



## Proses Simulasi Peleburan Daur Ulang Beberapa Jenis Scrap Alumunium Ditungku Rotary

### *Process of Recycling Smelting Simulation of Several Types of Aluminum Scrap in a Rotary Furnace*

Surya Irawan

Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia

Corresponding Author: [surya.irawan310864@gmail.com](mailto:surya.irawan310864@gmail.com)

#### Abstrak

Daur ulang aluminium adalah contoh yang sangat baik dalam pemanfaatan yang efisien sumber daya material sekunder. Selama pemulihan aluminium sekunder, potongan aluminium sering dilebur dan dimurnikan dalam tungku peleburan putar di bawah lapisan garam cair, sebagai praktek. Charging material untuk bahan baku tungku peleburan biasanya pemakaian kombinasi kompleks potongan aluminium dengan berbagai jenis, ukuran, bentuk, komposisi, dan kontaminasi. Penelitian peleburan dilakukan di PT. Rizki Inti Logam Tangerang ( Remelting scrap aluminium ) dan Laboratorium Pengujian Metalurgi Laterit LIPI Serpong dan memproses scrap yang nantinya secara efisien dan masalah kritis dapat diatasi untuk mencapai pemulihan logam yang lebih tinggi, energi yang lebih rendah dan konsumsi garam, dan lebih sedikit dampak lingkungan. Dalam makalah ini, perilaku peleburan berbagai jenis potongan aluminium diselidiki dalam tungku laboratorium. Kemampuan daur ulang dari potongan-potongan yang berbeda diperiksa. Ini memastikan jenis scrap, kondisi permukaan, ukuran, dan kontaminan yang berpengaruh yang signifikan pada hasil logam dan daur ulang scrap. Berdasarkan hasil eksperimen dan data operasional industri, berbasis CFD model proses telah dikembangkan, ditambah dengan sub-model yang dikembangkan pengguna untuk peleburan scrap dan pembakaran logam. Perilaku leleh terdistribusi potongan aluminium yang berbeda dievaluasi dan hasil pemodelannya digunakan untuk menganalisis proses peleburan dalam tungku industri, dan untuk memperkirakan aliran dan distribusi energi, dan akhirnya berkontribusi pada proses pengoptimalan

**Kata kunci:** Scrap; Tungku; CFD Model; Fluxing; pengoptimalan aliran dan energi.

#### Abstract

*Aluminum recycling is an excellent example of the efficient utilization of secondary material resources. During secondary aluminum recovery, scrap aluminum is often smelted and refined in a rotary smelting furnace under a layer of molten salt, as practice. The charging material for the smelting furnace feedstock usually uses a complex combination of aluminum scraps of various types, sizes, shapes, compositions and contamination. Research on smelting was carried out at PT. Rizki Inti Logam Tangerang ( Remelting scrap aluminum ) and LIPI Serpong Laterite Metallurgical Testing Laboratory and processed scrap which later efficiently and critical problems could be overcome to achieve higher metal recovery, lower energy and salt consumption, and less environmental impact. In this paper, the melting behavior of various types of aluminum scrap is investigated in a laboratory furnace. The recyclability of the different scraps is examined. This determines the type of scrap, surface condition, size, and contaminants that have a significant influence on metal yield and scrap recycling. Based on experimental results and industrial operational data, CFD-based process models have been developed, supplemented by user-developed sub-models for scrap smelting and metal firing. The distributed melting behavior of different aluminum strips is evaluated*

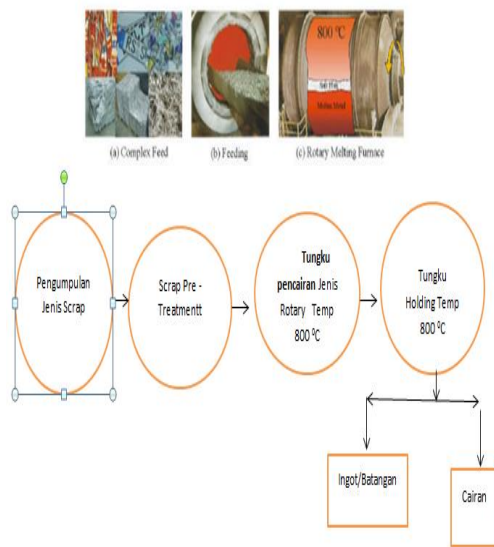


*and the modeling results are used to analyze melting processes in industrial furnaces, and to estimate energy flow and distribution, and ultimately contribute to process optimization.*

**Keywords:** *Scrap; furnaces; CFD Models; Fluxing; flow and energy optimization.*

## PENDAHULUAN

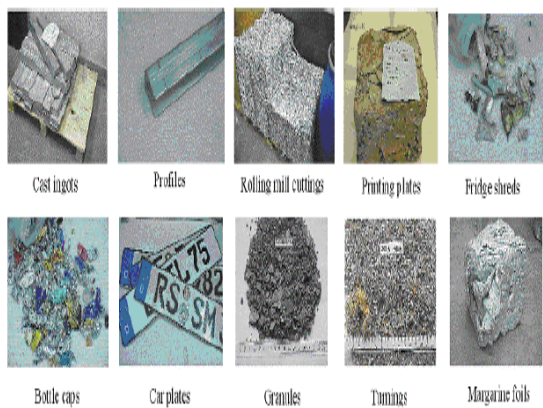
Daur ulang aluminium memiliki keunggulan besar dibandingkan aluminium primerproduksi karena biaya yang lebih rendah dan konsumsi energi yang lebih sedikit. Ini lebih banyak dimainkandan peran yang lebih penting dalam pasokan aluminium secara keseluruhan. Bagian dariproduksi aluminium sekunder terus berkembang di seluruh dunia, dan baru-baru ini meningkat menjadi lebih dari 40% di Eropa BaratAluminium sekunder telah digunakan di sejumlah area, misalnya dalam industri transportasi, bangunan, dan pengemasan. Secara umum,ada dua jenis skrap aluminium: skrap baru atau produksi dan skrap lama membatalkan. peleburan baru datang langsung dari manufaktur dan fabrikasi proses. Mereka mudah didaur ulang dan hampir 100% langsung dilebur kembali dengan sedikit persiapan. Peleburan scrap lama berasal dari berbagai sumber danbiasanya terkontaminasi dengan unsur asing dan organik.Bagian terpenting dalam industri aluminium sekunder adalah proses peleburan scrap, yang biasanya diproses dalam tungku putar atau perapian perapian. Gbr.1 menunjukkan tipikal daur ulang aluminium sekunder denganproses tungku putar. Seluruh proses daur ulang dapat dibagi menjadi beberapa langkah: pengumpulan skrap, pra-perawatan/persiapan skrap, peleburan skrap dalam tanur putar, pemurnian dan paduan aluminium cair dalam menahan tungku, pengecoran atau transportasi ke pengguna akhir industri.Flüks garam digunakan untuk melindungi dari pembakaran logam aluminium dan untuk menyerapdan menghilangkan kontaminan dan oksida. Gas alam dibakar dengan oksigensebagai sumber panas. Tungku terus berputar untuk mencampur potongan dan lelehan.Suhu operasi biasanya sekitar 800°C. Bahan kimiakomposisi produk logam cair dikendalikan tidak hanya olehoperasi proses, tetapi juga sebagian besar dengan pemilihan peleburan yang tepat. Logam kerugian merupakan faktor penting dalam daur ulang skrap aluminium, yang sangat tergantung banyak pada daur ulang skrap aluminium yang dipilih. Untuk menyediakanpengetahuan dasar tentang potongan-potongan yang berbeda untuk didaur ulang, eksperimen peleburanberbagai potongan aluminium dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan daur ulangdari sisa-sisa, dan untuk memahami perilaku peleburan besi tua lelehan cair. Selain itu, untuk memberikan panduan untuk perbaikan proses,model proses dikembangkan berdasarkan Computational Fluid-dynamics (CFD) untuk memprediksi tingkat leleh dan distribusi energi dalam kaitannya dengan jenis peleburan scrap dan parameter operasi.



Gbr. 1: Proses pemulihan aluminium sekunder tipikal dengan tungku putar

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini di coba di PT.Rizki Inti Logam Tangerang ( Remelting ex srap automotip) dan Metalurgi laterit LIPI Serpong .Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik scrap medan perilaku peleburannya, sepuluh jenis potongan aluminium yang berbeda dipilih dan diuji termasuk rolling mill cuttings, cast ingots, profiles, printing piring, sobekan kulkas, piring mobil, margarin foil, tutup botol, bubut dan butiran, seperti yang diilustrasikan pada Gambar.2.

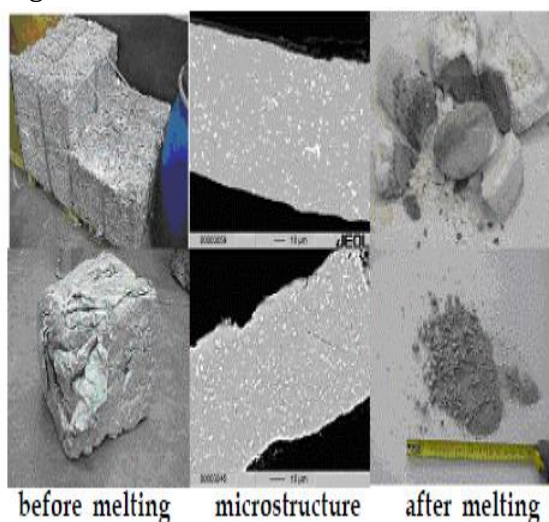


Gambar 2: Foto dari sepuluh scrap yang diselidiki [1]

Eksperimen peleburan itu dilakukan di laboratorium listrik skalatungku ruang resistensi dengan atmosfir nitrogen terkontrol pada 800-900°C. Rincian pengaturan eksperimen diperkenalkan dipublikasi sebelumnya [1,2]. Sistem NaCl-KCl-Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> digunakan sebagai garamfluks untuk melindungi logam terhadap oksidasi, untuk menyerapkontaminan dan untuk mempromosikan penggabungan tetesan aluminium. Untuk memastikanfluiditas yang baik dari fluks cair, rasio berat garam terhadap potongan

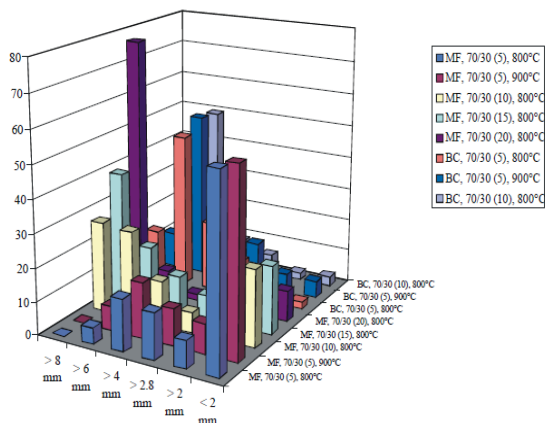
duadiadopsi. Selama peleburan, fasa logam biasanya akan mencair terlebih dahulu ke titik lelehnya yang lebih rendah dan akan mengendap di dasar wadah. Setelah meleleh, sampel dilarutkan dalam air untuk memulihkan logam yang tertahan droplet. Logam pulih dievaluasi sesuai dengan berat total dan distribusi ukuran. Selain itu, perilaku leleh kubus aluminium suhu kamar dalam garam cair diselidiki pada 800°C dalam tungku tabung karbolit vertikal dengan analisis gravitasi termal (TGA) di bawah atmosfer nitrogen. Itu sampel aluminium ditempatkan dalam keranjang stainless steel atau disekrup pada batang baja tahan karat. Setelah sampel aluminium dimasukkan ke dalam lelehan, perubahan berat akibat perubahan gaya apung selama proses berlangsung tercatat. Informasi pencairan memo dapat diperoleh dengan analisis dari kurva perubahan berat yang tercatat, dan rentang waktu leleh sampel aluminium dalam kondisi terkendali dapat diperkirakan.

Perilaku meleleh dalam kondisi yang berbeda Agar garam menyerap film oksida dan kontaminan permukaan, kemampuan pembasahan garam ke film oksida memo harus lebih tinggi dari bahwa untuk aluminium cair. Oleh karena itu, tegangan permukaan fluks garam dan kondisi permukaan potongan memainkan peran penting dalam logam dan garam pemisahan, dan selanjutnya dalam pemulihan logam. Cryolite dalam drama fluks garam peran penting dalam menurunkan energi antarmuka antara lapisan oksida dan lelehan aluminium. Selain itu, suhu leleh dan pengadukan fisik dapat mempengaruhi sifat fisik dari fluks garam dan pencampuran perilaku lelehan, yang akan dibahas dengan foil lelehan margarin sebagai contoh. Jenis scrap memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku peleburan. Sebagai contoh, Gambar. 3 menunjukkan stek rolling mill dan foil margarin dan manik-manik logam pulih setelah meleleh pada 800°C selama 2 jam dalam garam fluks (70% berat NaCl – 30% berat KCl dengan tambahan 5% berat cryolite). Jelas bahwa kondisi permukaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daur ulang logam. Untuk peleburan foil margarin, manik-manik logam pulih memiliki distribusi ukuran, yang dipengaruhi oleh kondisi leleh, seperti suhu, garam komposisi dan pengadukan.



Gbr. 3: Rolling mill cuttings dan margarin foil

Gambar 4 menunjukkan distribusi ukuran manik-manik logam untuk foil margarin dalam kondisi yang berbeda. Menaikkan suhu dari 800 menjadi 900°C mengubah distribusi manik-manik logam. Suhu yang lebih tinggi meningkatkan aglomerasi logam, tetapi efeknya kurang besar dibandingkan dengan efeknya penambahan cryolite. Karena kondisi permukaan tertentu dari margarin foil, aglomerasi tetesan logam itu sulit. Dari sekarang studi eksperimental, jelas bahwa konsentrasi cryolite yang lebih tinggi di fluks garam memberikan penggabungan yang lebih baik dari tetesan logam. Tambahan cryolite dapat mempromosikan pelepasan film oksida sesuai dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Diagram fase Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> [3]. Namun, ini mengurangi perbedaan kepadatan antara garam dan logam [4], dan menghalangi pemisahan logam dari garam dan selanjutnya pengendapan fase logam. Oleh karena itu, penambahan cryolite harus disimpan ke minimum yang diperlukan untuk kinerja yang memadai dalam proses. Selain itu, pengaruh faktor kinetik pada peleburan perilaku dipelajari. Setelah waktu leleh satu jam pada 800°C, krusibel dikeluarkan dari tanur. Logam cair dan terak garam segera diaduk dengan batang alumina, dan dengan cepat dimasukkan kembali ke dalam tungku selama satu jam lagi stabilisasi. Ditemukan bahwa ukuran logam manik-manik meningkat dengan pengadukan. Selain itu, waktu leleh yang lebih lama meningkat sedikit aglomerasi manik-manik logam.



Gbr. 4: Distribusi ukuran manik-manik logam dari peleburan margarin foil (MF) dan tutup botol (BC) dalam kondisi percobaan yang berbeda

### Penilaian kemampuan daur ulang

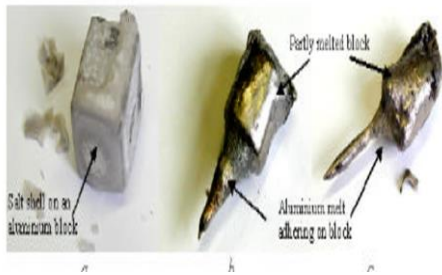
Berbagai jenis potongan memiliki perilaku leleh yang berbeda, dan oleh karena itu menyebabkan berbagai hasil logam dan konsumsi garam. Memebentuk, ukuran, kondisi permukaan dan kandungan organik memiliki pengaruh yang signifikan mempengaruhi proses peleburan. Kontaminan organik biasanya akan bereaksi pertama selama pemanasan memo dan tahap peleburan selanjutnya. Dibawah kondisi serupa, manik-manik logam yang lebih besar akan menyatu lebih mudah dan menetap dari fase fluks ke fase logam. Memo dengan lebih tinggi persentase manik-manik yang lebih besar akan dianggap memiliki kemampuan daur ulang yang lebih baik. Oleh karena itu, daur ulang yang lebih tinggi dapat diperoleh dengan pemulihan yang lebih tinggi jumlah logam dan faktor peleburan yang lebih tinggi. Jumlah logam yang dapat diperoleh kembali dihitung berdasarkan berat dari dikumpulkan logam dengan ukuran lebih besar dari 1mm, dibagi

dengan berat memo yang dibebankan. Ini menandakan kandungan logam dari memo jika reaksi potensial fluks garam dengan logam diabaikan. Faktor perpaduan mewakili tingkat koalesensi yang diamati dari skrap yang meleleh. Semakin kecil faktornya, semakin sulit untuk penggabungan logam, yaitu logam yang lebih kecil manik-manik terbentuk. Ini berarti lebih banyak logam yang terperangkap dalam garam, dan hasil logam yang lebih sedikit. Di antara sepuluh sampel sisa yang diselidiki, daur ulang diberi peringkat dari tinggi ke rendah sebagai berikut: cor ingot, profil, rolling stek gilingan, pelat cetak, sobekan kulkas, tutup botol, pelat mobil, pembubutan, butiran dan kertas margarin. Dalam kasus cor ingot, profil, rolling mill stek, pelat cetak, tetesan logam telah menyatu dengan baik dan mengendap turun untuk membentuk fase logam karena lebih sedikit kontaminan dan permukaan yang lebih baik properti. Fluks dan logam tidak terpisah dengan baik dalam kasus lemari es rusak, pelat mobil, tutup botol, margarin foil, bubut dan butiran.

Praktik pengoperasian dan eksperimen peleburan telah terungkap bahwa karakteristik memo memiliki pengaruh besar pada logam menghasilkan. Karakteristik utama meliputi: kandungan logam, ukuran, permukaan hingga rasio volume dan kontaminasi dll. Namun, untuk jenis skrap tertentu, mungkin ada perbedaan ukuran seperti butiran, bentuk seperti belokan, atau tingkat kontaminasi seperti lemari es rusak. Rata-rata logam yang dapat dipulihkan konten adalah 68,7% berat untuk butiran leleh dengan ukuran kurang dari 1,4 mm, 92,0 wt% dengan ukuran lebih besar dari 6 mm. Fase logam dari peleburan ukuran butiran terbesar adalah satu bola logam dengan sesekali kecil manik-manik logam masih terperangkap dalam fluks garam. Fase logam mudah untuk terpisah dari aliran garam. Namun, memisahkan fase logam dari terak dalam pencairan butiran yang lebih kecil lebih sulit. Semakin rendah pemulihan logam untuk ukuran yang lebih kecil terutama disebabkan oleh kontaminasi yang lebih banyak dan luas permukaan yang lebih tinggi. Pencemaran tersebut berupa pengeluaran yang melekat terak garam dari pabrik reklamasi garam, yang memiliki efek yang cukup besar padaperilaku leleh butiran.

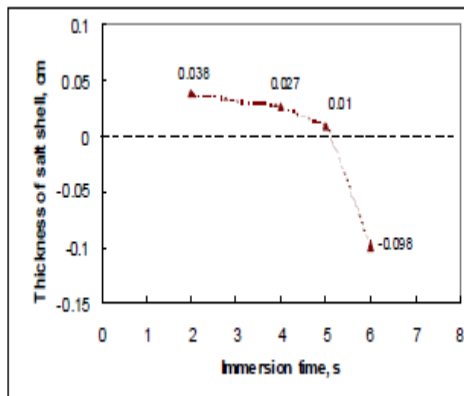
### **Melelehkan potongan kubus dalam garam cair**

Serangkaian percobaan dilakukan untuk mempelajari perilaku peleburan dari kubus aluminium suhu kamar dalam garam cair dan aluminium meleleh. Laju leleh diukur, dan pengaruh lapisan garam pada pelelehan perilaku diselidiki. Ditemukan bahwa lapisan fluks garam memainkan suatu peranan yang sangat penting dalam proses peleburan. Pembentukan cangkang garam menghambat perpindahan panas ke potongan kubus, dan dengan demikian memperlambat pencairan proses, s seperti yang ditunjukkan pada Gambar.5.



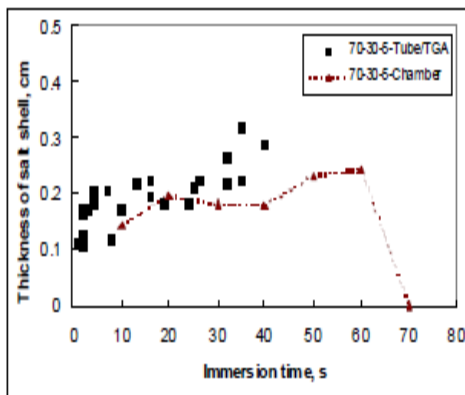
Gambar 5: skrap kubus meleleh dalam lelehan garam dan lelehan aluminium

Untuk mempelajari pembentukan dan peleburan kembali cangkang garam, potongan kubus disekrup pada batang baja (dalam tungku tabung TGA) atau ditangani dengan baja keranjang (dalam ruang tungku) dicelupkan ke dalam lelehan dan dikeluarkan setelah beberapa waktu untuk mengidentifikasi cangkang garam yang terbentuk pada potongan kubus. Garam adalah dengan komposisi 70wt% NaCl -30wt% KCl ditambah tambahan 5wt% dari cryolite. Cangkang garam yang terbentuk kemudian ditimbang berat rata-ratanya diukur. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar.6 (a) dan (b).



(A)

Gambar 6.(A) dalam lelehan garam dan lelehan Al



(B)

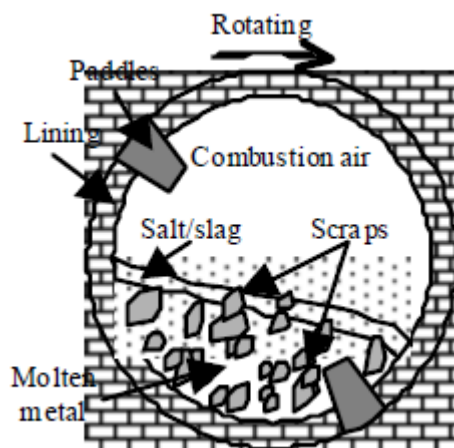
Gambar 6 (B) dalam garam cair



Gambar 6 (A),(B): Cangkang garam terbentuk pada potongan kubus dalam lelehan cair. Pada Gambar 6 (b), kotak menunjukkan ketebalan kulit garam yang terbentuk pada potongan kubus 10 sampai 15 g dalam 120 g garam meleleh. Segitiga menunjukkan rata-rata ketebalan cangkang yang terbentuk pada potongan kubus 3,66 g dalam 250 g lelehan garam. Rasio berat potongan kubus dengan lelehan garam meningkatkan ketebalan cangkang karena efek pendinginan dari padatan bekas. Dibandingkan dengan hasilnya pada Gbr.6 (a) ketika garam dan aluminium meleleh, cangkang garam terbentuk dalam garam cair jauh lebih tebal dan dengan demikian waktu leleh terlihat dari potongan kubus - kulit garam dengan demikian lebih lama.

### Model tungku Computational fluid-dynamics (CFD).

Kompleksitas dalam tungku peleburan putar disebabkan oleh suhu tinggi dan reaksi kimia yang kompleks, dan khususnya umpan skrap yang kompleks. Gbr.7 mengilustrasikan fenomena transportasi yang kompleks dan interaksi antara pakan, produk dan dinding tungku.



Gambar 7: Fenomena kompleks di dalam tungku peleburan putar

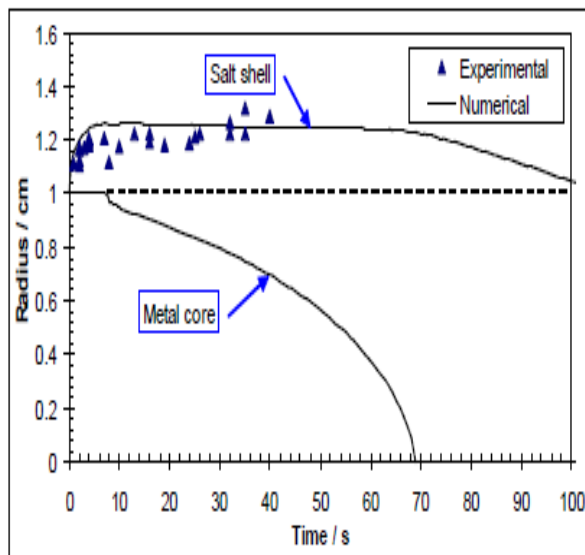
Pemodelan dan optimalisasi tungku peleburan putar dilakukan atas dasar kerangka kerja CFD [5]. Submodel yang dikembangkan pengguna peleburan skrap dan pembakaran logam digabungkan dengan proses CFD model untuk perhitungan perpindahan panas di scrap-zona garam. Itu data operasi industri yang direkonsiliasi digunakan untuk memperkirakan hubungan antara pembakaran logam dan jenis umpan skrap aluminium untuk pemodelan proses. Dengan sub-model peleburan skrap yang digabungkan, the laju leleh skrap aluminium dan heat sink karena meleleh dihitung. Secara bersamaan, perhitungan CFD menyediakan submodel dengan informasi suhu. Selain itu, kepekaan dari parameter model diuji dan optimasi proses dilakukan berdasarkan model perhitungan. Tungku putar skala industri yang digunakan dalam model CFD adalah dengan Diameter dalam 3,0 m, diameter luar 3,65 m, dan panjang 6,9 m. Modelnya terdiri dari wilayah gas di bagian atas tungku (aliran turbulen, pembakaran, dan perpindahan panas radiasi), daerah padat lapisan tungku, dan daerah padat-cair di bagian bawah tungku (peleburan skrap dalam garam cair dan logam). Padat-cair daerah diasumsikan sebagai cairan padat dan

stagnan melakukan. Itu rotasi tungku, biasanya sekitar 1,33 rpm, dan agitasi dayung yang dibangun di dinding tungku tidak dipertimbangkan saat ini panggung. Persamaan yang mengatur untuk kekekalan massa, momentum, dan energi dalam sistem aliran turbulen ruang pembakaran tungku putar dijelaskan di tempat lain [6]. Dalam simulasi CFD, model k-e standar diterapkan disebagian besar simulasi untuk turbulen pembakaran dan aliran gas. Model disipasi Eddy [5] digunakan untuk mewakili pembakaran gas alam dengan oksigen, yaitu berdasarkan konsep bahwa reaksi kimia relatif cepat terhadap transportasi proses dalam aliran. Untuk proses peleburan skrap di tungku putar, perpindahan panas dari zona gas melalui antarmuka gas-scrap adalah kunci untuk proses peleburan memo dan radiasi memainkan peran dominan.

Model transfer diskrit (DTM) digunakan untuk memodelkan fase gas radiasi. Emisivitas dinding interior tungku 0,8 digunakan disebagian besar simulasi untuk pemodelan proses. Sifat termal dari campuran garam dan skrap adalah dihitung berdasarkan fraksi massa dan keadaan fase bahan dalam campuran, serta voidage di zona sisa-garam. Inisial dan kondisi batas ditentukan berdasarkan kondisi mapan perhitungan dan pengamatan industri. Suhu awal dalam gas zona dan zona skrap-garam ditetapkan sebagai 303 K dan tidak ada aliran fluida masuk zona gas di mana tekanan absolut ditetapkan sebagai 1 atm. Inisial suhu dalam struktur lapisan diimpor dari stabil sebelumnya simulasi memanaskan tungku kosong. Distribusi ukuran awal dari scrap didefinisikan dan diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok memo. Saluran masuk dari burner disederhanakan untuk mengurangi waktu komputasi. Tekanan kondisi batas, relatif 0 Pa, ditetapkan untuk outlet. Sebuah konstanta koefisien perpindahan panas efektif 15 W/m<sup>2</sup>K (termasuk radiasi kontribusi) diterapkan untuk dinding luar dan lingkungan suhu ditetapkan sebagai 303 K.

#### **Sub-model: peleburan skrap dalam garam dan lelehan logam**

Untuk mendeskripsikan skrap yang meleleh dalam garam cair - rendaman logam, numerik pemodelan dilakukan untuk satu partikel scarp. Pemerintah parsial persamaan diferensial dari model peleburan disajikan secara rinci dalam publikasi sebelumnya [7]. Dengan memecahkan persamaan ini dengan perbedaan yang terbatas metode, proses peleburan bola bekas dan pembentukan dan peleburan kembali kulit garam di bawah kondisi yang ditentukan dapat dihitung. Itu Hasil perhitungan dibandingkan dengan ketebalan rata-rata yang terukur kulit garam, dan kesepakatan yang masuk akal diperoleh, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.8. Terlihat bahwa logam aluminium di dalam cangkang garam meleleh terlebih dahulu ke kulit garam karena titik leleh garam yang lebih tinggi. Garam pembentukan cangkang dan peleburan kembali ditemukan sebagai langkah pembatas laju peleburan skrap aluminium. Versi modifikasi dari model peleburan skrap, yang mempertimbangkan distribusi ukuran partikel dengan keseimbangan populasi teknik, telah dikembangkan dan digabungkan ke dalam model proses CFD

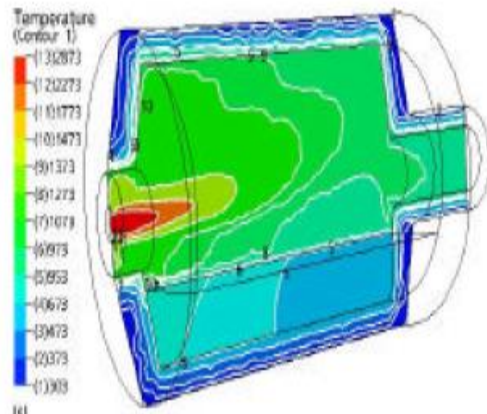


Gambar 8: Hasil perhitungan dan percobaan pembentukan kulit garam dan peleburan kembali (kubus bekas 1,0cm<sup>3</sup> dalam lelehan garam cair pada suhu 800oC)

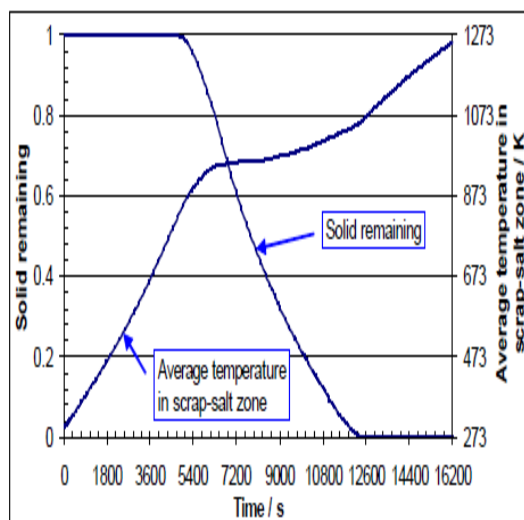
Sub-model pembakaran sisa Aluminium teroksidasi tidak pernah dapat direklamasi dalam aluminium sekunder proses dan memberikan kontribusi untuk kehilangan logam. Tingkat *burn-off* tergantung pada operasi, jumlah garam, kualitas scrap dan banyak faktor lainnya. Panas yang dihasilkan akibat oksidasi logam aluminium berjumlah besar bagian dari input energi total, yang meliputi oksidasi langsung dengan oksigen, dan reaksi aluminium dengan H<sub>2</sub>O atau CO<sub>2</sub>. Selanjutnya mereka reaksi, mis. pembakaran H<sub>2</sub> dan C dengan oksigen, juga menghasilkan banyak energi. Selain itu, logam aluminium juga dapat bereaksi dengan kontaminan dalam memo, mis. plastik, dan reaksi ini dapat dianggap sebagai sumber scrap *burn-off* juga. Untuk menyediakan sumber panas yang masuk akal untuk model tungku, sederhana sub-model pembakaran memo dikembangkan, yang menerjemahkan pembakaran entalpi menjadi sumber panas untuk model proses berbasis CFD. Dalam studi ini, tingkat pembakaran dari sejumlah siklus tungku dievaluasi rekonsiliasi data untuk neraca massa dan energi. Berdasarkan memo yang berbeda umpan, tingkat pembakaran sisa diklasifikasikan sebagai fungsi dari hasil logam. Untuk contoh untuk umpan scrap dengan rendemen logam 80%, scrap habis terbakar sekitar 2,69%, dan panas yang dihasilkan sekitar 657 MJ per ton scrap memberi makan. Diasumsikan bahwa panas yang dihasilkan dari sisa pembakaran berkontribusi baik di daerah gas dan daerah padat-cair dengan rasio yang bervariasi sebagai parameter model. Reaksi pembakaran diasumsikan merata didistribusikan di setiap daerah. Efek pembakaran pada keseimbangan massa adalah dianggap kurang penting dan diabaikan. Implementasi dari sumber energi pembakaran dalam model CFD dikaitkan dengan gas buang yang terukur profil temperatur sebagai fungsi waktu. Secara umum diyakini bahwa variasi besar dari suhu off-gas selama operasi peleburan adalah terutama karena perubahan pembakaran logam. Untuk siklus memo biasa peleburan di tungku industri dengan feed 13 ton scrap dan 4 ton garam, 8540 MJ energi bakar dihasilkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran fluida turbulen, pembakaran gas, radiasi, dan panas terkonjugasi transfer, serta peleburan skrap disimulasikan dengan proses berbasis CFD model. Hasil model disajikan sebagai berikut, yang didasarkan dengan asumsi bahwa 80% dari sisa pembakaran terjadi di dalam gas fase dan 20% sisanya di zona padat-cair. Aliran gas dan pembakaran di tungku putar



Gambar 9: Temperatur medan melintasi bidang tengah dari tampak samping ( $x=0$ ) di tungku pada  $t = 7200$  detik. Pembakaran gas alam adalah sumber energi utama untuk aluminium skrap peleburan di tungku putar. Informasi rinci tentang cairan aliran di zona gas, distribusi suhu di tungku dan aliran energi dari proses telah diperoleh. Gambar 9 menunjukkan bidang suhu di tungku pada detik ke-7200, dari tampilan samping (pada bidang  $x=0$ ). Area nyala api dapat dibedakan dengan jelas dan itu suhu setinggi 2873 K. Suhu off-gas saat ini berada di kisaran antara 1073 K dan 1273 K di outlet tungku. Juga menunjukkan distribusi suhu di scrap-zona garam dan di daerah lapisan.

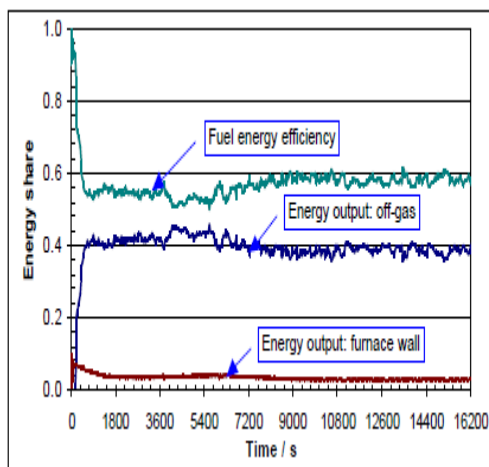


Gambar 10: Kurva lebur dan suhu rata-rata di wilayah sisa-garam

Scrap mencair di wilayah bekas-garam Salah satu tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan peleburan yang sempurna waktu dalam berbagai kondisi.

Dalam hal ini, untuk mencairkan 13 ton skrap aluminium dan 4 ton fluks garam, waktu leleh total yang diprediksi adalah sekitar 4 jam. Gbr.10 menunjukkan proses peleburan skrap dan garam. Pada tahap awal (0 detik hingga 5400 detik) dan tahap akhir (setelah 10800 detik), suhu meningkat lebih cepat, sesuai dengan pemanasan padat dan cair. Bagian tengah kurva menggambarkan tahap peleburan, dimana suhu di wilayah sisa-garam meningkat sangat lambat karena ke heat sink dari perubahan fasa parsial. Aliran energi dan sumber panas dalam proses peleburan Untuk keseimbangan energi dalam proses peleburan, masukan energi utama terdiri dari dua bagian yaitu panas dari pembakaran gas alam dan panas reaksi karena sisa pembakaran. Masukan energi dari pembakaran adalah sekitar 16400 MJ untuk siklus tipikal dan jumlah panas yang terbakar kira-kira 8540 MJ sepertiga dari total masukan energi. Keluaran energi tersusun dari bagian-bagian berikut: panas yang tersimpan dalam logam dan terak garam, panas terbawa oleh gas lepas dan udara bocor, dan kehilangan panas melalui tungku dinding. Aliran energi umum dihitung dan ditunjukkan pada Gambar.11. Energi efisiensi pembakaran bahan bakar dalam konteks ini didefinisikan sebagai energi digunakan untuk memanaskan logam, dan rata-rata bervariasi antara 55% dan 60%. kecuali 5-6 menit pertama. Panas pembakaran dikurangkan dari perhitungan efisiensi energi. Output energi dibawa oleh off-gas rata-rata sekitar 36%, dan kehilangan panas melalui dinding tungku sekitar 4% rata-rata.

#### 4 Ringkasan dan kesimpulan



br. 11: Energi keseluruhan mengalir melalui dinding inlet, outlet, dan tungku

Pemulihan aluminium sekunder menjadi bagian yang sangat penting total pasokan logam aluminium. Untuk pemrosesan skrap aluminium yang efisien, tingkat leleh dan sisa daur ulang merupakan indikator penting untuk evaluasi daur ulang aluminium, yang bergantung pada banyak faktor. Meleleh hasil percobaan mengungkapkan bahwa jenis potongan, ukuran, kondisi permukaan dan kebersihan scrap memiliki dampak yang signifikan pada proses peleburan. Itu daur ulang dari sepuluh memo yang dipilih dinilai dan diberi peringkat sebagai pemeran ingot, profil, stek rolling mill, pelat cetak, sobekan lemari es, botol tutup, pelat mobil, butiran, pembubutan dan foil margarin. Biasanya logam koalesensi dan pemulihan meningkat dengan ukuran memo. Dampak dari suhu tidak

sepending komposisi garam; tambahan cryolite sangat penting meskipun jumlah tambahan harus disimpan ke kebutuhan minimum. Pengadukan berguna untuk aglomerasi logam, yaitu kasus dalam operasi industri tungku putar. Secara umum, tipe memo bantalan tingkat yang lebih tinggi dari kontaminan dan bahan organik dapat diharapkan untuk mencapai pemulihan logam yang lebih rendah. Dalam proses industri, ancampuran scrap yang optimal harus diadopsi untuk mencapai logam yang diinginkan konten, dan untuk memungkinkan scrap mencair dengan konten maksimum kontaminan tanpa berdampak besar pada hasil logam.

## **KESIMPULAN**

Model proses berbasis CFD dikembangkan untuk proses peleburan scrap dalam tungku putar, di mana aliran fluida turbulen sementara, panas radiasi transfer, dan pembakaran gas alam disimulasikan. Eksperimental dan studi numerik peleburan scrap aluminium dalam lelehan cair, serta pengukuran data industri diterapkan untuk mengembangkan, mendukung, dan memvalidasi sub-model dan selanjutnya model proses. Sub-model yang dikembangkan pengguna untuk peleburan scrap dan pembakaran scrap diintegrasikan ke dalam berbasis CFD model proses. Dengan model ini banyak fitur proses yang dapat disimulasikan seperti aliran umum dan karakteristik pembakaran di wilayah gas, profil pemanasan dan peleburan, distribusi energi dan keseimbangan keseluruhan di scrap - daerah garam. Hasilnya menunjukkan bahwa kualitas memo yang didistribusikan, diwakili oleh ukuran partikel dan laju pembakaran scrap, adalah salah satunya faktor penting yang mempengaruhi proses peleburan. Untuk memo dengan tingkat pembakaran yang lebih tinggi, yang biasanya merupakan scrap dengan daya daur ulang yang lebih rendah, total waktu leleh lebih pendek dan konsumsi bahan bakar lebih rendah. Namun, itu dengan mengorbankan kehilangan logam yang lebih tinggi, dan dengan demikian hasil logam yang lebih rendah.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Y. Xiao, M. Reuter and U. Boin, Recycling of aluminium scraps and its environmental impact. Proceedings of 2nd International Conference on Environmental Concerns: Innovative Technologies and Management Options. Oct. 12 – 15, 2004, Xiamen, China, Vol. II, pp.1079-1088.
- Y. Xiao, M. Reuter, P. Vonk, J. Vonken, H. Orbon, Th. Probst, and U. Boin, Experimental study on aluminium scrap recycling. Proceedings of the Fourth International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials. Eds. Stewart Jr., D.L., Daley, J.C. and Stephens, T.L., 22 – 25 October, 2000, USA, pp. 1075 – 1087.
- E.M. Levin, H.F. McMurdie and M. K. Reser, Phase diagrams for ceramics, supplement (figures 4150-4999). Columbus: American Ceramic Society, 1975, p. 334.
- J.Ye and Y. Sahai, Surface tension and density of molten salts based on equimolar NaCl- KCl with addition of fluorides. Materials Transactions, JIM, Vol. 37, No.2 1996, pp. 170 – 174.
- ANSYS inc.: ANSYS-CFX 5.6 Users Manual, 2003.

- B. Zhou, Y. Yang and M. A. Reuter, Process modelling of aluminium scraps melting in molten salt and metal bath in a rotary furnace. *Light Metals 2004*. Eds. Alton T. Tabereaux. TMS Annual Meeting, March 14-18, 2004 Charlotte, North Carolina. TMS, Warrendale. p. 919-924.
- B. Zhou, Y. Yang, and M.A. Reuter, Modeling of melting behavior of aluminium metal in molten salt and metal bath. *Yazawa International Symposium on Metallurgical and Materials Processing*, San Diego, CA, USA, 2003, pp. 1249-1258.
- V. Salet, Steady State Mass and Energy Balance Model of the Rotary Furnace: Study to Determine the Burn-off Rate of Aluminium Metal inside a Rotary Furnace, MSc Thesis, Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2003.