

ANALISA DESAIN *DUCTING* SALURAN *OUTPUT BY-PASS* PADA BLOWER *EXHAUST FAN EF 08/ 09* FASILITAS RADIOMETALURGI

Asep Fathudin, Amanda Ulfa F. A. Darma Adiantoro
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Dalam Sistem Ventilasi Instalasi Nuklir Non Reaktor, *duct* (saluran) memiliki peranan penting untuk menyalurkan udara dingin atau panas sehingga temperatur, kelembaban dan udara bersih pada Instalasi Nuklir Non Reaktor tercapai sesuai asas keselamatan. Berdasarkan evaluasi di lapangan diperlukan pemasangan *ducting* saluran *output by-pass exhaust fan EF 08/09* untuk pengaturan volume udara pada saluran. Tujuan makalah ini adalah untuk menganalisa dan mendeskripsikan kelemahan desain *ducting* serta merekomendasikan desain *ducting* yang sesuai dengan prinsip *architecture, engineering and construction* (AEC) dan ASHRAE. Metode analisis dengan cara analisa perhitungan friksi, pengkajian yang berdasarkan referensi pada tiga desain *ducting* saluran *output by-pass exhaust fan EF 08/09* dan mendesain ulang berdasarkan analisa perhitungan dan hasil pengkajian. Hasil analisa desain antara lain didapaknya kerugian (faktor friksi, *head loss* dan kehilangan tekanan pada gesekan) pada masing masing desain. Kerugian tertinggi ada pada desain pertama sedangkan kerugian terendah terdapat pada desain ketiga. Berdasarkan hasil pengkajian dan analisa ketiga desain *ducting* saluran *output by-pass*, didapaknya desain modifikasi yang dapat meminimalisir kerugian (faktor friksi, *head loss*, kehilangan tekanan tekanan pada gesekan) dan memaksimalkan *flow* dan volume udara pada saluran *ducting*.

Kata kunci: Desain, Ventilasi, *Ducting*, Kerugian

PENDAHULUAN

Rancang bangun sistem *Heat Ventilation and Air Conditioning* (HVAC) merupakan aktivitas yang rumit dan memerlukan praktisi dari *architecture, engineering and construction* (AEC) ^[1]. Berdasarkan *architecture, engineering and construction* (AEC) tujuan dari rancang bangun sistem ventilasi adalah untuk mendeskripsikan koordinat HVAC sesuai dengan distribusi operasi secara geografis yang biasa disebut fabrikasi *ductwork* dan instalasi site ^[2].

Dalam Sistem Ventilasi Instalasi Nuklir Non Reaktor, *duct* (saluran) memiliki peranan penting untuk menyalurkan udara dingin atau panas sehingga temperature, kelembaban, udara bersih pada Instalasi Nuklir Non Reaktor tercapai sesuai asas keselamatan. Pendistribusian udara pada *ductwork* berdasarkan prinsip dasar rancangan *ductwork* yaitu tekanan pada *ductwork*, densitas standar *ductwork*, *fan capacity*, kecepatan aliran udara, komponen dan material *ductwork* ^[3]. Pada prinsip

dasar rancangan *ductwork*, bentuk dari *duct* mempunyai keunggulan dan kelemahan. Bentuk *ductwork* tersebut antara lain *round duct*, *rectangular duct*, dan *oval duct* [3].

Pada fasilitas Radiometalurgi terdapat dua jenis *ductwork* yaitu *round duct* dan *rectangular duct*. Penggunaan *duct* pada fasilitas Radiometalurgi sebagian besar berbentuk *rectangular duct*. Kelemahan dari *rectangular duct* adalah memiliki *pressure drop* yang lebih besar dari *round duct* [4]. *Pressure drop* dapat terjadi akibat adanya *friction loss* dan *separation loss* [5]. Dalam menjaga keselamatan instalasi nuklir dan memaksimalkan pendistribusian udara *exhaust* melalui *blower exhaust fan* EF 08/09, Bidang Pengembangan Fasilitas Bahan Bakar Nuklir melakukan perancangan *ducting* pada saluran *bypass output* EF 08/ 09 untuk pengaturan volume udara pada saluran sehingga diharapkan dapat berfungsi sebagai pengaturan negative pressure di laboratorium Radiometalurgi. Berdasarkan perancangan *ducting* tersebut, dapat menganalisa desain *ducting by-pass* pada blower EF 08/09 fasilitas Radiometalurgi yang dibatasi pada perhitungan Friksi saja. Analisa desain ini diharapkan dapat mendeskripsikan kelemahan desain *ducting* dan merekomendasikan desain *ducting* yang sesuai dengan prinsip *architecture, engineering and construction* (AEC) dan ASHRAE.

DASAR TEORI

Prinsip Desain *Ducting*

Kombinasi dari *duct* dan *Air Handling Unit* menghasilkan sistem HVAC. Pada dasarnya *duct* terdiri dari *rectangular duct*, *round duct*, *fittings* dan komponen. Aliran *ducting* dapat mempengaruhi tekanan pada ruangan. Tekanan terdiri dari *static pressure* dan *velocity pressure*. Perubahan tekanan secara keseluruhan dipengaruhi oleh *friksi, fitting, equipment, dan thermal gravity effect (stack effect)* pada sistem *duct*, seperti yang ditunjukkan pada formula 1 berikut [6]:

$$\Delta P_{ti} = \Delta P_{fi} + \sum_{j=1}^m \Delta P_{ij} + \sum_{k=1}^n \Delta P_{ik} - \sum_{r=1}^{\lambda} \Delta P_{seir}$$

For $i = 1, 2, 3, \dots, n_{\phi p} + n_{dn}$

Di mana:

ΔP_{ti} = net total pressure change, *i* – section (Pa)

ΔP_{fi} = Pressure loss due to friction, *i* – section (Pa)

ΔP_{jif} = total pressure loss due to *j* – fittings, *i* – section (Pa)

ΔP_{kik} = Pressure loss due to *k* – equipment, *i* – section (Pa)

ΔP_{seir} = thermal gravity effect due to *r* – stock for *i* – section (Pa)

m = number of fittings within *i* – section

n = number of equipment within *i* – section

λ = number of stack within *i* - section

$n_{\phi p}$ = number of duct section upstream of fan (exhaust/ return air subsystems)

n_{dn} = number of duct section downstream of fan (supply fan subsystems)

klasifikasi jenis *ducting* dibagi menjadi dua yaitu berdasarkan *velocity* dan bentuk *ductwork*. Berdasarkan *velocity*, *ducting* diklasifikasikan menjadi 3 kategori Yaitu *low velocity systems* yang memiliki *air velocity* sampai dengan 2000 *fpm*, *Medium velocity systems* yang memiliki *air velocity* antara 2000 – 2500 *fpm*, dan *high velocity systems* yang *air velocity* lebih dari 2500 *fpm*. Sedangkan berdasarkan bentuknya, *ductwork* dikualifikasikan menjadi *rectangular duct*, *round duct*, dan *oval duct*.

Friction Losses

Friction losses terjadi akibat perubahan aliran laminar menjadi aliran turbulen pada *ductwork*. Untuk menghitung *friction losses* pada aliran *ducting* menggunakan persamaan *darcy*. Adapun persamaan *darcy* adalah sebagai berikut:

$$\Delta P_f = \frac{1000 fl}{D_h} \times \rho \frac{v^2}{2}, \text{ dimana:}$$

ΔP_f = friction losses in term of total pressure (Pa)

f = friction factor

L = duct length (m)

D_h = hydraulic diameter (mm)

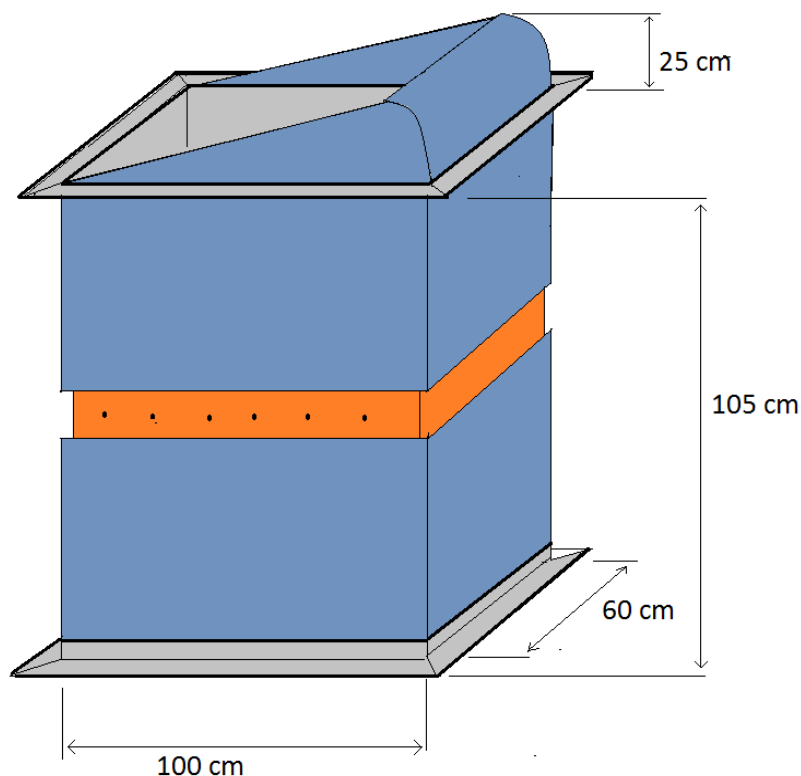
$V = \text{Velocity (m/s)}$

$\rho = \text{density (kg/m}^3\text{)}$

Pada aliran laminar (Bilangan Reynold dibawah 2000), faktor friksinya adalah fungsi dari bilangan Reynold. Sedangkan pada aliran turbulen, faktor friksi bergantung pada bilangan Reynold, *roughness* permukaan *duct* dan sambungan (*joint*).

METODOLOGI

Pada makalah ini, penulis menganalisa 3 desain *ducting by-pass* pada blower *exhaust fan EF 08/ 09* Fasilitas Radiometalurgi. *Ducting* saluran pada *by-pass output* dilengkapi *fitting* yang dimesinya dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun desain *ducting* yang akan di Analisa penulis dapat dilihat pada, Gambar 2, 3 dan 4.



Gambar 1. Dimensi *fitting*

Analisa 3 desain *ducting by-pass* pada *blower exhaust fan* EF 08/ 09 Fasilitas Radiometalurgi

Analisis perhitungan berdasarkan gambar 2:

Diketahui:

Low density = 2000 fpm, maka $V = 11,16$ m/s

Temperatur = 32 °C

$P = 140$

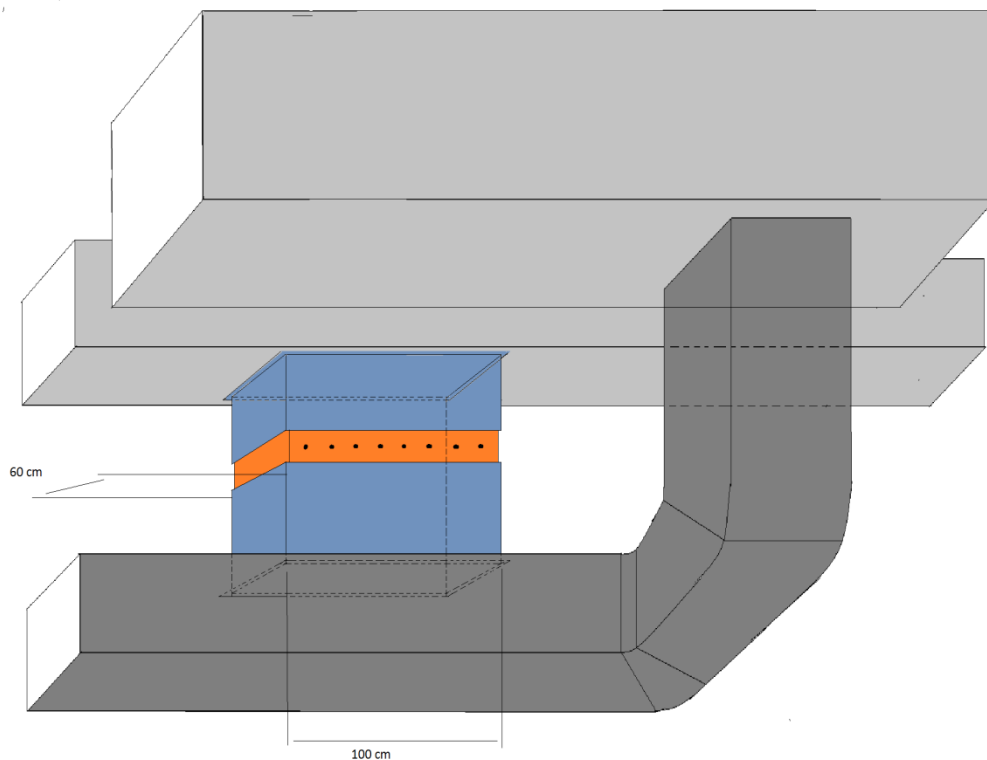
$L = 80$

1. faktor friksi gesekan saluran:

$$\begin{aligned} \text{- diagonal} &= \sqrt{p^2 + l^2} \\ &= \sqrt{140^2 + 80^2} \\ &= \sqrt{19600 + 6400} \\ &= 1,612 \text{ m} \end{aligned}$$

Rouhness (Ductile iron – uncoated)

$$\epsilon = 2,4 \times 10^{-3} \text{ m}$$



Gambar 2. Desain *Ducting*

Viskositas kinematic udara untuk temperatur 32 °C

$$\nu = 16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{- Kekasaran relatif (relative roughness)} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{1,612} = 1,48 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \text{- NR} &= \frac{V \cdot D}{\nu} \\ &= \frac{11,16 \text{ m/s} \cdot 1,612 \text{ m}}{16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 1,112 \times 10^6 \end{aligned}$$

Maka faktor friksi pada gesekan aliran turbulensi adalah **0,012**.

2. Analisis Elbow (percabangan), Head Loss = 90 °,
Head Loss = **1,00**

3. Analisis Elbow (Belokan), Head Loss = 45 °
Head Loss = **0,500**

4. Analisis Elbow (Belokan), Head Loss = 15 °
Head Loss = **0,1665**

5. Analisis Elbow (Belokan), Head Loss = 90 °
Head Loss = **1,00** (Mittred)

6. Analisis Ducting

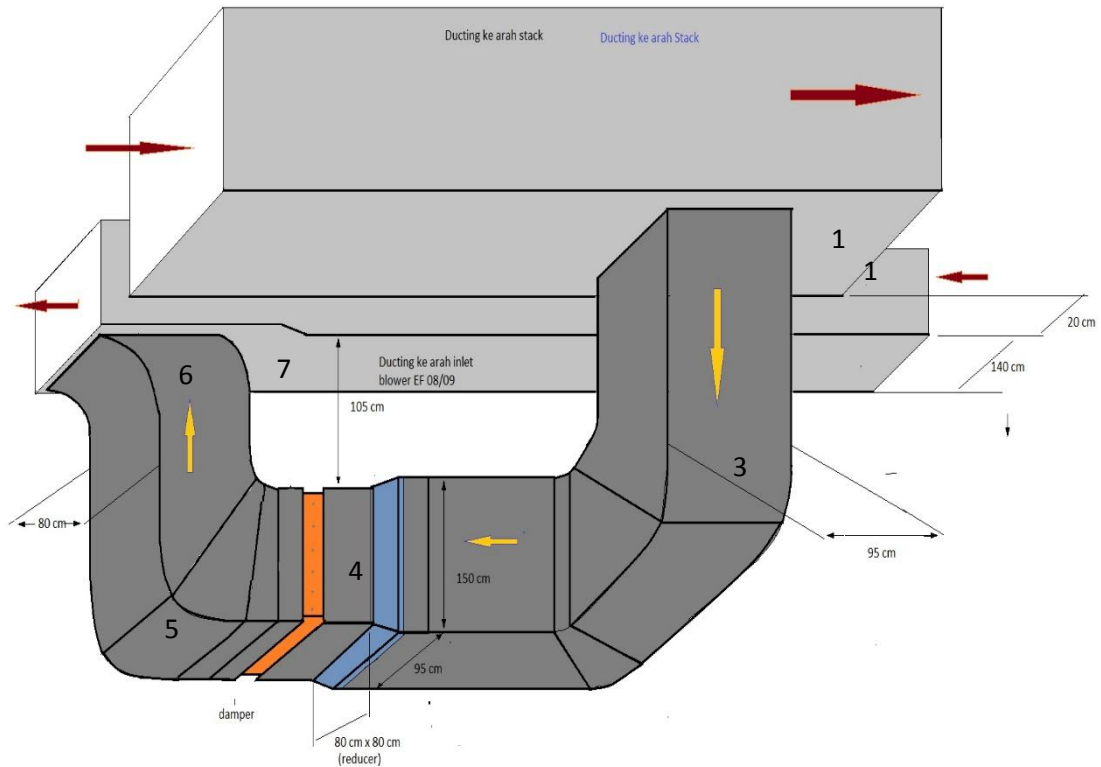
$$\begin{aligned} D_c &= \sqrt{100^2 + 60^2} \\ &= \sqrt{13600} \\ &= 1,166 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{D_c^2 \cdot V}{4} \\ &= \frac{(1,166 \text{ m})^2 \cdot 11,16 \text{ m/s}}{4} \\ &= \mathbf{3,793 \text{ m}^3/\text{s}} \end{aligned}$$

Kehilangan tekanan akibat gesekan pada *ducting*

$$\begin{aligned} H_f &= a \frac{Vb}{Qc} \\ &= 0,425 \frac{11,16^{0,465}}{3,793^{0,602}} = 0,425 \frac{3,070}{2,231} \\ &= \mathbf{0,5848} \end{aligned}$$

7. Analisis Elbow (percabangan), Head Loss = 90 ° = 1,00



Gambar 3. Desain *Ducting*

Analisis perhitungan berdasarkan gambar 3:

Diketahui:

Low density = 2000 fpm, maka $V = 11,16$ m/s

Temperatur = 32 °C

$P = 140$

$L = 80$

1. faktor friksi gesekan saluran:

$$\begin{aligned} \text{- diagonal} &= \sqrt{p^2 + l^2} \\ &= \sqrt{140^2 + 80^2} \\ &= \sqrt{19600 + 6400} \\ &= 1,612 \text{ m} \end{aligned}$$

Rouhness (Ductile iron – uncoated)

$$\varepsilon = 2,4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Viskositas kinematic udara untuk temperature 32 °C

$$\nu = 16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Kekasaran relatif (*relative roughness*) = $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{1,612} = 1,48 \times 10^{-4}$

- $NR = \frac{V \cdot D}{\nu}$
 $= \frac{11,16 \text{ m/s} \cdot 1,612 \text{ m}}{16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$
 $= 1,112 \times 10^6$

Maka faktor friksi pada gesekan aliran turbulensi adalah **0,012**.

2. Analisis Elbow (percabangan), Head Loss = 90 °,

Head Loss = **1,00**

3. Analisis Elbow (Belokan), Head Loss = 45 °

Head Loss = **0,500**

4. Analisis Ducting

$D_c = \sqrt{80^2 + 80^2}$
 $= 1,131 \text{ m}$

$Q = \frac{D_c^2 \cdot V}{4}$
 $= \frac{(1,131 \text{ m})^2 \cdot 11,16 \text{ m/s}}{4}$
 $= \mathbf{3,568 \text{ m}^3/\text{s}}$

Kehilangan tekanan akibat gesekan pada ducting

$H_f = a \frac{Vb}{Qc}$
 $= 0,425 \frac{11,16^{0,465}}{3,568^{0,602}} = \mathbf{0,6068}$

Penyempitan aliran ducting, asumsi 15 ° maka Head Loss = **0,08**

5. Analisis Elbow (Belokan), Head Loss = 90 ° – 3 pieces

$R/D = 1 = \mathbf{0,42}$

6. Analisis Elbow (Percabangan), Head Loss 60 ° = 0,44

7. faktor friksi untuk aliran pada *by-pass ducting* (Saluran) 80 x 80

$D = 80 \times 80$ $\nu = 16,17 \times 10^{-6}$

$D = 1,131 \text{ m}$

Kekasaran relative (*relative roughness*) = $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{1,131} = 2,112 \times 10^{-4}$

$NR = \frac{V \cdot D}{\nu}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{11,16 \text{ m/s} \cdot 1,131 \text{ m}}{16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= 7,80 \times 10^5, \text{ maka faktor friksi} = \mathbf{0,014}
 \end{aligned}$$

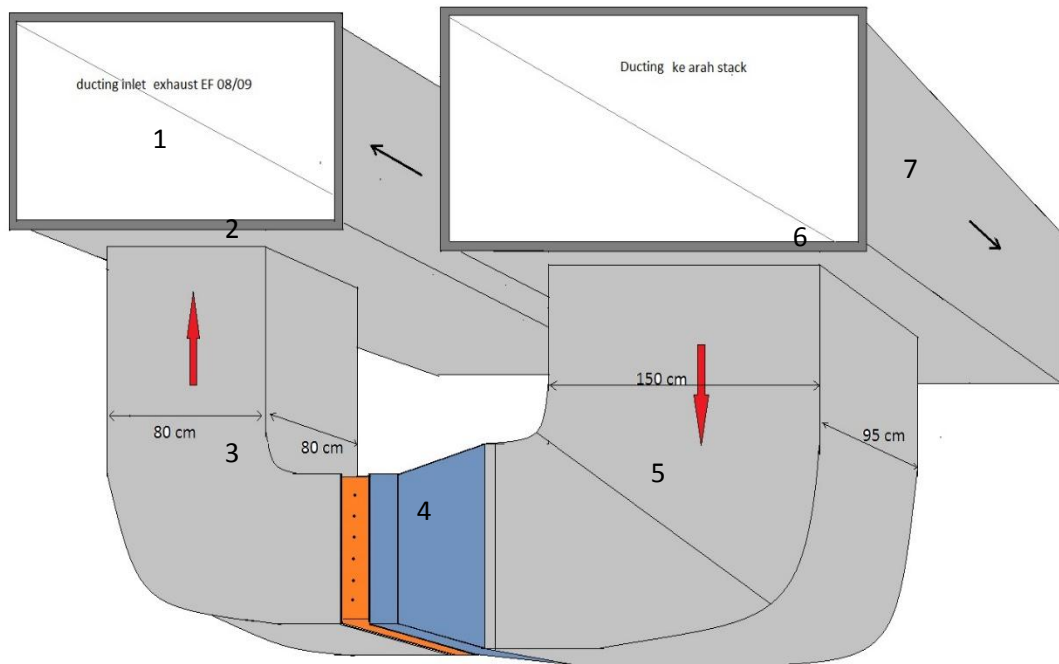
faktor friksi untuk aliran pada *by-pass ducting* (Saluran) 150 x 95

$$D = 150 \times 95 \quad v = 16,17 \times 10^{-6}$$

$$D = 1,77 \text{ m}$$

$$\text{Kekasaran relatif (relative roughness)} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{1,77} = 1,35 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NR} &= \frac{v \cdot D}{\nu} \\
 &= \frac{11,16 \text{ m/s} \cdot 1,77 \text{ m}}{16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\
 &= 1,221 \times 10^6, \text{ maka faktor friksi} = \mathbf{0,012}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. Desain Ducting

Analisis perhitungan berdasarkan gambar 4:

Diketahui:

Low density = 2000 fpm, maka $v = 11,16 \text{ m/s}$

Temperatur = 32 °C

$$P = 140$$

$$L = 80$$

1. faktor friksi gesekan saluran:

$$\begin{aligned} \text{- diagonal} &= \sqrt{p^2 + l^2} \\ &= \sqrt{140^2 + 80^2} \\ &= \sqrt{19600 + 6400} \\ &= 1,612 \text{ m} \end{aligned}$$

Roughness (Ductile iron – uncoated)

$$\varepsilon = 2,4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Viskositas kinematik udara untuk temperatur 32 °C (*calculate engineering toolbox*)

$$\nu = 16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{- Kekasaran relatif (relative roughness)} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{1,612} = 1,48 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \text{- NR} &= \frac{V \cdot D}{\nu} \\ &= \frac{11,16 \text{ m/s} \cdot 1,612 \text{ m}}{16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 1,112 \times 10^6 \end{aligned}$$

Maka faktor friksi pada gesekan aliran turbulensi adalah **0,012**.

2. Analisis Elbow (percabangan), Head Loss 90 ° = 1,00

3. - Analisis Elbow (Belokan) = Stamped = R/D = 1

Faktor kehilangan pada elbow belokan = 0,22

- Faktor friksi untuk aliran pada *by-pass ducting* (Saluran) 80 x 80

$$D = 80 \times 80 \quad \nu = 16,17 \times 10^{-6}$$

$$D = 1,131 \text{ m}$$

$$\text{Kekasaran relatif (relative roughness)} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{1,131} = 2,112 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \text{NR} &= \frac{V \cdot D}{\nu} \\ &= \frac{11,16 \text{ m/s} \cdot 1,131 \text{ m}}{16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 7,80 \times 10^5, \text{ maka faktor friksi} = \mathbf{0,014} \end{aligned}$$

4. . Analisis Ducting

$$\begin{aligned} D_c &= \sqrt{80^2 + 80^2} \\ &= 1,131 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{Dc^2 \cdot V}{4} \\ = \frac{(1,131m)^2 \cdot 11,16 \text{ m/s}}{4} \\ = \underline{\underline{3,568 \text{ m}^3/\text{s}}}$$

Kehilangan tekanan akibat gesekan pada *ducting*

$$H_f = a \frac{Vb}{Qc} \\ = 0,425 \frac{11,16^{0,465}}{3,568^{0,602}} = \underline{\underline{0,6068}}$$

Penyempitan aliran *ducting*, asumsi 15° maka Head Loss = 0,08

5. Analisis Elbow (Belokan), Head Loss = 90° – 3 pieces

$$R/D = 1 = \underline{\underline{0,42}}$$

- Faktor friksi untuk aliran pada *by-pass ducting* (Saluran) 150 x 95

$$D = 150 \times 95 \quad v = 16,17 \times 10^{-6}$$

$$D = 1,77 \text{ m}$$

$$\text{Kekasaran relatif (relative roughness)} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{1,77} = 1,35 \times 10^{-4}$$

$$NR = \frac{V \cdot D}{v} \\ = \frac{11,16 \text{ m/s} \cdot 1,77 \text{ m}}{16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ = 1,221 \times 10^6, \text{ maka faktor friksi} = \underline{\underline{0,012}}$$

6. Analisis Elbow (Percabangan), Head Loss 90° = 1,00

7. Faktor friksi gesekan saluran:

$$\text{diagonal} = \sqrt{p^2 + l^2} \\ = \sqrt{140^2 + 80^2} \\ = \sqrt{19600 + 6400} \\ = 1,612 \text{ m}$$

Roughness (*Ductile iron – uncoated*)

$$\varepsilon = 2,4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Viskositas kinematik udara untuk temperatur 32°C

$$v = 16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

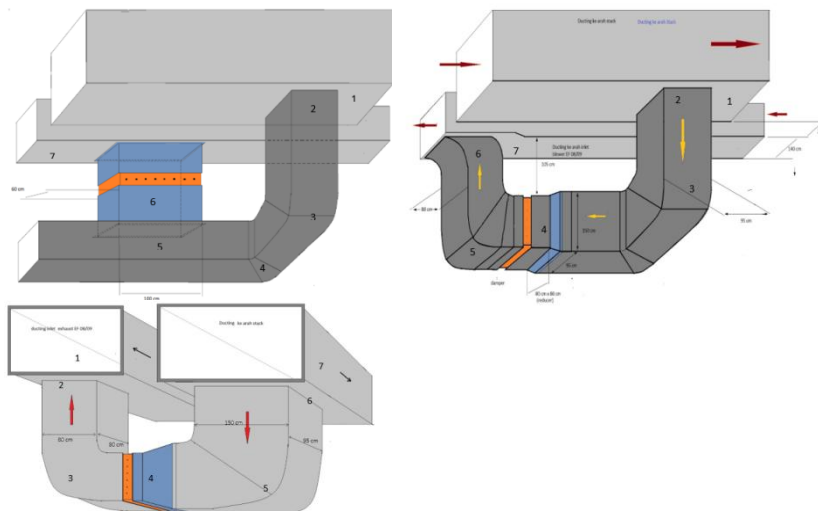
$$\text{Kekasaran relatif (relative roughness)} = \frac{\varepsilon}{D} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{1,612} = 1,48 \times 10^{-4}$$

$$NR = \frac{V \cdot D}{v} \\ = \frac{11,16 \text{ m/s} \cdot 1,612 \text{ m}}{16,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \\ = 1,112 \times 10^6$$

Maka faktor friksi pada gesekan aliran turbulensi adalah 0,012.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan gambar desain *ducting* saluran *output by-pass* EF 08/09, penulis melakukan analisis terhadap volume udara yang melalui *ducting* saluran *output by-pass*. Volume udara tersebut didapatkan dari hasil analisa friksi yang telah dihitung melalui Analisa perhitungan bentuk fisik *ducting* saluran *output by-pass* EF 08/09. Analisa perhitungan dilakukan sesuai dengan bagian fisik desain dari *ducting* saluran *output by-pass* seperti analisis friksi melalui kekasaran permukaan dan gesekan aliran untuk *rectangular duct* dan analisis friksi *elbow* untuk bagian belokan saluran *output by-pass*. Analisa perhitungan dilakukan sesuai urutan langkah yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Urutan Langkah analisa perhitungan desain *ducting* saluran *output by-pass*

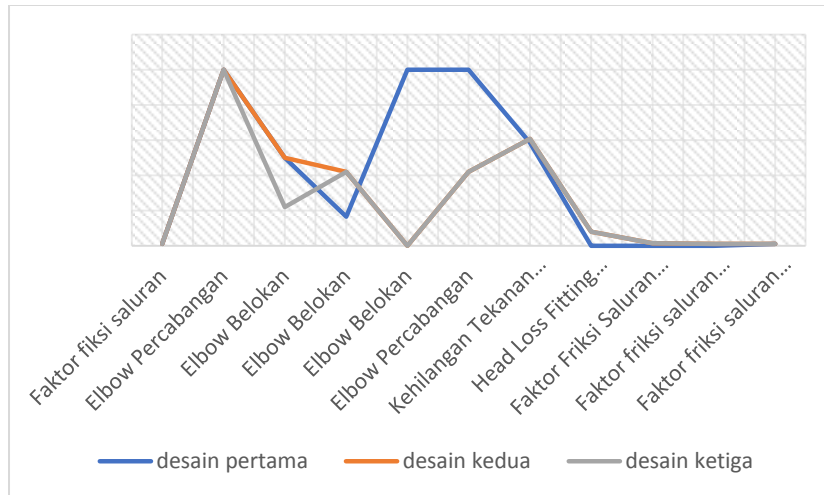
Perhitungan pertama dari ketiga desain *ducting* saluran *output by-pass* adalah faktor friksi gesekan saluran. Ketiga desain tersebut mendapatkan hasil perhitungan yang sama nilainya yaitu 0,012 seperti ditunjukkan paada hasil perhitungan di atas. Hal ini disebabkan dimensi *rectangular duct* memiliki nilai yang sama. Selain itu, nilai *roughness*, viskositas kinematic udara dan kekasaran relatif (*relative roughness*) ketiga desain *ducting* saluran *by-pass* juga memiliki nilai yang sama. Sedangkan analisa elbow atau belokan saluran *ducting output by-pass* dapat dilihat perbandingan *head loss* dari ketiga desain tersebut seperti ditunjukkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Analisa *Head Loss* pada *Elbow ducting* saluran *output bypass*

Elbow	Desain Pertama		Desain Kedua		Desain ketiga	
	<i>Step</i>	<i>Head loss</i>	<i>Step</i>	<i>Head loss</i>	<i>Step</i>	<i>Head loss</i>
Elbow (Percabangan)	2	1,0000	2	1,0000	2	1,0000
Elbow (Belokan)	3	0,5000	3	0,5000	3	0,2200
Elbow (Belokan)	4	0,1665	5	0,4200	5	0,4200
Elbow (Belokan)	5	1,0000				
Elbow (Percabangan)	7	1,0000	6	0,4200	6	1,0000

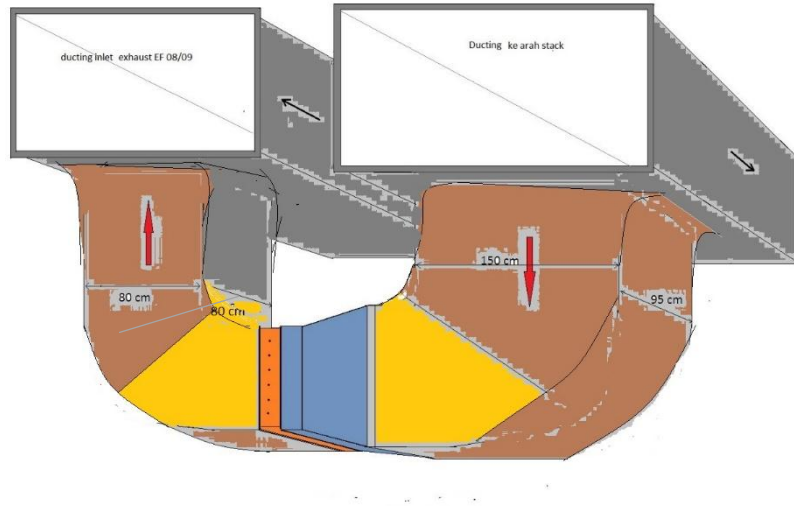
Step atau langkah perhitungan dari Tabel 1 berdasarkan pada urutan langkah pada Gambar 5 ditunjukkan pada perhitungan di atas. Analisa *head loss* pada desain pertama mengalami banyak kerugian. Pada desain kedua dan desain ketiga elbow hanya memiliki 4 *head loss* sehingga kerugian atau friksi dapat diminimalisir. Pemilihan elbow untuk belokan direkomendasikan sesuai dengan desain ketiga. Sedangkan untuk elbow percabangan direkomendasikan di desain seperti desain kedua. Hal ini untuk mencapai kecepatan dan volume udara maksimal pada saat melalui *elbow ducting* saluran *bypass*. Analisa kerugian pada *fitting ducting* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan *ducting*. Melalui perhitungan kerugian pada *fitting ducting* tersebut didapatkan hasil yaitu kehilangan tekanan akibat gesekan pada desain pertama sebanyak 0,5848 dan kehilangan tekanan akibat gesekan pada desain kedua dan ketiga sebanyak 0,6068. Pada desain kedua dan ketiga terdapat penyempitan aliran *fitting ducting* saluran *output by-pass* yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Hal ini menyebabkan adanya kerugian *head loss* sebanyak 0,08. Oleh sebab itu direkomendasikan *fitting ducting* tidak didesain penyempitan aliran sehingga flow dan volume udara yang melewati saluran *ducting output by-pass* dapat maksimal.

Desain *ducting* saluran *output by-pass* pada desain kedua dan ketiga mengalami perluasan saluran sehingga faktor friksi pada desain kedua dan ketiga memiliki penambahan dua faktor friksi yaitu 0,014 dan 0,012. Perbandingan Analisa keseluruhan *ducting* saluran *by-pass* dapat dilihat pada grafik Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik Kerugian (faktor friksi, *head loss* dan kehilangan tekanan gesek) pada desain *ducting* saluran *output by-pass* EF 08/09

Berdasarkan Gambar 6 tersebut, semakin kecil kerugian (faktor friksi, *head loss*, kehilangan tekanan pada gesekan) *ducting* maka semakin maksimal *flow* dan volume udara melalui saluran *ducting*. Pada grafik 6. terlihat bahwa desain yang cukup untuk direkomendasikan adalah desain ketiga. Akan tetapi desain tersebut masih memiliki kelemahan yaitu elbow percabangan yang dan elbow belokan memiliki nilai *head loss* yang cukup tinggi. Adapun desain modifikasi dari desain ketiga *ducting* saluran *output by-pass* EF 08/09 yang direkomendasikan sesuai dengan rendahnya kerugian (faktor friksi, *head loss* dan kehilangan tekanan pada gesekan) dapat dilihat pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Desain modifikasi yang direkomendasikan sesuai dengan analisa perhitungan

Desain modifikasi *ducting* saluran *output by-pass* EF 08/09 meminimalkan nilai *head loss* elbow belokan dan *elbow* percabangan. Pada *elbow* percabangan, *ducting* dibuat bersudut yang dapat berfungsi sebagai penyearah udara. Modifikasi *ducting* ini dibuat sesuai dengan analisa ketiga desain *ducting* saluran *output by-pass* EF 08/09 yang dapat meminimalkan kerugian dan memaksimalkan *flow* dan volume udara saluran *ducting*.

KESIMPULAN

Berdasarkan asas keselamatan nuklir, Bidang Pengembangan Fasilitas Bahan Bakar Nuklir melakukan perancangan *ducting* pada saluran *output by-pass* EF 08/09. Perancangan tersebut memiliki tiga desain awal yang terdiri dari *rectangular duct*, *fitting ducting* dan *elbow ducting*. Melalui pengkajian dan analisa perhitungan friksi, didapatkan bahwa desain pertama, kedua dan ketiga memiliki kerugian (faktor friksi, *head loss* dan kehilangan tekanan pada gesekan) yang dapat menyebabkan *flow* dan volume udara saluran *by-pass* mengalami penurunan.

Kerugian tertinggi terdapat pada desain pertama, desain tersebut memiliki banyak elbow 90° yang cukup tajam sehingga menyebabkan faktor friksi sebesar 1 atau kehilangan volume udara yang cukup signifikan. Sedangkan kerugian terendah terletak pada desain ketiga, akan tetapi untuk elbow belokan yang direkomendasikan sesuai dengan desain kedua. Sehingga berdasarkan data perhitungan, analisa dan pengkajian didapatkan desain modifikasi yang mampu meminimalisir kerugian. Desain modifikasi ini memiliki *ducting* bersudut pada *elbow* percabangan yang berfungsi sebagai penyearah udara dan *elbow* yang *head loss* nya rendah sehingga dapat memaksimalkan volume udara pada saluran *ducting*.

SARAN

Tindak lanjut dari keberhasilan desain *ducting* ini diharapkan dapat dibuat pengaturan volume udara pada saluran *ducting* secara otomatis

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Matt Hozemer, Iris D. Tommelein, Shih- Lun Lin (2009) "*Materials and Information Flow for HVAC Ductwork Fabrication Installation*". //https://researchgate.net/publication/228604867
- [2] Al-sudiri, A.A. Diekman, J.E., Songer, A.D., Brown H.M (1999) "*Simulation of construction processes: Traditional Practices Versus Lean Principles*". Proc Seventh Ann. Conf. Intl. Group for Lean Const. IGLC – 7, U.C. Berkeley
- [3] A. Bhatian (2006) HVAC – How to Size and Design Ducts. Continuing Education and Development. Stony Point, New York
- [4] C. A. Burchsted, J. E. Kahn, A. B. Fuller (1969) *Nuclear Air Cleaning Handbook "Design Construction, and Testing of High Efficiency Air Cleaning Systems for Nuclear Application"*. ERDA 76 – 21, Tennessee
- [5] ASHRAE (2009) Fundamentals. *American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers Handbook*, Atlanta

- [6] Andrew J. N, Wawan A.W. (2016) Studi Eksperimen Aliran Melalui Square Duct dan Square Elbow 90° dengan Double Guide Vane pada Variasi Sudut Buka dan Damper. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 5 No. 2 Hal: 620 - 624
- [7] ASHRAE (2012) *Heating, Ventilation, and Air – Conditioning Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers Handbook*, Atlanta
- [8] DOE (2003) *Nuclear Air Cleaning Handbook*. Department of Energy Handbook, Washington, DC
- [9] Latar, M.A (2014) *Tahapan Perancangan Sistem Ventilasi Lokal*. FKM. Peminatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Universitas Esa Unggul