

THE EFFECT OF AIR FLOW RATE ON THE SEPARATION EFFICIENCY OF CASSITERITE TIN ORE (SnO_2) USING AN AIR TABLE

Taufik Arief¹, Eddy Ibrahim¹, Maulana Yusuf¹

¹Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding Author e-mail: taufikarief@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Penelitian ini mengkaji pengaruh variabel operasi terhadap kadar dan perolehan konsentrat mineral kasiterit (SnO_2) dari sampel bijih timah asal penambangan laut (offshore) menggunakan alat *air table* hasil rancangan skala laboratorium. Pemisahan dilakukan dengan media udara yang dihembuskan blower melalui lubang berpori pada permukaan meja (*deck*) untuk memisahkan kasiterit dari mineral pengotor berdasarkan perbedaan densitas. Variabel yang diuji meliputi kemiringan meja (*slope of deck*), laju alir udara, dan ukuran butir sampel, sedangkan waktu pengolahan dan berat umpan dijaga tetap. Alat digerakkan oleh motor dengan panjang pukulan 120 PP/menit, diameter lubang 8 mm sebanyak 200 lubang berpola *staggered*, dan laju alir udara maksimum 22 m³/detik pada 80% bukaan. Eksperimen dilakukan sebanyak 27 kali dengan kombinasi tiga variabel. Hasil menunjukkan perolehan tertinggi 63,55% pada kemiringan 5,60° dan laju udara 60,95%, serta perolehan terendah 7,6% pada kemiringan 5,20° dan laju udara 30%. Variabel kemiringan meja, laju udara, dan ukuran butir terbukti berpengaruh signifikan terhadap kadar dan perolehan kasiterit.

Kata kunci: bijih timah offshore, kasiterit, air table, laju udara, slope of deck.

ABSTRACT: This study investigates the effects of operational variables on the grade and recovery of cassiterite (SnO_2) concentrate from offshore tin ore samples using a laboratory-scale air table prototype. The separation process employs air as the medium, blown through porous holes on the deck surface by a blower to separate cassiterite from gangue minerals based on density differences. The tested variables include deck inclination, air flow rate, and particle size, while processing time and feed weight were kept constant. The device operates at 120 strokes per minute, equipped with 200 staggered holes of 8 mm diameter, and a maximum airflow capacity of 22 m³/s at 80% opening. A total of 27 experimental runs were conducted with various combinations of the three variables. The results show the highest recovery of 62.3% at a deck inclination of 6.25° and 80% airflow, while the lowest recovery of 7.6% occurred at 5.20° inclination and 30% airflow. Deck inclination, air flow rate, and particle size significantly affect both the grade and recovery of cassiterite.

Keywords: offshore tin ore, cassiterite, air table, air flow rate, deck slope.

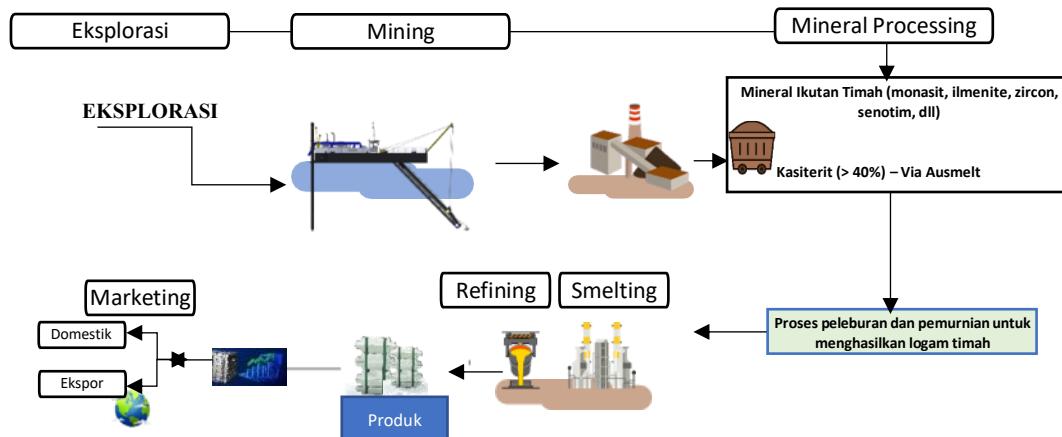
1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara produsen timah terbesar di dunia, dengan cadangan utama yang terkonsentrasi di wilayah Bangka dan Belitung. Sebagian besar produksi timah berasal dari kegiatan penambangan laut (*offshore*) yang dioperasikan oleh PT Timah Tbk, menggunakan Kapal Isap Produksi (KIP) sebagai alat utama eksploitasi. Proses Penambangan KIP menghasilkan bijih Timah kasiterit (SnO_2) dengan kadar Timah mencapai 40% Sn, sehingga perlu dilakukan peningkatan kadar (*upgrading*) di Badan Pencucian Bijih Timah (BPPT) agar bijih timah mencapai 68-70% Sn Kadar tersebut sebagai syarat atau standar teknis kadar untuk peleburan bijih timah (PT.Timah,Tbk 2025). Dalam proses pemisahan di PPBT selain kasiterit (SnO_2) sebagai mineral utama (*main minerals*) juga terdapat mineral ikutan yang

meliputi: monasit, ilmenite, zircon, senotim, dll), disamping itu juga limbah dalam bentuk *tailing* dalam jumlah besar yang sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal dan umumnya dianggap sebagai limbah tanpa nilai tambah (B.A.Wills, 2016). Proses Penambangan bijih Timah baik darat (*onshore*) dan Penambangan laut (*offshore*) menghasilkan material berukuran halus berupa campuran mineral berat dan ringan. Mineral berharga meliputi mineral bijih timah kasiterit (SnO_2) sebagai mineral utama (*main minerals*) dan mineral lain Sebagai mineral ikutan (*aksesoris mineral*) yang memerlukan proses pemisahan secara terintegrasi dari eksplorasi, Penambangan, pengolahan dan peleburan & pemurnian lanjutan untuk memperoleh timah dengan kadar ekonomis (Gambar 1). Salah satu metode yang umum digunakan adalah pemisahan berdasarkan gaya berat

(*gravity concentration*), yaitu metode yang memanfaatkan perbedaan densitas antar mineral. Kasiterit memiliki densitas sekitar $6,8-7,1 \text{ g/cm}^3$, jauh

lebih besar dibanding mineral pengotor seperti kuarsa ($2,65 \text{ g/cm}^3$) dan ilmenit ($4,5 \text{ g/cm}^3$), sehingga secara teoritis dapat dipisahkan melalui perbedaan berat jenis.



Gambar 1. Proses Bisnis Timah *Integrated Mining Activities by implementing Good Mining Practice*

Menurut **B.A. Wills (2016)** dalam *Mineral Processing Technology*, pemisahan gravitasi merupakan metode yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk pengolahan mineral berukuran kasar hingga sedang, dengan syarat butir mineral telah terliberasi dengan baik. Efektivitas pemisahan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ukuran butir, karakteristik fluida pemisah, dan parameter operasi alat.

Pada umumnya, fluida pemisah dalam proses gravitasi menggunakan air seperti pada alat *shaking table*, *spiral concentrator*, atau *jig*. Namun, dalam kondisi tertentu—seperti keterbatasan ketersediaan air atau kebutuhan proses kering—diperlukan inovasi pemisahan berbasis udara. Salah satu alat yang dikembangkan adalah *air table* (meja udara), yang menggunakan udara sebagai media pemisah.

Alat Air table bekerja berdasarkan kombinasi antara **hembusan udara dari bawah**, **kemiringan meja**, dan **getaran meja (vibrasi)**. Udara dihembuskan melalui permukaan meja berpori, menyebabkan partikel terfluidisasi sebagian dan tersusun (terstratifikasi) menurut perbedaan berat jenis dan ukuran butirnya. Partikel berat seperti kasiterit akan cenderung berada dekat permukaan meja dan bergerak ke satu arah, sedangkan mineral ringan akan terdorong ke arah lain mengikuti kemiringan meja dan arah getaran.

Menurut **Gupta dan Yan (2006)** dalam buku *Mineral Processing Design and Operation*, efisiensi pemisahan pada air table sangat dipengaruhi oleh parameter operasi seperti **laju alir udara**, **kemiringan meja**, **frekuensi getaran**, serta **karakteristik umpan**. Penyetelan parameter yang tepat akan menentukan kualitas stratifikasi partikel dan hasil pemisahan yang optimal.

Dalam penelitian ini dikembangkan **alat air table skala laboratorium** yang dirancang untuk menguji performa pemisahan mineral kasiterit dari sampel bijih timah asal penambangan laut (*offshore*) di perairan Bangka. Inovasi utama alat ini terletak pada desain **lubang udara berbentuk segi lima (pentagonal)** dengan pola *staggered* (berselang-seling), berbeda dari desain meja udara konvensional yang umumnya menggunakan lubang berbentuk bulat atau garis memanjang sejajar.

Konfigurasi lubang segi lima berpola staggered ini bertujuan untuk menghasilkan distribusi aliran udara yang lebih merata di seluruh permukaan meja, sehingga proses stratifikasi partikel dapat berlangsung lebih stabil dan efisien. Udara dialirkan dari blower melalui 200 lubang berdiameter 8 mm dengan laju alir maksimum $22 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada bukaan 80%. Meja digerakkan oleh motor dengan frekuensi 120 pukulan per menit (PPM).

Penelitian ini mempelajari pengaruh tiga variabel operasi utama terhadap kadar dan perolehan konsentrat kasiterit, yaitu:

- (1) **Laju alir udara**, yang berperan sebagai media fluida untuk mengangkat dan memisahkan partikel berdasarkan densitas.
- (2) **Kemiringan meja (deck slope)**, yang mengatur arah dan kecepatan pergerakan partikel berat dan ringan.
- (3) **Ukuran butir sampel**, yaitu fraksi **50 mesh dan 70 mesh**, yang berasal dari hasil konsentrat awal Kapal Isap Produksi (KIP) di laut.

Berat umpan dan waktu pengolahan dijaga konstan untuk memastikan pengaruh murni dari masing-masing variabel terhadap efisiensi pemisahan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh laju alir udara dan parameter operasi lainnya terhadap kadar serta perolehan konsentrat kasiterit (SnO_2) menggunakan alat air table rancangan laboratorium. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pemisahan kering berbasis gaya berat, yang sangat relevan diterapkan pada pengolahan bijih timah *offshore* di daerah pesisir dengan keterbatasan air proses.

Selain itu, desain **lubang udara segi lima berpola staggered** diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemisahan melalui distribusi udara yang lebih seragam, sehingga dapat menjadi inovasi teknis dalam pengembangan alat pemisah mineral berbasis udara.

Berdasarkan kajian literatur oleh **B.A.Wills (2016)**, keberhasilan pemisahan gravitasi sangat bergantung pada perbandingan densitas antarpartikel dan tingkat keterlibatan mineral. Alat seperti meja goyang (*shaking table*), jig, dan spiral menunjukkan kinerja terbaik bila ukuran butir umpan berada pada rentang sempit (1000–75 μm).

Taufik Arief, E.Oktinasari, 2021 menambahkan bahwa desain dan operasi air table yang efektif harus mempertimbangkan **kontrol laju udara, getaran meja,**

dan **distribusi umpan** agar tercapai kestabilan stratifikasi. Laju udara yang terlalu rendah menyebabkan partikel berat tidak terfluidisasi dengan baik, sedangkan aliran yang terlalu tinggi menimbulkan turbulensi dan menurunkan efisiensi pemisahan.

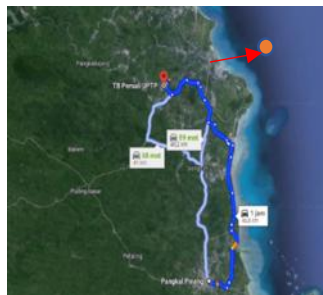
Kedua literatur tersebut menegaskan bahwa sistem pemisahan kering berbasis udara dapat mencapai efisiensi yang sebanding dengan sistem basah jika desain aliran udara pada permukaan meja dibuat merata — hal yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini melalui penggunaan desain lubang udara segi lima berpola staggered.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi dan pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan pada area operasi dan produksi Kapal Isap Produksi (KIP) milik PT Timah Tbk, yang beroperasi di wilayah perairan timur Pulau Bangka, sejauh lebih 3,5 mil dari dari pantai Provinsi Kepulauan Bangka Belitung.

Lokasi pengambilan sampel difokuskan pada KIP “Dynasti”, yang beroperasi di perairan Bangka–Sungailiat, pada jarak lebih dari 3 mil laut dari garis pantai.



(a)



(b)

Gambar 2. Sampling Location Bangka Island (a) and Aktivitas Pengambilan Sampel di Kapal Isap Produksi (KIP) Dynasti (b)

Sampel yang diperoleh digunakan untuk preparasi laboratorium dan analisis lanjutan pada tahap eksperimen.

Sampel diambil pada empat titik utama dalam rangkaian proses pengolahan, yaitu:

- (1) Produk hasil jigging primer,
- (2) Produk hasil jigging sekunder (*clean – up jig*),
- (3) *Tailing* hasil *shaking table*, dan
- (4) Produk akhir dari alat SAKAN, yaitu unit pemisahan terakhir pada proses pengolahan di KIP (Gambar 2).

Sampel yang diperoleh kemudian digunakan untuk tahap preparasi laboratorium dan analisis lanjutan pada eksperimen pemisahan.

2.2 Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel mengacu pada SNI 13-4726-1998 tentang *Metode Pengambilan Contoh Bahan Galian Industri*. Metode yang diterapkan merupakan kombinasi antara:

- (1) *Grid sampling*, untuk memastikan keterwakilan spasial area penambangan, dan
- (2) *Grab sampling*, untuk pengambilan langsung material dari aliran proses pada titik pengolahan berbeda.

Sampel hasil pengambilan dikompositkan menjadi satu sampel representatif seberat ± 25 kg, yang selanjutnya digunakan pada tahap preparasi dan karakterisasi di laboratorium.

Seluruh proses penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian, Jurusan

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, yang meliputi empat tahapan utama:

- (1) Pengeringan sampel,
- (2) Pengayakan (*sieve analysis*),
- (3) Penimbangan fraksi ukuran, dan
- (4) Uji karakterisasi awal.

2.3 Tahapan Preparasi dan Karakterisasi Sampel

2.3.1 Pengeringan Sampel

Sampel komposit (± 25 kg) dikeringkan secara alami (*air drying*) pada suhu ruang selama 48 jam untuk mengurangi kadar air tanpa mengubah sifat fisik mineral. Pemanasan buatan dihindari agar tidak terjadi perubahan morfologi atau densitas mineral.

2.3.2 Pengayakan (*Sieve Analysis*)

Sampel kering dianalisis menggunakan Sieve Shaker Digital Retsch AS 200 Series, dengan satu set ayakan berstandar ASTM E11 atau SNI 03-1968-1990. Tujuan pengayakan adalah memperoleh distribusi ukuran partikel (*particle size distribution*) tailing bijih timah. Rentang ukuran ayakan yang digunakan adalah dari +10 mesh hingga -200 mesh, sehingga diperoleh fraksi kasar, menengah, dan halus.

2.3.3 Penimbangan Fraksi Ukuran

Setiap fraksi hasil pengayakan ditimbang menggunakan neraca digital (ketelitian 0,01 g) untuk menentukan persentase massa relatif masing-masing fraksi. Data distribusi ukuran ini menjadi dasar pemilihan fraksi yang paling representatif untuk uji pemisahan (*separation test*) dan karakterisasi mineralogi lanjutan. Fraksi terpilih kemudian dianalisis menggunakan:

- (1) *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur utama dan minor, serta
- (2) *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengamati morfologi butiran dan mengidentifikasi fasa mineralik.

Hasil karakterisasi digunakan untuk memastikan keberadaan mineral berat seperti kasiterit (SnO₂), ilmenit (FeTiO₃), monasit (CePO₄), dan thorium (Th).

2.3.4 Tahap Eksperimen Pemisahan Menggunakan *Air Table*

Setelah tahap preparasi dan karakterisasi, sampel berukuran -70 mesh digunakan dalam eksperimen pemisahan mineral menggunakan alat *air table* (meja udara) hasil rancangan skala laboratorium.

1. Deskripsi Alat

Alat *air table* memiliki dimensi 90 cm $\times$ 180 cm, bekerja berdasarkan prinsip perbedaan densitas antara mineral berat dan ringan dengan udara sebagai media pemisah. Udara dialirkan dari blower melalui permukaan meja berpori, menghasilkan stratifikasi partikel serupa prinsip kerja *shaking table* namun tanpa menggunakan air.

2. Ciri khas rancangan ini terletak pada lubang udara berbentuk segi lima (*pentagonal*) yang disusun berselang-seling (*staggered*) sebanyak 200 lubang dengan diameter 8 mm. Desain ini berbeda dari meja konvensional yang umumnya memiliki lubang segi empat sebanyak ± 165 lubang, sehingga diharapkan menghasilkan distribusi udara yang lebih merata dan meningkatkan efisiensi pemisahan.

3. Variabel Operasi

Proses pemisahan dilakukan dengan mengatur beberapa variabel utama, yaitu:

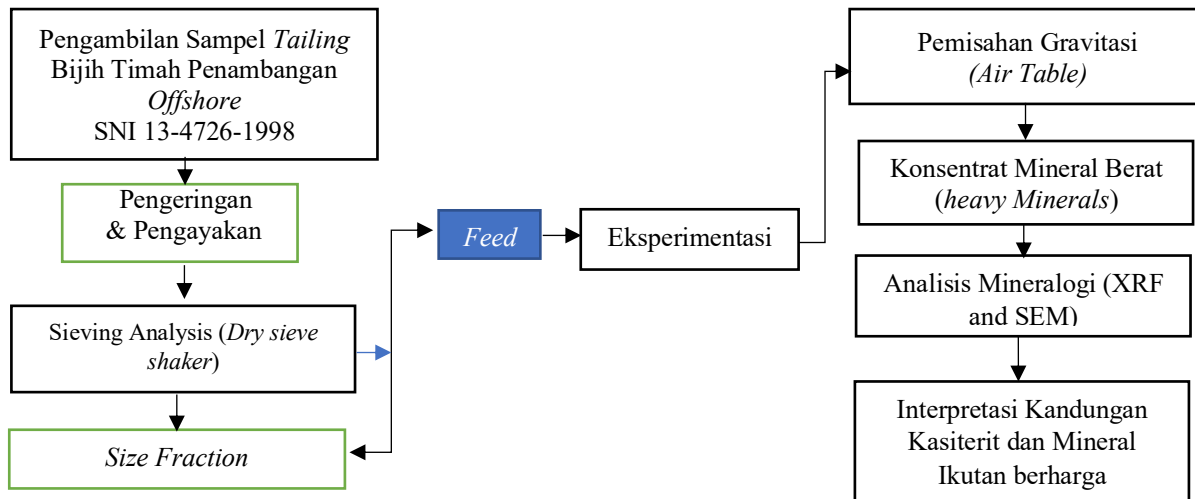
- (1) Kemiringan meja (*deck slope*) – mengatur arah aliran partikel berat dan ringan,
- (2) Panjang dan frekuensi getaran (*stroke*) – diatur pada 120 pukulan per menit (PPM),
- (3) Laju alir udara (*air flow rate*) – dikendalikan melalui blower dengan bukaan 80%, dan
- (4) Pola lubang udara – menggunakan desain *pentagonal staggered* sebagai konfigurasi uji utama.

4. Proses Pemisahan

Aliran udara dari bawah meja menghasilkan stratifikasi partikel berdasarkan perbedaan densitas dan ukuran. Partikel berat seperti kasiterit, monasit, dan thorium terkonsentrasi di bagian bawah (produk konsentrat), sedangkan partikel ringan seperti kuarsa dan mineral pengotor terdorong menuju bagian tailing. Produk hasil pemisahan dibagi menjadi tiga fraksi utama, yaitu:

- (1) Konsentrat (*heavy fraction*),
- (2) *Middling* (*intermediate fraction*), dan
- (3) *Tailing* (*light fraction*).

Setiap fraksi dianalisis untuk menentukan kadar SnO₂ dan perolehan (*recovery*), yang kemudian digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variabel operasi terhadap efisiensi pemisahan (*separation efficiency*).



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

3. PEMBAHASAN

3.1 Analisis Karakteristik Sebaran Ukuran Sampel

Bijih timah (*tin sand*) yang berasal dari Penambangan laut (*offshore*), yang dikumpulkan dari dua lokasi penambangan Kapal Isap Produksi diperaian Sungai Liat. Terlihat dari hasil. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, sampel bijih Timah memiliki warna coklat keputihan, yang mengindikasikan kandungan silika (Si) cukup tinggi sebagai komponen dominan pada material tersebut.

Sampel lapangan terlebih dahulu menjalani beberapa tahap preparasi, meliputi pencucian, pengeringan alami (*air drying*), dan pengayakan (*sieving*). Proses pengayakan dilakukan menggunakan *Sieve Shaker Digital* dengan satu set ayakan berstandar ASTM, yang menghasilkan enam fraksi ukuran partikel, yaitu: +20 mesh, +30 mesh, +50 mesh, +70 mesh, +100 mesh, dan -150 mesh. Hasil analisis sebaran ukuran partikel menggunakan *Sieve Shaker Digital* menunjukkan bahwa material tailing hasil penambangan laut (*offshore*) memiliki **distribusi ukuran yang heterogen**, dengan dominasi fraksi halus hingga menengah. Rentang ukuran yang dianalisis mencakup fraksi +30 mesh, +50 mesh, +70 mesh, +100 mesh, dan -150 mesh, yang secara umum mewakili sebagian besar sebaran material timah hasil operasi **Kapal Isap Produksi (KIP)**.

Secara umum, hasil pengayakan memperlihatkan bahwa:

1. Fraksi +30 mesh

Fraksi ini terdiri atas butiran berukuran relatif kasar, dengan karakter fisik berupa pasir berat bercampur butiran kuarsa besar dan sedikit butiran kasiterit yang masih terikat pada matriks mineral pengotor. Kandungan mineral berat (SnO_2) pada fraksi ini umumnya rendah karena sebagian besar kasiterit telah terlepas dan terdistribusi ke fraksi yang lebih

halus. Persentase massa fraksi ini berkisar antara 10–15% dari total sampel.

2. Fraksi +50 mesh

Fraksi ini menunjukkan mulainya dominasi butiran kasiterit bebas (*liberated grains*) dengan ukuran butir yang masih dapat terlihat secara makroskopik. Kandungan SnO_2 pada fraksi ini meningkat dibandingkan fraksi kasar sebelumnya, dengan estimasi kadar berkisar antara 15–25% SnO_2 . Secara tekstur, mineral kasiterit mulai terpisah dari kuarsa dan mineral ringan lainnya, sehingga fraksi ini termasuk ukuran potensial untuk proses konsentrasi gravitasi.

3. Fraksi +70 mesh

Fraksi ini merupakan ukuran optimum yang menunjukkan keseimbangan antara kadar dan perolehan. Distribusi massa fraksi +70 mesh biasanya mencapai **20–25% dari total**, dengan kadar SnO_2 yang relatif tinggi, berkisar antara **25–35% SnO_2** . Pada fraksi ini, butiran kasiterit umumnya telah terlepas sempurna dari mineral pengotor dan memiliki densitas tinggi, menjadikannya fraksi paling efektif untuk pemisahan berbasis **gravity concentration**, seperti pada penggunaan **shaking table** atau *air table*.

4. Fraksi +100 mesh

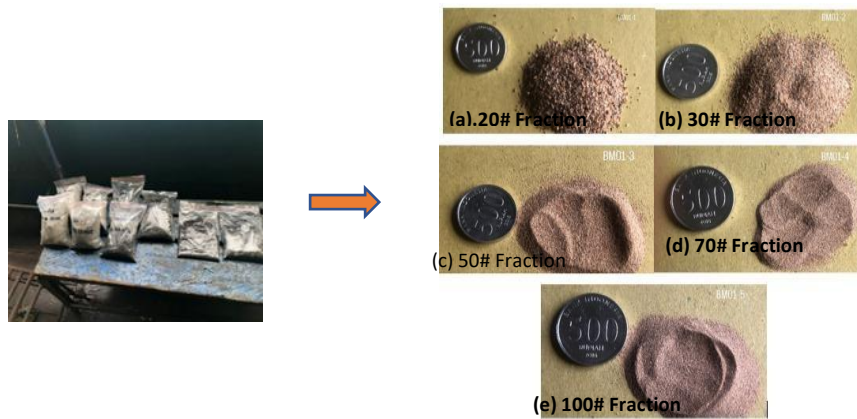
Fraksi halus ini menunjukkan kandungan mineral berat yang masih signifikan, namun mulai bercampur dengan mineral ringan berukuran kecil (kuarsa, feldspar, dan mineral lempung). Kadar SnO_2 menurun sedikit dibandingkan fraksi +70 mesh, berkisar antara **15–20% SnO_2** , dengan persentase massa sekitar **20–30% dari total**. Fraksi ini masih berpotensi untuk proses pemisahan lanjutan dengan kontrol parameter udara atau aliran fluida yang lebih halus.

5. Fraksi -150 mesh

Fraksi ini merupakan **debu halus (fine fraction)** yang memiliki persentase massa relatif kecil, yaitu sekitar **5–10% dari total sampel**. Kandungan SnO_2

pada fraksi ini rendah karena partikel halus cenderung tersuspensi dan terbawa ke aliran tailing pada proses pencucian di KIP. Selain itu, partikel SnO₂ berukuran sangat halus sulit dipulihkan menggunakan metode gravitasi konvensional karena efek *entrainment* dan *drag force* yang dominan. Dengan pertimbangan tersebut, fraksi ukuran +30

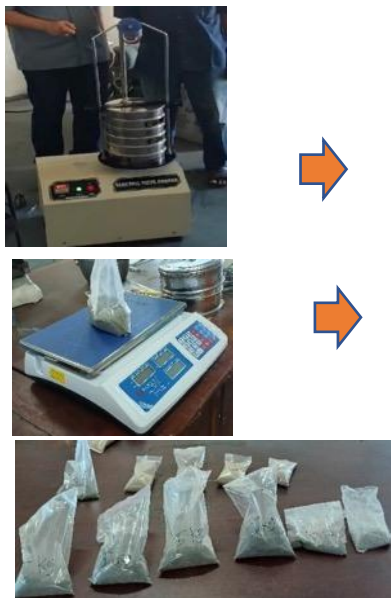
mesh hingga +100 mesh dipilih sebagai sampel representatif untuk tahap karakterisasi mineralogi berikutnya, karena fraksi ini dianggap mewakili sebaran ukuran keseluruhan sampel dan mengandung komponen mineral yang paling relevan untuk evaluasi proses benefisiasi (pemanfaatan/pemurnian mineral) lebih lanjut.



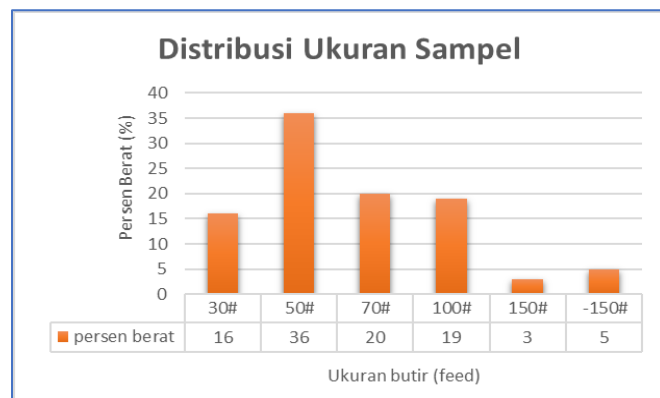
Gambar 4. Sebaran Ukuran Hasil *Sieving Analysis*

Tahapan awal pemisahan dilakukan proses preparasi dimana bijih Timah asal penambangan laut (*offshore*), dimana sampel dari lapangan dilakukan pengeringan pada suhu kamar dan homogenisasi untuk menghindari bias distribusi ukuran dan kandungan mineral. Langkah berikut adalah pengayakan (*sieving*

analysis), dimana sampel disaring Menjadi beberapa fraksi ukuran yaitu 20mesh, 30 mesh, 50 mesh, 70 mesh dan 100 mesh. Optimasi dalam proses ini penting untuk memastikan efisiensi pemisahan berbasis ukuran (*Sizing*) dan densitas.



(a)



(b)

Gambar 5. *Sieving Analysis* Sampel (a) dan Distribusi Sampel Sampel Bijih Timah Offshore (b)

3.2. Eksperimentasi Alat Air Table

Penelitian ini menggunakan **rancangan percobaan faktorial (*factorial design*)** dengan **tiga variabel bebas (*independent variables*)**, masing-masing terdiri dari **tiga level (*taraf*)**. Rancangan faktorial ini dipilih karena memungkinkan analisis pengaruh utama (*main effects*) dan interaksi (*interaction effects*) antar variabel terhadap respons hasil pemisahan, yaitu **kadar (*grade*)** dan **perolehan (*recovery*)** mineral kasiterit (SnO_2). Ketiga variabel utama yang diuji dapat dilihat pada tabel 3.

Variabel Utama yang di Uji adalah Laju alir udara (%), dengan kode variabel (L1), Kemiringan meja ($^\circ$), (K1) dan Ukuran butir (mesh) dengan kode variabel (S1). Setiap kombinasi perlakuan dilakukan satu kali,

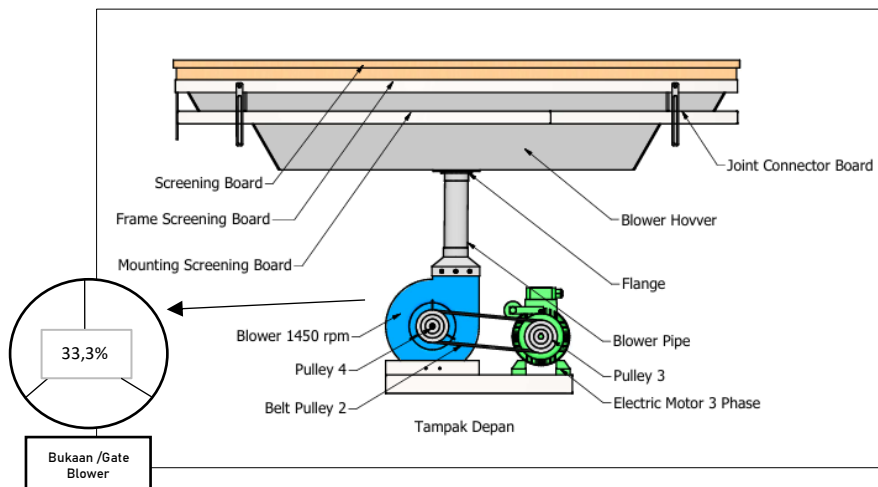
sehingga diperoleh total 27 kombinasi percobaan ($3^3 = 27$ run). Rancangan percobaan ini dapat digambarkan sebagai rancangan faktorial penuh (*Full Factorial Design*). Masing-masing percobaan menghasilkan tiga fraksi produk, yaitu: Konsentrat (C) – fraksi berat yang diharapkan mengandung SnO_2 tinggi, *Middling* (M) – fraksi antara yang berpotensi diregrind atau diolah ulang, dan *Tailing* (T) – fraksi ringan berisi mineral pengotor

Pemisahan dengan alat *air table* pengaturan alat *air table* dilakukan agar proses pemisahan dapat berlangsung efektif dan efisien menghasilkan perolehan Konsentrat yang optimal.

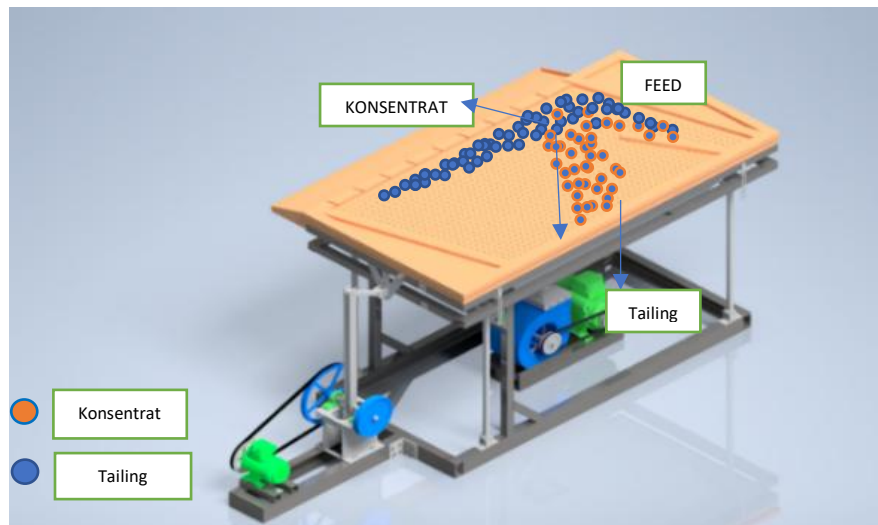
Hasil preparasi yaitu berukuran 50mesh dan 70mesh dengan pertimbangan ukuran tersebut lebih banyak yang bisa ditangkap pada proses pengayakan.



Gambar 6. Instalasi dan Desain Prototipe Alat *Air Table*



Gambar 7. Bagian-bagian penting alat *air table* (b)



Gambar 8. Desain Prototipe Alat Air Table (b) dan Skema Pemisahan diatas Deck (b)

3.3. Rancangan dan Hasil Eksperimentasi /Percobaan

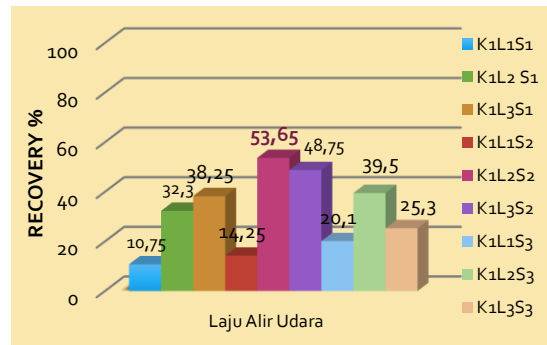
Tahapan eksperimentasi proses pemisahan menggunakan alat *air table* dilakukan sebanyak 27 kali percobaan dengan 27 kombinasi variabel yang berbeda – beda. Variabel penting yang digunakan Dalam eksperimen yang mempengaruhi pemisahan mineral bijih Timah dengan pengotornya antara: Kemiringan (K1), laju Alir Udara (L1) dan ukuran (S). Prosedur pengolahan bijih Timah menggunakan alat air table adalah sebagai berikut:

(1) Berat Sampel Bijih Timah seberat 1000 gram dan waktu eksperimen selama 30 menit.

- (2) Menyiapkan dan menimbang umpan (*feed*) yang dibagi menjadi 3 ukuran butir yaitu : 30mesh, 50 mesh, dan 70 mesh. Berat sampel yang digunakan adalah 1000 gram
- (3) Mengatur kemiringan *deck* Secara manual dengan variabel yang telah ditentukan (4,27°, 5,60°, 6,52°).
- (4) Mengatur dan mengatur aliran udara dengan mengukur aliran maksimal udara yang berhembus keatas deck dan mengatur bukaan panel penutup mesin *blower* sesuai dengan variabel yang telah ditentukan (33,3 %, 60,95 %, dan 79,6 %).

Tabel 7. Hasil eksperimentasi dengan Laju Alir Udara 12m³/detik (bukaan blower 35,3%)

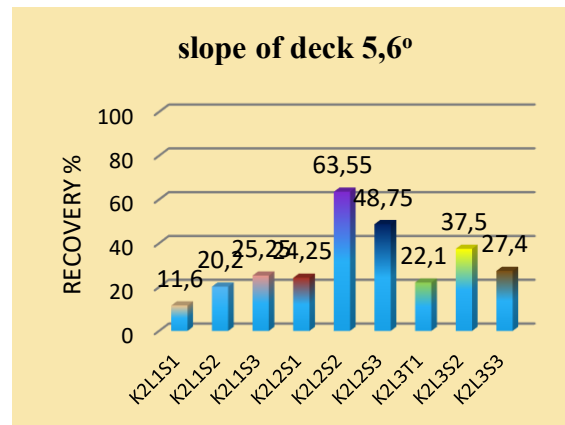
No.	Laju Alir Udara m ³ /detik	Bukaan (Gate blower) (%)	Slope of deck (K)	Ukuran (mesh) (S)	Kombinasi Variabel	Konsentrat (gram)	Recovery (%)
1			4,27°	30	L1K1S1	107,5	10,75
2			4,27°	50	L1K2S1	323,5	32,3
3			4,27°	70	L1K3S1	382,5	38,25
4			5,60°	30	L1K1S2	142,5	14,25
5	12	33,3	5,60°	50	L1K2S2	536,5	53,65
6			5,60°	70	L1K3S2	487,5	48,75
7			6,50	30	L1K1S3	201,5	20,1
8			6,50	50	L1K2S3	395,3	39,5
9			6,50	70	L1K3S3	253,5	25,3



Gambar 9. Pengaruh laju alir udara terhadap recovery bijih timah

Tabel 7. Hasil eksperimentasi dengan Laju Alir Udara 17m³/detik (bukaan blower 60,95%)

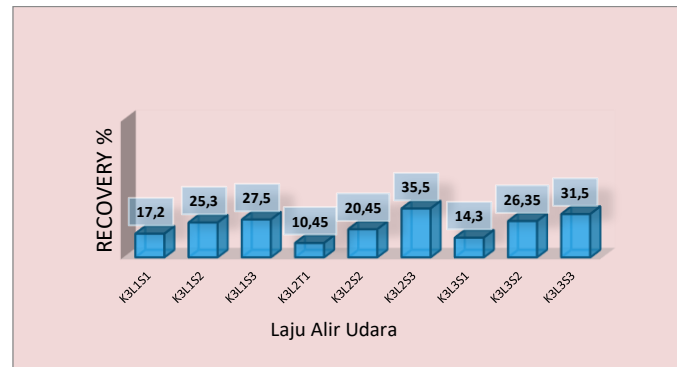
No.	Laju Alir Udara m³/detik	Bukaan (Gate blower) (%)	Slope of deck (K)	Ukuran (mesh) (L)	Kombinasi Variabel	Konsentrat (gram)	Recovery (%)
1			4,27°	30	L1K1S1	116	11,60
2			4,27°	50	L1K2S1	202,5	20,2
3			4,27°	70	L1K3S1	382,5	25,25
4	17	60,95	5,60°	30	L1K1S2	242,5	24,25
5			5,60°	50	L1K2S2	635,5	63,55
6			5,60°	70	L1K3S2	487,5	48,75
7			6,50	30	L1K1S3	221,2	22,1
8			6,50	50	L1K2S3	375	37,5
9			6,50	70	L1K3S3	274,1	27,4



Gambar 10. Pengaruh laju alir udara terhadap recovery bijih Timah

Tabel 7. Hasil eksperimentasi dengan Laju Alir Udara 21m³/detik (bukaan blower 79,65%)

No.	Laju Alir Udara m³/detik	Bukaan (Gate blower) (%)	Slope of deck (K)	Ukuran (mesh) (L)	Kombinasi Variabel	Konsentrat (gram)	Recovery (%)
1			4,27°	30	L1K1S1	107,5	17,2
2			4,27°	50	L1K2S1	323,5	25,3
3			4,27°	70	L1K3S1	382,5	27,5
4			5,60°	30	L1K1S2	142,5	10,45
5	22	79,65	5,60°	50	L1K2S2	536,5	20,45
6			5,60°	70	L1K3S2	487,5	35,5
7			6,50	30	L1K1S3	201,5	14,3
8			6,50	50	L1K2S3	395,3	26,35
9			6,50	70	L1K3S3	253,5	31,5

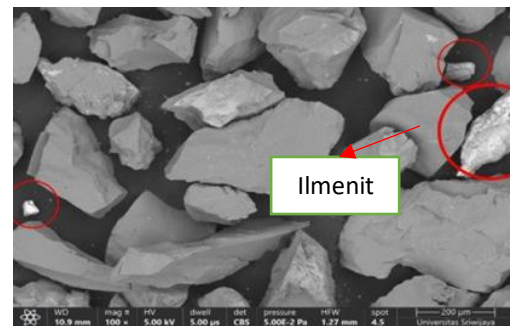


Gambar 11. Pengaruh laju alir udara terhadap recovery bijih Timah

3.4. Analisis Mikrostruktur (SEM) and XRF Mineral Bijih timah

Berdasarkan analisis SEM, distribusi kasiterit (SnO_2) dalam fraksi sampel dikuantifikasi sebagai berikut: 30 mesh: 5%; 50 mesh: 8%; 100 mesh: 7% dan 150 mesh: 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa monasit paling terkonsentrasi pada fraksi 50 mesh dan 100 mesh, menjadikannya yang paling signifikan untuk upaya pemulihan lebih lanjut. Secara paralel, pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) mengonfirmasi keberadaan monasit dan mineral terkait lainnya. Spektrum sinar-X menunjukkan deteksi yang jelas dan efektif, terutama pada fraksi 70 mesh dan 100 mesh.

Berdasarkan analisis SEM, distribusi kasiterit (SnO_2) dalam fraksi sampel dikuantifikasi sebagai berikut: 30 mesh: 5%; 50 mesh: 8%; 100 mesh: 7% dan 150 mesh: 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa kasiterit (SnO_2) dan mineral Ilmenit (FeTiO_2) paling terkonsentrasi pada fraksi 50 mesh dan 100 mesh. Secara paralel, pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) mengonfirmasi keberadaan monasit dan mineral terkait lainnya. Spektrum sinar-X menunjukkan deteksi yang jelas dan efektif, terutama pada fraksi 70 mesh dan 100 mesh, yang menunjukkan bahwa rentang ukuran ini sangat penting untuk identifikasi dan pemisahan mineral yang mengandung logam tanah jarang (Gambar 12).



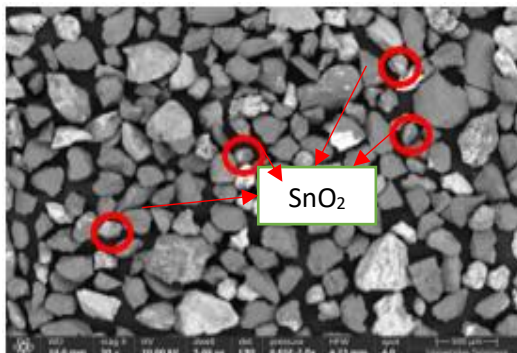
(b)

Gambar 12. Mikrostruktur Distribution Mineral Bijih Timah Kasiterit / SnO_2 (a) dan Mineral Ikutan (Ilmenit)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan 27 kali hasil percobaan pada laju alir udara yang terlalu tinggi $22 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada kemiringan $6,5^\circ$ kurang optimal. Sebaiknya menggunakan dengan laju alir $17 \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan bukaan gate 60,95% dan kemiringan $5,6^\circ$ atau lebih kecil pada alat *air table*. Proses pengolahan bijih timah dengan berukuran 50mesh dan 70mesh dengan teknologi *air table* skala Laboratorium menggunakan beberapa variable yaitu: kemiringan meja (*slope deck*) dengan variasi $4,27^\circ$, $5,6^\circ$ dan $6,5^\circ$, berat sampel (*feed*) dan waktu proses pengolahan. Pengolahan dengan teknologi *air table* ini sangat dipengaruhi oleh gaya dorong, dimana semakin tinggi kemiringan meja (*slope deck*) gaya dorong akan semakin besar.

Berdasarkan hasil penelitian dari 27 percobaan dengan masing-masing tiga kemiringan untuk memperoleh *recovery* dan kadar yang lebih optimal dimana *recovery* paling Hasil menunjukkan perolehan tertinggi 63,55% pada kemiringan $5,60^\circ$ dan laju udara 60,95% ($17 \text{ m}^3/\text{detik}$), serta perolehan terendah 7,6% pada kemiringan $5,20^\circ$ dan laju udara 33,3% ($12 \text{ m}^3/\text{detik}$). Hal ini menunjukkan laju udara yang besar akan berpengaruh terhadap ukuran sampel dimana



(a)

ukuran yang relative halus akan terlempar lebih jauh sehingga perolehan rendah. Begitu juga terhadap kemiringan meja (*slope of deck*) yang terlalu miring (*critical slope*) akan berpengaruh jauh mineral berharga kea rah banyak menyebabkan recovery rendah.

Berdasarkan hasil regresi non-linier polinomial kuadratik, kadar dan *recovery* optimal diperoleh pada kemiringan 5,6° dengan kadar konsentrat 4,99% dan *recovery* konsentrat 97,44%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Bapak Ryan Sebagai general manager dan Firdaus Kepala Badan Pengolahan Mineral (BPM) PT.Timah Tbk selaku pembimbing di lapangan dan sampling di Kapal Isap Produksi (KIP) PT. Timah Tbk, dan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam Penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abraham A. Adeleke, 2023., Mineral Processing Technology-A Concise Introduction 1st Edition Pub. LocationBoca Raton ImprintCRC Press DOI <https://doi.org/10.1201/9781003323433>, pages 324 eBook ISBN9781003323433
- [2]. Alvionita, AF 2021. REE Geochemical Study on Mining Front and Tailings of Plaster Tin Mines in the Region IUP PT Timah Tbk Bangka Island. Thesis. Mining Engineering: Hasanuddin University.
- [3].Balasubramanian, G., & Mut Hukum-araswamy, S. A. (2016). On the empirical study of elemental analysis and metal testing using XRF spectrum analysis algorithm. International Journal of Engineering and Applied Sciences, 3(1), 61–67.
- [4]. Binder, H. H. (1999). Lexikon der Chemis-chen Elemente: das perioden- system in Fakten, Zahlen und Daten. Cahyo F.A. (2015). Rare Earth Minerals (REE): The Future of World Plaster Deposits. Geopangea Indonesian Research Group.
- [5]. Castor, SB and Hedrick, JB (2006) Rare Earth Elements. Industrial Minerals Volume, 7th Edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, Colorado, 769-792.
- [7]. Craig, J.R., & Vaughan, D.J. (1994). ORE microscopy and Ore petrography. Wiley-Interscience. Ercit, T.S. (2005). REE-Enriched Granitic Pegmatites (Vol. 17, pp. 175–199).
- [8]. Falconer, A. (2003). Gravity Separation: Old Technique/New Methods. Physical Separation in Science and Engineering, 12(1), 31– 48.
- [9]. A. Gupta and D.S. Yan. 2023, Mineral Processing Design and Operation Seconf Edition, , <https://www.sciencedirect.com/book/9780444516367> - Pages 691-693 Elsevier 2023
- [10]. Goldstein, JI, Newbury,DE,Michael,JR, X-Richie, NWM, Scott, JHJ, & Joy, D.C. (2018).
- [11]. Scanning electron microscopy and X Ray Micro-Analysis (2018). In Springer eBooks.
- [12]. Herman, DP 2015. Potential of Cassiterite and Ilmenite Minerals in Former Tin Mining Areas Bangka (Potency of Cassiterite and Ilmenite Mineral at Ex-Tin Mine Area Bangka). Promine Journal. 3(2): 30-41.
- [13]. Imam Purwadi, Peter D. Erskine, · Benny P. H, Tofan R. Wijaya, Eddy N. ,Antony van der Ent. (2024). Rare earth elements (REEs) in soils and plants of Bangka Island (Indonesia) focussing on (hyper)accumulation, Jurnal Plant Soil, Springer ebook Link <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06735-2>
- [14]. Irzon, R., Sendjadja, P., Kurnia, K., Imtiyahan,I., & Soebandrio, J. (2017). Contains Rare Earth Elements In Tin Mine Tailings on Singkep Island. Journal of Geology and Mineral Resources, 15(3),143–151.
- [15]. Jamaluddin, J., & Umar, EP (2018). Identification of the Metal Element Content of Rocks Using Methods XRF (X-Ray Flourescence) (Case Study: Buton Regency). Geoelebes Journal.
- [16]. Kepmen ESDM No 296.K/MB.01/ MEM.B /2023 tentang Penetapan Jenis Komoditas Yang Tergolong Dalam Klasifikasi Mineral Kritis.
- [17]. Karol Zglinicki 1,* , Krzysztof Szamalek 1,2 and Stanisław Wołkowicz (2021). Critical Minerals from Post- Processing Tailing. A Case Study from Bangka Island, Indonesia ., Jurnal minerals MDPI, Vol.11/issue4 352; <https://doi.org/10.3390/min11040352>
- [18]. Kelly EG, Spottiswood DJ, (1982). Introduction to Mineral Processing, Wiley, New York.
- [19]. Kinnaird, Nex., and Milani., Lorenzo. (2016). Tin in Africa. EGRI. School of Geosciences, University of the Witwatersrand.
- [20]. Klein, C., Dana, J.D., & Hurlbut, C.S. (1985). Manual of Mineralogy: (after James D. Dana). John & Wiley Lubis. IA (2017). Alluvial Tin Mining Techniques. PT Timah,Tbk Kusuma, I. G. N., et al. (2020). Tailing Timah sebagai Sumber Sekunder Mineral Berat di Bangka Belitung. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, 16(1), 45–52
- [21]. Oliver, GJH, Ghani, A.A., and Chang, S. (2017):Late Triassic granites from Bangka, Indonesia: A continuation of the Main Range granite province of the South East Asian Tin Belt, Journal of Asian Earth Sciences, 138, 548-561.
- [22]. PT Timah, Tbk. (2020). PT Timah, Tbk Press Release. Pemali: PT Timah Education and Training Center
- [23]. PUSDATIN ESDM (2017): Study of the Potentialof Associated Minerals in Tin Mining.
- [26]. Rodliyah, I., Rochani, S., & Wahyudi, T. (2015).Extraction Of Rare Earth Metals From Monazite Mineral Using Acid Method. Indonesian Mining Journal, 18(1), 39–45.