EVALUASI SALURAN ISAP DEBU UNTUK SISTEM *DUST COLLECTOR*

(STUDI KASUS DI *TRANSFER TOWER* 0 (TT 0) PT. PJB UBJOM PLTU PACITAN)

Ariandi Destyandra Hermanu[1*], George Endri Kusuma [2], Burniadi Moballa[3]

Program studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia[1,2]
Program studi D3 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia[3]
Email: aridestyandra@gmail.com[1]; kusuma.george@gmail.com[2]; burniadi@gmail.com[3]

Abstract *- In the process of loading and unloading low calorie coal / LRC (Low Range Calorie) there is often pollution of coal dust and self combustion. This is because of the character of LRC coal is easily destroyed, the dust is very light and easy to burn. To prevent the occurrence of fire hazard, it is attempted to break one of the danger chain by optimizing the dust collector. Therefore, the capability of suction dust collector should be increased so that the impact of dust can be reduced. The simulation shows that the dust inside the conveyor can not be inhaled because the velocity of the inlet conveyor is 2.9 m/s. While the suction collector force of 1.5 m/s causes the dust collector not to capture the dust completely. Therefore it is necessary to increase the velocity of the suction channel on the dust collector, by varying with ratios 3 and 4. Between the two variations the best suction is the ratio 3 with the suction rate of 9 m/s. Furthermore, there is a change in suction hood angle with angle variation of 14 degree, 17 degree, 20 degree to get mass concentration. All angle variation within suction speed 12 m/s. The simulation result with an angle of 14 degrees obtained mass concentration of 14940,23 mg/m,[3] with an angle of 17 degrees of 3,05 mg/m[3], and with an angle of 20 degrees of 0,000741 mg/m[3]. Of the three variations, the mass concentration obtained at the outlet is at least 20 degrees suction hood angle.*

Keyword : coal dust, conveyor, dust collector, suction hood

NOMENCLATURE

C_c	Cunningham Collection Faktor
C_D	Koefisien Drag
F_{all}	Jumlah Dari Gaya Gerak Partikel
F_d	Drag Force
F_{dif}	Gaya Diffusiophoretic
F_g	Gaya Gravitasi
K_{jj}	Eddy Difusivitas
m	Mass
m_p	Massa Partikel
N_D	Number Density
P	Tekanan Piezometrik
Pr_t	Turbulen Pradlt Number
$\dot{Q}$	Mass Flow Rate
Sc_t	Turbulen Schmidt Number
S_{ij}	Strain Rata-Rata
s_m	Sumber massa
T	Waktu
τ_{ij}	Tensor tegangan
u’	Kecepatan Fluktuasi
u_i	Kecepatan Fluida Absolut
v	Kecepatan Partikel
x_p	Posisi Partikel
x_i	Koordinat Kartesian
η	Collection Efisiensi
γ	Tegangan Permukaan
μ	Viscosity
φ	Velocity Potential
ρ	Density
ρ_p	Massa Jenis Partikel
g	Gas
p	Partikel

1. PENDAHULUAN

PLTU dengan bahan bakar batubara memerlukan perlakuan khusus agar kalor yang terkandung dalam batubara dapat diserap sebanyak mungkin dan batu bara dapat terbakar sempurna. Berdasarkan temuan di lapangan ketika dilakukan proses *loading* dan *unloading* batu bara kalori rendah/ LRC *(Low Range Calorie)* sering terjadi polusi debu batu bara dan *self combustion*, hal ini dikarenakan sifat batu bara LRC tersebut yang mudah hancur, debunya yang sangat ringan dan mudah sekali terbakar. Untuk mencegah terjadinya bahaya kebakaran, maka diupayakan untuk memutus salah satu mata rantai bahaya tersebut yaitu dengan mengoptimalkan dust collector. Dust collector adalah alat pengumpul debu *(dust collecting)* menggunakan prinsip ventilasi untuk menangkap debu dari sumbernya. Debu disedot dari udara dengan menggunakan pompa dan dialirkan kedalam *dust collector*, kemudian udara bersih dialirkan keluar.

Namun di PLTU Pacitan, sistem *Dust Collector* pada tiap *transfer tower* fungsinya kurang optimal, kurang optimal tersebut ditandai dengan masih bertebaranya debu di sekitar transfer tower, transfer tower tersebut diantaranya adalah TT 00, TT 02, TT 03 dan TT 04. Bukan Cuma di *Transfer Tower*, kurang optimalnya pengendalian debu juga terjadi di *Ship Unloader* dan *Stacker Reclaimer*. Kurang optimalnya *dust collector* disebabkan oleh jarak *hood*/*port inlet* yang terlalu jauh dari jatuhnya batubara diatas *conveyor* dan jumlah *hood/port inlet* yang kurang.

Permodelan sebelumnya dilakukan analisa numerik mengenai pergerakan debu dan distribusi debu pada saluran ducting dengan menggunakan model *eulerian-eulerian*, selain itu John Organiscak [1] melakukan penelitian mengenai pengembangan *inlet hood dust collector*. Berdasarkan kondisi di PLTU Pacitan perlu dilakukan perancangan ulang terhadap sistem *dust collector* dengan cara membuat *multiple hood* dan memodifikasi bentuk serta sudut dari *hood* tersebut. Perancangan ulang tersebut digunakan sebagai sarana untuk mengoptimalkan nilai fungsi dari *dust collector* dan untuk mengoptimalkan pembakaran batubara.

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan yaitu identifikasi masalah, pengumpulan data, pengolahan data, analisa dan terakhir tahap kesimpulan. Identifikasi masalah merupakan tahap awal dalam menentukan tujuan dan rumusan masalah berdasarkan hasil penelitian terdahulu tentang *dust collector*. Pegumpulan data merupakan tahap dimana pencarian dan pengumpulan data sesuai permasalahan yang didapat. Pengolahan data merupakan tahap lanjutan dari pengumpulan data yang dibagi mulai dari tahap perhitungan, pemodelan geometri, dan tahap simulasi CFD dengan menggunakan software. Tahap analisa yaitu analisa data berbekal data-data yang diperoleh ari hasil simulasi. Kesimpulan merupakan bagian terakhir menarik kesimpulan dari hasil simulasi yang dilakukan.

2.1 Penanganan Batubara

Fungsi penanganan batubara ialah membawa batubara dari tempat pembongkaran ke peralatan pembakaran (*firing equipment*). Penanganan batubara bisa sederhana maupun rumit, tergantung pada cara batubara itu diterima, letak PLTU dan tujuan yang diharapkan dari sistem yang dipandang dari segi kapasitas, fleksibilitas, kenyamanan, dan sebagainya [2].

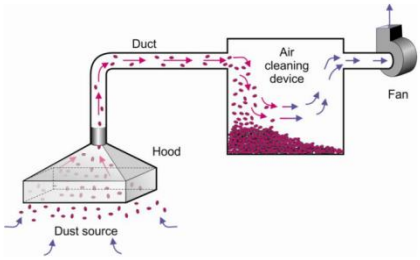
2.1.1 Definisi Debu

Debu atau *Dust* adalah partikel padat yang berukuran sangat kecil yang dibawa oleh udara. Partikel-partikel kecil ini dibentuk oleh suatu proses disintegrasi atau fraktur seperti penggilingan, penghancuran atau pemukulan terhadap benda padat.

Mine Safety and Health Administration (MSHA) mendefinisikan debu sebagai padatan halus yang tersuspensi di udara (*airbone*) yang tidak mengalami perubahan secara kimia ataupun fisika dari bahan padatan aslinya [3].

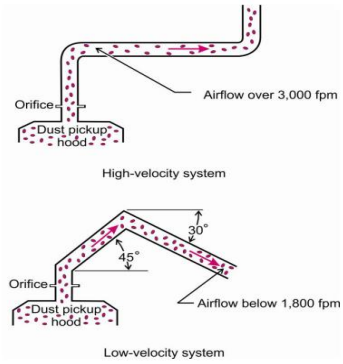
2.2 Desain Sistem Exhaust

Semua sistem *exhasut* apakah sederhana atau kompleks memiliki kesamaan penggunaan *Ductwork*, aliran pembersih dan *Collection device* yang mengarah ke exhasut fan [4].



Gambar 2 Penggambaran dasar sistem

pembuangan sederhana dengan komponen utama saluran, perangkat pembersih udara dan fan [4].



Gambar 3 skema dari High dan Low Velocity System (Cecala, et al., 2012).

2.3 Rumus Penyebaran Debu

Perpindahan partikel diturunkan dengan mengguankan persamaan eulerian berdasarkan kecepatan per satuan waktu. Persamaan perpindahan partilel sebagai berikut [5]:

$$x_p^n = x_p^o + u_p^o \Delta T \quad (1)$$

Dimana $u_p = dx_p/dT$ adalah kecepatan partikel ; $x_p$adalah posisi partikel dan T adalah waktu, angka o dan n mengacu pada nilai lama dan baru, dan u_p^o adalah kecepatan partikel awal. Semua kecepatan partikel awal diasumsikan sama dan pada akhir step kecepatan partikel dihitung dengan persamaan momentum :

$$m_p \frac{du_p}{dt} = F_{all} \quad (2)$$

Dimana m_p adalah massa partikel, F_{all} adalah jumlah dari gaya gerak partikel. Persamaan gerak untuk partikel berbentuk bola adalah sebagai berikut :

$$\frac{\pi}{6} d_p^3 \rho_p \frac{du_p}{dt} = F_D + F_G \quad (3)$$

Dimana d_p adalah diameter partikel, ρ_p adalah massa jenis partikel, F_D adalah drag force gerakan partikel dan F_G adalah gaya gravitasi.

Persamaan untuk menentukan aerodynamic drag force

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A_f |u_s| u_s \quad (4)$$

Dimana C_D adalah koefisien drag, $A_f = 0.25\pi d_p^2$ adalah efektifitas persilangan partikel $u_s = u - u_p$ adalah kecepatan tergelincirnya antara fluida dan partikel.

2.5 Persamaan Dasar dan Metode Numerik

Ada banyak pilihan komputasi menggunakan model CFD. Akan tetapi tidak masuk akal apabila memakai semua jenis CFD pada penelitian ini. Diantara topik yang akan dibahas antara lain persamaan konservasi dasar, permodelan turbulensi, paraktik diskritisasi, solusi algoritma, dan model lagragian. Sumber dari bagian ini dikutip dari manual metodologi CD-Adapco [6].

2.6 Persamaan Dasar Gerakan Fluida

Pada penelitian ini menggunakan persamaan konservasi dasar untuk masa dan momentum untuk menentukan aliran fluida compressible dan incompressible. Persamaan tersebut juga diketahui sebagai persamaan *Navier-Stokes*, dalam notasi tensor cartesian dalah sebagai berikut.

- Persamaan kontinyuitas

$$\frac{\partial \rho}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = s_m \quad (5)$$

Dan

- Kekekalan Momentum

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j - \tau_{ij}) = -\frac{\partial \mathrm{p}}{\partial x_i} + s_i \quad (6)$$

- Persamaan Difusi

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + uj \frac{\partial c_i}{\partial c_j} = S_c \quad (7)$$

Dimana x_i adalah koordinat cartesian, $u_i$adalah komponen kecepatan fluida absolut di arah x_i, p adalah tekanan piezometrik, τ_{ij} adalah tensor tegangan, s_m adalah sumber massa dan s_i adalah sumber momentum. Software ini menawarkan berbagai kemampuan permodelan turbulen termasuk eddy viscosity, Reynolds Tress, Large Eddy Simulation, dan model Simulasi-simulasi terpisah. Setiap model memiliki perkiraan tersendiri dan harus diterapkan pada simulasi yang sesuai dengan situasinya. Hal tersebut ditentukan berdasarkan pengalaman. Model Eddy Viscosity dipilih untuk penelitian ini.

2.7 RANS (*Reynolds (Ensemble) Averaging* dalam *Theory Guide*) dan *k-ε* Model

Permodelan ini menggunakan persamaan *k-ε* karena aliranya turbulen. Model RANS (*Reynolds (Ensemble) Averaging* dalam *Theory Guide*) menawarkan pendekatan paling ekonomis untuk menghitung arus industri turbulen yang kompleks. Contoh tipikal model semacam itu adalah model k-ε atau k-ω pada bentuknya yang berbeda. Model-model ini menyederhanakan masalah ke solusi dua persamaan transportasi tambahan dan mengenalkan sebuah Eddy-*Viscosity (turbulent viscosity)* untuk menghitung *Reynolds Stresses.*

Model eddy Viscosity didasarkan ada hubungan antara gradien molekul gerak difusi dan turbulen. Model Eddy viscosity yang di terapkan pada permasalahan ini adalah model *k-ε*,pada model ini terdiri dari persamaan transportasi untuk energi kinetik turbulen, *k*,dan laju disipasi turbulen *ε*, yang difenisikan sebagai kecepatan turbulen karakteristik dan satuan panjang.ada beberapa realisasi dari model *k-ε* tapi hanya bentuk standar yang digunakan.bentuk umum dari persamaan transor energy kinetic turbulen untuk standar *k-ε* model ditunujkkan oleh persamaan 8 dan tingkat disipasi ditujukan oleh persamaan 9 [7].

$$\frac{\partial}{\partial t}(pk) + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\rho u_j k - \left(\mu + \frac{\mu_t}{Pr_t}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] = \mu_t(P + P_B) - \rho\epsilon - \frac{2}{3}\left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = \rho k\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \mu_t P_{NL} \quad (8)$$

Dimana

$$P \equiv S_{ij} \frac{\partial ui}{\partial xj} \quad (9)$$

$$P_B \equiv -\frac{g_i}{Sc_t}\frac{1}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (10)$$

$$P_{NL} = -\frac{\rho}{\mu_t}\overline{u_i' u_j'}\frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \left[P - \frac{2}{3}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\rho k}{\mu_t}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right] \quad (11)$$

(2.6)

Pr_t adalah turbulen Pradlt Number, Sc_t adalah turbulen Schmidt Number, S_{ij} adalaah strain rata-rata, u' adalah kecepatan fluktuasi disekitar kecepatan aliran rata-rata ansambel, danμ_t adalah viskositas turbulen pada persamaan 12.

(2.8)

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (12)$$

Dimana C_μ adalah koefisien empiris dan f_μ adalah fungsi redaman.

$$\frac{\partial}{\partial t}(p\epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\rho u_j \epsilon - \left(\mu + \frac{\mu_t}{Pr_t}\right)\frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}\right] = C_{\epsilon 1}\frac{\epsilon}{k}\left[\mu_t P - \frac{2}{3}\left(\mu_t \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + \rho k\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right] + C_{\epsilon 3}\frac{\epsilon}{k}\mu_t P_B - C_{\epsilon 2}\rho\frac{\epsilon^2}{k} + C_{\epsilon 4}\rho\epsilon\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + C_{\epsilon 1}\frac{\epsilon}{k}\mu_t P_{NL} \quad (13)$$

Pada persamaan 2.48 ditambahkan C_ϵ untuk koefisien.

Ada sebuah pendekatan dalam memperkenalkan konsep eddy difusivitas dan perkiraan statistik untuk konsentrasi acak dari

partikel dan kecepatan partikel dari campuran turbulen. Dengan perumusan sebagai berikut.

$$\langle u'_j, c' \rangle = -K_{jj} \frac{\partial(c)}{\partial x_j} \quad (14)$$

Dimana K_{jj} adalah eddy difusivitas.

Dengan menstubstitusikan persamaan kontinuitas yang pertama dan mengabaikan reaksi, sumber, dan hasil difusi molekular dalam persamaan diferensial berikut ini, hanya mempertimbangkan pendekatan difusi pada difusi eddy :

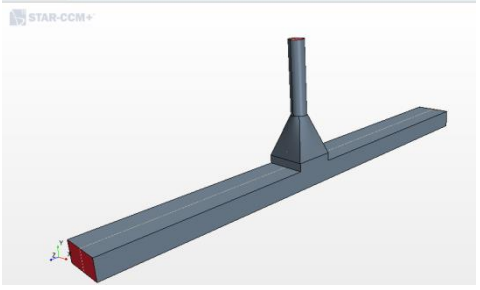
$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial(c)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(K_{jj} \frac{\partial(c)}{\partial x_j}\right) - \frac{\pi}{4} D_d^2 \eta_t |V - V_d| C_d C_P \quad (15)$$

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

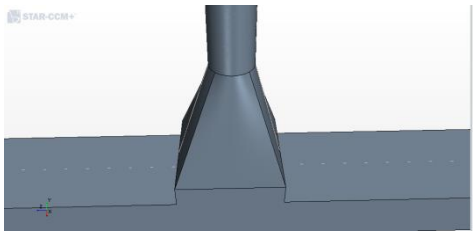
3.1 Hasil Pemodelan

Pembuatan model dilakukan dengan menggunakan *software solidworks* yang selanjutnya di *import* ke *software* STAR CCM+ [4]. Pembuatan model konveyor dan saluran isap *dust collector* disesuaikan dengan keadaan yang sebenarnya, yaitu dengan ukuran panjang konveyor 18 m, lebar konveyor 1,5 m, tinggi konveyor 0,722 m sedangkan ukuran untuk saluran isap *dust collector* panjang dan lebar *suction hood* 1,5 m, diameter saluran isap 0,6 m, *geometry* pada model ini berupa solid tanpa rongga.

a.



b.



Gambar 4. (a) Pemodelan konveyor dan saluran isap dust collector (b) Pemodelan suction hood dust collector

3.2 Hasil Simulasi sistem *existing*

a. Geometry Model

Pemodelan geometry yang akan dilakukan untuk simulasi yaitu permodelan konveyor beserta saluran isap *dust collector* untuk mengetahui distribusi partikel debu.

b. Meshing

Meshing merupakan pembagian objek kecil-kesil yang mempengaruhi waktu iterasi dan solver. Meshing pada pemodelan sistem konveyor beserta saluran isap *dust collector* menghasilkan 569720 *cell*, pada mesihng ini juga dilakukan *custom control* untuk memperkecil ukuran *mesh* pada bagian *suction hood.*

c. Physics model

Physics model merupakan penentuan model simulasi untuk memproses simulasi. Simulasi pemodelan ini menggunakan *gas-solid* dengan menggunakan *model lagrangian* untuk partikel *tracking* dengan kondisi *steady*. Selain itu pada permodelan ini menggunakan injektor untuk menginjeksikan partikel debu yaitu dengan menggunakan *surface injector*.

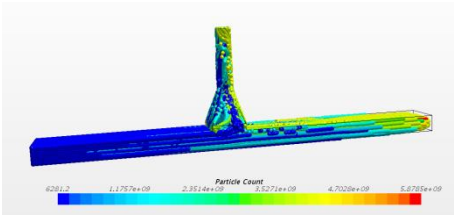
d. Boundary condition

Boundary condition yang diinputkan yaitu *coal inlet, coal outlet, dust outlet. Coal inlet* untuk masuknya udara serta tempat untuk menginjeksikan debu, *coal outlet* merupakan tempat keluarnya batubara, *dust outlet* untuk keluarnya debu yang di hisap oleh *dust collector.*

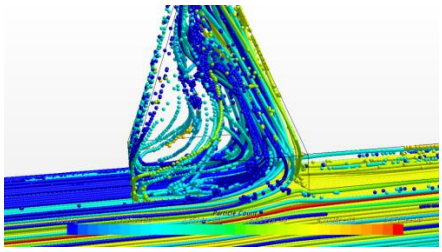
e. Initial Condition

Initial condition yang dinputkan pada model sistem *dust collector* adalah *pressure, turbulent intensity, turbulence spesifications, velocity.*

a.



b.



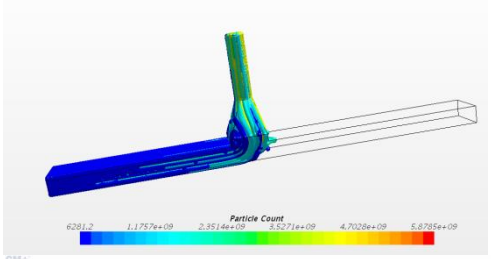
Gambar 5. (a) hasil simulasi sistem dust collector (b) posisi suction hood

Dari hasil simulasi sistem *existing* dapat dilihat bahwa debu masih belum terhisap oleh *dust collector* hal ini dikarenakan perbedaan kecepatan dari inlet debu yaitu 2,9 m/s sedangkan kecepatan hisap *dust collcetor* adalah 1,5 m/s maka dari itu perlu di variasikan kecepatan debu tersebut dan memilih kecepatan mana yang paling efektif untuk menangkap debu

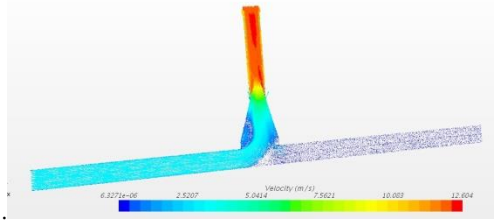
tersebut. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk menentukan kecepatan hisap yang paling tepat untuk sistem ini.

3.3 Hasil Simulasi sistem *ratio* kecepatan 4

a.



b.



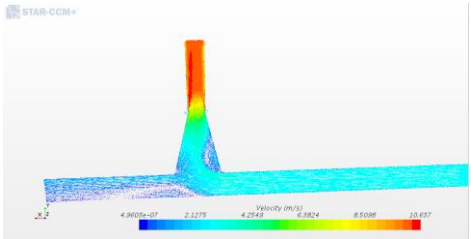
Gambar 6. (a) hasil simulasi parameter mass flow (b) hasil simulasi parameter velocity

Hasil simulasi dengan *ratio* 4 menunjukkan debu dapat terhisap seluruhnya hal ini dapat dilihat tidak ada debu yang melewati *suction hood* sehingga dapat disimpulkan dengan kecepatan ratio 4 yaitu 12 m/s debu dapat terhisap seluruhnya.

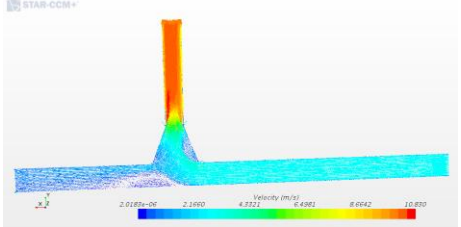
3.4 Variasi sudut pada suction hood

Analisis pada variasi kecepatan yang telah dilakukan didapatkan hasil kecepatan yang paling optimal yaitu 12 m/s, namun untuk lebih mengoptimalkan penghisapan debu sekaligus meminimalkan konsentrasi debu yang ada pada *outlet conveyor* maka perlu dilakukan perubahan pada sudut *suction hood* dengan beberapa variasi menggunakan kecepatan hisap 12 m/s. Variasi sudut ini menggunakan model eulerian dan debu dianggap sebagai gas untuk mempercepat proses simulasi.

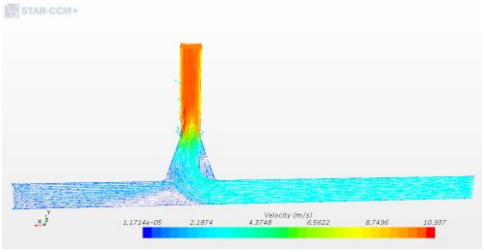
a.



b.



c.



Gambar 7 (a) Variasi sudut 14 derajat (b) Variasi sudut 17 derajat (c) Variasi sudut 20 derajat

Tabel 1 Hasil *mass concentratian* dari simulasi

Sudut	*Mass concentration*
14	14940,23 mg/m^3
17	3,05 mg/m^3
20	0,000741 mg/m^3

4 KESIMPULAN

Dari simulasi yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir tersebut maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Simulasi sistem *existing dust collector* diperoleh hasil yaitu *mass flow rate* sebesar 0,11 kg/s dan tidak terhisapnya debu pada *conveyor*, hal tersebut disebabkan oleh kurangnya kecepatan hisap dari *dust collector* yaitu 1,5 m/s sedangkan kecepatan aliran debu dan udara adalah 2,9 m/s, perbedaan kecepatan tersebut yang menyebabkan debu tidak dapat terhisap.
2. Solusi yang dilakukan pada permasalahan ini adalah merubah kecepatan hisapan debu dengan variasi *ratio* 2, 3, dan 4, dari hasil simulasi didapatkan kecepatan dengan *ratio* 4 atau 12 m/s merupakan kecepatan yang paling bagus untuk menghisap debu. Selanjutnya pada simulasi perubahan sudut *suction hood* dengan variasi 14 derajat, 17 derajat, dan 20 derajat, didapatkan sudut 20 derajat merupakan sudut yang dapat menghisap debu paling optimal dengan hasil *mass concentration* sebesar 0,000741 mg/m^3.

5 PUSTAKA

[1] John A Organiscak, S. J. (2014). *Development of a dust collector inlet hood for enhanced surface mine drill*. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment.

[2] Saleh, R. (2013, April 3). *Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia*. Dipetik January 2, 2018, dari Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementrian ESDM: http://www.pusdiklat-minerba.esdm.go.id/index.php/kerjasama/item/198-penanganan-batubara-coal-handling

[3] Todd Swinderman, A. D. (2012). Martin Foundations. USA: Martin Engineering

[4] Andrew B. Cecala, A. D. (2012). *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing.* Pittsburgh: Departmen of Health And Human Services.

[5] Dzmitry Misiulia, A. G. (2016). *Effects of the inlet angle on the collection efficiency of a cyclone with helical-roof inlet*.

[6] CD-Adapco. (2008). *Methodology*.

[7] Goldmann, A. (2009). *Experimental and Numerical Investigation of Aerosol Scavenging by Spray*. 6-19.

.