

Perancangan Mesin Pemanfaatan Gas Buang dari Proses *Melting Recycle* untuk Memanaskan *Chips* sebelum Masuk *Melting Furnace*

Ilham Taufik Maulana^{1,a)}, Puguh Elmiawan^{2,b)}, Edo Thoufanda Hurry^{3,c)}, Panji Bagus Pangestu^{4,d)}

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin PGT,
Jl. Gajah Tunggal No. 16, Alam Jaya, Jatiuwung, Kota Tangerang, Banten, Indonesia, 15133

^{a)} ilham.tmaulana@gmail.com, ^{b)} elmiawan@poltek-gt.ac.id, ^{c)} edoohurry@gmail.com, ^{d)} panjipangestu32@gmail.com

Abstrak

Melting recycle merupakan proses pemisahan logam pengotor yang bersifat feromagnetik, yang dilanjutkan dengan proses peleburan aluminium *chips* menjadi logam aluminium cair. Aluminium *Chips* adalah aluminium padat berbentuk serpihan hasil proses permesinan CNC. Aluminium *chips* hasil dari proses CNC tercampur dengan air sehingga perlu dikeringkan sebelum *chips* dilebur di *melting furnace*. Akan tetapi dalam proses pengeringan ini masih memiliki suatu kendala, yaitu temperatur aluminium *chips* yang masuk ke proses peleburan di *melting furnace* terlalu rendah, sehingga beberapa *chips* tidak bisa *melt* dan terbakar menjadi abu ketika *chips* dilebur di *melting furnace*. Hal tersebut disebabkan oleh performa *burner* yang tidak maksimal. Dirancanglah alat yang mampu meningkatkan temperatur aluminium *chips* sebelum masuk ke dalam *burner* dengan memanfaatkan gas buang hasil dari proses *melting recycle*. Dilakukan perhitungan untuk menentukan aspek-aspek yang digunakan pada mesin seperti kebutuhan *blower* atau *friction loss* pada *duct*. Adapun perancangan ini dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2014. Perancangan dengan menghitung konversi energi untuk meningkatkan efisiensi. Dari hasil perancangan maka didapatkan temperatur *output* pada pipa adalah = 117,06°C, luas volume cerobong sebesar 101,83 $feet^2 = (31,05 m^2)$, *Static pressure* sebesar 3 "wg = 746,52 Pa, kecepatan putar 3412 rpm dan kekuatan motor 1,87 HP = 1,4 KW.

Kata Kunci: *melting recycle, gas buang, aluminium chips, temperatur, perancangan*

Abstract

Melting recycle is the process of ferromagnetic metal impurity separation before smelting process from aluminum chips into molten aluminum. Chips are flakes shaped solid aluminum as a result of CNC machining process. Aluminum chips from the CNC process are mixed with water so they need to be dried before melted in the melting furnace. However, in this drying process there is a problems where the temperature of the aluminum which get into the melting furnace is too low, so few chips can not melt and burn to ashes when the chips melted in the melting furnace. Those caused by the burner lack of performance, so a tool that is capable to increase the temperature of chips before go into the burner with utilize the exhaust gas from melting recycle process is designed. Calculations are performed to determine the aspects used on the machine such as the blower specification or friction loss on the duct. The design was done using SolidWorks 2014 software. This designed counts the energy conversion to increase the efficiency. From the result of obtained design, the output temperature of the pipe is 117,06°C, chimney volume area of 101.83 $feet^2 = (31.05 m^2)$, *Static pressure* of 3 "wg = 746.52 Pa, 3412 rpm rotational speed and motor power of 1.87 HP = 1.4 KW.

Key Word: *melting recycle, exhaust gas, aluminum chips, temperature, designing*

I. PENDAHULUAN

Furnace adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk memanaskan bahan serta merubah sifat-sifatnya (perlakuan panas). *Furnace* bisa disebut juga sebagai *oven* atau *kiln* [1]. Salah satu tahapan dalam bidang industri peleburan adalah *melting recycle*. Proses *melting recycle* merupakan proses pemisahan logam pengotor yang bersifat feromagnetik kemudian masuk ke dalam proses peleburan aluminium *chips* menjadi logam aluminium cair. Aluminium *chips* adalah aluminium padat yang berbentuk serpihan hasil dari proses permesinan pada mesin CNC. Proses CNC *milling* adalah proses yang menghasilkan *chips* (beram). Mesin CNC

Milling dapat melakukan proses pemakanan benda kerja menjadi permukaan yang datar atau berbentuk profil dengan ukuran yang telah ditentukan dan memiliki tingkat kehalusan yang tinggi. Secara *definitive* kerja mesin *milling* adalah suatu penyayatan benda kerja dengan menggunakan alat potong yang berputar [6].

Saat proses peleburan aluminium *chips* harus dikeringkan dan dipanaskan terlebih dahulu agar aluminium *chips* cepat *melt* pada saat proses peleburan, proses tersebut dilakukan di *rotary kiln*. Akan tetapi dalam proses pengeringan ini masih memiliki suatu kendala yaitu temperatur aluminium *chips* yang masuk ke proses peleburan di *melting furnace* terlalu rendah, sehingga beberapa *chips* tidak bisa *melt* dan terbakar

menjadi abu ketika *chips* dilebur di *melting furnace*. Hal tersebut disebabkan oleh performa *burner* yang kurang maksimal.

Proses peleburan di *melting furnace* memiliki gas buang dengan temperatur 579°C [1], saat ini gas buang tersebut hanya dialirkan ke udara bebas dan terbang sia-sia. Berdasarkan masalah diatas, pemanfaatan gas buang dari proses peleburan aluminium *chips* pada *melting furnace* merupakan langkah yang akan diambil dalam penelitian ini untuk mengatasi performa *burner* yang kurang maksimal.

II. LANDASAN TEORI

A. Aluminium Chips

Aluminium *chips* merupakan aluminium padat yang berbentuk serpihan hasil proses permesinan (mesin CNC). Proses CNC *milling* adalah proses yang menghasilkan *chips* (beram). Mesin CNC *Milling* dapat melakukan proses pemakanan benda kerja menjadi permukaan yang datar atau berbentuk profil dengan ukuran yang telah ditentukan dan memiliki tingkat kehalusan yang tinggi. Secara *definitive* kerja mesin *milling* adalah suatu penyayatan benda kerja yang dilakukan pada mesin *milling* dengan menggunakan alat potong yang berputar [6]. Pada saat proses pemakanan terjadi gesekan antara benda kerja dengan pisau frais sehingga menimbulkan panas, untuk mengurangi panas pada saat proses tersebut maka diberikan cairan pendingin (*coolant*). *Coolant* yang digunakan sebagai pendingin pada saat proses permesinan tentunya menempel pada permukaan *chips*. Seiring dengan perkembangan teknologi, maka *chips-chips* tersebut dapat digunakan kembali sebagai bahan baku pada proses peleburan aluminium. Untuk memperoleh logam aluminium cair yang bersih dan ramah lingkungan, maka dikembangkanlah suatu tahapan proses yang disebut "*Recycling Aluminium Chips Processing*". Aluminium *chips* diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Aluminium chips

B. Aliran

Laju aliran volumetrik berkali-kali disebut sebagai volume, didefinisikan sebagai volume atau kuantitas udara yang melewati lokasi tertentu persatuan waktu. Hal ini terkait dengan kecepatan rata-rata dan luas penampang arus dengan persamaan sebagai berikut [2]:

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Keterangan:

Q = laju aliran volumetrik, cfm

A = luas penampang, ft²

V = kecepatan rata-rata, fpm

Udara atau fluida lain akan selalu mengalir dari sebuah bagian yang memiliki tekanan tinggi ke bagian yang bertekanan rendah dalam ketiadaan dari tambahan kerja (buah kipas).

Tekanan statis didefinisikan sebagai tekanan dalam saluran yang cenderung meledak dan dinyatakan dalam satuan *inch water gauge* ("wg). Hal ini biasanya diukur menggunakan nanometer udara.

Tekanan kecepatan atau *velocity pressure* didefinisikan sebagai tekanan yang dibutuhkan untuk mempercepat udara dari nol sampai beberapa kecepatan (V) dan sebanding dengan energi kinetik dari aliran udara. Hubungan antara *velocity* dan *velocity pressure* adalah sebagai berikut [2]:

$$VP = \rho \left(\frac{V^2}{1096} \right)^2 \quad (2)$$

Keterangan:

V = *velocity*, fpm

VP = *velocity pressure*, "wg

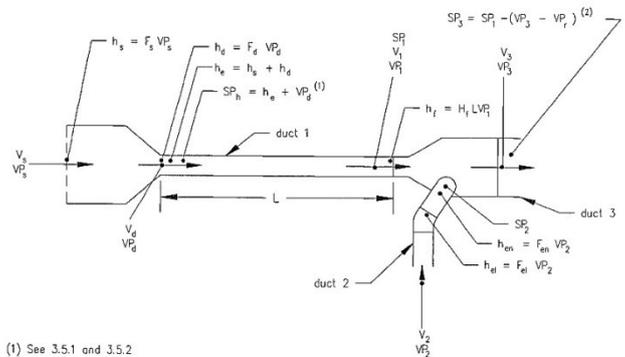
ρ = massa jenis

Jika udara standar diasumsikan ada disalurkan dengan *density* 0,075 lbf/ft³, persamaan ini diturunkan menjadi [2]:

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2 \quad (3)$$

C. Duct

Metode ini didasarkan pada kenyataan bahwa semua gesekan dan *dynamic (fitting) losses* dari *duct* dan *hoods* merupakan fungsi dari *velocity pressure* dan dapat dihitung dengan cara *loss coefficient* dikalikan oleh *velocity pressure*. Perhitungan *segment duct* dapat dilihat pada Gambar 2.



(1) See 3.5.1 and 3.5.2
(2) See 5.9.1

Gambar 2. Perhitungan *segment duct*

Loss coefficient untuk *hoods*, panjang *duct*, *elbow*, *branch entry*, *contraction*, dan *expansions*.

D. Kehilangan Tekanan pada Duct

Kehilangan tekanan pada *duct* dapat terjadi akibat

faktor berikut:

1. Faktor Friksi

Pendekatan yang digunakan dalam perhitungan kehilangan tekan adalah dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$H_f = a \frac{V^b}{Q^c} \quad (4)$$

Keterangan:

H_f = Kehilangan tekanan akibat gesekan, “wg
a, b, c = konstanta

Setiap material memiliki nilai koefisien yang berbeda, adapun nilai koefisien material *duct* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Koefisien a, b, dan c

Material Duct	A	b	c
Galvanize Black iron, Aluminium, PVC, Stainless steel	0.0307	0.533	0.612
	0.0425	0.465	0.602

E. Hood Losses

Hilangnya *hood entry* bisa ditemukan. Oleh karena itu, *hood loss coefficients* ketika dikalikan dengan slot atau *duct velocity pressure* (VP) akan menghasilkan *entry loss* dalam satuan inch wg. *Hood static pressure* adalah sama dengan *hood entry loss* ditambah *velocity pressure* dalam *duct*. *Hood entry loss* merupakan energi yang diperlukan untuk mengatasi kerugian karena udara bebas yang mengalir di dalam *duct*. *Velocity pressure* merupakan energi yang diperlukan untuk mempercepat udara dari keadaan diam ke keadaan bergerak, hal ini diungkap sebagai berikut [2]:

$$\begin{aligned} SP_h &= h_e + VP_d \\ SP_h &= (F_s)(VP_s) + (F_d)(VP_d) + VP_d \end{aligned} \quad (5)$$

Keterangan:

h_e = *hood entry loss* keseluruhan = $h_s + h_d$, “wg
 h_s = kerugian slot atau bukaan = $(F_s)(VP_s)$, “wg
 h_d = *duct entry loss* = $(F_d)(VP_d)$, “wg
 F_s = koefisien *loss* pada slot
 F_d = koefisien *loss* pada *duct*
 VP_s = *velocity pressure* slot atau bukaan, “wg
 VP_d = *velocity pressure duct*, “wg

Satu pengecualian dapat terjadi ketika kecepatan slot atau kecepatan *hood entry* lebih tinggi dari pada *velocity pressure*. Dalam kasus ini *acceleration velocity pressure* digunakan dalam menghitung *static pressure* (SP) [2].

F. Duct Losses

Duct losses merupakan suatu kerugian aliran dalam pipa akibat gesekan yang terjadi di dalam *duct*. Ada dua komponen untuk menentukan total *pressure* keseluruhan

disebuah aliran *duct* [2].

1. Friction losses

Friction losses merupakan kerugian akibat gesekan yang terjadi di *duct* yang disebabkan saluran kecepatan, saluran diameter, kerapatan, viskositas udara, dan kekerasan permukaan saluran. Efek kecepatan, diameter *duct*, kerapatan, dan viskositas digabungkan menjadi bilangan Reynold dengan rumus sebagai berikut [2]:

$$Re = \frac{\rho dv}{\mu} \quad (6)$$

Keterangan;

Re = bilangan Reynold
 d = diameter *duct*, inch
 v = kecepatan ft/sec
 μ = viskositas udara lbm/s-ft

Pengaruh kekasaran biasanya disebabkan oleh relatif kekasaran yang merupakan rasio dari tinggi kekasaran permukaan mutlak (K) yang didefinisikan sebagai tinggi rata-rata dari elemen kekasaran pada jenis tertentu dari material, dengan diameter *duct*. Beberapa nilai standar permukaan mutlak kekasaran digunakan dalam sistem ventilasi terlihat pada Tabel 2 [2].

Setelah ditentukan, koefisien gesek digunakan dalam persamaan koefisien gesek *Darcy Weisbach* untuk menentukan keseluruhan kerugian saluran gesekan [2].

$$h_f = f \frac{L}{d} VP \quad (7)$$

Keterangan:

h_f = *friction losses* di *duct*, “wg
 f = koefisien gesekan

Kemudian bekerja dari *Loeffler* diketahui persamaan yang digunakan *velocity pressure* dengan metode perhitungan menggunakan nilai standar kekerasan permukaan. Persamaan yang dapat digunakan dengan persamaan *Darcy Weisbach* sebagai berikut [2].

$$H_f = \left(12 \frac{f}{d}\right) LVP = hf LVP \quad (8)$$

Persamaan disederhanakan untuk menentukan aliran udara standar yang melalui beberapa jenis *duct* dengan akurasi baik. Sehingga dihasilkan persamaan berikut [2].

$$H_f = (12 f/d) = a \frac{V^b}{Q^c} \quad (9)$$

Di mana konstanta “a” dan eksponen “b” dan “c” tergantung pada bahan *duct*.

Tabel 2. Nilai Kekasaran Permukaan Material

Duct Material	Surface Roughness (k), feet
Galvanized metal	0,00055
Black iron	0,00015
Aluminium	0,00015
Stainless steel	0,00015
Flexible duct (wire exposed)	0,01005
Flexible duct (wire covered)	0,00305

Ketinggian kekasaran di atas adalah nilai desain, harus dicatat bahwa variasi yang signifikan dapat terjadi, tergantung pada proses pembuatannya.

2. Fitting losses

Sambungan (*elbows*, percabangan dan lain) pada suatu *duct* yang bekerja akan menghasilkan sebuah *loss* dalam *total pressure*. *Losses* pada sambungan diketahui sebagai *loss coefficient* dikalikan dengan *duct velocity pressure* [2].

$$H_{en} = F_{en} VP_d \tag{10}$$

Keterangan:

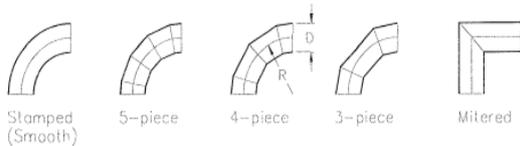
H_{en} = *loss* pada sambungan

F_{en} = *loss coefficient*

VP_d = *velocity pressure duct*

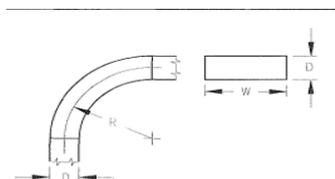
Pada *duct* padatan, masukan atau keluaran, ada beberapa perbedaan *velocity pressure*. Berikut adalah tipe-tipe *fitting* ditunjukkan Gambar 3. dan Gambar 4. [2] :

a. Round Elbow Loss Coefficient:



Gambar 3. Jenis-jenis *elbow*

b. Square and Rectangle Elbow Loss Coefficient:



Gambar 4. Square and rectangle *elbow*

Tabel 3. Menunjukkan nilai round elbow loss coefficient dan Tabel 4. Menunjukkan *aspect ratio* pada *square and rectangle elbow loss coefficient*

Tabel 3. Round Elbow Loss Coefficient

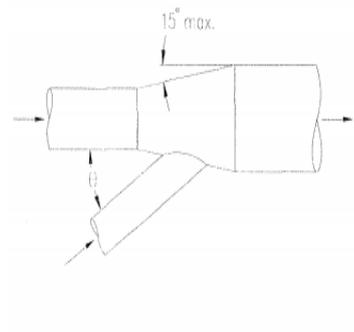
	R/D					
	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5
Stamped	0,71	0,33	0,22	0,15	0,13	0,12
5-piece	-	0,46	0,33	0,24	0,19	0,17
4-piece	-	0,5	0,37	0,27	0,24	0,23
3-piece	0,9	0,54	0,42	0,34	0,33	0,33

Tabel 4. Square and Rectangle Elbow Loss Coefficient

R/D	Aspect Ratio W/D					
	0,25	0,5	1	2	3	4
0,0	1,5	1,32	1,15	1,04	0,92	0,86
0,5	1,36	1,21	1,05	0,95	0,84	0,79
1	0,45	0,28	0,21	0,21	0,2	0,19
1,5	0,28	0,18	0,13	0,13	0,12	0,12
2	0,24	0,15	0,11	0,11	0,1	0,1
3	0,24	0,15	0,11	0,11	0,1	0,1

c. Branch Entry Losses

Gambar *Branch ntry Losses* ditunjukkan pada Gambar 5. dan Tabel 5. menunjukkan nilai kerugian tekanan yang terjadi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa berdasarkan sudutnya.



Gambar 5. Branch entry

Tabel 5. Branch Entry Losses

Angle Degree	Loss Fraction
10	0,06
15	0,09
20	0,12
25	0,15
30	0,18
35	0,21
40	0,25
45	0,28
50	0,32
60	0,44
90	1

G. Menentukan Blower

Pada penelitian ini dibutuhkan *blower* untuk menyedot udara, untuk itu nilai *static pressure total* pada *ducting system* ini harus diketahui terlebih dahulu. Untuk mengetahui nilai *static pressure total* dengan cara menjumlahkan nilai *static pressure* pada tiap segmen.

$$SP_t = \sum SP \quad (11)$$

Keterangan:

SP_t : *Static pressure total*

H. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas diantara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas dan dingin). Perpindahan panas secara umum dibedakan atas 3 macam, yaitu perpindahan panas konduksi, perpindahan panas konveksi dan perpindahan panas radiasi [3].

1. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan kalor dari suatu bagian benda padat atau material ke bagian lainnya. Pada perpindahan kalor secara konduksi tidak ada bahan dari logam yang berpindah, yang terjadi adalah molekul-molekul logam yang diletakkan di atas nyala api membentur molekul-molekul yang berada di dekatnya dan memberikan sebagian panasnya [8]. Dasar: Hukum Fourier.

$$Q_k = kA \left[-\frac{dT}{dx} \right] \text{ atau } k \left[-\frac{dT}{dx} \right] \quad (12)$$

Keterangan:

Q_k = Kalor

k = Konduktivitas termal

A = Luas penampang

dT = Temperatur masuk

dX = Temperatur keluar

2. Konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas). Proses ini terjadi pada permukaan padat, cair dan gas. Perpindahan panas konveksi tergantung dari viskositas fluida disamping ketergantungannya terhadap sifat-sifat termal fluida, seperti: konduktivitas termal, kalor spesifik, dan densitas. Hal ini disebabkan karena viskositas mempengaruhi laju perpindahan energi di daerah dinding [7]. Dasar: Hukum Newton.

$$Q_c = h_c A(T_w - T_s) \text{ atau } h_c (T_w - T_s) \quad (13)$$

Keterangan;

Q_c = Kalor

h_c = *Thermal conductivity*

A = Luas penampang

T_w = Temperatur tinggi

T_s = Temperatur rendah

Macam-macam Konveksi:

- Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free/natural convection*). Perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya. Contoh: plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.
- Konveksi paksa (*forced convection*) Perpindahan panas aliran gas atau cairan yang disebabkan adanya tenaga dari luar. Contoh: plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

3. Radiasi

Radiasi adalah hantaran kalor yang tidak memerlukan medium perantara, seperti kalor dari matahari yang sampai ke bumi, kalor api unggun yang sampai pada orang yang ada di sekitarnya, pendingin atau pemanas rumah, pengeringan kopi, pembakaran dengan oven dan efek rumah kaca [3]. Laju aliran kalor tiap satuan waktu dalam radiasi dirumuskan:

$$H = K.A \frac{\Delta T}{L} \quad (14)$$

Keterangan:

Q = jumlah kalor yang berpindah secara konduksi

K = koefisien konduktivitas termal

T = selang waktu berlangsungnya aliran kalor

$\Delta T = T_1 - T_2$
= perbedaan suhu antara dua permukaan sejajar

T_1 = permukaan bersuhu tinggi

T_2 = permukaan bersuhu rendah

L = jarak antar permukaan

A = luas penampang bahan tempat kalor mengalir

I. Aspek Safety

Aspek *safety* adalah aspek keselamatan yang berdampak terhadap timbulnya *loss* di tempat kerja baik manusia, peralatan, lingkungan maupun finansial. Aspek *safety* yang diterapkan pada perancangan ini adalah penambahan insulin pada permukaan pipa, material insulin yang digunakan adalah *calcium silicate* penggunaan material ini berdasarkan kekuatan material untuk menahan panas pada temperatur 650 °C.

J. Calcium Silicate

Kalsium silikat merupakan senyawa yang diperoleh dengan mereaksikan kalsium karbonat ($CaCO_3$) dan silika (SiO_2).

Kalsium silikat merupakan mineral alami berwarna putih kekuningan. Senyawa ini mampu menahan sampai temperatur 750 °C.

K. Computer Numerical Control

Computer Numerical Control, disingkat CNC, merupakan sistem otomasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak

dan disimpan di media penyimpanan, hal ini merupakan kemajuan teknologi sebelumnya di mana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau otomatis sederhana.

Kata NC sendiri adalah singkatan dalam bahasa Inggris dari kata *Numerical Control* yang artinya "kontrol numerik". Mesin NC pertama kali diciptakan dengan konsep memodifikasi mesin perkakas biasa. Dalam hal ini mesin perkakas biasa ditambahkan dengan motor yang menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukkan kedalam sistem oleh perekam.



Gambar 6. Mesin CNC Milling

Mesin perpaduan antara servo motor dan mekanis ini segera digantikan dengan sistem analog dan kemudian komputer digital, menciptakan mesin perkakas modern yang disebut mesin CNC (*computer numerical control*). Saat ini mesin CNC mempunyai hubungan yang sangat erat dengan program CAD. Mesin CNC ditemukan untuk menjawab permasalahan di dunia manufaktur modern. Dengan mesin CNC, ketelitian suatu produk dapat dijamin, pengerjaan produk massal dengan hasil yang sama persis dan waktu permesinan yang cepat. NC/CNC terdiri dari enam bagian utama yakni:

1. Program
2. Unit kendali atau *processor*
3. Motor listrik servo untuk menggerakkan kontrol pahat
4. Motor listrik untuk menggerakkan/memutar pahat
5. Pahat
6. Dudukan dan pemegang

L. Dimensi Duct

Perencanaan *duct* dilakukan berdasarkan pertimbangan kecepatan minimum transport partikulat untuk aliran udara, kecepatan udara pada *duct* harus cukup tinggi hal ini berdasarkan pertimbangan agar dalam membawa kontaminan tidak jatuh dalam ruang *duct*. Pemilihan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan kecepatan minimum transport dapat menyebabkan kehilangan tekanan yang tinggi sehingga pengaruh abrasi terhadap *duct* akan meningkat, dan hal ini mengakibatkan kapasitas *fan* juga harus ditingkatkan sehingga biaya pemeliharaan dan investasi akan menjadi lebih tinggi [2].

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Pada persamaan (1) dapat disubstitusikan sehingga nilai dari luas penampang dapat dicari.

$$A = Q/V \quad (15)$$

Kemudian nilai dari dimensi *duct* dapat ditemukan dengan menjabarkan persamaan (15) sehingga didapatkan persamaan berikut.

$$\frac{1}{4} \times \pi (Dc^2) = Q/V$$

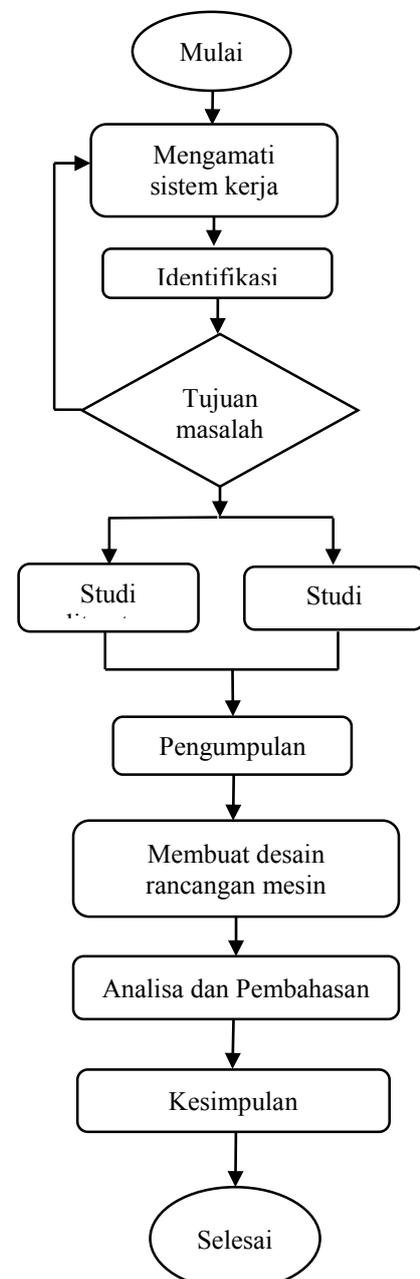
$$Dc = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (16)$$

Keterangan:

Dc = Dimensi *duct*, ft

III. METODOLOGI

Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 7.



Gambar 7. Alur diagram penelitian

A. Mengamati Sistem Kerja Mesin

Mempelajari bagaimana cara mesin dan *flow process melting recycle* agar dapat memahami tentang siklus sehingga dapat mencari kelemahan dalam proses pada tahap selanjutnya.

B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah berhubungan dengan pengamatan terhadap suatu objek mesin untuk mencari kekurangan pada sistem kerja sehingga peneliti dapat mengobservasi masalah atau kendala yang dapat di *improve* di area tersebut.

C. Tujuan Masalah

Langkah selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penentuan tujuan penelitian. Tujuan penelitian adalah melakukan perancangan sebuah alat untuk mengetahui berapa temperatur yang bisa masuk ke *rotary clin*.

D. Pengumpulan Data dan Dimensi Mesin

Pada tahap ini, penulis akan mengumpulkan data aktual dari studi sebelumnya dan dimensi pada mesin. Sehingga dari data-data tersebut akan diteruskan dan akan menjadi dasar simulasi awal yang akan dibuat. Dalam proses ini harus selalu dilakukan pemeriksaan kembali data, jika kurang harus dilakukan pengambilan data kembali.

E. Merancang dan Mendesain

Setelah data dan dimensi mesin sudah didapat, maka peneliti mulai untuk menyiapkan atau membuat rancangan disain mesin yang akan dibuat. Proses ini tidak akan langsung berhasil dalam sekali pembuatan, jadi peneliti harus sering mengoreksi hasil desain tersebut.

F. Analisa dan Pembahasan

Setelah desain sudah selesai, mulai dilakukan perhitungan dan analisa agar mendapatkan hasil maksimal dalam penelitian dengan berdasarkan pada referensi literatur yang didapat.

G. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data serta tahapan-tahapan yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yang berguna untuk meningkatkan kualitas dari produk yang dihasilkan. Hal ini dapat berguna bagi berbagai aspek sebagai bahan masukan ataupun pertimbangan demi perkembangan dan kemajuan teknologi ke arah yang lebih baik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menentukan Blower

Pada penelitian ini dibutuhkan *blower* untuk menyedot udara, untuk itu nilai *static pressure* total pada *ducting system* ini harus diketahui terlebih dahulu, untuk mengetahui *static pressure* total pada *ducting system* ini, nilai *static pressure* pada setiap segmen dijumlahkan,

seperti persamaan [5].

Berdasarkan desain yang dibuat, untuk mendapatkan nilai *static pressure* pada *ducting system* ini, maka *duct* perlu dibagi menjadi beberapa *section*, yaitu *section A-B*, *B-C*, *C-D*, *C-E*, dan *D-F*, kemudian hitung *static pressure* dari masing-masing *section*.

1. Section A-B:

Untuk menghitung *static pressure* maka perlu dibagi menjadi beberapa bagian, seperti yang ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8. Duct section A-B-C

Menghitung *static pressure segment A-B* dengan menggunakan persamaan (5), dimana nilai *velocity pressure duct* 0,75 "wg dan *friction loss duct* 0,55 dengan nilai *hood static pressure* 0"wg, maka nilai dari *static pressure* adalah :

$$\begin{aligned} \text{Duct loss} &= \text{VPd} \times \text{Friction loss duct} \\ &= 0,75 \text{ "wg} \times 0,55 \\ &= 0,41 \text{ "wg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SP A-B} &= \text{SPh} + \text{duct loss} \\ &= 0 \text{ in wg} + 0,41 \\ &= 0,41 \text{ "wg} \end{aligned}$$

2. Section B-C:

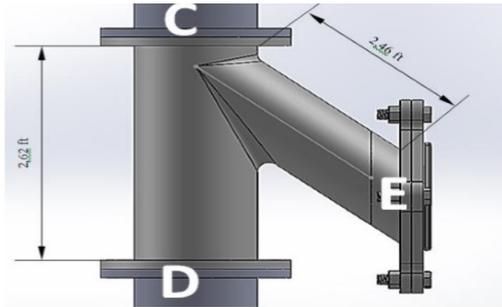
Menghitung *static pressure segment B-C* dengan menggunakan persamaan (5), dimana nilai *velocity pressure duct* 0,75 "wg dan *friction loss duct* 0,45 dengan nilai *hood static pressure* 0"wg, maka nilai dari *static pressure* adalah :

$$\begin{aligned} \text{Duct loss} &= \text{VPd} \times \text{Friction loss duct} \\ &= 0,75 \text{ "wg} \times 0,45 \\ &= 0,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SP B-C} &= \text{SPh} + \text{duct loss} \\ &= 0 \text{ "wg} + 0,33 \\ &= 0,33 \text{ "wg} \end{aligned}$$

3. Section C-D:

Gambar 9. menunjukkan *duct section C-D-E* dengan ukuran $\text{CE}=2,46 \text{ ft}$ dan $\text{CD}=2,62 \text{ ft}$.



Gambar 9. Duct section C-D-E

Menghitung *static pressure segment C-D* dapat dicari menggunakan persamaan (5), dimana nilai *velocity pressure duct* 0,75 "wg dan *friction loss duct* 0,05 dengan nilai *hood static pressure* 0"wg, maka nilai dari *static pressure* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Duct loss} &= \text{VPd} \times \text{Friction loss duct} \\ &= 0,75 \text{ "wg} \times 0,05 \\ &= 0,0375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SP C-D} &= \text{SPh} + \text{duct loss} \\ &= 0 \text{ "wg} + 0,0375 \\ &= 0,0375 \text{ "wg} \end{aligned}$$

4. Section C-E:

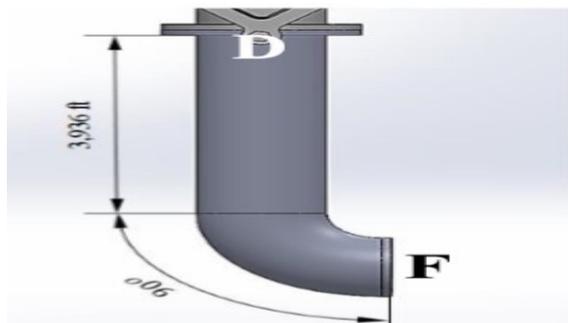
Menghitung *static pressure segment C-E* dengan menggunakan persamaan (5), dimana nilai *velocity pressure duct* 0,75 "wg dan *friction loss duct* 0,63 dengan nilai *hood static pressure* 0,79"wg, maka nilai dari *static pressure* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Duct loss} &= \text{VPd} \times \text{Friction loss duct} \\ &= 0,75 \text{ "wg} \times 0,63 \\ &= 0,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SP C-E} &= \text{SPh} + \text{duct loss} \\ &= 0,79 \text{ "wg} + 0,47 \\ &= 1,26 \text{ "wg} \end{aligned}$$

5. Section D-F:

Gambar 10. merupakan *duct section D-F* dengan ukuran panjang sebelum sudut adalah 3,936 ft dan panjang sudut 90°.



Gambar 10. Duct section D-F

Menghitung *Static Pressure segment D-F* dengan

menggunakan persamaan (5), dimana nilai *velocity pressure duct* 0,75 "wg dan *friction loss duct* 0,405 dengan nilai *hood static pressure* 0"wg, maka nilai dari *static pressure* adalah :

$$\begin{aligned} \text{Duct loss} &= \text{VPd} \times \text{Friction loss duct} \\ &= 0,75 \text{ "wg} \times 0,405 \\ &= 0,304 \\ \text{SP D-F} &= \text{SPh} + \text{duct loss} \\ &= 0 \text{ "wg} + 0,304 \\ &= 0,304 \text{ "wg} \end{aligned}$$

Setelah mengetahui *static pressure* pada tiap *section*, maka *static pressure* total yang akan dihitung dapat dicari dengan persamaan (11).

$$\begin{aligned} \text{SP}_t &= (\text{SP A-B}) + (\text{SP B-C}) + (\text{SP C-D}) + (\text{SP C-E}) + (\text{SP D-F}) \\ \text{SP} &= (0,41) + (0,33) + (0,0375) + (1,26) + (0,304) \\ \text{SP total} &= 2,34 \text{ "wg} = 582,3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan nilai *static pressure* total adalah 2,34 "wg. Nilai volume udara sebesar 2.036,6 cfm. Diameter *duct* adalah 10 inch. Dari data-data tersebut didapatkanlah spesifikasi blower yang tepat. Berdasarkan hasil di atas penulis menggunakan blower dengan nilai CFM sebesar 2150 cfm, *static pressure* sebesar 3 "wg = 746,52 Pa, kecepatan putar sebesar 2970 rpm, dan daya motor sebesar 1,87 BHP = 1,4 KW nilai ini didapat berdasarkan katalog blower Tabel 6.

Tabel 6. Katalog Blower

Volume CFM	3 "wg SP		4 "wg SP	
	RPM	BHP	RPM	BHP
1550	2577	1,19	2859	1,58
1700	2664	1,33	2929	1,73
1850	2759	1,49	3010	1,91
2000	2862	1,67	3099	2,10
2150	2970	1,87	3195	2,32

B. Perhitungan Pemanfaatan Panas

1. Temperatur *output* pada pipa [4].

Temperatur keluaran dari pipa dapat dihitung, namun untuk mendapatkan nilai temperatur *output* pipa, terdapat perhitungan-perhitungan yang harus dicari terlebih dahulu, di mana nilai dari *Heat conductivity* udara 0.024 W/m.°C, *Heat conductivity stainless steel* 16 W/m.°C, *Heat conductivity calcium silicate* 0,27 W/m.°C, Diameter dalam pipa 248,8 mm (0,24 m), Diameter luar pipa 267,04 mm (0,26 m).

$$\begin{aligned} A_1 &= 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,12 \text{ m} \cdot 7,2 \text{ m} = 5,42 \text{ m}^2 \\ A_2 &= 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,13 \text{ m} \cdot 7,2 \text{ m} = 5,87 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{h_1 A_1} \\ &= \frac{1}{(0,0024 \text{ W/m}^2\text{C})(5,42)} \end{aligned}$$

$$= 7,69$$

$$R_{\text{pipa}} = \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi KL}$$

$$= \frac{\ln(0,13/0,12)}{2\pi(16 \text{ W/m}^\circ\text{C})(7,2 \text{ m})}$$

$$= 0,00016 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_3 = \frac{1}{K_{ss}h_2}$$

$$= \frac{1}{(16 \text{ W/m}^\circ\text{C})(5,87)}$$

$$= 0,01 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{ins}} = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi K_{\text{ins}}L}$$

$$= \frac{\ln(0,38/0,13)}{2\pi(0,27 \text{ W/m}^\circ\text{C})(7,5)}$$

$$= 0,061 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_{\text{pipa}} + R_3 + R_{\text{ins}}$$

$$= 7,69 + 0,00016 + 0,01 + 0,061$$

$$= 7,76 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Pada perhitungan sebelumnya nilai *thermal resistance* adalah sebesar $7,76 \text{ }^\circ\text{C/W}$, yang nantinya angka digunakan untuk menentukan kehilangan panas yang terjadi [5]:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{total}}}$$

$$= \frac{579 - 40}{7,76}$$

$$= 69,46 \text{ watt}$$

Nilai panas yang hilang pada pipa sebesar 69,46 watt. Berdasarkan konversi untuk merubah watt menjadi celsius $2,18 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$. Dalam penelitian ini mesin dijalankan tiap jam sebelum melakukan kerjanya lagi. Maka kehilangan suhu yang hilang dalam tiap jam adalah:

$$T_{c_2} = 2,18 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit} \times 60 \text{ menit}$$

$$= 130,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil koversi diatas nilai panas yang hilang dalam satu jam adalah $130,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Setelah mengetahui nilai panas yang hilang dalam satu jam, selanjutnya digunakan dalam perhitungan untuk mencari temperature keluaran pipa, di mana temperatur fluida panas yang masuk (Th_1) adalah $579 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatur sekitar pipa (Tc_1) $40 \text{ }^\circ\text{C}$, dan *heat loss* (Tc_2) adalah $130,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\frac{T_{c_2} - Th_1}{T_{c_1} - Th_2}$$

$$= \frac{130,8 - 579}{40 - Th_2}$$

$$Th_2 = \frac{579 \times 40}{130,8}$$

$$= 117,06 \text{ }^\circ\text{C}$$

Jadi temperatur yang keluar dari pipa adalah $117,06 \text{ }^\circ\text{C}$

2. *Perpindahan panas radiasi terhadap motor yang tercantum pada persamaan (14).*

Dimana:

$$A = 10 \text{ cm}^2 = 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\Delta T = 333,43 - 40 = 293,43 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K = 4,6 \times 10^{-3} \text{ KJ/ms }^\circ\text{C}$$

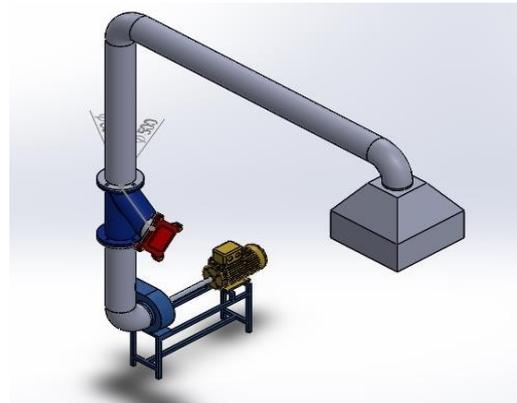
Maka nilai dari H adalah:

$$H = K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

$$= 4,6 \times 10^{-3} (10^{-3}) \frac{293,43}{0,5}$$

$$= 9,2 \times 10^{-6} \text{ KJ/s}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka radiasi yang diterima oleh motor adalah $9,2 \cdot 10^{-6} \text{ KJ/s}$.



Gambar 11. Hasil gambar perancangan alat

V. KESIMPULAN

Hasil dari perancangan desain mesin untuk memanfaatkan gas buang dari *melting furnace* ini adalah:

A. Desain dan Spesifikasi Perancangan

1. Ducting

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan agar sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan, maka desain perancangan ini memiliki luas volume cerobong sebesar $101,83 \text{ feet}^2 = (31,05 \text{ m}^2)$, diameter pipa 10 inch, kapasitas hisap $2150 \text{ cfm} = 5,01 \text{ m/s}$, dengan kecepatan hisap $3500 \text{ fpm} = 17,78 \text{ m/s}$, material pada pipa menggunakan SS 304 *shedule* 40, dan material isolasi menggunakan kalsium silikat.

2. Blower

Static pressure sebesar 3 “wg= $746,52 \text{ Pa}$ dan kecepatan putar 3412 rpm dan kekuatan motor $1,87 \text{ HP} = 1,4 \text{ KW}$.

B. Temperatur output

Temperatur *output* pada pipa adalah $117,06 \text{ }^\circ\text{C}$.

REFRENSI

- [1] Rizal, A., Y. Samantha, and A. Rachmat, Pembuatan tungku pemanas (MUFLLE

- FURNACE) Kapasitas 1200 Celcius, *J-ENSITEC*, vol. 2, no.2, 2016 , pp. 13-16
- [2] Knowlton J. Caplan, Industrial ventilation a manual recommended practice 23rd edition, *American Convergence of Governmental Industrial Higienists*, Ohio, 1998.
- [3] Y.A. Cengel, S. Klein, and W. Beckman, *Heat transfer: a practical approach*. New York: McGraw-Hill, 1998.
- [4] D.Q. Kern, *Process heat transfer international student edition*, McGraw Hill Kogakusha Ltd., New York, 1983.
- [5] J.P. Holman, *Heat transfer sixth edition*, McGraw Hill Ltd., New York, 1986.
- [6] Gatot Eka Pramono, M.T., Supriatma, E. and Sutisna, S.P. Retrofit Motor Stepper Mesin CNC 3 Axis UIKA Prototype 3. *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol.3, no. 2, 2017, p.60.
- [7] Wiyatno, Tri Ngudi, and M. Fatchan. "Analisis perpindahan panas dinding kiln pada proses pembuatan keramik. *PROSIDING SEMNASTEK vol. 1, no. 1*, 2019.
- [8] Rokhimi, Intan Nurul, and Pujayanto Pujayanto. Alat peraga pembelajaran laju hantaran kalor konduksi. *Prosiding: Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*. Vol. 6, No. 5, 2015.