

SIMULASI CFD AIR COOLING SYSTEM PADA REFRACTORY SMELTER

Adi Chandra Wijaya¹⁾, Ekadewi A. Handoyo²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658

E-mail : m24411003@john.petra.ac.id¹⁾

ABSTRAK

Sekarang ini ekspor hasil dari pertambangan di Indonesia yang berupa mineral / ore mentah mengalami permasalahan, salah satunya adalah munculnya peraturan undang-undang yang melarang untuk dilakukannya ekspor ore / mineral mentah. Dengan munculnya undang-undang ini, maka setiap pertambangan diharuskan untuk memurnikan hasil tambangnya terlebih dahulu sebelum melakukan ekspor. Hal ini dapat dilakukan dengan cara membangun sebuah smelter untuk memurnikan hasil tambang tersebut.

Dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan secara numerik atau simulasi CFD pada model smelter dengan menggunakan sistem pendinginan udara. Simulasi ini bertujuan untuk menentukan desain dari sistem pendinginan udara pada smelter tersebut. Desain sistem pendinginan udara tersebut akan didasarkan pada hubungan 4 parameter yaitu kecepatan aliran udara, lebar celah udara, lebar inlet, dan ukuran diameter outlet. Parameter – parameter ini menjadi poin utama untuk menentukan desain dari sistem pendinginan pada smelter tersebut.

Dari hasil penelitian ini akan didapatkan beberapa hasil simulasi smelter yang memiliki berbagai ukuran desain sistem pendinginan udara yang berbeda. Desain sistem pendingin yang efisien terdapat pada desain model smelter 2. Pada desain sistem pendingin pada smelter 2 ini didapatkan nilai lebar celah udara (D_h) sebesar 0,35 m, V_{celah} sebesar 110,1 m/s, lebar inlet sebesar 0,6 m (berbentuk persegi panjang), dan diameter outlet 0,45 m. Desain ini memberikan hasil yang cukup baik yaitu temperature rata-rata pada permukaan luar refractory sebesar 378,69 K dan tidak memiliki perbedaan temperature yang besar dari hasil awal yang diinginkan yaitu 373,15 K.

Kata kunci : smelter, refractory, simulasi CFD, sistem pendinginan udara.

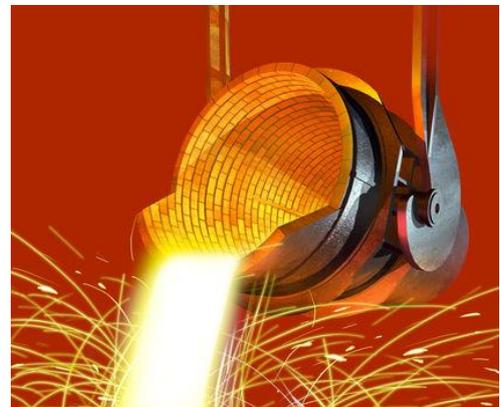
1. Pendahuluan

Ekspor adalah proses transportasi barang atau komoditas dari suatu negara ke negara lain. Strategi ekspor sering digunakan karena resiko lebih rendah, modal lebih kecil, dan lebih mudah dibandingkan dengan strategi lainnya. Sekarang ini ekspor hasil dari pertambangan berupa mineral / ore mentah mengalami beberapa masalah, salah satunya adalah munculnya peraturan undang-undang yang melarang untuk dilakukannya ekspor ore / mineral mentah. Pada tahun-tahun sebelumnya peraturan undang-undang ini masih mendapat keringanan berupa pengurangan jumlah ekspor, akan tetapi pada tahun 2014 sudah tidak diperbolehkan melakukan ekspor mineral mentah yang berdasarkan pada (PP) no 1 tahun 2014, oleh karena itu hasil tambang berupa ore / mineral mentah haruslah diproses terlebih dahulu agar dapat diekspor.

Berdasarkan peraturan tersebut maka setiap perusahaan tambang haruslah memurnikan hasil tambangnya terlebih dahulu sebelum melakukan ekspor, hal ini dapat dilakukan salah satunya dengan cara membangun smelter. Akan tetapi pembuatan smelter ini mengalami berbagai masalah, terutama bagi perusahaan tambang menengah hingga kecil. Terdapat 2 hal permasalahan yang utama yaitu aspek ekonomi berupa modal untuk membuat smelter dan kurangnya pengetahuan yang diperlukan untuk dapat membuat

smelter yang baik.

Smelter adalah sebuah fasilitas pengolahan hasil tambang yang berfungsi meningkatkan kandungan logam seperti timah, nikel, tembaga, emas, dan perak hingga mencapai tingkat yang memenuhi standar sebagai bahan baku produk akhir. Proses tersebut telah meliputi pembersihan mineral logam dari pengotor dan pemurnian. Pada gambar dibawah ini adalah contoh smelter yaitu :



Gambar 1.1. Contoh smelter [2].

Smelter haruslah mampu untuk beroperasi tanpa terjadinya *breakdown*. Hal ini dapat diwujudkan dengan *maintenance* dan konstruksi smelter yang baik. Salah

satu bagian yang penting dalam furnace adalah *refractory* yang berfungsi sebagai *thermal insulation*. Apabila *refractory* mengalami kerusakan maka *molten metal* akan mengenai *carbon steel* yang berada di luar *refractory* yang dapat mengakibatkan kebocoran *material* serta membahayakan keselamatan pekerja. Salah satu hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan *refractory* yaitu mengatur *cooling system*, *cooling system* pada *smelter* ini menggunakan aliran udara. Aliran udara ini digunakan untuk menerima panas dari *molten metal* yang merambat melalui dinding *refractory*.

Smelter pada umumnya tidak menggunakan sistem pendinginan udara, hal ini dikarenakan pendinginan yang akan terjadi apabila menggunakan aliran udara akan tidak rata. Akan tetapi pada penelitian ini tidaklah memprioritaskan kerataan temperatur pada *smelter* tersebut. Hal ini dikarenakan penggunaan sistem aliran udara ini dihubungkan pada *smelter* dengan tujuan agar aliran udara ini dapat diteruskan untuk dipakai pada proses lain.

1.2. Tujuan

Membuat desain / konstruksi *air cooling system* pada *smelter* yang memberikan hasil temperature pada permukaan luar *refractory* $\pm 100^{\circ}\text{C}$ dalam bentuk 3d model pada simulasi CFD.

1.3. Manfaat

Dengan terpenuhinya kebutuhan *smelter* maka setiap pertambangan dapat melakukan pemrosesan mineral mentah agar dapat di ekspor, serta dengan dibuatnya desain sistem pendinginan *smelter* yang baik maka dapat mengurangi kemungkinan terjadinya *breakdown* pada saat memproses mineral / *ore* mentah tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1. Langkah Penelitian

Permasalahan yang dihadapi adalah mendesain *cooling system* pada permukaan luar *carbon steel* pada *smelter*. Sistem pendinginan ini menggunakan udara yang akan dialirkan dengan bantuan *blower*.

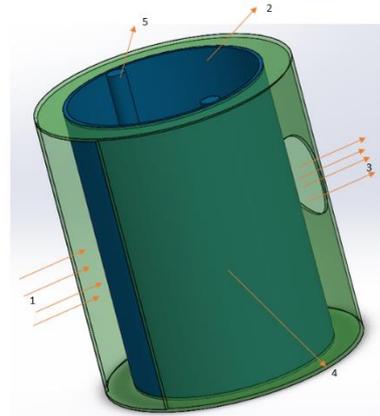
Perancangan dilakukan secara numerik atau simulasi CFD. Dengan simulasi CFD ini akan mendapatkan beberapa model yang akan divalidasi, validasi tersebut dilakukan dengan cara eksperimen / percobaan untuk skala kecil.

Percobaan skala kecil tersebut menggantikan beberapa komponen pada *smelter* agar dapat dilakukan eksperimen. Pada percobaan tersebut panas pembakaran akan digantikan dengan *heater*, sedangkan untuk *refractory* akan digantikan dengan kaleng yang terbuat dari aluminium, dan untuk cover luar pada *smelter* akan digantikan dengan cover dari karton. Percobaan skala kecil tersebut dilakukan dengan

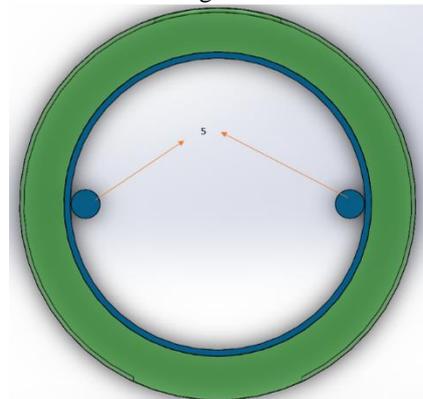
2.2. 3d Model Penelitian

Pada gambar dibawah ini terdapat 2 jenis model untuk penelitian, yaitu :

1. Model eksperimen (untuk validasi)



Gambar 2.1. Desain model eksperimen dengan *heater*.

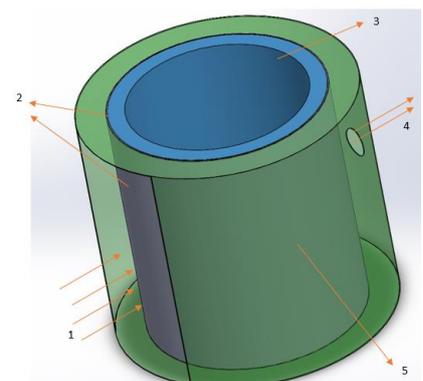


Gambar 2.2. Tampak atas model eksperimen dengan *heater*.

Keterangan pada gambar 2.1 dan 2.2 :

- o No 1 : desain inlet berupa persegi panjang
- o No 2 : kaleng
- o No 3 : desain *outlet* berupa lingkaran
- o No 4 : cover luar dari karton
- o No 5 : *heater*

2. Model smelter



Gambar 2.3. Desain model smelter 1.

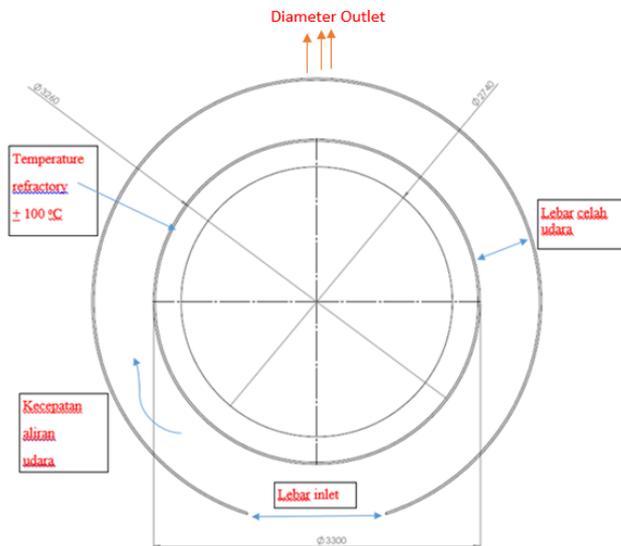
Keterangan pada gambar 2.3 :

- o No 1 : desain *inlet* berupa persegi panjang
- o No 2 : *carbon steel*
- o No 3 : refractory
- o No 4 : desain *outlet* berupa lingkaran (blower)
- o No 5 : cover luar berbahan *steel*

2.3. Data Penelitian

1. Diameter luar *refractory* sebesar 3,26 m dengan ketebalan 0,26 m.
2. Diameter luar *carbon steel* 3,3 m dengan ketebalan 0,02 m.
3. Nilai temperatur pada permukaan bagian dalam *refractory* sebesar 1800 °C.
4. Sistem pendinginan udara menggunakan blower.

2.3. Parameter Penelitian

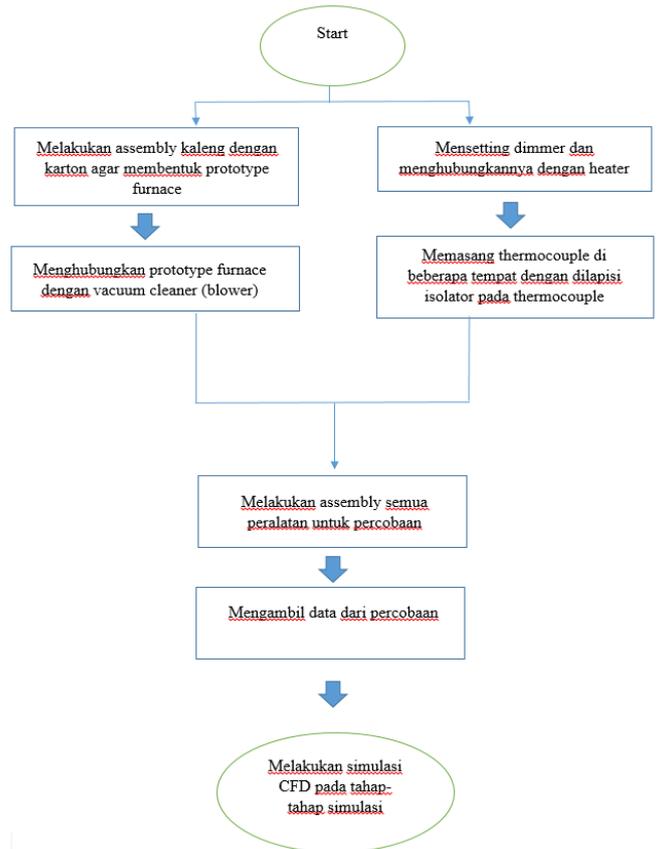


Gambar 2.4. Tampak atas dan parameter pada smelter.

Berdasarkan gambar 2.4, terdapat 4 parameter yang memiliki peran penting dalam proses pendinginan pada smelter yaitu :

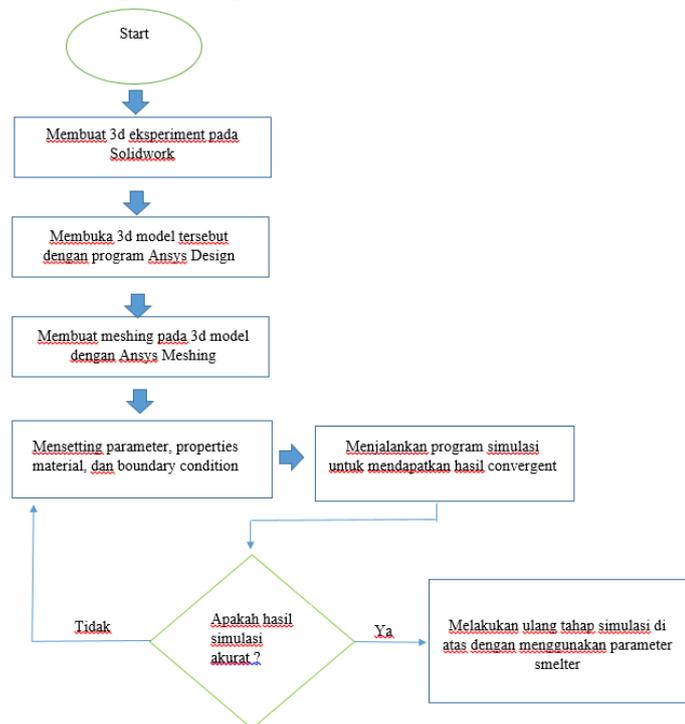
1. Lebar desain *inlet*
2. Diameter *outlet*
3. Kecepatan aliran udara
4. Lebar daerah aliran udara / celah udara

2.4. Tahap – Tahap Eksperimen



Gambar 2.5. Blok diagram tahap – tahap eksperimen

2.5. Tahap – Tahap Simulasi



Gambar 2.6. Blok diagram tahap – tahap eksperimen

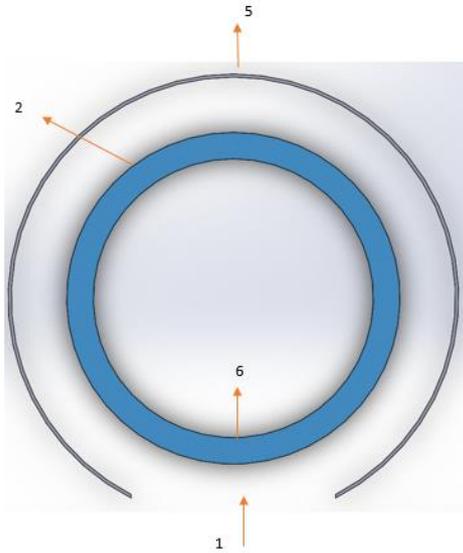
2.6. Hasil Penelitian

Hasil Penelitian berupa 7 jenis smelter yang memiliki desain sistem pendinginan udara yang berbeda-beda. Dari 7 desain tersebut akan dilakukan simulasi CFD untuk mendapatkan 1 desain smelter yang memiliki sistem pendinginan udara yang paling efisien.

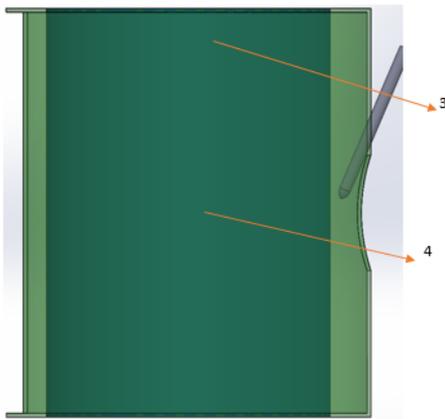
3. Analisa dan Simulasi 3d Model Eksperimen

3.1. Hasil Eksperimen Berupa Data Temperatur

Pengambilan data temperatur untuk model eksperimen menggunakan thermocouple yang ditempatkan pada beberapa posisi / lokasi pada model tersebut, yaitu :



Gambar 3.1. Lokasi pengambilan data temperatur 1,2,5,dan 6 pada model eksperimen.



Gambar 3.2. Lokasi pengambilan data temperatur 3 dan 4 pada model eksperimen.

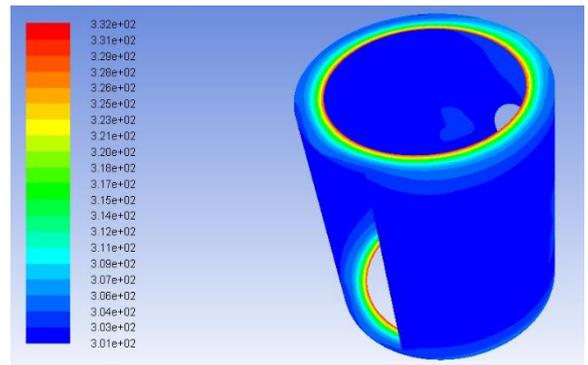
Hasil temperatur yang diambil oleh thermocouple sesuai dengan posisi pada gambar 3.1 dan 3.2, dapat dilihat pada tabel 3.1, yaitu :

Tabel 3.1. Temperatur pada model eksperimen

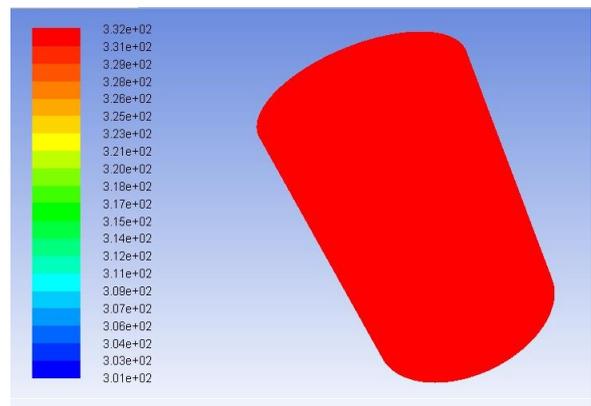
NO	PARAMETER	TEMPERATUR
1	T_{inlet}	28 °C
2	$T_{permukaan\ luar\ kaleng}$	57,1 °C
3	$T_{permukaan\ luar\ karton\ posisi\ 1}$	31,5 °C
4	$T_{permukaan\ luar\ karton\ posisi\ 2}$	28,5 °C
5	T_{outlet}	36,9 °C
6	$T_{permukaan\ dalam\ kaleng}$	59,2 °C

3.2. Hasil Simulasi Pada Model Eksperimen

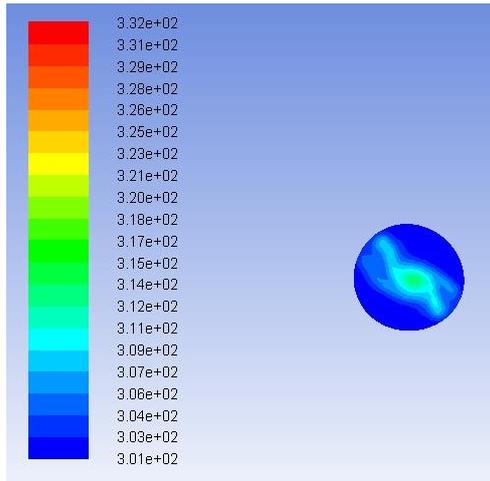
Hasil simulasi CFD dari model eksperimen yaitu :



Gambar 3.3. Temperatur pada cover luar simulasi model eksperimen.



Gambar 3.4. Temperatur pada kaleng simulasi model eksperimen.



Gambar 3.5. Temperatur *outlet* pada simulasi model eksperimen.

Hasil temperatur yang diambil pada model simulasi CFD memiliki posisi yang sama seperti pada gambar 3.1 dan 3.2, nilai temperatur pada hasil simulasi CFD yaitu :

Tabel 3.2. Temperatur pada simulasi model eksperimen

NO	PARAMETER	TEMPERATUR
1	T_{inlet}	28 °C
2	$T_{permukaan\ luar\ kaleng}$	59,17 °C
3	$T_{permukaan\ luar\ karton\ posisi\ 1}$	30,95 °C
4	$T_{permukaan\ luar\ karton\ posisi\ 2}$	28,65 °C
5	$T_{outlet\ rata-rata}$	30,62 °C
6	$T_{permukaan\ dalam\ kaleng}$	59,2 °C

3.3. Validasi Perbandingan Hasil Simulasi Model Dengan Eksperimen

1. Temperatur pada inlet :

Temperatur *inlet* pada sistem pendinginan udara yang digunakan dalam model eksperimen memiliki nilai yang sama dengan temperatur udara pada ruang eksperimen tersebut. Parameter T_{inlet} ini pada model simulasi memiliki nilai yang sama dengan T_{inlet} pada model eksperimen.

2. Temperatur pada permukaan luar kaleng :

Temperatur pada permukaan luar kaleng ini adalah salah satu bagian dari model eksperimen yang mengalami proses pendinginan secara langsung.

Parameter pada model eksperimen ini menunjukkan bahwa proses pendinginan berlangsung cukup baik, sedangkan pada simulasi CFD proses pendinginan yang terjadi tidak berlangsung baik, maka hal ini menyebabkan

temperatur permukaan luar kaleng hampir sama dengan nilai temperature permukaan dalam kaleng.

Hal ini dapat disebabkan karena :

1. Material pada model eksperimen tidak berupa 100% aluminium sehingga terdapat perbedaan material antara model simulasi dengan model eksperimen.
2. Temperature pada permukaan dalam kaleng pada model eksperimen tidak rata sehingga proses pemanasan dari heater dan pendinginan dari aliran udara menghasilkan temperatur yang berbeda pada setiap bagian.
3. Temperatur pada permukaan luar karton pada posisi 1 :

Temperatur permukaan luar pada cover karton pada bagian 1 ini dekat dengan bagian cover yang mengenai permukaan luar kaleng sehingga temperature cover luar pada daerah ini lebih tinggi daripada daerah lain yang lebih jauh dari posisi tersebut.

Perbedaan temperature pada hasil eksperimen dan simulasi CFD tidak memiliki banyak perbedaan sehingga dapat dikatakan bahwa hasil temperature pada simulasi CFD tersebut valid.

4. Temperatur pada permukaan luar karton pada posisi 2 :

Temperatur permukaan luar pada cover karton pada bagian 1 ini jauh dengan bagian cover yang mengenai permukaan luar kaleng sehingga temperature cover luar pada daerah ini lebih rendah daripada daerah lain yang lebih dekat dengan permukaan kaleng.

Perbedaan temperatur pada hasil eksperimen dan simulasi CFD tidak memiliki banyak perbedaan sehingga dapat dikatakan bahwa hasil temperature pada simulasi CFD tersebut valid.

5. Temperatur rata – rata pada *outlet* :

Nilai pada temperatur *outlet* rata-rata pada model eksperimen didapatkan dengan menggunakan alat thermocouple, sedangkan pada simulasi CFD nilai tersebut didapatkan dari hasil *surface integral* untuk mendapatkan nilai temperatur tersebut.

Temperatur yang didapat dari hasil simulasi CFD memiliki perbedaan yang cukup besar dengan hasil dari model eksperimen, hal ini dikarenakan pengukuran temperatur pada model eksperimen tidak tepat pada daerah *outlet* dan lebih mendekati permukaan kaleng. Sehingga temperatur dari hasil pengukuran model eksperimen itu lebih tinggi daripada hasil simulasi CFD.

6. Temperatur pada permukaan dalam kaleng :
 Temperature pada permukaan dalam kaleng pada model eksperimen didapatkan dari hasil pengukuran temperature menggunakan alat thermocouple dan nilai temperature tersebut digunakan untuk simulasi CFD. Sehingga nilai temperature tersebut sama.

4. Analisa dan Simulasi 3d Model Smelter

4.1. Parameter Desain Smelter

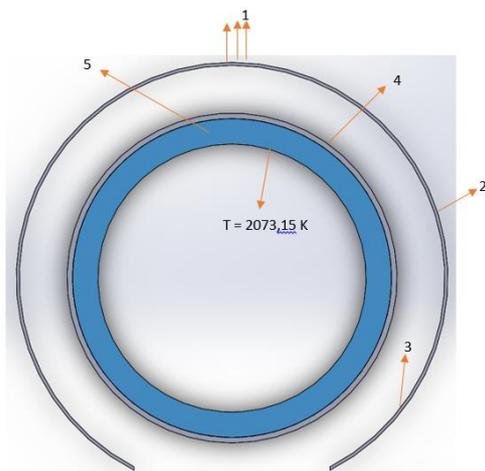
Pada 3d model smelter ini terdapat 7 jenis desain sistem pendinginan udara yang akan dilakukan simulasi dan analisa. Parameter desain tiap smelter tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1, yaitu :

Tabel 4.1 Perbandingan parameter desain sistem pendinginan udara pada simulasi smelter 1-7.

Parameter Pada Smelter	1	2	3	4	5	6	7
Lebar inlet (m)	2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Diameter outlet (m)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.225	0.675	1,6
Lebar celah (m)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
V _{inlet} (m/s)	19,27	64,25	38,53	89,89	64,25	64,25	64,25
V _{celah} (m/s)	110,1	110,1	66,06	154,1	110,1	110,1	110,1
h (W/m ² . °C)	153,5	153,5	102	200,8	153,5	153,5	153,5
Temperature udara (°C)	35	35	35	35	35	35	35

4.2. Hasil Simulasi Pada Smelter

Temperatur pada hasil simulasi smelter 1 – 7 diambil dari posisi tertentu seperti pada gambar 4.1 dibawah ini, yaitu :



Gambar 4.1. Posisi temperatur hasil simulasi.

Keterangan pada gambar 4.1, yaitu :

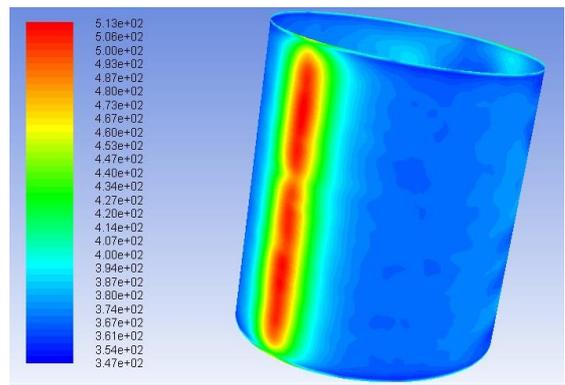
- No 1 : Temperatur *outlet* rata - rata
- No 2 : Temperatur rata – rata permukaan luar pada cover luar
- No 3 : Temperatur rata – rata permukaan dalam pada cover luar
- No 4 : Temperatur rata – rata permukaan luar pada *carbon steel*
- No 5 : Temperatur rata – rata permukaan luar pada *refractory*

Berdasarkan posisi pada gambar 4.1, maka nilai temperatur yang didapatkan dari hasil simulasi CFD dapat dilihat pada tabel 4.2, yaitu:

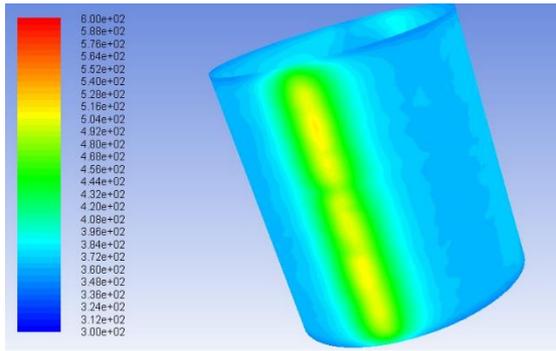
Tabel 4.2. Tabel temperatur hasil simulasi smelter 1-7.

	Temperatur Pada Smelter	1	2	3	4	5	6	7
1	T _{rata-rata outlet} (K)	309.91	310.24	311.55	309.6	310.04	310.04	310.07
2	T _{rata-rata permukaan luar pada cover luar} (K)	310.12	309.54	310.64	309.12	309.02	308.97	309
3	T _{rata-rata permukaan dalam pada cover luar} (K)	310.03	309.51	310.61	309.09	308.98	308.94	309
4	T _{rata-rata permukaan luar pada carbon steel} (K)	400.24	375.66	407.83	361.4	376.5	376.57	378.23
5	T _{rata-rata permukaan luar pada refractory} (K)	402.95	378.69	410.76	364.5	379.64	379.65	381.34

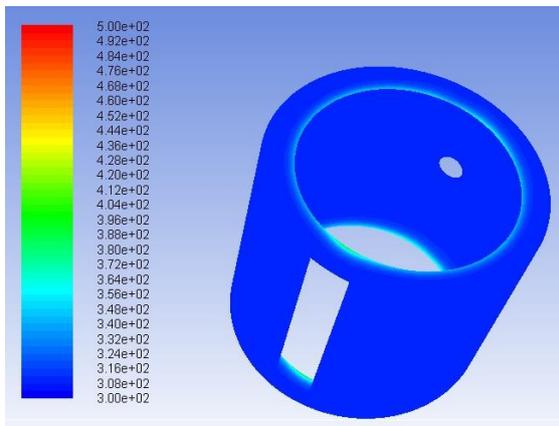
Berdasarkan data temperature pada tabel 4.1, maka dapat dilihat bahwa desain sistem pendingin udara pada smelter 2 memiliki hasil yang terbaik. Hal ini dikarenakan nilai temperatur pada permukaan luar refractory pada desain smelter 2 mendekati nilai 373,15 K. *Contour* temperatur pada smelter 2, yaitu :



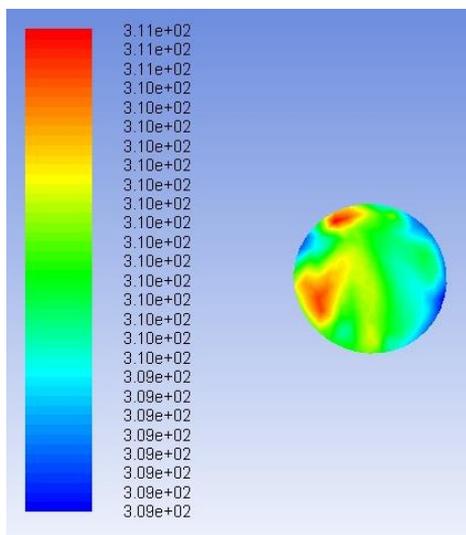
Gambar 4.2. Temperatur permukaan luar *refractory* smelter 2



Gambar 4.3. Temperatur permukaan luar *carbon steel* smelter 2



Gambar 4.4. Temperatur cover luar pada smelter 2



Gambar 4.5. Temperatur pada *outlet* smelter 2

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi CFD, terdapat beberapa hasil simulasi smelter yang memiliki desain sistem pendinginan udara yang berbeda-beda. Hasil simulasi ini menunjukkan peran – peran penting dari 4 parameter yang menjadi dasar pembuatan desain suatu sistem pendinginan udara pada smelter. Parameter – parameter tersebut yaitu :

- Lebar *inlet*
 Pada parameter ini agar mendapatkan desain sistem pendinginan yang baik pada smelter, maka lebar *inlet* haruslah kecil agar efisiensi perpindahan panas antara aliran udara dengan smelter menjadi semakin baik.
- Diameter *outlet*
 Pada parameter ini agar mendapatkan desain sistem pendinginan yang baik pada smelter, maka diameter outlet haruslah ideal, yaitu tidak terlalu besar maupun kecil. Akan tetapi parameter ini memiliki peran yang sangat kecil terhadap peningkatan efisiensi perpindahan panas antara aliran udara dengan smelter.
- Kecepatan aliran udara
 Pada parameter ini, kecepatan aliran udara haruslah semakin tinggi untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas antara aliran udara dengan smelter. Semakin tinggi aliran kecepatan udara maka tingkat turbulen aliran juga akan semakin besar sehingga meningkatkan efisiensi perpindahan panas atau meningkatkan koefisien heat transfer (h).
- Lebar celah udara
 Pada parameter ini berkaitan dengan kecepatan aliran udara, apabila lebar celah udara semakin besar maka membutuhkan aliran kecepatan udara yang semakin tinggi untuk menjaga tingkat *turbulent* pada celah udara tersebut serta dapat menjaga nilai koefisien *heat transfer* agar tidak berkurang.

Berdasarkan penelitian pada 4 parameter tersebut, maka didapatkan desain sistem pendinginan udara yang baik pada simulasi model smelter 2. Desain pada sistem pendinginan udara pada smelter 2 yaitu lebar *inlet* sebesar 0,6 m, kecepatan aliran udara pada celah sebesar 110,1 m/s, lebar celah udara sebesar 0,35 m, dan diameter *outlet* sebesar 0,450 m. Hasil simulasi model smelter 2 mendapatkan nilai temperatur pada permukaan luar *refractory* sebesar 378,69 K. Nilai tersebut sangat dekat dengan tujuan simulasi sebesar 373,15 K.

6. Daftar Referensi

1. Cengel , Yunus A,(2002). Heat Transfer : A Practical Approach 2nd Edition. Jakarta. Reno: Mcgraw-Hill.
2. George.”Smelting.”
<http://www.pollutionissues.com/Re-Sy/Smelting.html> (diakses tanggal 22 januari 2016)
3. Ansys fluent 15 tutorial guide