

OPTIMALISASI ALAT INDUCED ROLL MAGNETIC SEPARATOR (IRMS) UNTUK MEMISAHKAN MINERAL ILMENIT DI UNIT PENGOLAHAN PT TIMAH Tbk

(OPTIMIZATION OF INDUCED ROLL MAGNETIC SEPARATOR (IRMS) TO SEPARATE ILMENIT MINERAL IN UNIT PENGOLAHAN PT TIMAH Tbk)

Novinda Tiara Ayu^{1*}, Janiar Pitulima¹, Guskarnali¹
¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

* Korespondensi E-mail: novindatiaraayu@gmail.com

Abstrak

Bidang Pengolahan Mineral melakukan pemisahan mineral kasiterit dan ilmenit berdasarkan sifat kemagnetan menggunakan *Induced Roll Magnetic Separator*. Permasalahan pada penelitian adalah pengolahan yang kurang optimal, pemisahan mineral dilakukan lebih dari satu kali proses untuk memenuhi syarat penyimpanan ilmenit dengan kadar $\geq 86\%$. Tujuan dilakukannya penelitian adalah mengetahui optimalisasi pengolahan mineral berdasarkan pengaturan variabel alat IRMS. Penelitian dilakukan pengaturan kuat arus dan bukaan splitter sebanyak 20 pengujian. Pengaturan kuat arus yang digunakan yaitu 9 A, 11 A, 13 A dan 15 A. Pengaturan bukaan splitter digunakan yaitu 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm. Umpan digunakan untuk 20 pengujian adalah *middling Air Table* dengan berat 863 kg untuk setiap pengujian. Pengambilan sampel dilakukan pada sampel umpan dan konsentrat, sebanyak satu sampel umpan dan 20 sampel konsentrat di uji dengan *Analisis Grain Counting Analysis*. Hasil pengujian sampel menunjukkan karakteristik fisik umpan tergolong butir halus dengan komposisi mineral terdiri dari; kasiterit, ilmenit, monasit, pirit, zirkon, turmalin, kuarsa dan siderit, dengan kadar mineral ilmenit 55,81% dan kadar Sn 6,57%. Hasil optimal pemisahan mineral ilmenit menggunakan IRMS pada pengujian ke-15 dengan kuat arus 13 A dan bukaan splitter 5 cm, diperoleh kadar mineral ilmenit sebesar 87,20%, dan *recovery* mineral ilmenit 34,99%.

Kata kunci: IRMS, Mineral Ilmenit, Pengolahan

Abstract

Bidang Pengolahan Mineral separates cassiterite and ilmenite minerals by their different magnetic properties using Induced Roll Magnetic Separator. The problem is the processing is less than optimal, because mineral separation carried out more than one process for fulfill storage requirements of ilmenite with content of $\geq 86\%$. The aim research to find out optimization processing based on variabel setting of IRMS. The research conducted combination of current strength and splitter opening in 20 trials. Current strength setting sused are 9 A, 11 A, 13 A and 15 A. Splitter opening setting 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm and 5 cm. The feed used 20 experiments was middling Air Table 863 kg for experiment. Samples tested by Grain Counting Analysis are one feed sample and 20 concentrate samples. The results sampletesting showed physical characteristic of feed classified as fine grain size with mineral composition consisting; caasiterite, ilmenite, monazite, pyrite, zircon, tourmaline, quartz and siderite, with an ilmenite mineral content 55,81% and a Sn content 6,57%. The optimal results of using IRMS found by combination current strength of 13 A and splitter opening 5 cm, the ilmenite mineral content obtained is 87,20%, and the ilmenite mineral recovery obtained is 34,99%.

Keywords: IRMS, Ilmenite Mineral, Processing

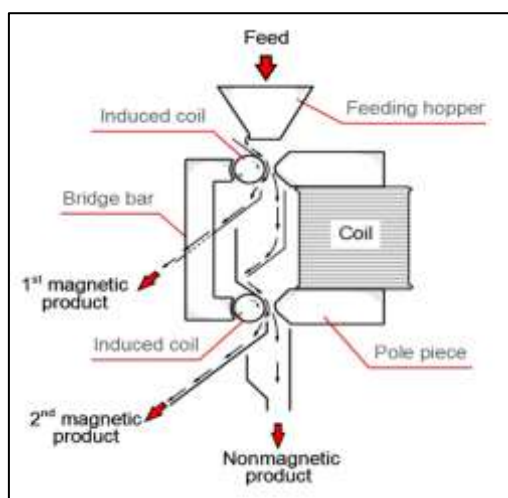
1. Pendahuluan

Unit Pengolahan PT Timah Tbk memiliki beberapa bidang, salah satunya Bidang Pengolahan Mineral (BPM) yang berperan dalam mengatur dan melakukan pengolahan bijih timah untuk mendapatkan mineral timah serta mineral ikutan lainnya sehingga dapat dijual atau dimanfaatkan lebih lanjut di masa mendatang. Salah satu mineral ikutan yang dapat dimanfaatkan adalah mineral *ilmenite*. Mineral

ilmenite (FeTiO_3) juga banyak dimanfaatkan untuk diambil titanium dioksida (TiO_2) nya, merupakan semi konduktor anorganik yang telah banyak digunakan sebagai penunjang kebutuhan manusia diantaranya sebagai bahan baku cat, industri kertas dan plastik (Nayl, dkk., 2009). *Ilmenite* di Indonesia sangat melimpah sebagai hasil produk samping pengolahan bijih timah di Pulau Bangka serta mengandung mineral yang lebih kompleks dari pada *ilmenite* Australia (Firdiyono, 2003).

Pengolahan bahan galian merupakan suatu proses pemisahan mineral berharga dari mineral tidak berharga yang dilakukan secara mekanis menghasilkan produk yang kaya mineral berharga dan produk yang mineralnya berkadar rendah (Tobing, 2002). Proses pengolahan yang ada di Bidang Pengolahan Mineral (BPM) ada dua macam proses yaitu proses basah dan proses kering. Proses kering yang dilakukan untuk memisahkan berbagai macam mineral ikutan berdasarkan sifat fisiknya untuk memperoleh kadar timah maupun mineral ikutan tertentu yang diinginkan. Metode pengolahan

tertentu diperlukan sehingga dapat meningkatkan kadar mineral-mineral tertentu sesuai sifat fisik atau kimia yang sama (Anthony, dkk., 2000). Salah satu metode pemisahan mineral dengan proses kering yang digunakan adalah berdasarkan perbedaan sifat fisik kemagnetannya dengan metode *Magnetic Separation* (berdasarkan sifat kemagnetan) menggunakan alat pemisahan Induced Roll Magnetic Separator (IRMS). IRMS biasanya berfokus untuk memisahkan mineral *ilmenite* (magnet) dari timah (non magnet).



Gambar 1. *Induced Roll Magnetic Separator (IRMS)* (Wills, 2016)

Magnetic Separator yang secara luas digunakan untuk memisahkan mineral paramagnetik dari mineral lain, seperti kuarsa, feldspar, kasiterit, dan mineral non magnet lainnya (Chunma, 2008). Alat Induced Roll Magnetic Separator (IRMS) dapat meningkatkan kadar bijih timah dengan memisahkan mineral ikutan yang bersifat magnet yang terdiri dari *ilmenite*, *monazite*, *xenotime* dan *hematite*. Mineral *ilmenite* (FeTiO_3) memiliki kuat medan magnet lebih besar dari mineral *monazite*, *xenotime* dan *hematite* yaitu dengan nilai suseptibilitas $1,50 \times 10^{-3} \text{cm}^3/\text{g}$, sehingga dalam proses pemisahan mineral *ilmenite* menggunakan alat IRMS dengan kuat arus yang besar dapat menimbulkan medan magnet yang besar pula sehingga mudah untuk memisahkan mineral *ilmenite* dari mineral pengotor lainnya yang bersifat non magnet. Setiap mineral memiliki nilai suseptibilitas magnet yang berbeda, dimana mineral paramagnetik memiliki nilai suseptibilitas magnet positif, sedangkan mineral diamagnetik memiliki nilai suseptibilitas magnet nol dan negatif (Wills, 2011). Nilai suseptibilitas magnet mineral yang sama kemungkinan berbeda jika berbeda batuan induk (*source rock*) maupun ukuran butir (Drzymala, 2007).

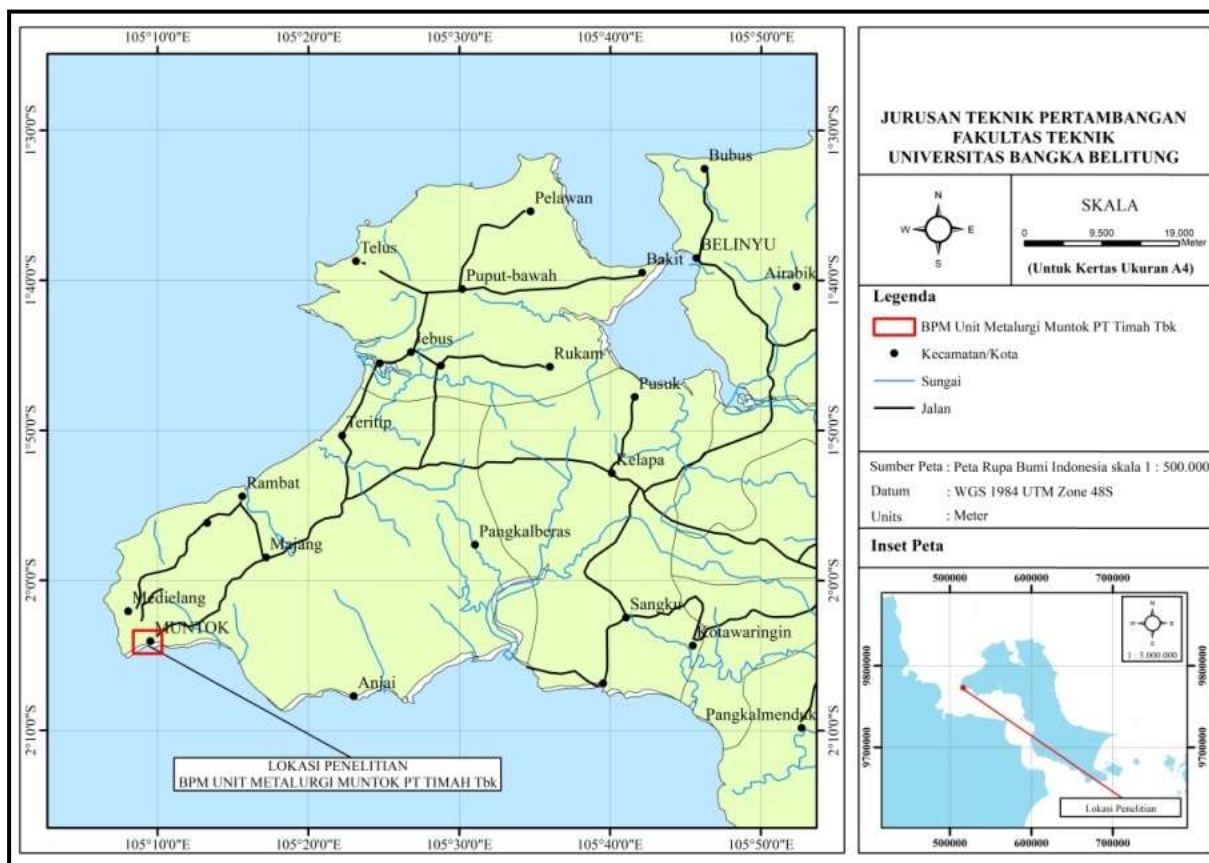
Standar mineral *ilmenite high grade* menurut Bidang Pengolahan Mineral, Unit Pengolahan PT Timah Tbk agar dapat masuk langsung ke gudang adalah kadar $> 86\%$. *Feed* yang diolah menggunakan alat IRMS adalah *middling Air Table* yang memiliki kadar mineral *ilmenite* 55.81%. Sejauh ini, berdasarkan hasil produksi alat IRMS di Bidang Pengolahan Mineral didapatkan mineral *ilmenite* dengan kadar sebesar $\pm 78,51\%$. Kadar mineral *ilmenite* yang belum mencapai kategori *high grade* biasanya akan diolah kembali, sehingga hal ini menjadikan pengolahan yang dilakukan kurang efektif dan efisien.

Kurang optimalnya kadar mineral *ilmenite* hasil pengolahan alat IRMS disebabkan oleh pengaturan variabel yang belum tepat. Kuat arus dan bukaan splitter merupakan beberapa variabel pada alat Induced Roll Magnetic Separator (IRMS) untuk mengoptimalkan produk hasil pengolahan mineral *ilmenite*. Berdasarkan penjabaran di atas, maka akan dilakukan penelitian terkait pengujian kombinasi variabel alat IRMS sehingga dapat meningkatkan serta mengoptimalkan kadar mineral *ilmenite* yang diperoleh (hasil proses pengolahan memperoleh kadar mineral *ilmenite* $> 86\%$).

2. Metode

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Bidang Pengolahan Mineral (BPM) Unit Pengolahan PT Timah Tbk, Kecamatan Muntok, Kabupaten Bangka Barat, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Lokasi penelitian secara geografis terletak pada koordinat 2°04'22,5" Lintang Selatan dan 105°10'44,8" Bujur Timur dengan batas wilayah sebelah utara adalah Laut

Natuna, sebelah timur adalah Kabupaten Bangka, sebelah selatan adalah Selat Bangka serta sebelah barat adalah Selat Bangka. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif penelitian ini yakni metode yang menyediakan data sehingga dapat diukur dan dianalisis secara statistik.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian selama berada di Bidang Pengolahan Mineral Unit Pengolahan PT Timah Tbk meliputi tahapan yang runut, sehingga diharapkan dapat dilakukan penyelesaian masalah secara lebih baik dan terarah. Pelaksanaan penelitian akan dilakukan dengan urutan studi literatur, pengamatan lapangan, pengumpulan dan validasi data, dan pengolahan data serta analisis data.

Studi literatur berkaitan dengan alat IRMS yang digunakan baik itu berasal dari instansi yang terkait atau pusaka berupa buku, skripsi, jurnal serta data penunjang lainnya yang berkaitan dengan alat IRMS. Pengamatan lapangan yang dilakukan berupa wawancara atau diskusi dengan para karyawan setempat mengenai pemisahan mineral *ilmenite* menggunakan alat *Induced Roll Magnetic Separator* (IRMS) di Bidang Pengolahan Mineral

Unit Pengolahan PT Timah Tbk yang diperlukan untuk memenuhi parameter yang telah ditentukan berdasarkan tujuan penelitian. Pengumpulan dan validasi data berkaitan dengan data yang akan dikumpulkan dalam penelitian di Amang Plant Unit Pengolahan PT Timah Tbk berkaitan dengan proses pemisahan mineral *ilmenite* dengan alat *Induced Roll Magnetic Separator* (IRMS) pada saat pengamatan lapangan sebagai data primer dan data-data pendukung sebagai data-data sekunder, maupun informasi yang didapatkan dari perusahaan atau pihak-pihak terkait. Pengolahan dan analisis data berkaitan dengan deskripsi komposisi mineral pada *feed* dan *output* hasil pengamatan dengan metode *Grain Counting Analysis* (GCA), perhitungan kadar dan *recovery* mineral *ilmenite* dihitung secara matematis dengan rumus :

1. Rumus Kadar Mineral (Wills, 2006):

$$Gm = mC/F$$

Keterangan :

Gm = Kadar mineral (%)

mC = Berat mineral dalam sampel (kg)

F = Berat umpan (kg)

2. Rumus Nilai Recovery Mineral (Wills, 2006):

$$R (\%) = (k.K) / (f.F) \times 100\%$$

Keterangan :

K = Berat Konsentrat (ton atau kg)

F = Berat umpan/ feed (ton atau kg)

k = Kadar berat logam dalam konsentrat (%)

f = Kadar berat logam dalam umpan/feed (%)

3. Hasil dan Pembahasan

Magnetic separator secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan kuat medan magnet yang dihasilkan, yaitu *Low Intensity Magnetic Separator* dan *High Intensity Magnetic Separator* (Maurice, 2003). IRMS termasuk dalam High Intensity Magnetic Separator karena medan magnet yang dihasilkan magnetic separator jenis ini menggunakan electromagnet yang dipengaruhi oleh besarnya kuat arus yang diberikan. IRMS memiliki beberapa parameter atau variabel yang dapat di-

setting untuk mengoptimalkan kadar dan perolehan mineral yang diinginkan. Penelitian ini mineral yang ingin di optimalkan kadar adalah berfokus ke mineral *ilmenite*, dengan variabel yang dirubah dan dikombinasikan adalah kuat arus dan bukaan splitter. Variabel kuat arus divariasikan sebanyak 4 variasi (9A, 11A, 13A dan 15A) sedangkan variabel bukaan splitter divariasikan sebanyak 5 variasi (1cm, 2cm, 3cm, 4cm dan 5cm).

Komposisi Mineral pada Umpan (Feed)

Feed yang digunakan dalam penelitian ini adalah *middling* dari Air Table. Untuk mengetahui mineral-mineral yang terdapat pada *feed* dilakukan analisis mineral dengan metode *Grain Counting Analysis* (GCA) menggunakan mikroskop. Komposisi umpan perlu diketahui, sehingga memudahkan pengaturan variabel alat IRMS pada pengujian yang hendak dilakukan. *Feed* awal yang digunakan dalam penelitian ini adalah 863 kg dan kadar mineral *ilmenite* pada *feed* 55,81%. Sampel *feed* yang telah dilakukan difraksi menjadi 5 fraksi dengan menggunakan alat sieve shaker, selanjutnya dilakukan analisa mikroskop menggunakan metode *Grain Counting Analysis* (GCA) untuk mengidentifikasi mineral-mineral yang terkandung dalam *feed* dan kadar mineral di setiap fraksi. Adapun persen berat yang diperoleh dari *feed* berdasarkan metode GCA yang telah dilakukan sebagai berikut ini.

Tabel 1. Persen Berat Asal Mineral *Feed* tiap Fraksi

No	Mineral	Persen Berat Asal (%)					Jumlah (%)
		Mesh 20	Mesh 50	Mesh 70	Mesh 100	Mesh -100	
1	<i>Cassiterite</i>	-	0,49	0,90	1,52	5,51	8,42
2	<i>Ilmenite</i>	-	5,32	19,18	17,13	14,18	55,81
3	<i>Monazite</i>	-	0,24	1,20	6,29	8,35	16,26
4	<i>Pyrite</i>	-	0,32	-	1,52	0,79	2,63
5	<i>Zirkon</i>	-	-	-	0,52	10,40	10,92
6	<i>Tourmaline</i>	-	0,12	0,13	-	-	0,25
7	<i>Quartz</i>	-	1,07	2,61	1,05	0,79	5,52
8	<i>Siderite</i>	-	0,19	-	-	-	0,19
	Jumlah	-	7,75	24,02	28,03	40,2	100

Pengaturan Variabel Alat IRMS yang Optimal

Proses pemisahan mineral magnet dan mineral non magnet pada kegiatan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat IRMS. *Feed middling* Air Table di dalam countainer yang telah dilakukan sampling akan diolah dengan alat IRMS, kemudian produk yang di peroleh dari pengolahan alat IRMS terdiri dari produk magnet, produk *middling* dan produk non magnet. Proses pengolahan dengan alat IRMS yakni untuk memisahkan antara mineral yang

bersifat magnet dan non magnet. Penelitian ini dilakukan 20 pengujian sampel kombinasi proses pemisahan mineral menggunakan alat IRMS dengan variabel kuat arus dan bukaan splitter. Variabel kuat arus dan bukaan splitter dilakukan kombinasi, yaitu empat variasi kuat arus dan lima variasi bukaan splitter. Pengaturan variabel kuat arus alat IRMS yang digunakan yaitu pada tegangan 9 A, 11 A, 13 A dan 15 A. Pengaturan variabel bukaan splitter dilakukan pada splitter yaitu dengan bukaan splitter 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4

cm dan 5 cm. Adapun untuk hasil pengolahan kadar mineral *ilmenite* dari alat IRMS ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Perolehan Kadar Mineral *Ilmenite*

Pengujian Ke-	Kuat Arus (A)	Bukaan Splitter (cm)	Kadar <i>Ilmenite</i> Umpan (%)	Kadar <i>Ilmenite</i> Magnet (%)	Kadar <i>Ilmenite Middling</i> (%)	Kadar <i>Ilmenite Non Magnet</i> (%)
1	9	1	55,81	61,46	45,73	10,93
2	9	2	55,81	62,75	55,99	8,53
3	9	3	55,81	63,33	44,43	24,38
4	9	4	55,81	63,84	52,89	16,42
5	9	5	55,81	66,00	37,07	8,25
6	11	1	55,81	76,06	62,16	5,15
7	11	2	55,81	76,54	68,18	19,97
8	11	3	55,81	76,73	53,36	18,04
9	11	4	55,81	77,14	59,43	22,47
10	11	5	55,81	77,70	50,99	8,82
11	13	1	55,81	77,97	69,86	5,95
12	13	2	55,81	82,54	73,86	13,98
13	13	3	55,81	82,70	61,04	13,74
14	13	4	55,81	85,39	61,83	3,19
15	13	5	55,81	87,20	68,42	7,04
16	15	1	55,81	66,72	59,55	34,39
17	15	2	55,81	68,78	42,32	10,24
18	15	3	55,81	73,48	55,28	18,57
19	15	4	55,81	73,99	38,77	12,12
20	15	5	55,81	76,02	64,88	19,00

Dari 20 pengujian yang telah dilakukan pemisahan mineral *ilmenite* dengan alat IRMS didapatkan kadar mineral *ilmenite* yang bervariasi. Hasil pengujian terhadap *feed middling* Air Table dengan kadar mineral *ilmenite* sebesar 55,81% menunjukkan bahwa pengujian ke-1 dengan menggunakan variabel kuat arus 9 A dan bukaan splitter 1 cm menghasilkan kadar mineral *ilmenite* paling rendah sebesar 61,46%, sedangkan untuk pengujian dengan kadar mineral *ilmenite* paling tinggi sebesar 87,20% pada pengujian ke-15 dengan menggunakan variabel kuat 13 A dan bukaan splitter 5 cm.

Penentuan Nilai *Recovery* Mineral *Ilmenite*

Perhitungan untuk mendapatkan perolehan *recovery* mineral *ilmenite* dapat dilakukan apabila telah diketahui berat dari *feed* dan berat dari *output* pada produk magnet. Menghitung nilai *recovery* dari mineral *ilmenite* didapatkan dari hasil perhitungan antara kadar *feed*, kadar mineral *ilmenite* produk, berat *feed* dan berat mineral *ilmenite* produk yang diperoleh. Adapun nilai *recovery* mineral *ilmenite* yang diperoleh dari pengolahan dengan alat IRMS.

Tabel 3. Perolehan Kadar dan *Recovery* Mineral *Ilmenite*

Uji Ke-	Kuat Arus (A)	Bukaan Splitter (cm)	Berat <i>Feed</i> Awal (kg)	Kadar <i>Ilmenite</i> Umpan (%)	Kadar <i>Ilmenite</i> Magnet (%)	Berat Magnet (kg/jam)	<i>Recovery</i> Mineral <i>Ilmenite</i> (%)
1	9	1	863	55,81	61,46	553,201	70,59
2	9	2	863	55,81	62,75	528,003	68,79
3	9	3	863	55,81	63,33	509,366	66,97
4	9	4	863	55,81	63,84	498,448	66,06
5	9	5	863	55,81	66,00	464,911	63,70
6	11	1	863	55,81	76,06	332,682	52,53
7	11	2	863	55,81	76,54	312,460	49,65
8	11	3	863	55,81	76,73	298,241	47,51
9	11	4	863	55,81	77,14	287,136	45,99
10	11	5	863	55,81	77,70	265,254	42,79
11	13	1	863	55,81	77,97	259,750	42,05
12	13	2	863	55,81	82,54	240,320	41,18
13	13	3	863	55,81	82,70	232,750	39,96

Uji Ke-	Kuat Arus (A)	Bukaan Splitter (cm)	Berat Feed Awal (kg)	Kadar Ilmenite Umpan (%)	Kadar Ilmenite Magnet (%)	Berat Magnet (kg/jam)	Recovery Mineral Ilmenite (%)
14	13	4	863	55,81	85,39	207,504	36,79
15	13	5	863	55,81	87,20	193,248	34,99
16	15	1	863	55,81	66,72	456,332	63,21
17	15	2	863	55,81	68,78	428,768	61,22
18	15	3	863	55,81	73,48	372,987	56,90
19	15	4	863	55,81	73,99	366,394	56,28
20	15	5	863	55,81	76,02	338,142	53,37

Perolehan *recovery* mineral *ilmenite* menunjukkan bahwa nilai *recovery* yang paling tinggi adalah pada pengujian ke-1 dengan nilai sebesar 70,59% dengan menggunakan variabel kuat arus 9 A dan bukaan splitter 1 cm, sedangkan nilai *recovery* paling rendah adalah pada pengujian ke-15 dengan nilai sebesar 34,99% dengan menggunakan variabel kuat arus 9 A dan bukaan splitter 1 cm. Hubungan kuat arus dan bukaan splitter terhadap kadar mineral *ilmenite* menunjukkan bahwa nilai perolehan *recovery* pada pengujian adalah berbanding terbalik dengan kadar. Hubungan kadar dan *recovery* produk dalam suatu pengolahan adalah berbanding terbalik, jika kadar konsentrasi yang dihasilkan tinggi maka *recovery* yang dihasilkan rendah, sedangkan jika *recovery* tinggi maka pada konsentrat akan terdapat lebih banyak mineral pengotornya sehingga kadar rendah (Wills, 2006).

4. Simpulan

Komposisi mineral pada *feed middling* air table dengan menggunakan metode *Grain Counting Analysis* menunjukkan keterdapatannya mineral *ilmenite* dengan persentase kadar yang lebih dominan sebesar 55,81%, dan mineral lainnya seperti *cassiterite* dengan kadar 8,42%, *monazite* dengan kadar 16,26%, *pyrite* dengan kadar 2,63%, *zircon* dengan kadar 10,92%, *tourmaline* dengan kadar 0,25%, *quartz* dengan kadar 5,52% dan *siderite* dengan kadar 0,19%. Perolehan kadar mineral *ilmenite* yang optimal adalah pada pengujian ke-15, dengan kombinasi variabel kuat arus 13 A dan bukaan splitter 5 cm yaitu memperoleh kadar sebesar 87,20%. Kadar mineral *ilmenite* yang optimal sebesar 87,20% dengan perolehan *recovery* sebesar 34,99%, sedangkan kadar mineral *ilmenite* terendah sebesar 61,46% dengan perolehan *recovery* sebesar 70,59%. Hal tersebut menunjukkan kadar dan *recovery* mineral *ilmenite* memiliki hubungan berbanding terbalik.

Daftar Pustaka

- Anthony, J.W., Bideaux, R.A., Bladh, K.W. and Nichols, M.C. (2000). Handbook of Mineralogy: Mineralogical Society of America, United State of America.
- Chunma, C. (2008). High-Intensity Induced Roll Magnetic Separator 2x2x1000x160dia + Scalper Operation and Service Manual. Indonesia, Chunma, Korea: PT Spektrum Krisindo ElektriKa.
- Drzymala, J. (2007). Mineral Processing: Foundations of Theory and Practice Of Mineralurgy. Polandia: Wroclaw University of Technology.
- Firdiyono, F. (2003). Karakteristik Hasil Pengolahan Bijih Timah Bangka. LIPI Tangerang : Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI.
- Maurice, C and Keneth, N.H. (2003). Principles of Mineral Processing. Colorado: Society of Mining Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Nayl A. A., Awward N. S., dan Aly H. F. 2009. Kinetics of Acid Leaching of Ilmenite Decomposed by KOH Part 2 Leaching by H2SO4 and C2H2O4. *Journal of Hazardous Materials*, Vol.168, pp: 793-799.
- Tobing. (2002). Prinsip Dasar Pengolahan Bahan Galian (Mineral Dressing). Pangkalpinang.
- Wills, B.A. (2011). Mineral Processing Technology 7th Edition. Australia: Elsevier Science & Technology Books.
- Wills, B.A. (2016). Mineral Processing Technology 8th Edition. Australia: Elsevier Science & Technology Books.
- Wills, B.A., dan Tim N.M. (2006). Mineral Processing Technology. Australia: Elsevier Science & Technology Books.