

## ANALISIS KERUSAKAN TABUNG ALUMINA TUNGKU SINTER MINI PADA PROSES PEMANASAN SUHU 1600°C

Triarjo, Sugeng Rianto, Djoko Kisworo  
 Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN  
 Email: triarjo@batan.go.id

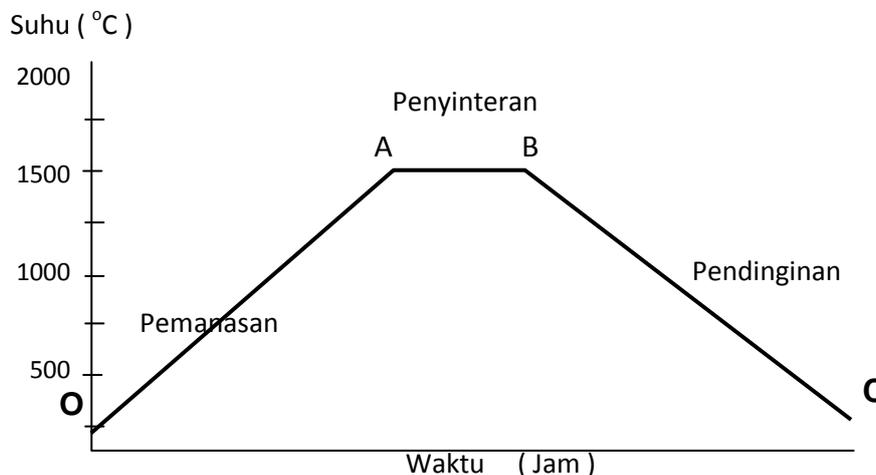
### ABSTRAK

**ANALISIS KERUSAKAN TABUNG ALUMINA TUNGKU SINTER MINI PADA PROSES PEMANASAN SUHU 1600°C.** Telah dilakukan analisis kerusakan tabung alumina tungku sinter mini pada proses pemanasan suhu 1600°C. Berdasarkan data catatan operasi alat dapat diketahui besar laju pemanasan, suhu penahanan dan laju penurunan atau pendinginan suhunya. Analisis dilakukan pada data buku catatan operasi tungku mini untuk operasi 1600°C, terdapat kegagalan pada laju penurunan suhu tungku dan keluaran gas yang dimasukkan ke air pendingin tidak ada gelembung udara. Tujuan analisis adalah untuk mengetahui berapa besar suhu di dalam tungku agar tungku dapat dimatikan tanpa menimbulkan kerusakan pada tabung alumina. Metoda analogi digunakan dengan membandingkan karakteristik tungku Sinter ME-06, yang sudah diketahui karakteristiknya. Dari hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa penurunan suhu tungku sinter mini dari suhu 1548°C dengan laju penurunan 526 °C/jam, yang melebihi 300 °C/jam, dapat menyebabkan kerusakan pada tungku tersebut.

**Kata kunci:** Alumina, tungku sinter mini, penurunan suhu

### PENDAHULUAN

*Sintering* adalah suatu proses yang diperlukan untuk mengubah pelet mentah menjadi komponen elemen bakar (pelet sinter), yang mempunyai rapat massa lebih besar dari 90% rapat massa teoritis. Peristiwa penyinteran didefinisikan sebagai proses pemanasan pelet mentah (*green pellets*) pada suhu dibawah titik leleh serbuknya. Dalam prakteknya, penyinteran dilakukan dengan jalan memanaskan dengan laju pemanasan, suhu penyinteran, lama penyinteran, dan laju pendinginan tertentu dan dalam tekanan tertentu pula. Pola penyinteran ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Kurva waktu vs suhu penyinteran<sup>[2]</sup>.

Tahap pemanasan (OA) adalah tahap pemanasan dari suhu kamar sampai kepada suhu puncak/suhu sinter atau *soaking time*. Tahap penyinteran (AB) adalah tahap pelet dibiarkan berada pada suhu puncak/ waktu penyinteran atau *sintering time*. Tahap pendinginan (BC) adalah tahap pendinginan pelet dari suhu puncak sampai kepada suhu kamar. Laju pemanasan, suhu penyinteran, lama penyinteran, dan laju pendinginan berpengaruh terhadap hasil penyinteran pelet. Pemanasan dan pendinginan yang terlalu cepat dapat menyebabkan pelet menjadi retak, terutama pada tahap pendinginan pelet berada dalam kondisi yang sangat rapuh. Selain itu juga alumina tungku akan menjadi retak atau pecah jika dilakukan pemanasan dan pendinginan yang terlalu cepat. Pemanasan dan pendinginan sistem tungku sinter di desain maksimum 300°C/jam <sup>[1]</sup>.

Dalam operasi tungku sinter mini dilakukan pengendalian laju kenaikan suhu, penahanan suhu (*soaking*) proses pada suhu maksimum, dan laju penurunan suhu. Hal yang sangat tidak diinginkan adalah ketika proses pada suhu maksimum, terdapat gangguan sistem yang menyebabkan penurunan suhu secara drastis yang menyebabkan terjadinya keretakan atau pecah pada tabung alumina tungku sinter mini.

## METODA

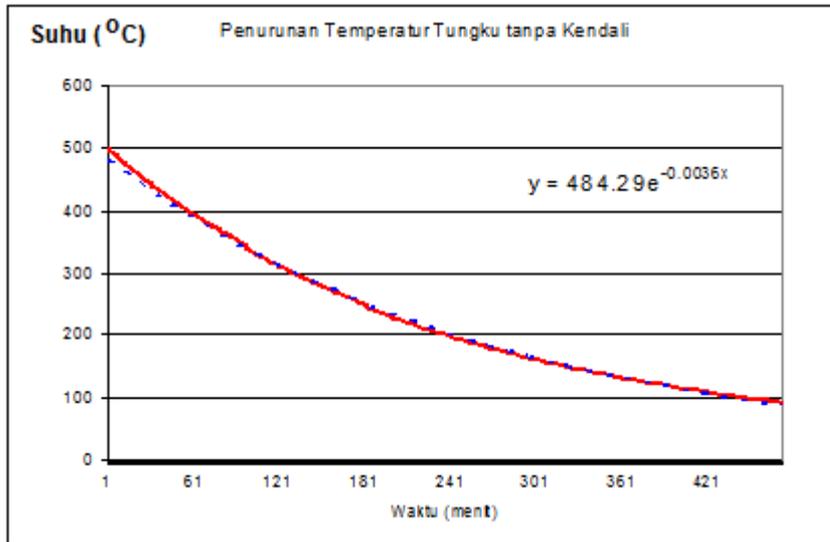
Karakteristik penurunan suhu dari tungku mini tersebut belum diketahui, maka digunakan metode analogi, dengan menggunakan pola penurunan suhu tungku sinter ME-06 yang telah diketahui, serta dilakukan analogi pendekatan untuk karakteristik Tungku Sinter mini.

Persamaan matematis antara perubahan suhu dan waktu tungku sinter ME-06 adalah sebagai berikut <sup>[2]</sup>:

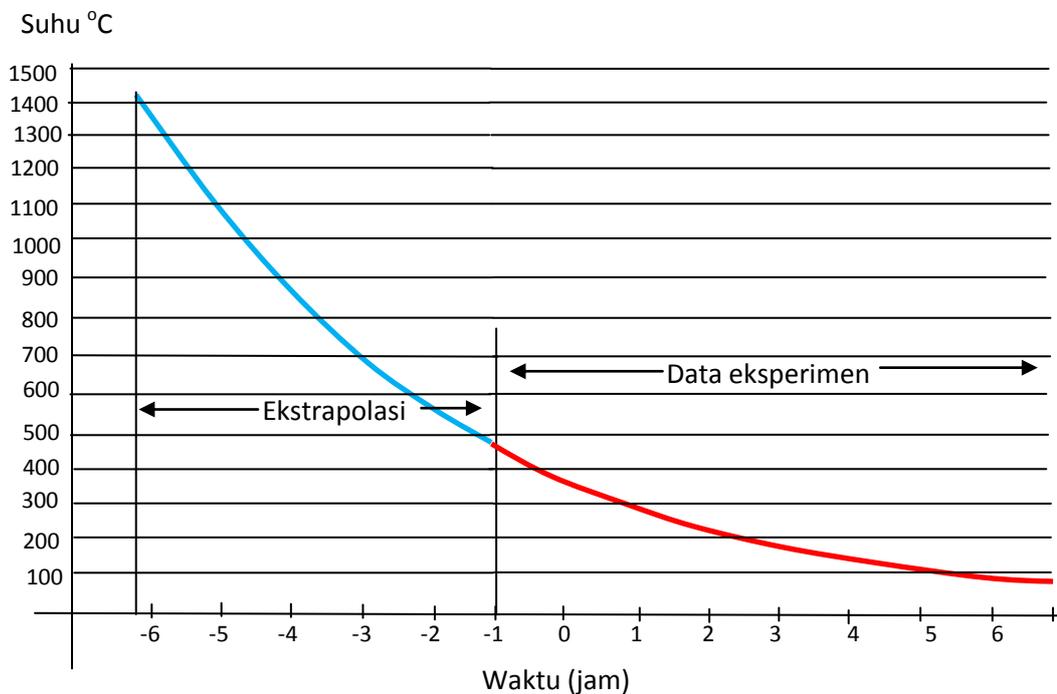
$$y = 484.29 e^{-0.0036x} \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan tersebut diperoleh dari eksperimen pada Gambar 2. Data tersebut diperoleh dengan mencatat waktu dan suhu di dalam tungku dari suhu 500 °C ke suhu kamar dengan kondisi tidak dikendalikan (aliran listrik ke filamen pemanas tungku diputus). Dari data tersebut diperoleh konstanta waktu ( $\sigma$ ) dari tungku ME-06 adalah 278 menit, yaitu  $\sigma = 1/0,0036 = 278$ . Dengan cara ekstrapolasi, maka diperoleh data jika tungku dihentikan pemanasannya dari suhu 1500 °C seperti pada Gambar 3. Dari suhu 1500 °C menuju 500 °C diperlukan waktu sampai 5 jam untuk tungku sinter ME-06, maka pendekatan rata-rata penurunan suhu tanpa dikendalikan untuk tungku ME-

06 adalah 200 °C/jam. Batas perubahan suhu yang tidak boleh dilalui agar tidak terjadi retak (*crack*) akibat *thermal shock* adalah 300 °C/jam<sup>[2]</sup>. Itu sebabnya pengendalian suhu operasi dibatasi maksimum perubahan 300 °C/jam dan tidak boleh lebih.



Gambar 2. Karakteristik tungku ME-06 (data eksperimen)



Gambar 3. Ekstrapolasi karakteristik tungku ME-06

Untuk Tungku Sinter Mini, karakteristik suhu sebagai fungsi waktu tersebut belum diketahui, oleh karena itu akan digunakan cara pendekatan dari perbandingan

volume ruang tungku, antara Tungku Sinter ME-06 dan Tungku Sinter Mini. Tabel 1 adalah ukuran ruang tungku dari kedua tungku tersebut yang berbentuk silinder.

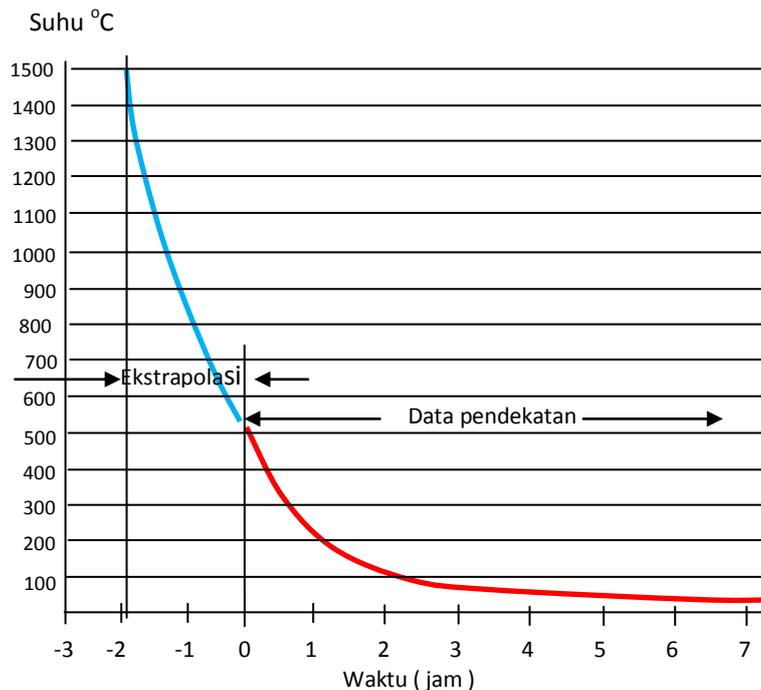
Tabel 1. Perbandingan ukuran Tungku Sinter ME-06 dan Tungku Sinter Mini

Ukuran Tungku	Tungku Sinter ME-06	Tungku Sinter Mini
Diameter luar	313 mm	86,8 mm
Tinggi	316 mm	1.500 mm
Volume	24.314.516,56 mm <sup>3</sup>	8.876.067,39 mm <sup>3</sup>

Dari Tabel 1 diperoleh bahwa volume Tungku Sinter Mini = 0,365 kali volume Tungku Sinter ME-06. Angka perbandingan ini akan digunakan untuk pendekatan perbandingan konstanta waktu kedua tungku, sehingga konstanta waktu Tungku Sinter Mini = 0.365 x konstanta waktu Tungku Sinter ME-06. Dari hasil pendekatan maka didapatkan angka konstanta waktu Tungku Sinter Mini adalah 101,47 menit sehingga pendekatan persamaan karakteristik Tungku Sinter Mini adalah:

$$y = 484,29 e^{-0.00986x} \dots\dots\dots (2)$$

Grafik dari persamaan (2) dan ekstrapolasinya ke suhu 1500 °C ditunjukkan pada Gambar 4.



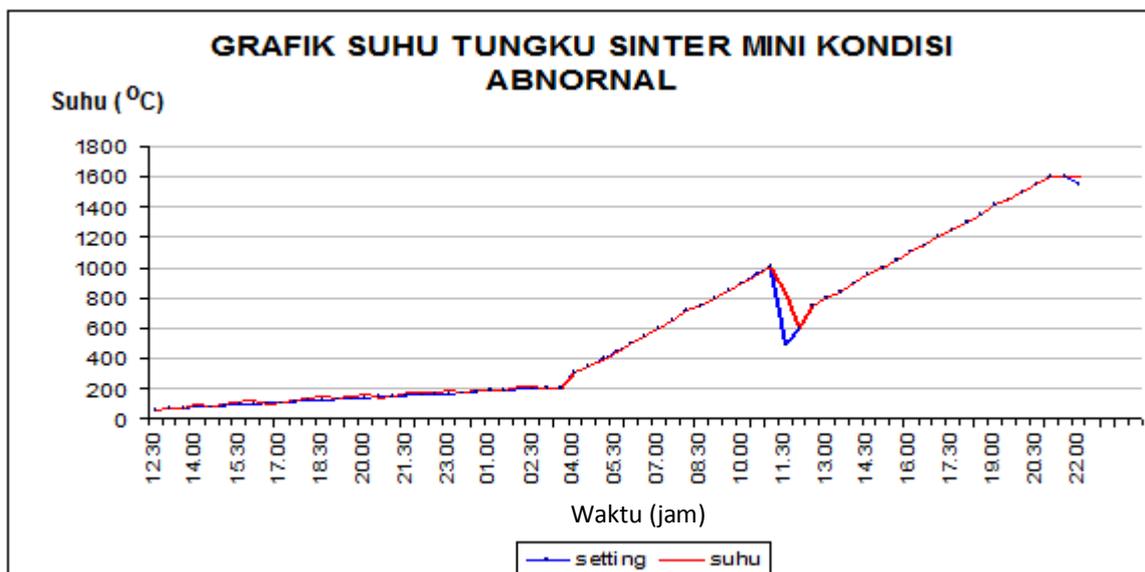
Gambar 4. Pendekatan karakteristik Tungku Sinter Mini

Pada Gambar 4 terlihat bahwa, rata-rata penurunan suhu dari 1500 °C menuju suhu 500 °C tanpa pengendalian (aliran listrik ke filamen tungku diputus) adalah mendekati 526 °C/jam. Angka ini melebihi batas yang diperbolehkan dalam desain tungku sinter mini yaitu 300 °C/jam<sup>[1]</sup>. Kondisi ini berakibat tabung Tungku Sinter Mini mengalami patah aluminanya dan retak-retak seperti yang telah terjadi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pemeriksaan dan analisa data operasi tungku sinter mini pada dua operasi terakhir, didapat data sebagai berikut:

Data operasi pertama Tungku Sinter Mini untuk *setting* suhu 1600 °C dalam bentuk grafik adalah sebagai berikut (Gambar 5):



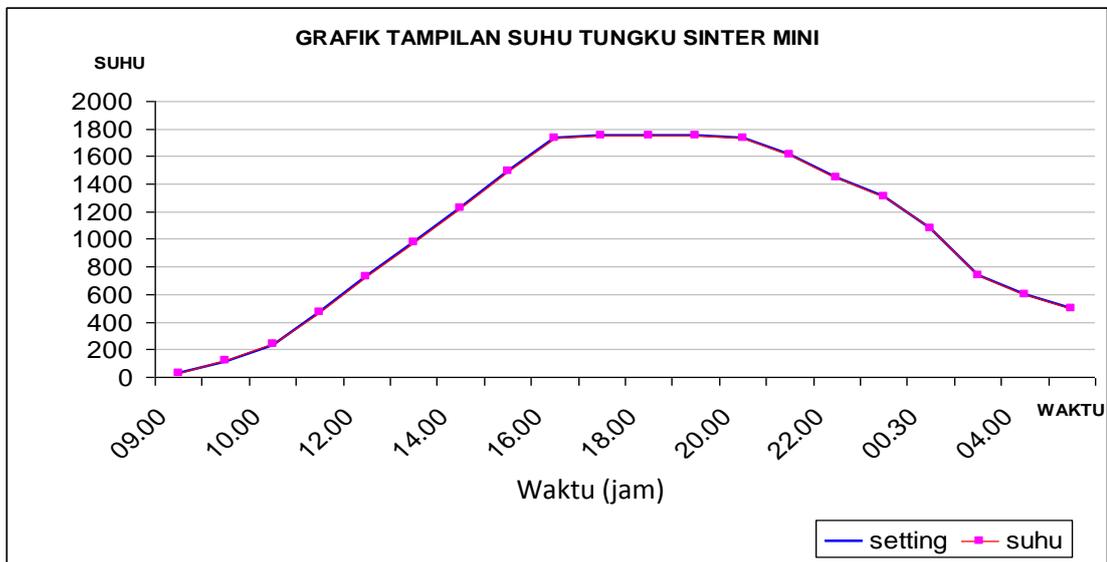
Gambar 5. Grafik data operasi Tungku Sinter Mini pada suhu 1600°C

Dari gambar di atas terdapat 2 kondisi abnormal sistem tungku yaitu:

1. Penurunan suhu tungku secara tiba-tiba. Penurunan ini diperkirakan adanya trip pada sistem elektrik pusat, namun ini bisa diatasi dengan dilakukan pemrograman ulang pada sistem *controller* tungku dengan kenaikan 100°C/jam ditahan pada suhu 1600 °C selama 2 jam dan penurunan suhu 150°C/jam, dengan pemrograman sistem *controller* ini tungku berjalan normal. Pada saat terjadinya trip yang menyebabkan penurunan suhu secara tiba-tiba juga berpengaruh terhadap keretakan pada alumina karena penurunan tersebut dari suhu 1000°C menuju 500°C berlangsung selama 30 menit. Dari hasil ekstrapolasi menunjukkan penurunan suhu melebihi batas yang diijinkan sesuai dengan persamaan 2 diatas.

- Setelah suhu tungku tercapai yaitu 1600°C dan ditahan selama 2 jam, tungku dimatikan secara langsung tanpa menunggu proses penurunan suhu yang sudah diprogram oleh *controller* sebelumnya, dimana suhu saat dimatikan adalah 1548°C. Tungku Sinter Mini pada suhu 1548°C dimatikan oleh operator tanpa melihat pada suhu berapa tungku tersebut sudah dapat dimatikan tanpa mengalami kerusakan sesuai dengan prosedur operasi alat yang ada untuk batasan suhu aman tungku dapat dimatikan.

Data operasi kedua Tungku Sinter Mini untuk *setting* suhu 1750°C dalam bentuk grafik adalah sebagai berikut (Gambar 6):

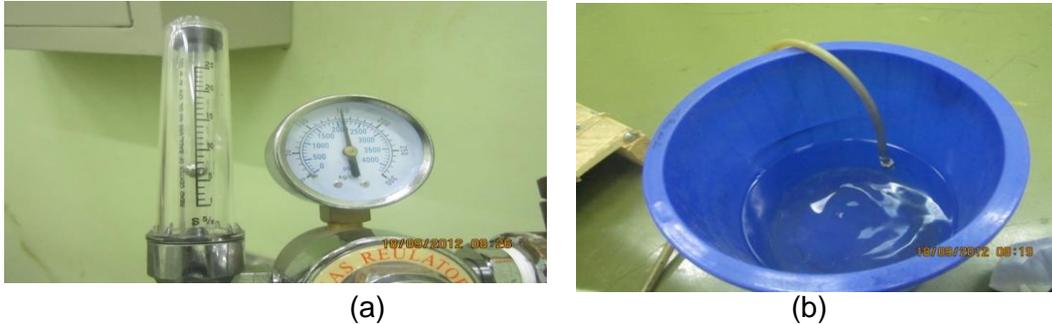


Gambar 6. Grafik data operasi Tungku Sinter Mini pada suhu 1750°C

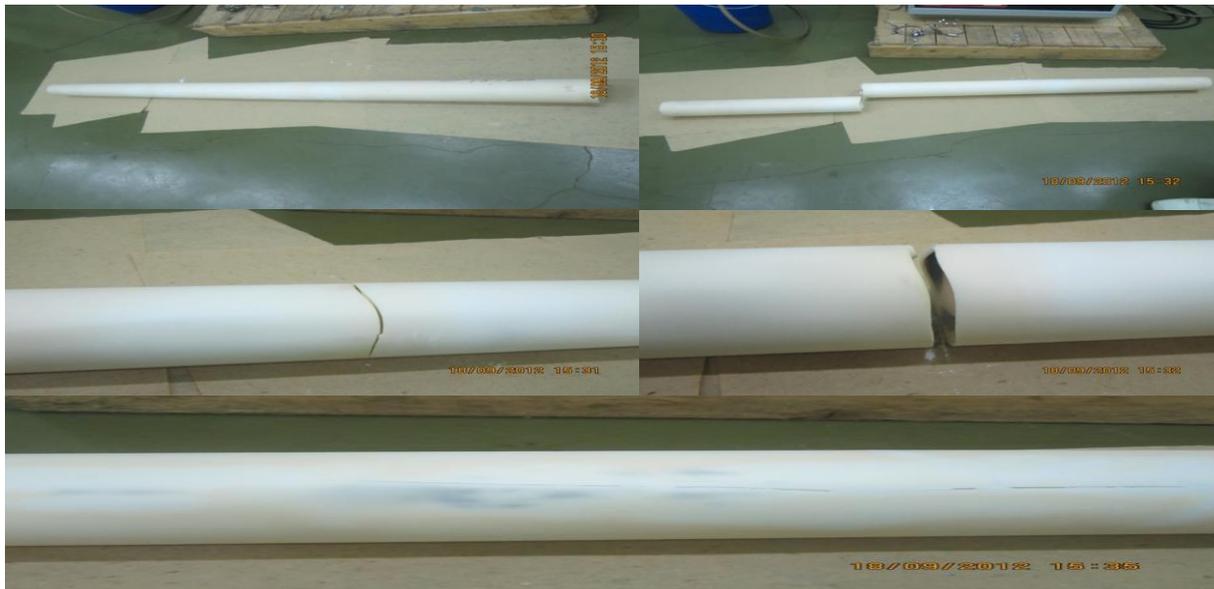
Dari gambar di atas terlihat sistem dapat dikontrol baik untuk kenaikan suhu dengan kenaikan 250°C/jam ditahan pada suhu 1750 °C selama 4 jam dan penurunan suhu 150°C/jam sampai dengan 500°C tungku dimatikan, dengan pemrograman sistem *controller* ini tungku berjalan normal.

Untuk analisis aliran gas masukan (gambar 7.a) ketika operasi berjalan, gas masukan mengalir yang dikontrol dengan membuang gas kedalam air pendingin (gambar 7.b) sehingga terbentuk gelembung-gelembung gas buang. Pada akhir operasi menunjukkan tidak adanya gelembung-gelembung gas buang, diperkirakan hal ini sudah ada keretakan tabung alumina tungku. Keretakan alumina tungku ini diperkirakan terjadi pada awal operasi kedua, yang ditandai dengan sedikitnya gelembung gas keluaran pada *scraber air*, meskipun dimasukan (*supply*) gas dengan

laju alir (*flowrate*) yang cukup besar. Gambar 8 menunjukkan keretakan atau patahnya alumina setelah operasi kedua selesai dijalankan.



Gambar 7. *Flow gas inlet* dan *gas outlet* operasi yang dimasukkan ke air



Gambar 8. Keretakan/patah pada tabung alumina.

## KESIMPULAN

Operasi tungku sinter mini telah dilakukan pada suhu pemanasan  $1600^{\circ}\text{C}$  yang jika dilakukan tanpa prosedur yang ada pada saat kenaikan suhu, penahanan suhu dan penurunan suhu akan berpengaruh pada kerusakan alat. Penurunan suhu tungku sinter mini dari suhu  $1548^{\circ}\text{C}$  dengan laju penurunan  $526^{\circ}\text{C/jam}$  dapat menyebabkan kerusakan pada alumina tungku sinter mini. Dapat disimpulkan bahwa penurunan drastis tungku sinter melebihi  $300^{\circ}\text{C/jam}$  dapat menyebabkan kerusakan pada tungku tersebut.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. ANONIM, "Installation, Operation & Maintenance Instructions 1700-1800°C Tube Furnaces types CTF & TZF", Carbolite, tahun 2014.
- [2]. ACHMAD SUNTORO, "Karakterisasi Komponen Kendali Suhu Tungku Sinter Pelet UO<sub>2</sub> ME-06", PRIMA Volume 4, Nomor 7, Juni 2007.
- [3]. ANONIM, "Guide for ceramographic preparation of UO<sub>2</sub> sintered pellets for microstructure examination ISO 16793" Nuclear fuel technology, tahun 2005.
- [4]. ANONIM, "Installation, Operation & Maintenance Instructions Work Tube End Seals Gas and Vacuum Application", Carbolite, tahun 2014.