

“ Pengaruh Koefisien Distribusi Fe – Sn Terhadap Perolehan Logam Timah Pada Peleburan Bijih Timah Dengan Teknologi Top Submerged Lance Ausmelt Furnace di PT Timah Tbk ”

Arif Prasetyo¹

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Metalurgi , Fakultas Teknik & Disain , Institut Teknologi & Sains Bandung

ABSTRAK

Studi ini bermaksud untuk mengatasi permasalahan yang timbul dalam proses peleburan yang sudah ada selama ini di PT Timah Tbk dengan alternatif penambahan teknologi peleburan timah dengan teknologi *Top Submerged Lance (TSL) Ausmelt Furnace*. Proses peleburan yang dilakukan di PT Timah Tbk yang lama merupakan proses peleburan dengan tanur tetap (*reverberatory furnace*) yang berlangsung dalam 2 tahap dan 20 – 24 jam untuk setiap tahapnya. Pada peleburan tahap 1, menghasilkan terak 1 dengan kadar Sn tinggi 8 – 20 % sehingga harus diproses kembali pada peleburan tahap 2. Konsentrat timah dengan kadar > 68% Sn sudah terbatas. Penggunaan konsentrat timah dari tambang dengan kadar < 68% Sn juga menyebabkan meningkatnya material sirkulasi (*backlog*) karena tanur tetap (*reverberatory furnace*) tidak mempunyai fleksibilitas untuk mengolah konsentrat timah kadar rendah (<68% Sn).

Tanur Ausmelt sebagai solusi alternatif memiliki keunggulan dibandingkan tanur tetap (*reverberatory furnace*) yaitu mampu mengolah bijih dengan kadar (SnO₂) rendah (<68% Sn). Produksi logam timah dengan *Top Submerged Lance (TSL) Ausmelt Furnace* berlangsung melalui tahap peleburan (*smelting stage*) dan tahap reduksi terak (*slag reduction*) dengan durasi yang lebih singkat. Secara umum, reaksi kesetimbangan (*equilibrium*) yang mendefinisikan sifat dua tahap dari proses peleburan bijih timah, diberikan pada Persamaan SnO (slag) + Fe [metal] → Sn [metal] + FeO (slag) [5,8]. Dalam peleburan timah, koefisien distribusi mengacu pada rasio elemen atau zat tertentu dalam berbagai fase proses peleburan, biasanya antara fase timah cair dan terak atau fase lainnya. Koefisien distribusi merupakan parameter penting yang mempengaruhi efisiensi proses peleburan dan kemurnian logam timah yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Teknologi Top Submerged Lance Ausmelt Furnace* telah mampu melebur konsentrat bijih timah dengan komposisi konsentrat 1: 70,50 %, konsentrat 2: 62,59 %, konsentrat 3: 43,86 % sehingga didapatkan kadar rata-rata sebesar 58,98 %. Tahapan yang berlangsung yakni tahap *Smelting* dan *Reduction*, didapatkan siklus peleburan sebanyak 7 siklus dan menghasilkan logam timah sebesar 340,48 Ton dengan kadar Sn pada logam antara 99,33 – 99,47 %. Hasil proses pengujian pada siklus (*batch*) ke-7 diperoleh nilai koefisien distribusi Fe-Sn (k) tertinggi sebesar 2.807 dan koefisien distribusi terendah pada siklus (*batch*) ke-5 dengan nilai 600 di bawah nilai kriteria 1.100.

KATA KUNCI: Peleburan, *Top Submerged Lance (TSL) Ausmelt*, koefisien distribusi Fe-Sn

I. PENDAHULUAN

Proses peleburan yang dilakukan di PT Timah Tbk merupakan proses peleburan dengan tanur tetap (*Reverberatory Furnace*) berlangsung dalam 2 tahap dan durasi yang lama. Pada peleburan tahap 1, menghasilkan terak 1 dengan kadar Sn tinggi 8 – 20 % sehingga harus diproses kembali pada peleburan tahap 2. Konsentrat timah dengan kadar > 68% Sn sudah terbatas. Penggunaan konsentrat timah dari tambang dengan kadar < 68% Sn juga menyebabkan meningkatnya material sirkulasi (*backlog*) karena tanur tetap (*Reverberatory Furnace*) tidak mempunyai

fleksibilitas untuk mengolah konsentrat timah kadar rendah (<68% Sn).

Salah satu teknologi peleburan bijih timah yang saat ini banyak digunakan adalah teknologi *Top Submerged Lance (TSL) Ausmelt Furnace*. direkomendasikan untuk diimplementasikan di PT Timah Tbk. Dengan teknologi *TSL Ausmelt Furnace* ini diharapkan peleburan bijih timah berlangsung dengan durasi yang lebih singkat dan mendapatkan perolehan logam timah dengan kualitas tinggi. Penelitian ini juga untuk mengetahui pengaruh koefisien distribusi Fe – Sn (*k*) terhadap perolehan logam timah.



Gambar 1.1 Produksi timah dunia tahun 2022 [4]

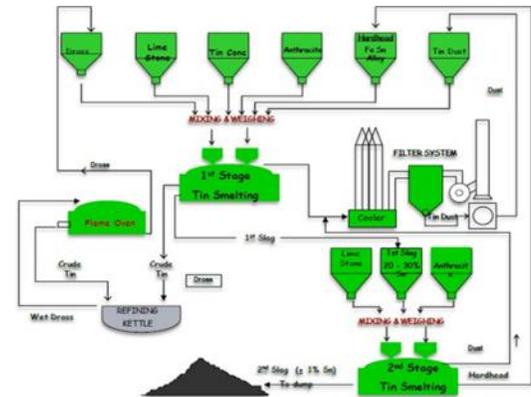
II. TEORI

2.1 Teknologi Peleburan Bijih Timah dengan Tanur Tetap (Reverberatory Furnace).

PT Timah saat ini menggunakan tanur Reverberatory untuk melebur bijih timah menjadi logam timah. Penggunaan tanur reverberatory memiliki beberapa keunggulan (Smith, 1996) Pertama, keuntungannya adalah dapat menggunakan batu bara sebagai bahan bakar sekaligus sebagai bahan pereduksi untuk proses peleburan. Kedua, tanur jenis ini mampu melebur bijih timah berkadar tinggi di atas 55%, dimana bijih timah tersebut sesuai dengan karakteristik sumber bahan baku di Indonesia yang umumnya merupakan mineral alluvial [9].

Proses peleburan di PT Timah Tbk merupakan proses peleburan dua tahap (Gambar 2.1). Peleburan tahap I dilakukan pada temperatur 1350°C. Pada peleburan tahap I, konsentrat timah, antrasit, batu kapur, serta material backlog (debu, dross, hardhead) dilebur untuk menghasilkan timah kasar (crude tin) dan terak I. Kapasitas peleburan timah untuk setiap tanur adalah 50 ton konsentrat per hari. Terak I yang masih mengandung timah (Sn) dengan kadar 8%-20% Sn dilebur kembali pada peleburan tahap II dengan menambahkan antrasit dan batu

kapur sehingga menghasilkan hardhead dengan kadar 50%-60% Sn. Proses peleburan tahap II berlangsung pada temperatur 1450°C dan memerlukan kondisi yang lebih reduktif, sehingga memerlukan bahan bakar dan reduktor antrasit yang lebih banyak. Terak II (terak akhir) yang dihasilkan memiliki kadar 1%-3% Sn.

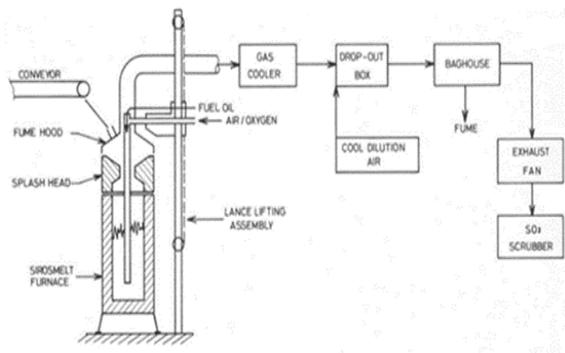


Gambar 2.1 Proses Peleburan Eksisting PT Timah Tbk[1]

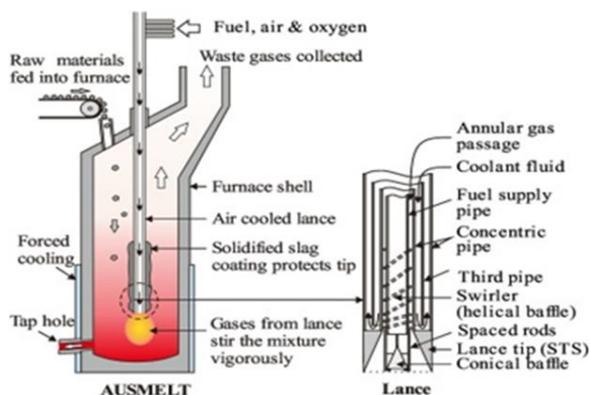
2.2 Teknologi Peleburan dengan Top Submerged Lance (TSL) Ausmelt Furnace.

Teknologi Top Submerged Lance ditemukan pada awal tahun 1970-an di CSIRO Clayton, oleh tim yang dipimpin oleh Dr John Floyd. Pada awalnya, ini dikembangkan untuk mereduksi terak timah pada tanur tetap (reverberatory furnace) dan tanur komersial pertama di Associated Tin Smelters dipasang untuk tujuan ini di Sydney pada tahun 1978. Pabrik ini juga digunakan untuk mengembangkan peleburan konsentrat timah dalam skala komersial sebelum akhirnya ditutup akibat jatuhnya harga timah pada akhir tahun 1980-an. Teknologi ini kemudian diadaptasi dan digunakan dalam berbagai macam aplikasi non-ferrous namun tetap mempertahankan hubungan dengan asal-usulnya di bidang timah. Hingga saat ini, sekitar 65 pabrik TSL komersial telah

dibangun oleh Outotec/Ausmelt, yang tidak termasuk kontribusi Isasmelt terhadap pabrik TSL. Pada tahun 1989, HMIB membangun dan mengoperasikan pabrik peleburan timah TSL kecil di Arnhem, Belanda. Pabrik ini memiliki umur yang relatif pendek karena peraturan setempat memaksa penutupan kompleks yang mencakup pabrik peleburan timah. Funsur membangun pabrik peleburan konsentrat timah TSL pada tahun 1996 di Peru yang kemudian diikuti oleh YTCL di Cina pada tahun 2000. Setelah jeda beberapa tahun, China Tin memulai pembangunan pabrik peleburan timah TSL pada tahun 2013 yang akan diikuti oleh Vinto, Bolivia pada tahun 2014 [6,7,10].



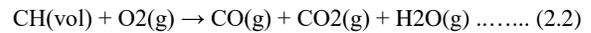
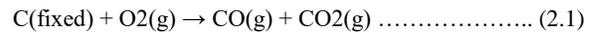
Gambar 2.2 The 50 kg SiroSmelt Pilot Plant [2]



Gambar 2.2 Proses Peleburan Top Submerged Lance Ausmelt [3]

Reaksi-reaksi utama yang terjadi selama proses peleburan berlangsung adalah sebagai berikut:

Pembakaran bahan bakar:



Pembakaran batubara pada lance tip menghasilkan energi (panas) untuk proses peleburan bijih timah. Digunakan untuk mengontrol suhu pada TSL Ausmelt Furnace.

Reduksi konsentrat:



Reduksi oksida timah (ditambah oksida logam lainnya misalnya Fe₂O₃, PbO, dll.) dalam konsentrat dengan batu bara (lump coal).

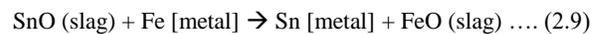
Reduksi terak:



Reduksi oksida timah (ditambah oksida logam lainnya) dengan batu bara (lump coal).

2.3 Koefisien Distribusi Fe-Sn pada peleburan bijih timah

Produksi logam timah berlangsung melalui tahap peleburan konsentrat (smelting stage) dan tahap reduksi terak (slag reduction). Kesetimbangan antara besi dengan timah diantara logam dan terak ditunjukkan dengan persamaan (2.9) [5,8].



Koefisien distribusi dalam peleburan timah mengacu pada perbandingan konsentrasi timah antara fase logam cair dan fase terak, ditunjukkan pada persamaan (2.10) [5, 8].

$$k = \frac{\text{wt.-% Sn in metal}}{\text{wt.-% Fe in metal}} \times \frac{\text{wt.-% Fe in slag}}{\text{wt.-% Sn in slag}} \dots\dots\dots (2.10)$$

koefisien distribusi (k) merupakan parameter penting karena mempengaruhi efisiensi perolehan timah dan kualitas produk akhir. Koefisien distribusi yang tinggi menunjukkan bahwa timah lebih cenderung terakumulasi dalam fase logam cair, yang diinginkan untuk memaksimalkan perolehan timah. Sebaliknya, koefisien distribusi yang rendah berarti sebagian besar timah masih berada dalam fase terak.

III. METODE PERCOBAAN

3.1 Alat dan Bahan Percobaan

Kegiatan penelitian ini dilakukan di Unit Metalurgi Muntok PT Timah Tbk. Bahan yang digunakan untuk keberlangsungan kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Concentrate #1
- b. Concentrate #2
- c. Concentrate #2
- d. Reverts (Terak 1 (Slag 1), Fe-Sn Dross dan Debu (*Dust*)).

Sedangkan alat yang digunakan dalam kegiatan penelitian pada proses peleburan bijih timah dengan teknologi Top Submerged Lance Ausmelt Furnace adalah sebagai berikut:

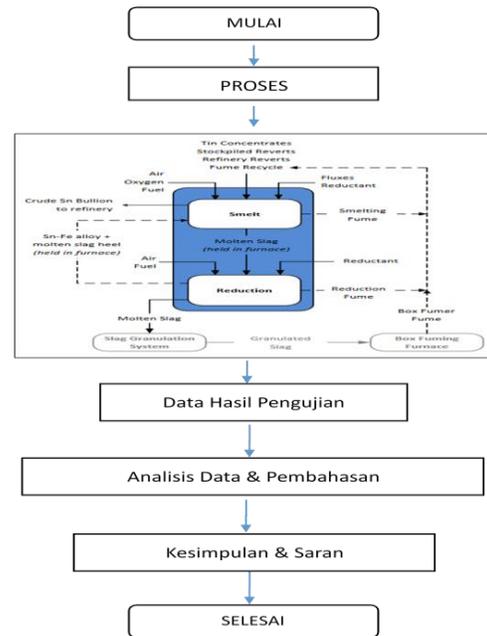
- a. TSL Ausmelt
- b. X-Ray Fluorescence (XRF)
- d. Alat uji moisture content

3.2 Diagram Alir Prosedur Percobaan

Pada penelitian ini, prosedur percobaan pada proses peleburan bijih timah dengan teknologi Top Submerged Lance dijelaskan pada diagram proses pada gambar berikut.

Durasi proses pada tahap peleburan (smelting stage), tahap reduksi terak (slag reduction) dan tapping pada TSL Ausmelt Furnace sesuai dengan prosedur

pengujian (*Performance Test*) yang ditetapkan, ditunjukkan pada table 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan

Tabel 3.1 Disain Proses Peleburan Bijih Timah

Sumber: performance test report TSL Ausmelt Furnace PT Timah Tbk-Metso Outotec: 2023

Process Input	Smelting	Reduction	Tapping
Stage Duration (hh:mm)	7:00	2:00	1:00
Concentrate #1 (kg/h)	5,360	-	-
Concentrate #2 (kg/h)	2,680	-	-
Concentrate #3 (kg/h)	2,210	-	-
Recycle Dust (kg/h)	2,600	-	-
Reverts* (kg/h)	1,680	-	-
Limestone (kg/h)	400	-	-
Lump Coal (kg/h)	1720	700	-
Fuel Coal (kg/h)	2320	720	-
Lance Air (Nm ³ /h)	8360	4920	-
Lance Oxygen (Nm ³ /h)	1640	-	-
Post-Combustion Air (Nm ³ /h)	8740	6500	-
Bath Temperature (°C)	1200	1250	-

* Comprising 50% Slag #1 and 50% Sn-Fe dross

3.3 Data Hasil Percobaan

Pada penelitian ini, prosedur percobaan pada proses peleburan bijih timah dengan teknologi *TSL Ausmelt Furnace* ini dilakukan selama 72 jam operasi (*Performance Test*), data hasil penelitian dibuat dalam table sebagai berikut:

Tabel 3.2 Kadar Komposisi umpan proses peleburan.

No	Jenis Umpan/Material	Kadar Sn (% Sn)	Pb	Sb	Fe ₂ O ₃	As	Cu	SiO ₂	SnO ₂
1.	Concentrate #1	70,50	0,037	0,001	4,710	0,012	0,008	0,661	89,50
2.	Concentrate #2	62,59	0,007	0,002	7,480	0,019	0,006	1,052	79,46
3.	Concentrate #3	43,86	0,210	0,004	23,58	0,048	0,012	1,960	55,68
4.	Reverts (Blend)	27,52	-	-	-	-	-	-	-

No	Jenis Reverts	Kadar Sn (% Sn)	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	S	SiO ₂	SnO ₂
1.	Slag #1	7,07	9,800	2,370	19,58	11,21	0,114	32,67	8,971
2.	Sn-Dross	47,97	2,250	1,270	13,71	5,130	2,270	9,820	60,89
3.	Fe-Dross	33,75	4,400	2,780	15,56	8,18	1,020	14,87	42,85

Pada tabel 3.2 tabel umpan/material proses peleburan ini disajikan data berupa jenis umpan material, laju umpan/material (ton/jam) , kadar Sn (% Sn) pada setiap jenis umpan / material proses peleburan berdasarkan hasil analisa XRF di laboratorium.

Tabel 3.3 Operasi proses peleburan.

No	Batch	Durasi Smelting (jam)	Durasi Reduction (jam)	Durasi Tapping (jam)	Total Durasi (jam)	Suhu Smelting (°C)	Suhu Reduction (°C)
1.	1	9,65	1,28	0,98	11,92	1.181	1.239
2.	2	8,02	1,05	0,45	9,52	1.140	1.203
3.	3	7,13	1,57	1,05	9,75	1.078	1.158
4.	4	9,80	1,03	0,70	11,53	1.149	1.225
5.	5	8,25	1,33	1,00	10,58	1.128	1.254
6.	6	9,25	0,92	0,67	10,83	1.149	1.181
7.	7	7,87	0,00	0,00	7,87	1.104	1.156
7		59,97	7,18	4,85	72,00	1.133	1.202

Pada tabel 3.3 tabel operasi proses peleburan ini disajikan data berupa jumlah siklus (*batch*), durasi peleburan konsentrat (*Smelting*), durasi reduksi terak (*Slag Reduction*), durasi tapping, total durasi proses, suhu peleburan konsentrat (*Smelting*), durasi reduksi terak (*Slag Reduction*).

Tabel 3.4 Perolehan logam timah.

No	Batch	Logam Timah (Ton)	Kadar Sn di logam (% Sn)	Kadar Fe di logam (% Fe)
1.	1	58,30	99,45	0,17
2.	2	41,61	99,44	0,20
3.	3	44,62	99,42	0,19
4.	4	55,28	99,44	0,19
5.	5	45,71	99,45	0,39
6.	6	46,59	99,33	0,14
7.	7	48,27	99,47	0,17
7		340,38	99,43	0,21

Pada tabel 3.4 tabel perolehan logam timah ini disajikan data berupa jumlah logam timah yang dihasilkan (ton), kadar Sn di logam timah (% Sn) dan kadar Fe di logam timah (% Fe) selama pengujian berdasarkan hasil analisa XRF di laboratorium.

Tabel 3.5 Distribusi Fe-Sn

No	Batch	Kadar Sn di Logam (% Sn)	Kadar Fe di Logam (% Fe)	Kadar Sn di Terak (% Sn)	Kadar Fe di Terak (% Fe)	Koefisien Distribusi Fe-Sn (k)
1.	1	99,45	0,17	5,59	18,84	1,962
2.	2	99,44	0,20	6,53	20,09	1,555
3.	3	99,42	0,19	5,53	20,51	1,906
4.	4	99,44	0,19	5,26	20,71	2,041
5.	5	99,45	0,39	8,60	20,06	600
6.	6	99,33	0,14	6,17	19,73	2,194
7.	7	99,47	0,17	4,37	21,37	2,807
		99,43	0,21	6,00	20,18	1,866

Pada tabel distribusi Fe-Sn ini disajikan data hasil berupa kadar Sn di logam timah (% Sn) dan kadar Fe di logam timah (% Fe), kadar Sn di terak (% Sn) dan kadar Fe di terak (% Fe) berdasarkan hasil analisa XRF di laboratorium dan koefisien distribusi Fe-Sn dalam logam timah dan terak yang dihasilkan (*k*). Setelah mendapatkan nilai koefisien distribusi Fe-Sn akan dilakukan pembahasan dan analisa pengaruh distribusi Fe-Sn terhadap perolehan logam timah yang dihasilkan dari proses pengujian (*performance test*) peleburan bijih timah dengan teknologi *TSL Ausmelt Furnace*. Selanjutnya akan dibuatkan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan.

IV.PEMBAHASAN

Dari serangkaian hasil percobaan yang telah dikemukakan dalam BAB III, pada BAB IV ini akan dibahas:

1. Kemampuan TSL Ausmelt Furnace Peleburan Bijih Timah Kadar Rendah.
2. Operasi Peleburan pada TSL Ausmelt Furnace.
3. Pengaruh koefisien distribusi Fe-Sn Terhadap Perolehan Logam Timah.

4.1 Kemampuan TSL Ausmelt Furnace Peleburan Bijih Timah Kadar Rendah.

4.1.1 Komposisi umpan pada TSL Ausmelt Furnace

Pada tabel 4.1 umpan umpan/material proses peleburan bijih timah, teknologi *TSL Ausmelt Furnace* di PT Timah Tbk memiliki fleksibilitas untuk dapat melebur konsentrat timah dengan kadar rendah (<68%

Sn) dengan baik yaitu dengan konsentrat timah yang dihitung berdasarkan rata-rata kadar Sn pada pada tabel 3.1 dengan hasil kadar Sn konsentrat sebesar 58,98 % yang ditunjukkan dengan table 4.1 berikut ini.

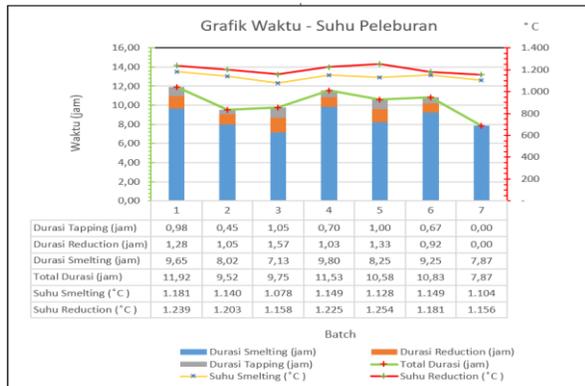
Tabel 4.1 Kadar Sn (% Sn) komposisi umpan proses peleburan bijih timah.

No	Jenis Umpan/Material	Kadar Sn (% Sn)	Kadar Sn rata-rata (% Sn)
1.	Concentrate #1	70,50	58,98
2.	Concentrate #2	62,59	
3.	Concentrate #3	43,86	

4.2 Operasi Peleburan pada TSL Ausmelt Furnace.

4.2.1 Data Operasi Peleburan

Pada bagian ini, disajikan data hasil berupa jumlah siklus peleburan (batch), durasi peleburan konsentrat (*Smelting*), durasi reduksi terak (*Slag Reduction*), durasi tapping, total durasi proses, suhu operasi peleburan konsentrat (*Smelting*), durasi reduksi terak (*Slag Reduction*) yang berdasarkan data pada tabel 3.3 dan selanjutnya disajikan dalam gambar grafik 4.1



Gambar 4.1 Grafik waktu - peleburan

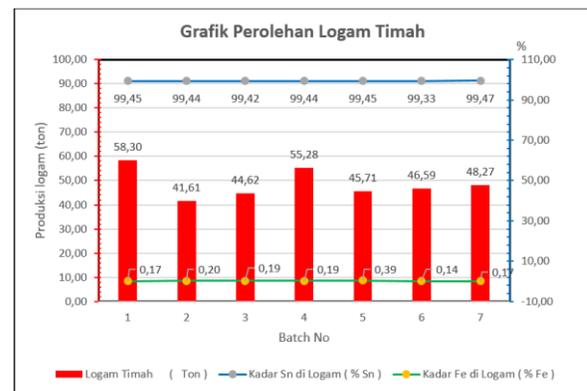
Dari gambar grafik 4.1 didapatkan penjelasan tentang kondisi operasi peleburan bijih timah selama 72 jam pengujian (*performance test*) yang berdasarkan pada data tabel rincian sebagai berikut:

- Proses pengujian yang dilakukan selama 72 jam terdapat 7 siklus (batch) peleburan.
- Durasi tahap *smelting* berlangsung antara 7,13 – 9,80 jam

- Durasi tahap *reduction* berlangsung antara 1,03 – 1,57 jam
- Durasi *tapping* berlangsung antara 0,45 – 1,05 jam
- Total durasi peleburan berlangsung antara 7,87 – 11,92 jam
- Suhu operasi tahap *smelting* berlangsung antara 1.078 °C – 1149 °C
- Suhu operasi tahap *reduction* berlangsung antara 1.158 °C – 1.254 °C

4.2.2 Produk Peleburan Bijih Timah

Pada bagian ini, disajikan data hasil perolehan jumlah logam timah (ton), kadar Sn (% Sn) dan Kadar Fe (% Fe) dalam logam timah selama 72 jam operasi pengujian berdasarkan data pada tabel 3.4 dan selanjutnya disajikan dalam gambar grafik 4.2.



Gambar 4.2 Grafik perolehan logam Timah

Dari grafik 4.2 didapatkan penjelasan tentang perolehan logam timah selama 72 jam operasi pengujian (*performance test*) dengan rincian sebagai berikut :

- Total logam timah yang dihasilkan sebesar 340,38 Ton
- Perolehan logam timah tertinggi didapat pada siklus (batch) ke-1 sebesar 58,30 Ton
- Perolehan logam timah terendah didapat pada siklus (batch) ke-2 sebesar 41,61 Ton

- d. Kadar Sn tertinggi di logam didapat pada siklus (*batch*) ke-7 sebesar 99,47 %
- e. Kadar Sn terendah di logam didapat pada siklus (*batch*) ke-6 sebesar 99,33 %
- f. Kadar Fe tertinggi di logam didapat pada siklus (*batch*) ke-5 sebesar 0,39 %
- g. Kadar Fe terendah di logam didapat pada siklus (*batch*) ke-6 sebesar 0,14 %

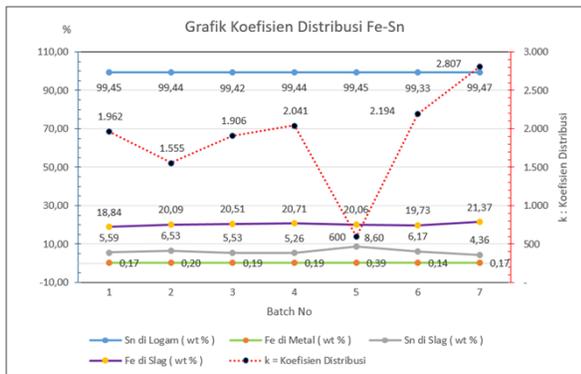
- d. Kadar Fe di logam bervariasi antara 0,14 - 0,39 %
- e. Koefisien distribusi Fe-Sn tertinggi pada siklus (*batch*) ke-7 dengan nilai 2.807
- f. Koefisien distribusi Fe-Sn terendah pada siklus (*batch*) ke-5 dengan nilai 600

4.2.3 Data Koefisien Distribusi Fe-Sn

Pada bagian ini disajikan data nilai koefisien distribusi Fe-Sn (*k*), yang dihitung berdasarkan kadar Sn (% Sn) dan Fe (% Fe) dalam logam timah dan terak berdasarkan data dari tabel 3.4

selanjutnya akan didapatkan nilai koefisien distribusi (*k*) sesuai dengan persamaan (4.1) [5,8] sbb:

$$k = \frac{wt. - \% Sn \text{ in metal}}{wt. - \% Fe \text{ in metal}} \times \frac{wt. - \% Fe \text{ in slag}}{wt. - \% Sn \text{ in slag}} \dots\dots\dots (4.1)$$



Gambar 4.3 Grafik koefisien distribusi Fe-Sn

Dari grafik 4.3 didapatkan penjelasan perolehan nilai koefisien distribusi (*k*) pada setiap siklus (*batch*) selama proses pengujian sebagai berikut.

- a. Kadar Sn di logam timah bervariasi antara 99,33 - 99,47 %
- b. Kadar Fe di logam timah bervariasi antara 0,14 - 0,39 %
- c. Kadar Sn di terak bervariasi antara 4,37 – 8,60 %

4.2.4 Pengaruh koefisien distribusi Fe-Sn Terhadap Perolehan Logam Timah.

Parameter minimum yang ditetapkan dalam pengujian (*performance test*) TSL Ausmelt Furnace yang ditetapkan oleh Metso-Outotec dengan PT Timah Tbk adalah sebagai berikut:

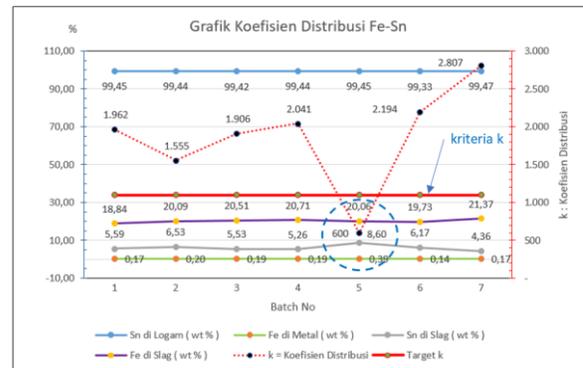
1. Minimum kadar Sn di logam : 99 %
2. Maksimum kadar Fe di logam : 0,3 %
3. Maksimum kadar Sn di terak : 6,0 %
4. Maksimum kadar Fe di terak : 20 %

Dengan parameter yang sudah ditetapkan di atas, selanjutnya akan didapatkan nilai koefisien distribusi (*k*) minimum yang harus dicapai sesuai dengan persamaan (4.2) [5, 8] sbb:

$$k = \frac{wt. - \% Sn \text{ in metal}}{wt. - \% Fe \text{ in metal}} \times \frac{wt. - \% Fe \text{ in slag}}{wt. - \% Sn \text{ in slag}}$$

$$k = \frac{99}{0,3} \times \frac{20}{6}$$

$$k = 1.100$$



Gambar 4.4 Grafik kriteria koefisien distribusi Fe-Sn

Berdasarkan perhitungan diatas, rata-rata semua siklus peleburan berada di atas nilai koefisien distribusi (k) minimum yang harus dicapai yaitu dengan nilai 1.100. Nilai koefisien distribusi (k) mempengaruhi perolehan logam timah dan terak yang dihasilkan selama 7 siklus (*batch*) peleburan bijih timah. Pada siklus (*batch*) ke-7 diperoleh nilai koefisien distribusi Fe-Sn (k) sebesar 2.807, dimana dengan nilai tersebut diperoleh logam timah dengan kadar Sn tertinggi sebesar 99,47 %, kadar Fe relatif rendah sebesar 0,17 % , Perolehan terak dengan kadar Sn terendah sebesar 4,37 % dan kadar Fe tertinggi sebesar 21,37 . Secara umum perolehan logam timah dan terak tersebut jauh lebih baik dibandingkan dengan parameter yang ditetapkan dalam pengujian (*Performance Test*).

Sedangkan pada siklus (*batch*) ke-5, diperoleh nilai koefisien distribusi Fe-Sn (k) sebesar 600 dibawah target minimum sebesar 1.100 , dimana dengan nilai tersebut diperoleh logam timah dengan kadar Sn relatif tinggi sebesar 99,43 % namun kadar Fe cukup tinggi sebesar 0,39 % sementara perolehan terak dengan kadar Sn tertinggi sebesar 8,60 % dan kadar Fe tertinggi sebesar 19,73 %. Secara umum, perolehan logam timah masih lebih baik dibandingkan dengan parameter yang ditetapkan dalam pengujian (*Performance Test*) namun perolehan terak berada diatas parameter yang ditetapkan yaitu kadar Sn sebesar 6,0 %.

Dalam peleburan timah, koefisien distribusi mengacu pada rasio elemen fase proses peleburan antara fase logam timah cair dan terak. Koefisien distribusi merupakan parameter penting yang mempengaruhi efisiensi proses peleburan dan kemurnian logam timah yang dihasilkan. Koefisien distribusi yang tinggi menunjukkan timah lebih cenderung terakumulasi dalam fase logam cair . Sebaliknya, koefisien distribusi yang rendah berarti sebagian timah masih berada dalam fase terak.

Koefisien distribusi dapat mempengaruhi efisiensi peleburan timah dalam hal :

1. **Efisiensi Ekstraksi:** Koefisien distribusi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak logam diinginkan diekstraksi ke dalam fasa timah, untuk peleburan yang efisien.
2. **Kemurnian Logam Timah:** Kontaminan atau unsur yang tidak diinginkan cenderung memiliki koefisien distribusi yang berbeda dengan timah. Dengan memahami dan mengendalikan koefisien distribusi, pabrik peleburan dapat mengoptimalkan proses untuk menghasilkan logam timah yang lebih murni.
3. **Konsumsi Energi:** Distribusi elemen yang efisien antar fase dapat mengurangi energi yang dibutuhkan untuk peleburan dengan meminimalkan kebutuhan akan langkah-langkah pemrosesan tambahan untuk menghilangkan pengotor.
4. **Dampak Lingkungan:** Proses peleburan yang efisien dapat mengurangi dampak lingkungan dari produksi timah dengan meminimalkan limbah dan konsumsi energi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian percobaan dan pembahasan yang telah dilakukan dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknologi *Top Submerged Lance Ausmelt Furnace* mampu melebur konsentrat bijih timah dengan kadar rendah (<68% Sn). Dengan komposisi Konsentrat 1: 70,50 %, Konsentrat 2: 62,59 %, Konsentrat 3: 43,86 % sehingga didapatkan kadar rata-rata 58,98 %.
2. Tahapan yang berlangsung adalah tahap *Smelting* dan *Reduction*, didapatkan siklus peleburan

sebanyak 7 siklus. Durasi tahap *Smelting* berlangsung antara 7,87 – 9,80 jam, durasi tahap *Reduction* berlangsung antara 0,92 – 1,28 jam. Durasi tapping berlangsung antara 0,45 – 1,05 jam sehingga total durasi peleburan setiap siklus berlangsung antara 7,87 – 11,92 jam Suhu tahap *Smelting* antara 1.078 – 1.181 °C dan Suhu tahap *Reduction* antara 1.156 – 1.254 °C.

3. Logam Timah yang dihasilkan selama pengujian adalah sebesar 340,48 Ton dengan kadar Sn pada logam antara 99,33 – 99,47 %. Kadar Sn di logam tertinggi pada siklus/batch ke- 7: 99,47 %, Kadar Sn di logam terendah pada siklus/batch ke- 6: 99,33 %.
4. Hasil proses pengujian , pada siklus (*batch*) ke-7 diperoleh nilai koefisien distribusi Fe-Sn (k) tertinggi sebesar 2.807 , koefisien distribusi terendah pada siklus (*batch*) ke-5 dengan nilai 600 dibawah target nilai 1.100. Koefisien distribusi merupakan parameter penting karena mempengaruhi efisiensi perolehan timah dan kualitas produk akhir. Koefisien distribusi yang tinggi menunjukkan timah lebih cenderung terakumulasi dalam fase logam cair . Sebaliknya, koefisien distribusi yang rendah berarti sebagian timah masih berada dalam fase terak.

5.2 Saran

Masih terdapat beberapa hal yang perlu diteliti lebih lanjut. Berikut ini adalah saran-saran untuk penelitian lebih lanjut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan jenis dan pengaturan laju umpan (*feed rate*) berupa lump coal untuk mengetahui lebih jauh pengaruhnya terhadap operasi peleburan dan perolehan logam timah dan terak.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pengoperasian TSL Ausmelt Furnace yang baik sehingga diperoleh hasil yang mendekati

parameter yang ditetapkan dalam pengujian dalam hal ini durasi peleburan dan produk akhir yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. Timah Tbk. 2020. Peningkatan Nilai Tambah Mineral di PT Timah. [http://bdtbt.esdm.go.id/wp-content/uploads/2020/11/Peningkatan-Nilai-Tambah-di-PT Timah.pdf](http://bdtbt.esdm.go.id/wp-content/uploads/2020/11/Peningkatan-Nilai-Tambah-di-PT-Timah.pdf). 18 Oktober 2023
- [2] Collin Ward. 2011 . Sirosmelt. <http://csiropedia.csiro.au/sirosmelt/>. 18 Oktober 2023.
- [3] J. J. Wijenayake and H. S. Sohn. 2020. The synthesis of tire grade ZnO from top submerged lance (TSL) furnace flue dust generated in Cu recycling industries. *Hydrometallurgy* 198:105466-105474.
- [4] International Tin Association Ltd. 2023. Global tin production maintains output in 2022. <https://www.internationaltin.org/global-tin-production-maintains-output-in-2022/>. 18 Oktober 2023.
- [5] T. R. A. Davey and J. M. Floyd. 1965. Slag-Metal Equilibria in Tin Smelting. *The AusIMM Proceedings*.
- [6] J. M. Floyd, K. W. Jones, W. T. Denholm, R. N. Taylor, R. A. McClelland, J. O'Shea. 1984. Large Scale Development of Submerged Lancing Sirosmelt Tin Process at Associated Tin Smelters. *Extractive Metallurgy Symposium*.
- [7] Kandalam, Avinash & Reuter, Markus & Stelter, Michael & Reinmöller, Markus & Gräbner, Martin & Richter, Andreas & Charitos, Alexandros. 2023. A Review of Top-Submerged Lance (TSL) Processing-Part I: Plant and Reactor Engineering. *Metals* 13(10): 1728.
- [8] Kandalam, Avinash & Reuter, Markus & Stelter, Michael & Reinmöller, Markus & Gräbner, Martin & Richter, Andreas & Charitos, Alexandros. 2023. A Review of Top Submerged Lance (TSL) Processing-Part II: Thermodynamics, Slag Chemistry and Plant Flowsheets. *Metals* 13 (10): 1742.
- [9] Smith, R. 1996. An Analysis of the Processes for Smelting Tin. *Mining History: The Bulletin of Peak District Mine Historical Society* 13(2):91-99.
- [10] B. Ross and A. Glinin. 2014. Estano, xi and tin 43 years (and counting) of TSL smelting. *High Temperature Processing Symposium Swinburne University of Technology*: 61-63.