



## **Perancangan *Pneumatic Transport System Cement Kiln Dust* dari *Dust Bin* Menuju *Fly Ash Bin***

Audretha Pasha Firdaus<sup>1</sup>, Dianta Mustofa Kamal<sup>2</sup>, Agustinus Herwibawanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Konsentrasi Rekayasa Industri Semen, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

<sup>3</sup>Departemen Maintenance, PT Solusi Bangun Indonesia, Jl. Ir. H. Juanda, Karangtalun, Cilacap, 53234

---

### **Abstrak**

*Perancangan sistem transport pneumatik untuk mengganti truck bulk didasari oleh penggunaan truck bulk yang kurang efektif untuk mentransport Cement Kiln Dust (CKD) ke Finish Mill. Permasalahan yang ditimbulkan dari penggunaan truck bulk untuk mentransport CKD adalah jumlah CKD yang ditransport tidak maksimal dan biaya sewa truck bulk per bulannya terlalu tinggi. Maka dari itu, dibutuhkan solusi untuk mengganti penggunaan truck bulk menjadi sistem transport pneumatik. Langkah yang dilakukan untuk dapat menyelesaikan perancangan ini adalah dengan mencari informasi alat, pemilihan konsep desain, perancangan dan evaluasi. Dengan dirancangnya sistem transport pneumatik ini diharapkan dapat memaksimalkan konsumsi CKD di Finish Mill dan juga menghilangkan biaya sewa truck bulk. Berdasarkan hasil perhitungan, besar daya blower yang dibutuhkan untuk menggerakkan sistem transportasi pneumatik berkapasitas 30 tph dengan diameter pipa 10 inch dan total panjang pipa 210,6 m adalah 43,4 kW. Nilai tersebut sudah diperhitungkan dengan memperhatikan jumlah belokan pipa dan besarnya head loss serta pressure drop yang terjadi di dalam pipa.*

*Kata-kata kunci: Perancangan, sistem transport pneumatik, Cement Kiln Dust (CKD), pipa*

### **Abstract**

*The design of a pneumatic transport system to replace bulk trucks is based on the use of ineffective bulk trucks to transport Cement Kiln Dust (CKD) to the Finish Mill. The problems that arise from using bulk trucks to transport CKD are that the number of CKD transported is not optimal and the monthly bulk truck rental fee is too high. Therefore, a solution is needed to replace the use of bulk trucks into a pneumatic transport system. The steps taken to complete this design are to find tool information, design concept selection, design and evaluation. With the design of this pneumatic transport system, it is expected to maximize CKD consumption at the Finish Mill and also eliminate the cost of renting bulk trucks. Based on the calculation results, the blower power required to drive a pneumatic transportation system with a capacity of 30 tph with a pipe diameter of 10 inches and a total pipe length of 210.6 m is 43.4 kW. This value has been calculated by taking into account the number of pipe turns and the amount of head loss and pressure drop that occurs in the pipe.*

*Keywords: Design, pneumatic transport system, Cement Kiln Dust (CKD), pipes*

---

\* Corresponding author E-mail address: audrethapasha.eve15@gmail.com

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Proses penggilingan bahan baku semen di *Raw Mill* menghasilkan debu. Debu ini kemudian dihisap oleh *fan* menuju *Electrostatic Precipitator* untuk disaring kembali. Debu hasil penyaringan inilah yang dinamakan *Cement Kiln Dust* (CKD). CKD ini kemudian ditampung di dalam *dust bin* sebelum dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku semen tambahan dan selanjutnya akan diekstraksi ke tempat penggilingan semen akhir (*Finish Mill*) dan juga tempat pembakaran *raw meal* (*Kiln*).

Ekstraksi CKD ke *Finish Mill* awalnya dilakukan menggunakan dua armada *truck bulk*. Namun, ada beberapa permasalahan yang ditimbulkan dari penggunaan *truck bulk*. Pertama, penyaluran CKD yang tidak maksimal. Persentase CKD yang diharapkan untuk ditransport ke *Finish Mill* adalah sebanyak 100%, tetapi hanya 56,84% dari total CKD yang dihasilkan yang dapat ditransport menggunakan *truck bulk*. Permasalahan ini bukan disebabkan oleh kebocoran *equipment* atau pun jarak transportasi yang jauh. Berdasarkan data yang didapatkan dari *Process Engineer* PT Solusi Bangun Indonesia, jumlah *transport* setiap harinya sebanyak 6 *bulk/shift* (1 *bulk* = 15 ton), sehingga jumlah CKD yang dapat ditransport ke *Finish Mill* maksimal hanya sebesar 270 ton per hari. Sedangkan untuk kondisi saat ini, estimasi jumlah CKD yang dihasilkan adalah sebesar 475 ton per hari. Jadi, terdapat 205 ton CKD yang tidak dapat ditransport ke *Finish Mill* dan harus ditransport ke *Kiln* untuk menjaga *level dust bin* agar tidak penuh. Selain *transport* CKD ke *Finish Mill* yang tidak maksimal, jumlah total biaya sewa dan bahan bakar *truck bulk* juga terlalu tinggi. Biaya sewa 1 *truck bulk* setiap bulannya adalah Rp.50.000.000.

Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka diperlukan solusi yang tepat untuk mengganti sistem transportasi CKD ke *Finish Mill* yang awalnya menggunakan *truck bulk* menjadi sistem transportasi pneumatik. Harapan ke depannya dengan merancang sistem transportasi pneumatik ini adalah dapat meningkatkan persentase CKD yang ditransport ke *Finish Mill* menjadi 100% dan dapat menghilangkan biaya sewa serta bahan bakar dari *truck bulk*.

### Tujuan

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengganti sistem transportasi yang awalnya menggunakan *truck bulk* menjadi sistem transportasi pneumatik.
2. Untuk merancang desain sistem transport pneumatik yang dapat memaksimalkan transport CKD dari *dust bin* ke *fly ash bin*.

## 2. METODE PERANCANGAN

Metode yang digunakan dalam perancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis Kebutuhan dan Identifikasi Masalah  
Menganalisis kebutuhan meliputi kegiatan observasi lapangan dan *interview* kepada pihak *mechanical engineer* dan *process engineer* sehingga didapatkan data-data mengenai penyebab permasalahan yang ditimbulkan dari penggunaan *truck bulk* untuk mentransport CKD.  
Proses mengidentifikasi masalah yang terjadi di PT Solusi Bangun Indonesia Plant Cilacap mulai dari *issue safety*, frekuensi *failure/break down*, dan tingkat kerugian. Perancangan ini didasari hasil analisa mengenai latar belakang diubahnya sistem transportasi untuk memindahkan CKD dari *dust bin* menuju *fly ash bin*. Perubahan ini dilakukan berdasarkan beberapa hal yaitu ekstraksi CKD ke *Finish Mill* tidak maksimal dan biaya sewa serta bahan bakar dari *truck bulk* per bulannya cukup tinggi.
2. Penentuan Mekanisme Kerja Alat  
*Mekanisme* kerja alat dapat dilakukan setelah semua data-data hasil analisa kebutuhan terpenuhi. Mekanisme kerja alat dapat dirancang sesuai kebutuhan yang ada. Hal ini dapat dibantu dengan *interview* kepada beberapa pihak terkait seperti karyawan *process engineer*, dan *engineer raw mill area*, sehingga didapatkan mekanisme kerja alat yang sesuai kebutuhan dengan desain seefektif dan seefisien mungkin.
3. Perhitungan dan *Design*  
Setelah mekanisme kerja alat diperoleh, maka perhitungan dapat dilakukan. Perhitungan yang dilakukan yaitu perhitungan kapasitas. Ini bertujuan untuk mendapatkan kapasitas yang sesuai dengan

kebutuhan produksi. Setelah itu melakukan perhitungan *head loss*, *pressure drop*, dan kekuatan *blower* untuk memastikan alat tersebut mampu mendorong *dust* bersama udara.

Setelah perhitungan dilakukan, kemudian menyusun *drawing piping system* dan menghitung kebutuhan material yang digunakan. *Drawing* ini digunakan sebagai panduan agar produk jadi nantinya akan sesuai dengan desain awal. Pembuatan gambar kerja dapat dilakukan dengan bantuan *software drawing* seperti *Autodesk AutoCAD*, *Autodesk Inventor*, *solidworks*, dan sebagainya.

#### 4. Evaluasi Hasil Perancangan

Setelah perancangan desain selesai, dapat dilakukan evaluasi dari desain yang telah dibuat. Mengevaluasi hasil perancangan baik perhitungan maupun penggambaran harus tepat dan sesuai standard. Dari hasil evaluasi tersebut, didapat kesimpulan setelah dilakukannya perancangan sistem transportasi pneumatik dan tercapainya tujuan dari perancangan ini.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Kapasitas Material yang ditransport

Material yang diangkut oleh sistem transportasi pneumatik dengan total panjang 210,6 m adalah *Cement Kiln Dust* (CKD). Berdasarkan data yang didapat dari *Technical Information System* (TIS), *feed rate* rata-rata bulan Juni-Juli 2022 adalah 212,4 tph. Asumsi rata-rata pemakaian CKD adalah 4,3% dari total *feed rate*.

Sebelumnya, CKD yang dapat dikonsumsi di *Finish Mill* hanya sebanyak 56,84% dari total CKD yang dihasilkan setiap harinya. Lalu, setelah proyek berhasil dibangun, CKD yang diekstraksi ke *Finish Mill* akan menjadi 100%, maka dari itu, persentase CKD yang dikonsumsi di *Finish Mill* juga akan naik sebanyak dua kali lipat menjadi 8-9%. Dengan bertambahnya persentase CKD yang dikonsumsi di *Finish Mill*, bertambah pula *feed ratenya*. Diasumsikan *feed rate* naik sebanyak 7 tph maka:

$$\begin{aligned} \text{Feed CKD} &= 219,4 \text{ tph} \times 9\% \\ &= 20 \text{ tph} \end{aligned}$$

Untuk mengantisipasi meningkatnya jumlah CKD yang dihasilkan saat *Raw Mill stop* maka kapasitas material CKD yang ditransport ditambah sebanyak 10 tph.

$$\begin{aligned} \text{Jadi, kapasitas akhir material yang ditransport} &= 20 \text{ tph} + 10 \text{ tph} \\ &= 30 \text{ tph} \end{aligned}$$

#### Menentukan Dimensi dan Material Pipa

Tabel 1. Spesifikasi *FK Pump* dan *Compressor*

Pneumatic pump + hopper	mec	Gatx - Fuller	250-Mk			2	unit
	mec				7324 BGM	4	pcs
	mec				3,875 in x 0,125 in	1	pcs
	mec				10 in x ¼ in	2	pcs
	mec				Øi = 110mm; Øo = 139 mm; width = 50 mm	1	pcs
	mec				114,3-139,7-12,7		unit
	mec				120,65-146,05-12,7		unit
	mec				Øi = 251,65 mm; Øo = 288,55 mm; width = 370 mm	1	pcs
	elec	Siemens			Power 132 kW; Speed: 1500 rpm; Volt: 380v; Frequency: 50 Hz; Ø pulley = 355mm;	2	unit
	mec				belt = SPC 3350 LW	8	pcs
elec	Norgren			Two way, manual	1	pcs	
				48 V; P <sub>e</sub> = 2-8 bar	1	pcs	
Rotary compressor	mec	Gatx - Fuller	MPR / R-180		Roller OD 20cm width 6.7cm; ID between roller 12 cm, Model SKF 23NU19	4	pcs
	mec	SKF			23 nu 19	2	pcs
					Thickness = 5 mm; width = 8 mm; material carbon steel	2	pcs
	elec				Power 90 kW; Speed: 750 rpm; Volt: 380v; Frequency: 50 Hz	4	unit

Penentuan dimensi pipa didasarkan oleh dimensi output FK Pump existing (lihat tabel 1). Jadi, diameter pipa yang digunakan adalah 10 inch. Lalu, memilih material dan ketebalan pipa yang optimal perlu mempertimbangkan beberapa faktor, baik yang berhubungan langsung dengan kondisi proses maupun yang tidak berhubungan langsung dengan kondisi proses atau faktor non-proses.

Dari beberapa material pipa, material *carbon steel* dinilai paling sesuai digunakan untuk transport CKD dan udara di suhu normal (27°C). Lalu, ketebalan pipa dipilih dengan *schedule 40* karena dinilai sesuai dengan tekanan yang mengalir di dalam pipa. Selain itu, pipa dengan *schedule 40* memiliki *lifetime* yang lebih lama dan mudah untuk dilakukan fabrikasi.

Tabel 2. Tabel Khusus Pipa Sch 40 *Steel Pipe* ASME B36.10 [1]

NPS	O.D	I.D	T	W
INCH	MM	MM	MM	KG/M
1/8	10,3	6,84	1,73	0,37
1/4	13,7	9,22	2,24	0,63
1/2	21,3	15,76	2,77	1,27
3/4	25,7	20,96	2,87	1,69
1	33,4	26,64	3,38	2,5
1 1/4	42,2	35,08	3,56	3,39
1 1/2	43,3	40,94	3,68	4,05
2	60,3	52,48	3,91	5,44
1 1/2	73	62,68	5,16	8,63
3	88,9	77,92	5,49	11,29
4	114,3	108,28	6,02	16,08
5	141,3	128,2	6,55	21,77
6	168,3	154,08	7,11	28,26
8	219,1	202,74	8,18	42,55
10	273	254,46	9,27	60,29
12	323,28	303,18	10,31	79,71

### Menentukan Head Loss

Menghitung *head loss* sangat penting untuk untuk menentukan efisien atau tidaknya sebuah sistem perpipaan. Besarnya *head loss* pada sistem perpipaan disebabkan oleh beberapa faktor seperti nilai koefisien gesek, nilai *k* yang disebabkan oleh belokkan dan juga panjang pipa. Semakin banyak belokkan dalam suatu sistem perpipaan maka semakin besar nilai *head loss* yang terjadi. Berikut langkah yang dilakukan untuk menghitung *head loss* dalam sistem perpipaan:

1. Menentukan Bilangan Reynold

Bilangan *reynold* didapatkan dari persamaan berikut:

$$Re = \frac{v \times D}{\nu} \quad (1)$$

Dimana *Re* merupakan bilangan *Reynold*; *V*, kecepatan aliran=12 m/s; *D*, diameter pipa= 0,254 m; *v*, viskositas kinematis=0,000016525 m<sup>2</sup>/s. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai *Re* sebesar 184.781,8 sehingga termasuk dalam jenis aliran turbulen.

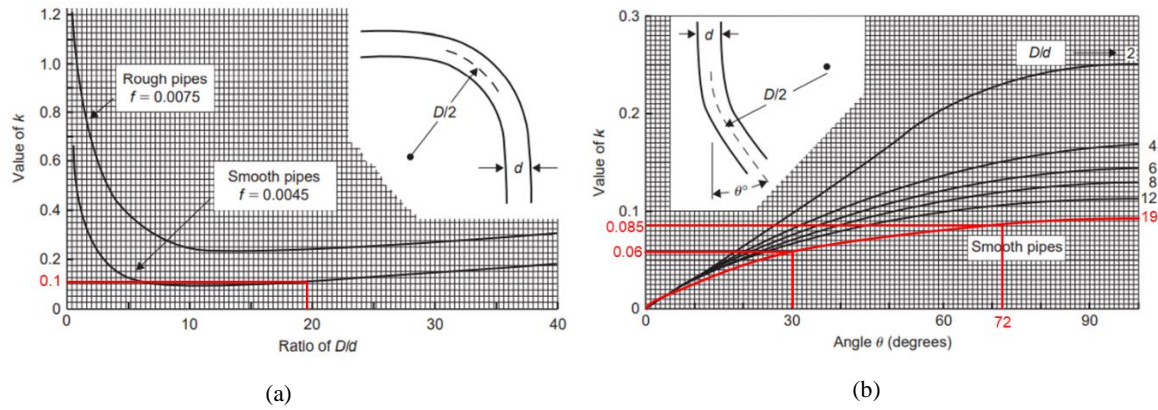
2. Mencari Nilai *f* (Koefisien Gesekan)

Koefisien gesekan pada fluida dengan nilai *Re* >4000 atau jenis aliran turbulen didapat dari diagram *Moody* dengan menghubungkan antara bilangan *reynold* dan kekasaran relatif pipa (*relative roughness*). Nilai kekasaran relative dari pipa dengan material *carbon steel* yaitu  $45 \times 10^{-6}$ . Didapatkan nilai koefisien gesekan sebesar 0,0175.

3. Mencari Nilai *k*

Nilai *k* atau *k value* adalah besarnya koefisien *head loss* dari penggunaan *bend*/belokkan. Nilai *k* didapat dari grafik di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Rasio } D/d &= 5000/254 \\ &= 19,7 \text{ (berdasarkan dimensi pipa yang dirancang)} \end{aligned}$$



Gambar 1. Grafik Nilai k untuk (a) Radius Bend 90° (b) General Radius Bend [2]

Tabel 3. Total Nilai k

Nilai k	Jumlah	Total	
90°	0,1	4	0,4
30°	0,06	2	0,12
72°	0,085	1	0,085
<b>Σk</b>		<b>0,6</b>	

4. Mencari Head Loss

$$\psi = \frac{4fL}{d} + \Sigma k \text{ [dimensionless]} \tag{2}$$

Dimana  $\psi$  merupakan head loss;  $f$ , coefficient friction yang didapat dari diagram Moody (untuk  $Re > 4000$ ) = 0,0175;  $L$ , panjang pipa=210,6 m;  $d$ , diameter pipa=0,254 m;  $\Sigma k$ , jumlah nilai k=0,6. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai  $\psi$  yaitu 59, yang artinya pada sistem pneumatik tersebut terjadi penurunan energi sebesar 59.

**Pressure Drop**

Pressure drop merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik di dalam pipa. [3] CKD adalah material powder yang bisa mengapung seperti gas; mengalir seperti cairan; atau menopang beban dengan cara yang sama seperti salju yang padat. Material berbentuk powder ini dapat berperilaku seperti gas ketika dalam bentuk asap atau debu di atmosfer; seperti cairan ketika dituangkan atau ditransport selama proses manufaktur; dan seperti padatan ketika dikompresi menjadi block dengan memberikan tekanan. [4] Untuk menghitung total pressure drop dibutuhkan perhitungan 3 elemen pressure drop, yaitu: (1) pressure drop hanya udara, (2) pressure drop material yang ditransport, (3) pressure drop akibat belokkan.

1. Pressure drop hanya udara

Sebelum menentukan besarnya pressure drop, terlebih dahulu mencari besarnya laju aliran udara (air flow rate) menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\dot{m}_a = \frac{\pi d^2 C p_2}{4RT} \tag{3}$$

Dimana  $\dot{m}_a$  adalah air mass flow rate (kg/s);  $d$ , diameter pipa = 0,254 m;  $C$ , velocity udara = 12 m/s [2];  $p_2$ , outlet pressure=200+101,3 kN/m<sup>2</sup> (abs) = 301,3 kN/m<sup>2</sup>;  $R$ , konstanta karakteristik gas = 0,287 kJ/kg.K;  $T$ , suhu mutlak (27°C) = 300 K. Jadi, didapatkan nilai  $\dot{m}_a$  sebesar 2,13 kg/s.

Pressure drop udara untuk sistem transport pneumatik didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta p_a = p_1 - p_2 \tag{4}$$

$$\Delta p_a = \left( p_2^2 + \frac{16\psi \dot{m}_a^2 RT}{\pi^2 d^4} \right)^{0.5} - p_2 \tag{5}$$

Dimana  $\Delta p_a$  merupakan *pressure drop* ( $\text{N/m}^2$ );  $\psi$ , *head loss*=59;  $\dot{m}_a$ , *air mass flow rate* =2,13 kg/s;  $R$ , konstanta karakteristik gas=287 J/kg.K;  $T$ , suhu mutlak=300 K;  $p_2$ , *outlet pressure*=200.000  $\text{N/m}^2$ . Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai  $\Delta p_a$  yaitu 21.340,45  $\text{N/m}^2$  atau sama dengan 0,213 bar.

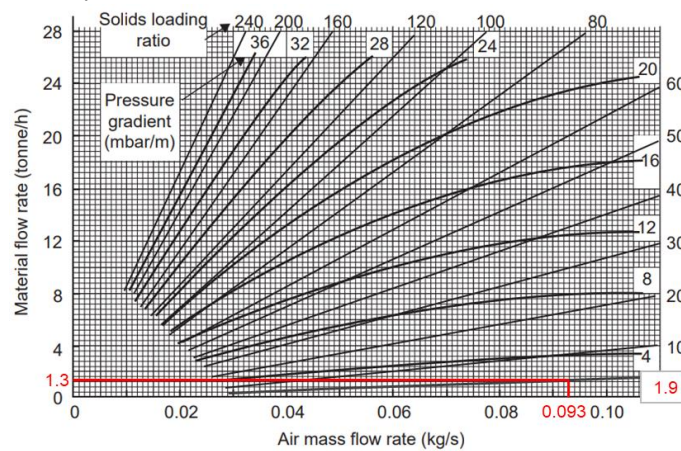
## 2. *Pressure drop material yang ditransport*

Selanjutnya adalah menentukan *pressure drop material*. Dengan *pressure* sebesar 2 bar, laju aliran massa udara dalam pipa berdiameter 53 mm akan menjadi: (scaling menjadi 53 mm dikarenakan grafik yang tersedia hanya untuk pipa berdiameter 53 mm)

$$\dot{m}_{a53} = \frac{2,74 \times p \times d^2 \times C}{T} \quad (6)$$

$$\dot{m}_{p53} = \dot{m}_{p254} \times \left( \frac{d_{53}}{d_{254}} \right)^2 \text{ ton/h} \quad (7)$$

Untuk menghitung besarnya *pressure drop material* dibutuhkan nilai *pressure gradient*. *Pressure gradient* sendiri didapatkan dari gambar 3. dengan menghubungkan nilai  $\dot{m}_{a53} = 0,093 \text{ kg/s}$  dan juga nilai  $\dot{m}_{p53} = 1,3 \text{ ton/h}$ .

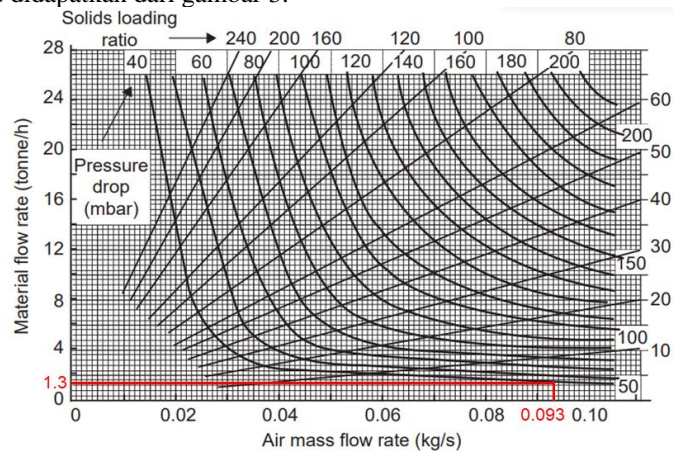


Gambar 2. Referensi data *pressure gradient* untuk pipa berdiameter 53 mm [2]

Dari gambar 2, didapatkan *pressure gradient* sebesar 1,9 mbar/m. Panjang pipa (vertikal+horizontal) adalah 210,6 m. Jadi, *pressure drop materialnya* adalah 210,6 m x 1,9 mbar/m = 0.400 bar.

## 3. *Pressure drop akibat belokkan*

Menghitung besarnya *pressure drop* akibat belokkan juga membutuhkan nilai *pressure gradient*. Untuk menentukan *pressure gradient* belokkan sama saja dengan menentukan *pressure gradient* untuk material, yaitu didapatkan dari gambar 3.



Gambar 3. Data *pressure gradient* untuk 90° *radiused bends* di pipa berdiameter 53 mm [2]

Dari gambar 3, didapatkan *pressure gradient* untuk belokkan yaitu 40 mbar/*bend*. Total belokkan pada sistem perpipaan yang dirancang adalah tujuh belokkan. Diasumsikan semua belokkan = 90° karena grafik yang tersedia hanya untuk *radius bend* 90°. Jadi, *pressure drop* untuk belokkan adalah 7 belokkan x 40 mbar/*bend* = 0.280 bar.

Setelah menentukan nilai ketiga *pressure drop*, selanjutnya adalah menjumlah ketiga nilai tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Total pressure drop} &= 0,213 + 0,400 + 0,280 \\ &= 0,893 \text{ bar} \end{aligned}$$

#### Power Requirement

Sistem transportasi pneumatik yang dirancang di sini menggunakan pompa dan *blower* untuk mendorong material beserta udara. Perencanaan ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan daya *blower* pada sistem perpipaan dengan kapasitas 30 tph. Semua perhitungan diatas (termasuk perencanaan kekuatan *blower*) mengikuti standard umum sistem perpipaan dari “Pneumatic Conveying Design Guide” (David Mills).

Setelah mendapat nilai *pressure drop*, selanjutnya adalah mensubstitusi ke persamaan berikut:

$$P = 2\dot{m}_a RT \ln \left( \frac{p_1}{p_2} \right) \quad (8)$$

(Nilai  $p_1$  didapatkan dari perhitungan *pressure drop* udara)

Untuk menghitung daya motor minimum yang dibutuhkan adalah dengan membagi power requirement yang didapat dari persamaan (8) dengan koefisien efisiensi sebesar 85%. Dari hasil perhitungan tersebut, *power consumption* minimal yang dibutuhkan *blower* untuk menggerakkan sistem transportasi pneumatik ini adalah 43,4 kW. Sedangkan motor yang tersedia adalah 90 kW maka output daya motor yang diinstall adalah 90 kW x 0,93 (koefisien efisiensi dari motor 90 Kw) = 83,7 kW.

## 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan pembahasan di atas adalah :

1. Spesifikasi *FK Pump* dan *blower* yang tersedia mampu dan kuat untuk menggerakkan sistem transportasi pneumatik.
2. Sistem transportasi pneumatik memiliki kapasitas material sebesar 30 tph dengan diameter pipa 10 inch dan total panjang pipa 210,6 m.
3. *Compressor* yang digunakan adalah *root blower* yang memiliki daya motor sebesar 90 kW. Namun, berdasarkan perhitungan, daya yang dibutuhkan hanya sebesar 43,4 kW.
4. Sistem transportasi pneumatik dapat meningkatkan persentase CKD yang ditransport ke *Finish Mill* menjadi 100%. dari yang awalnya 56,84% saat menggunakan *truck bulk*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pak Priyatno selaku Manager Program EVE PT Solusi Bangun Indonesia Tbk dan EVE Team Cilacap atas dukungannya dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterimakasih kepada *Maintenance Planner Team* atas bimbingan dan ilmu yang bermanfaat. Serta Penulis mengucapkan terimakasih kepada sahabat EVE 15 dan karyawan PT Solusi Bangun Indonesia Tbk Pabrik Cilacap yang namanya tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

## REFERENSI

1. Nursahid, 16 Desember 2021. [Online]. Available: <https://www.cnzahid.com/2021/12/tabel-pipa-sch-20-sch-40-dan-std-steel.html>. [Diakses 30 Juli 2022].
2. D. Mills, *Pneumatic Conveying Design Guide* (Second Edition), 2004.
3. e. a. Mia Rastiyanti, “Modifikasi Dedusting System pada Bucket Elevator 392-BE1 untuk Meningkatkan Efisiensi Bag Filter 392-BF1,” dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, Cilacap, 2021.
4. P. D. NeitonPilpelB.Sc., “Powders—gaseous, liquid and solid,” *Endeavour*, vol. 6, no. 4, pp. 183-188, 1982.
5. Seo, Minhye et. all., “Recycling of Cement Kiln Dust as a Raw Material,” pp. 12–20, 2017.

6. Sularso dan Tahara, H., "Pompa dan Kompresor : Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan," Jakarta : Pradnya Paramita, 2000.
7. Klinzing, George E., "Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)," 2003.
8. Berk, Zeki, "Food Process Engineering and Technology," 2009.
9. Fuller-Kinyon® Pump: Dry Material Line Charger, 2010.
10. Nowak, Sharon, "Dense-Phase Conveying," 2012.