambang Terbuka Tembaga dan Emas Serta Kegiatan Pendukungnya Hingga Kapasitas Maksimum 300.000 Ton Bijih Per Hari Kabupaten Mimika, Provinsi Papua Tengah oleh PT Freeport Indonesia”, 2023 – 2024.
13. Ketua Tim Ahli “Kajian Operasional Pabrik dan Pembangkit Listrik Feronikel di Halmahera Timur”, 2023-2024.
14. Ketua Tim “Kajian Mineral Processing pada Mineral Processing Plant PT Antam Tbk. UBPP Logam Mulia (ANTAM LM)”, 2023.
15. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Pembuatan dan Penyusunan Re-Feasibility Study (Re-FS) Tambang Besar Batu Besi

- Daerah Batu Besi, Kabupaten Belitung Timur, Bangka Belitung”, 2023 – 2024.
16. Ketua Tim, “Peningkatan Performa Proses Bioflokulasi Selektif Besi dari Red Mud Melalui Variasi Faktor-faktor Operasi Proses Bioflokulasi untuk Meningkatkan Kadar dan Perolehan Besi”, Penelitian PPMI ITB, 2023.
 17. Anggota Tim (Ahli Pengolahan dan Pemanfaatan Batubara) dalam “Kajian Karakterisasi, Studi Potensi Pemanfaatan, dan Evaluasi Sumberdaya Coking Coal serta Heat Affected Coal (HAC)”, 2023.
 18. Ketua Tim Ahli dalam “Review Feasibility Study untuk Downstream Nickel Project (Battery Material, Battery Production, dan Battery Recycle)”, 2023.
 19. Ketua Tim, “Optimasi Parameter-Parameter Proses Bioflokulasi Selektif Besi dari Red mud sebagai Alternatif Bahan Baku Industri Besi Baja”, Penelitian P3MI ITB, 2022.
 20. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Pengadaan Technical Consultant Sistem Retainer untuk Nickel Project PT Antam Tbk.”, 2021-2023.
 21. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Teknis terhadap Evaluasi Kinerja dan Peluang Improvement pada Pabrik Alumina dan Fasilitas Pendukungnya di PT Indonesia Chemical Alumina (PT ICA)”, 2021-2022.
 22. Ketua Tim, “Optimasi Parameter-Parameter Proses Biobenefisiensi Batubara Menggunakan Bakteri Mixotrof untuk Peningkatan Kualitas Batubara”, Penelitian P3MI ITB, 2021.
 23. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Kajian Peninjauan dan Kompilasi Dokumen Teknis Studi Kelayakan”, Tahun 2022.
 24. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Pemilihan Teknologi Processing dan Peleburan Timah di Myanmar”, 2021.
 25. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Studi Kelayakan Pertambangan Sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (“Gol FS”) Proyek Tujuh Bukit PT Bumi Suksesindo”, 2021.
 26. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Batubara untuk Bahan Bakar dan Reduktor di Pabrik FeNi UPBN Sulawesi Tenggara”, 2021.
 27. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Kajian Komprehensif Keberlanjutan Bisnis PT Cibaliung Sumber Daya (Anak Perusahaan Antam)”, 2021.
 28. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Nickel Class 2 Business Transformation Project - PT Antam Tbk.”, 2021.

29. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Kajian Pengembangan IUP Arinem : Kelayakan Bisnis dan Strategi Pengembangan”, Tahun 2021.
30. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Pendampingan Proyek Pembangkit Listrik untuk Feni Haltim PT Antam Tbk.”, 2020-2021.
31. Ketua Tim, “Bioflokulasi selektif untuk proses konsentrasi besi dari *red mud (alumina refinery residue)*”, Penelitian P3MI ITB, 2020.
32. Ketua Tim Ahli dalam “Studi Penanganan dan Pemanfaatan Batubara MCV P3FH Pengadaan Tahun 2019 PT Antam Tbk.”, 2020.
33. Ketua Tim dalam “Penelitian Sisa Hasil Produksi PT Antam Tbk UBPE Pongkor”, 2020.
34. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Pengolahan Bijih Timah dan Columbite Serta Mineral Ikutan Lainnya di Nigeria (Studi Pengolahan Basah dan Kering Cassiterite dan Columbite Serta Mineral Berharga Lainnya di Nigeria)”, 2020.
35. Ketua Tim, “Optimasi Parameter-Parameter Bioflotasi Mineral Sulfida Menggunakan Bakteri Penghasil Biosurfaktan Sebagai Bioreagen Flotasi Untuk Meningkatkan Performa Proses Bioflotasi”, Penelitian P3MI ITB, 2019.
36. Ketua Tim Ahli dalam “Studi Supply Coking Coal dan Teknologi Pengolahannya Menjadi Kokas”, kerjasama antara Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan (FTTM) – ITB dan PT Antam Tbk., Tahun 2019.
37. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Penelitian Alat Borehole Mining PT Timah Tbk.”, 2019.
38. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Kajian Feasibility Study Modernisasi Pabrik Refining Logam Mulia PT Antam Tbk Logam Mulia Refinery Business Unit”, 2019.
39. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Translation Feasibility Study Documents from Indonesia to English Version”, 2019.
40. Ketua Tim Ahli dalam “Review dan Revisi FS Arinem Papandayan PT Antam Tbk.”, 2019.
41. Ketua Tim Ahli dalam “Review dan Revisi FS P3FH PT Antam Tbk.”, 2019.
42. Ketua Tim, “Bioproses Peningkatan Kualitas Batubara Menggunakan Bakteri Pengoksidasi Besi dan Sulfur dan Penghasil Asam Organik dan Biosurfaktan”, Penelitian P3MI ITB, 2018.

43. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam "Preparation of Feasibility Study of Coal Mining for Permit Extension (PKP2B) PT Kaltim Prima Coal", 2018.
44. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam "Kajian Kualitas Batubara PT Bukit Asam", 2018.
45. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam "FS PT Kaltim Prima Coal Beyond 2021", 2018.
46. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam "Feasibility Study (FS) Tambang Batu Besi Belitung Timur", 2018.
47. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam "Feasibility Study (FS) Tambang Pemali, Bangka", 2018.
48. Ketua Tim Ahli dalam "Feasibility Study (FS) Kelayakan Pabrik Pencucian Bijih Timah (PPBT) Tanjung Ular", 2018.
49. Ketua Tim Ahli dalam "Kajian Proses dan Teknologi Pengolahan dan Peleburan Bijih Timah Nigeria", 2018.
50. Ketua Tim, "Bioflotasi Mineral Sulfida Pb dan Zn Menggunakan Bakteri Penghasil Biosurfaktan Sebagai Bioreagen Flotasi", Penelitian P3MI ITB, 2017.
51. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam "Review Fasilitas Pencucian Bijih Timah di KK Singkep 1, PT Timah Tbk." 2017.
52. Ketua Tim dalam "Evaluasi Laporan Studi Kelayakan Internal Investasi Deshaling Plant Binungan PT Berau Coal", 2017.
53. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam kajian "Identification of Fine Coal Generation and Reducing Fine During Coal Handling Process PT Borneo Indobara", 2015.
54. Ketua Tim Ahli dalam "Review Feasibility Study Proyek Pembangunan Pabrik Feronikel Halmahera (P3FH)", 2015.
55. Ketua Tim Ahli dalam "Energy Supply Study for the New NPI Plant at Pomalaa", 2014.
56. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam "Rencana Kerja Jangka Panjang untuk Seluruh Wilayah Kontrak Kerja PT Freeport Indonesia", 2013.
57. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam "Kajian Pengembangan Metode dan Teknologi Penambangan Pada Rencana Tambang Besar Tempilang", 2013.
58. Ketua Tim Ahli dalam "Kajian Penyusunan Perubahan dan Penyesuaian Studi Kelayakan (Feasibility Study) Proyek FeNi Haltim", 2013.

59. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Kajian Kelayakan Penambangan Batubara PT Agung Bara Prima”, 2012.
60. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Feasibility Study of Gold Mining and Processing at PT Bina Daya Lahan Pertiwi”, 2013 – 2014.
61. Ketua Tim Ahli dalam “Papandayan Gold Project Feasibility Study, 2012.
62. Ketua Tim Ahli dalam “Feasibility Studies and Bidding Documents Making of Coal Fired Power Plant (CFPP) and Dual Fuel Power Plant (DFPP) Project for FeNi Processing Plant, PT Feni Haltim (subsidiary of PT Antam (Persero) Tbk.)”, 2012.
63. Ketua Tim Ahli dalam “FeNi Haltim Project Feasibility Study and Basic Engineering Design - Updating, PT Feni Haltim (subsidiary of PT Antam (Persero) Tbk.)”, 2012.
64. Ketua Tim Ahli pada Komoditas Nikel dalam “Techno-Economic Study of Processing and Refining Plant Development on Five Commodities of Minerals in Indonesia (Fe, Al, Cu, Ni, Pb-Zn), Indonesian Mining Association”, 2012.
65. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Feasibility Study of Coal Mining and Processing at PT Anugerah Bumi Persada, South Kalimantan”, 2012.
66. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Feasibility Study of Gold Mining and Processing at PT Natarang Mining, Lampung Province”, 2012.
67. Ketua Tim Ahli dalam “Feasibility Study Project of PT Gag Nickel in Gag Island - Updating, PT Gag Nickel and PT Antam Tbk.”, 2012.
68. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Evaluasi Hasil Perhitungan Jumlah Sumberdaya dan Cadangan Batubara pada Blok Bisa dan Blok Buhut PT Telen Orbit Prima”, 2011.
69. Ketua Tim Ahli dalam “Jasa Konsultan Penyusunan GAG Island Heap Leach Development Program – Scoping Study”, 2011.
70. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Penyusunan Updating of Feasibility Study and Basic Engineering Design of FeNi Haltim Project”, 2011.
71. Nara Sumber dalam “Kajian Penyusunan Strategi dan Rencana Bisnis Antam Jangka Panjang 2011-2020”, 2011.
72. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Evaluation of Coal Quality and Coal Washability, PT Sagita Energi”, 2011.
73. Ketua Tim Ahli dalam “Study on Renovation of Mentok Tin Washing Plant, PT Timah (Persero) Tbk.”, 2011.

74. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Pedoman Penetapan Kewajiban Pengolahan Komoditas Batubara”, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI, Dirjen Minerba, 2010.
75. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Evaluation of Coal Quality and Coal Washability, PT Bukit Asam (Persero) Tbk.”, 2010.
76. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Feasibility Study of Coal Mining Capacity Extention at PT Telen Orbit Pratama, South Kalimantan, PT Telen Orbit Prima”, 2010.
77. Ahli Pengolahan Mineral dalam “Evaluation and Development of Tin Processing Plant at PT Timah Tbk.”, 2010.
78. Ahli Pengolahan Mineral dalam “Debottleneck of Gold Processing Plant at PT Kasongan Bumi Kencana, Central Kalimantan”, 2010.
79. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Project of Minimum Level of Mineral and Coal Processing Required Related with New Laws on Mineral and Coal Mining No. 4 Year 2009, Directorate of Mineral, Coal and Geothermal – Indonesia”, 2010.
80. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Blueprint of National Mineral Mining Management, Department of Energy and Mineral Resources – Indonesia”, 2010.
81. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Kajian Kelayakan Penambangan Batubara PT Arutmin”, 2009.
82. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Feasibility Study FeNi GAG Project”, 2009.
83. Tenaga Ahli dalam “Technical Evaluation on PT Newmont Nusa Tenggara Processing Plant in Relation with PT Antam Tbk Program for Share Acquisition, PT Antam Tbk”, 2009.
84. Ketua Tim Ahli dalam “Kajian Pengadaan Jasa Supporting Pembuatan Halmahera FeNi Project Feasibility Study and Basic Design PT Antam Tbk.”, Tahun 2008.
85. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Kajian Analisis Unjuk Kerja Multi Gravity Separator (MGS) di PPBT Mentok PT Timah Tbk.”, 2007.
86. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Feasibility Study and Development of Coal Mining Operation at PT Berau Coal, East Kalimantan”, 2007.
87. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Evaluation on the Iron Sand Processing Plant at Cilacap, PT. Pasir Besi Indonesia”, 2007.

88. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Feasibility Study of Coal Mining in Kabupaten Musi Banyuasin, South Sumatera PT. Astaka Dodol”, 2006.
89. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Evaluation of Tin Resources at PT Timah Tbk.”, 2005.
90. Anggota Tim, “Measurement and modelling of gas dispersion characteristics in mechanical flotation cells”, Australian Mineral Industries Research Association (AMIRA) Project P9, 2005.
91. Ketua Tim, “Comparison of gas hold-up distribution measurement in a flotation cell using capturing and conductivity techniques”, Australian Mineral Industries Research Association (AMIRA) Project P9, 2005.
92. Ketua Tim, “Comprehensive measurement of gas dispersion and hydrodynamics characteristics in an OK 38 m³ industrial rectangular flotation at PT Freeport Indonesia mine”, Australian Mineral Industries Research Association (AMIRA) Project P9, 2004.
93. Ketua Tim, “Gas dispersion and hydrodynamic characteristics of selected Wemco 85 m³ flotation cells at PT Freeport Indonesia mine”, Australian Mineral Industries Research Association (AMIRA) Project P9, 2003.
94. Anggota Tim Ahli, “Characterisation and evaluation of the Module 2 flotation circuit at Rio Tinto North Parkes Copper/Gold Mine, Central New South Wales, Australia”, Australian Mineral Industries Research Association (AMIRA) Project P9, 2001.
95. Anggota Tim Ahli, “Study of the Mount Keith flotation circuit, Western Mining Corporation Ltd Mount Keith Nickel Operation, Western Australia”, A research project under JKTech (JKMRC Commercial Division), 2001.
96. Anggota Tim Ahli, “Study of industrial and pilot scale Jameson and 60 L flotation cells at Thiess Burton Coal Mine, Central Queensland, Australia”, A JKMRC (Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre) research project, 2000.
97. Anggota Tim Ahli, “Correlation of flotation performance between laboratory and industrial scales at Pasminco Elura Pb-Zn Mine, New South Wales, Australia”, A collaboration research between JKMRC in Brisbane and Ian Wark Research Institute (IWRI) in Adelaide, Australia, 1999.

98. Ketua Tim, “Modelling of Artificial Neural Network to Predict Magnetite Losses in Coal Washing Process”, ITB Research, 1999.
99. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Study of AMDAL of Coal Power Plant Activity Planning, Pomalaa, South East Sulawesi”, 1999.
100. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Coal Washing Plant Evaluation, PT Gunung Bayan Pratama Coal, Kalimantan Selatan”, 1999.
101. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Feasibility Study of Silica Sands in Tanjung Kalanis, Kalimantan Tengah”, 1999.
102. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Study of AMDAL of Coal Mining Activity at PT Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) in Cerenti Area, Indragiri Hulu, Riau”, 1998.
103. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Extention Exploration and Feasibility Study of Coal Deposit in The Area of Coal Belt 3 Blok II PT Kadya Carakamulia, East Kalimantan Timur”, 1998.
104. Ketua Peneliti, “Modeling of settling process for tailings pond design: case study at Pongkor Gold Mine - West Java”, Research Supported by Indonesia Toray Science Foundation, 1997.
105. Anggota Peneliti, “Characterisation of Filling Material for Underground Mine of Pongkor Gold Mine, PT Aneka Tambang”, Collaboration Research with Centre of Research and Development Geotechnology LIPI, 1997.
106. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Batubara) dalam “Feasibility Study of Coal Mining in Cerenti Area – Region of Indragiri Hulu – Riau PT Bukit Asam (Persero)”, 1997.
107. Ketua Peneliti, “Kinetics Study of Grinding in a Ball Mill: Case Study of Gold Ore from Cirotan, West Java”, Research Institute, ITB, 1995.
108. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Project of Controlling of Small Scale Gold Processing Waste, West Java Government”, 1994.
109. Anggota Tim (Ahli Pengolahan Mineral) dalam “Evaluation of Sand Mining Activity in Cimangkok, West Java”, 1994.
110. Ketua Peneliti, “Study of Lignite Coal Upgrading by Thermal Treatment”, Research Institute, ITB, 1994.
111. Anggota Tim Ahli dalam “Making of Geothermometer Software to Calculate the Temperature of Geothermal Reservoir, Pertamina”, 1993.
112. Anggota Peneliti, “Desulphurisation of Indonesian Coal”, Penelitian RUT (Riset Unggulan Terpadu), (1993 – 1994).

113. Anggota Peneliti, “Numerical Analysis Method to Determine the Interface and Local Corrosion Rate in A Cathodic Protected Metal”, Research Institute, ITB, 1992.

VI. PUBLIKASI

1. Lina Nur Listiyowati, David Sibarani, Imam Santoso, Pekka Taskinen, Daniel Lindberg, **Edy Sanwani**, Mohammad Zaki Mubarok, “Phase equilibria of $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ System at 1200 to 1600°C in Air”, *J. Phase Equilib. Diffus.* (Q1) 2025. <https://doi.org/10.1007/s11669-025-01215-1>.
2. Erian Jeremy, **Edy Sanwani***, Siti Khodijah Chaerun, and Mohammad Zaki Mubarok, “Enhancing selective bioflocculation of iron from red Mud: An Eco-Friendly approach through pH optimization for bacterial growth”, *Minerals Engineering* (Q1) 233 (2025) 109549. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2025.109549>
3. Erian Jeremy, **Edy Sanwani***, Siti Khodijah Chaerun, and Mohammad Zaki Mubarok, “Exploring Bioflocculation: A Novel Approach for Iron Recovery From Red Mud – a Review”. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* (Q1) 2024, 2, 45,1-21.(doi) : <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08827508.2024.2328688>
4. Danang Nor Arifin and **Edy Sanwani**, “Potential utilization of natural zeolite, fly ash and rice husk ash for geopolymer concrete production”, *Mining of Mineral Deposits* (Q2), Vol 17, Issue 3, pages 86-92 (2023). <https://doi.org/10.33271/mining17.03.086>.
5. Lina Nur Listiyowati, Imam Santoso, **Edy Sanwani**, and Mohammad Zaki Mubarok, “Effect of Minor Oxide and Residual Carbon on Coal Ash Crystallization Behavior and Slag Properties during Coal Gasification: Critical Literature Review and Thermodynamic Simulation”, *ACS Omega* (Q1) 2023, 8, 38794-38805. <https://doi.1021/acsomega.3c03882>.
6. Rustam Kamoda dan **Edy Sanwani**, “Flotasi Kasiterit dari Bijih Timah Promer Tipe Skarn Asal Pulau Belitung”, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol. 19, No. 3, 2023, hal. 141 – 161. doi: 10.30556/jtmb.Vol19.No3.2023.1472.
7. Indah Pratiwi dan **Edy Sanwani**, “Studi Pengaruh Penggilingan Kondisi Kering dan Basah terhadap Kinetika dan Karakteristik Distribusi Ukuran Butir Bijih Sulfida Kompleks Galena Sflerit – Uji Pendahuluan”, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol. 19, No. 2, 2023, hal. 125 – 139. doi: 10.30556/jtmb.Vol19.No2.2023.1452.

8. **Edy Sanwani**, Erian Jeremy, Siti Khodijah Chaerun, Fika Rofiek Mufakhir, Widi Astuti, "Use of Mixotropic Bacteria as Flocculating Agents to Separate Iron from Red Mud (Alumina Refinery Residue)", *Journal of Sustainable Metallurgy (Q2)*, Vol. 8, pages 443-457 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00479-4>.
9. **Edy Sanwani**, Siti Khodijah Chaerun, Halimatul Husni, Muhammad Abdur Rasyid, "Surface modification of galena concentrate, sphalerite concentrate and silica by the bacterium *Citrobacter* sp. and its application to green flotation of complex Pb-Zn ores", *Journal of Sustainable Metallurgy (Q2)*, Vol. 7, pages 1265-1279 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00399-3>.
10. **Edy Sanwani**, Siti Khodijah Chaerun, Halimatul Husni, Trimoko Pamungkas, Muhammad Abdur Rasyid, "A biosurfactant-producing and iron-oxidizing mixotrophic bacterium as an environmentally friendly reagent for eco-green flotation of Indonesian complex Pb-Zn ores", *Minerals Engineering (Q1)*, Vol. 170, 15 August 2021, 106824 (Available online 15 July 2021). <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106824>.
11. **Edy Sanwani**, Nuslia Bayangkara Lamandhi, Halimatul Husni, Siti Khodijah Chaerun, Widi Astuti, Fika Rofiek Mufakhir, "Influence of indigenous mixotrophic bacteria on pyrite surface chemistry: Implications for Bioflotation", *Microbiology Indonesia: Vol. 14 No. 1 (2020): March 2020*.
12. Mubdiana Arifin, **Edy Sanwani**, Siti Khodijah Chaerun, "Removal of sulfur and ash from Indonesian coal by indigenous mixotrophic bacteria", *Current Research on Bioscience and Biotechnology*, Volume 1 Issue 2, Pages 71-76 (February 2020).
13. Tri Wahyuningsih, Siti Khodijah Chaerun, and **Edy Sanwani**, "Characterization of interaction of biosurfactant-producing bacteria with pyrite minerals as an alternative to depressant reagents in the bioflotation process of copper sulfide minerals that are more environmentally friendly", *AIP Conference Proceedings* 2245, 080005 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0007195>.
14. Nurulhuda Halim, U.P.M. Ashik, Xiangpeng Gao, Shinji Kudo, Edy Sanwani, Koyo Norinaga, and Jun-ichiro Hayashi, "Quantitative Description of Catalysis of Inherent Metallic Species in Lignite Char

- during CO₂ Gasification”, *Energy & Fuels* (2019), 33, 7, 5996–6007, <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b00465>.
15. S R Nurhawaisyah, **E Sanwani**, S K Chaerun, and M A Rasyid, “Clean Coal Technology Using an Iron- and Sulfur-Oxidizing Mixotrophic Bacterium”, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 478 (2019) 012023, doi: 10.1088/1757-899X/478/1/012023.
 16. S R Nurhawaisyah, **E Sanwani**, S K Chaerun, and M A Rasyid, “Screening of Bacteria for Coal Beneficiation”, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 478 (2019) 012021, doi: 10.1088/1757-899X/478/1/012021.
 17. Suriyanto Bakri, Edy Sanwani, “Studi Transformasi Goetit Menjadi Hematit Secara Mekanokimia untuk Benefisiasi Bijih Besi Laterit”, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol. 15, No. 3 (2019). doi: <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol15.No3.2019.959>
 18. Tri Wahyuningsih, **Edy Sanwani**, and Siti Khadijah Chaerun, “Potensi Bakteri Penghasil Biosurfaktan Sebagai Frothing Agent pada Proses Konsentrasi Flotasi”, *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 4 (1), pp. 207-212, 2018, ISSN 2442-4234.
URI : <http://eprints.upnyk.ac.id/id/eprint/16141>.
 19. W Wulandari, M Purwasasmita, **E Sanwani**, W Malatsihmand, F Fadilla, “A study of bauxite tailing quality improvement by reverse flotation”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 285 (2018) 012025, nMineral Processing and Technology International Conference 2017 23–24 October 2017, Jakarta, Indonesia. doi:10.1088/1757-899X/285/1/012025.
 20. **Edy Sanwani**, Riria Zedy Mirahati, and Siti Khodijah Chaerun, “Recovery of Copper from Pyritic Copper Ores Using a Biosurfactant-Producing Mixotrophic Bacterium as Bioflotation Reagent”, *Solid State Phenomena*, Vol. 262, p. 181-184 (2017).
doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.262.181.
 21. **Edy Sanwani** and Muhammad Ikhwanto, “Kinetic Study of Ferronickel Slag Grinding at Variation of Ball Filling and Ratio of Feed to Grinding Balls”, *Proceedings of the 1st International Process Metallurgy Conference (IPMC 2016)*, American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings 1805, 050002 (2017);
doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4974433>.

22. Wahyuningsih, Tri and **Sanwani, Edy** and Chaerun, Siti Khodijah, “Bioflotasi Bijih Tembaga: Kadar Meningkatkan Tanpa Reagen Kimia (Aplikasi Bakteri Mixotrof Pengoksidasi Sulfur)”, Proceeding - Seminar Nasional Kebumihan XII Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta”, 14 September 2017, Yogyakarta.
23. Winny Wulandari, Mubiar Purwasasmita, **Edy Sanwani**, Adinda Asri Pixelina, and Agus Maulidan, “Implementation of Reverse Flotation Method to Reduce Reactive and Non-Reactive Silica in Bauxite Ore from West Kalimantan”, Proceedings of the 1st International Process Metallurgy Conference (IPMC 2016), American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings 1805, 050004 (2017); doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4974435>
24. Nurulhuda Halim, Zayda Zahara, **Edy Sanwani**, Ismi Handayani, Shinji Kudo, Jun-ichiro Hayashi, “Effects of Temperature on Kinetics and Mechanism of CO₂ Gasification of Char from Indonesian Lignite”, Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES), Kyushu University, 2017. <https://doi.org/10.15017/1906147>.
25. **Edy Sanwani**, Siti Khodijah Chaerun, Riria Zandy Mirahati, and Tri Wahyuningsih, “Bioflotation: Bacteria-Mineral Interaction for Eco-friendly and Sustainable Mineral Processing”, *Procedia Chemistry* 19 (2016), p. 666 – 672. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.068>
26. **Edy Sanwani**, Dita Hidayati, dan Siti Khodijah Chaerun, “Utilization of *Bacillus pumillus* and *Citrobacter youngae* as Flotation Bioreagents in the Microflotation of Chalcopyrite, Pyrite, and Silica”, *Microbiology Indonesia*, Vol. 10, No. 1, March 2016, p. 15 – 22. doi: <http://dx.doi.org/10.5454/mi.10.1.3>
27. Siti Khodijah Chaerun, Sutina Hung, Mohammad Zaki Mubarak, and **Edy Sanwani**, “Isolation and phylogenetic characterization of iron-sulfur-oxidizing heterotrophic bacteria indigenous to nickel laterite ores of Sulawesi, Indonesia: Implications for biohydrometallurgy”, *American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings* 1677, 110001 (2016); doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4930772>.
28. Chaerun, Siti Khodijah; Siti Aisyah Alting; Mohammad Zaki Mubarak; **Sanwani, Edy**, “Bacterial bioleaching of low grade nickel limonite and saprolite ores by mixotrophic bacteria”, *E3S Web of Conferences*; Les

- Ulis Vol.8, Les Ulis: EDP Sciences. (2016); doi: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20160801029>
29. **Edy Sanwani**, Riria Zendy Mirahati, and Siti Khodijah Chaerun, “Possible Role of the Biosurfactant-Producing- and Fe-S-Oxidizing Bacterium in Silicate and Sulfide Bioflotation Processes”, *Advanced Materials Research* (2015), Vol. 1130, p. 493 – 498. doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1130.493>
 30. **Edy Sanwani**, Tri Wahyuningsih, and Siti Khodijah Chaerun, “Assessment of Surface Properties of Silica-Bacterial Cell Complex: A Potential Application for Silicate Bioflotation Processes”, *Advanced Materials Research* (2015), Vol. 1130, p. 515 – 518. doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1130.515>
 31. **Edy Sanwani**, Riria Zendy Mirahati, and Siti Khodijah Chaerun, “Bioflotation as a Clean Technology in Mineral Processing”, *Proceedings of Colloquium R&D Centre for Mineral and Coal Technology (TEKMIRA)*, 2015, Bandung, Indonesia, 3 -4 November 2015.
 32. **Edy Sanwani**, Tri Wahyuningsih, and Siti Khodijah Chaerun, “A Biosurfactant-Producing and Sulfur-Oxidizing Bacterium: Its Potential as Eco-Friendly Bioreagents for Bioflotation Processes”, *Proceedings of Colloquium R&D Centre for Mineral and Coal Technology (TEKMIRA)*, 2015, Bandung, Indonesia, 3 -4 November 2015.
 33. **Edy Sanwani**, : “Karakteristik Metallurgical Coking Coal dan Pemanfaatannya”, Focus Group Discussion (FGD) pada Proses Pengolahan Metallurgical Coking Coal dan Pembuatan Kokas, Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 24 Agustus 2015 (Invited Speaker).
 34. **Edy Sanwani**, Riria Zendy Mirahati, and Siti Khodijah Chaerun, “Changes in Surface Chemical Properties of Pyrite Caused by a Biosurfactant-producing Bacterium: Implications for Eco-friendly Bioflotation Reagents in Sulfide Mineral Processing”, *Proceedings of the 14th International Conference on QiR (Quality in Research)*, Mataram, Lombok, Indonesia, 10-13 August 2015.
 35. **Edy Sanwani** and Ebbi Wibisana, “Analisis Pengembangan Proses Pengolahan Bijih Timah di PT Timah (Persero) Tbk. untuk Peningkatan Nilai Tambah”, *Proceeding Temu Profesi Tahunan XXIII PERHAPI*

- (Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia), Makassar, Indonesia, 24 – 26 November 2014 (Makalah Utama).
36. **Edy Sanwani** and Muhammad Abdur Rasyid, “Analisis Korelasi Jumlah Hydrocyclone terhadap P80 Produk dan Performa Klasifikasi Hydrocyclone pada Sirkuit Polishing Mill PT Newmont Nusa Tenggara”, Proceeding Indonesian Process Metallurgy IV Conference, Bandung, Indonesia, 5 – 7 November 2014.
 37. **Edy Sanwani**, Syafrizal, and M. Zaki Mubarok, “Gold Resource and Its Processing for Continuity and Sustainability of The Gold Industry in The Future (Sumberdaya Emas dan Pengolahannya untuk Keberlanjutan dan Keberlangsungan Industri Emas Di Masa Mendatang)”, Proceedings of The Regional Seminar of Gold and Precious Minerals 2013, Kuala Lumpur – Malaysia, 28 – 30 November 2013. (Invited Speaker).
 38. Immanuel Butarbutar, Darius Varianemil, and **Edy Sanwani** : “Influence of Variation Dosage of Chemical Reagents in the Turbidity of Overflow from Sedimentation Process at Dewatering Plant of PT. Freeport Indonesia”, Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology, September 18-19, 2012, Aula Barat ITB Bandung Indonesia.
 39. Chaerun S.K., Hasni S., **Sanwani E.**, Moeis MR.: “Mercury (Hg)-resistant bacteria in Hg-polluted gold mine sites of Bandung, West Java Province, Indonesia”, Microbiology Indonesia, Vol. 6, No. 2., June 2012, pp. 57-68, ISSN: 1978-3477, eISSN: 2087-8587.
 40. **Edy Sanwani** : “Minerals and Coal Processing in Indonesia: Current Status and Future Potential”, PT MBE-CMT Indonesia Symposium, Jakarta, November 2011 (Invited Speaker).
 41. Chaerun, S.K., Hasni, S., **Sanwani, E.**, Johnson, D.B. “Biogeochemical characterization of mercury (Hg)-contaminated sediments at the Bunikasih Gold Mine, West Java Province, Indonesia”, Goldschmidt2011, Prague, Czech Republic, August 14-19, 2011 (Poster Presentation).
 42. **Edy Sanwani**, M Zaki Mubarok: "Pengolahan Nikel Untuk Memperoleh Nilai Tambah Optimum", Kolokium Pertambangan 2011, Puslitbang Tekmira, Bandung, 30 November 2011.
 43. **Edy Sanwani**, Angga Prasetiawan: "Studi Simulasi Sirkuit Konsentrator PT. Newmont Nusa Tenggara Menggunakan Perangkat Lunak

- JKSimMet", Proceeding Indonesian Process Metallurgy, Aula Timur ITB, 20-22 Juli 2011.
44. Miftahul Huda, **Edy Sanwani**: "Coal Processing Technologies, Their Challenges and Added Value", 4th ADDED Value Mining Indonesia Conference, Workshop & Exhibition. October 6-7, 2010, The Ritz Carlton Ballroom Jakarta.
 45. **Edy Sanwani**, Ikhsan Septiansyah, Arief Sudarsono, and Ismi Handayani: "Study of Low Rank Coal Gasification Process by Fluidized Bed Gasification", The 2nd International Symposium of Novel Carbon Resource Science, ISBN 978-979-8305-30-6, March 10-11, 2009, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia.
 46. Imelda Hutabarat, Ismi Handayani, Miftahul Huda, Arief Sudarsono dan **Edy Sanwani**: "Studi Pemanfaatan Tailing Berbasis Besi sebagai Katalis Alami pada Proses Pencairan Batubara", Seminar Nasional Dies Emas Pengembangan Kebijakan, Manajemen, dan Teknologi di Bidang Energi dan Lingkungan, ISBN: 978-979-1344-47-0, 4-5 Maret 2009, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia.
 47. Wahyudi Budi Kusuma, Ismi Handayani dan **Edy Sanwani**: "Proses Aglomerasi Batubara Fraksi Halus dengan Media Minyak Jarak", Indonesian Process Metallurgy Conference and Workshop (IPM 2008), ISBN: 978-979-18370-3-3, 4-5 Desember 2008, Bandung, Indonesia.
 48. **E. Sanwani**, Y. Zhu, J.-P. Franzidis, E.V. Manlapig and J. Wu: "Comparison of gas hold-up distribution measurement in a flotation cell using capturing and conductivity techniques", Minerals Engineering, Vol. 19, Issue 13, Pages 1362-1372, ISSN: 0892-6875, 2006.
 49. **Edy Sanwani**, "Residence Time Distribution (RTD) in Large Flotation Cells at PT Freeport Indonesia", 4th International Workshop on Earth Science and Technology, ISBN 978-4-9902356-7-3, Desember 2006, Fukuoka, Jepang.
 50. **Edy Sanwani**: "Gas Dispersion Measurements - Diagnosis of The Hydrodynamic Performance of a 3 m³ Flotation Cell", The 11th Annual Julius Kruttschnitt Minereal Research Centre (JKMRC) Conference, 15 November 2002, The University of Queensland, Australia.

VII. PENGHARGAAN

1. Satyalancana Karya Satya 30 Tahun, Presiden Republik Indonesia, 2025.

2. BIG MIND Innovation Award (Juara I Kategori Implementasi), sebagai Ketua Tim, Indonesia Mining and Minerals Research Institute (IMMRI), MIND ID., 2022.
3. Indonesia Mining and Minerals Research Institute (IMMRI) Research Award (Anggota Tim Peneliti), Indonesia Mining and Minerals Research Institute (IMMRI), MIND ID, 2019.
4. Piagam Penghargaan Pengabdian 25 Tahun ITB, Rektor Institut Teknologi Bandung, 2019.
5. Satyalancana Karya Satya 20 Tahun, Presiden Republik Indonesia, 2016.
6. Best Poster Award, International Biohydrometallurgy Symposium 2015, 2015.
7. Satyalancana Karya Satya 10 Tahun, Presiden Republik Indonesia, 2009.
8. Science and Technology Research Grant, The Indonesia Toray Science Foundation, 1996.

VIII. SERTIFIKASI

1. Insinyur Profesional Utama (IPU) – Nomer Sertifikat : 3-19-00-000013-00, Sertifikat Kompetensi Insinyur Profesional, Persatuan Insinyur Indonesia (PII), 2004.
2. Sertifikat Insinyur (Ir.), Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi Bandung, 2020.
3. Sertifikat Pendidik – Nomer Sertifikat : 091104907039, Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia, 2009.



📍 Gedung STP ITB, Lantai 1,
Jl. Ganesa No. 15F Bandung 40132
☎ +62 22 20469057
🌐 www.itbpress.id
✉ office@itbpress.id
Anggota Ikapi No. 043/JBA/92
APPTI No. 005.062.1.10.2018

Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132
E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id
Telp. (022) 2512532

🌐 fgb.itb.ac.id [FgbItb](#) [FGB_ITB](#)
 [@fgbitb_1920](#) [Forum Guru Besar ITB](#)

