

## Analisa Pengaruh Variasi Radius *Miter Bend* Terhadap Nilai Laju Erosi Aliran Dua Fase (Udara-Partikel *Fly Ash*)

Widi Ageng Purbaya<sup>1\*</sup>, Projek Priyonggo S.L.<sup>2</sup>, Nopem Ariwiyono<sup>3</sup>

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1</sup>

Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>

Program studi D-III Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

Email: [widipurbaya008@gmail.com](mailto:widipurbaya008@gmail.com)<sup>1\*</sup>; [projek\\_me@yahoo.co.id](mailto:projek_me@yahoo.co.id)<sup>2\*</sup>; [nopem.ppns@gmail.com](mailto:nopem.ppns@gmail.com)<sup>3\*</sup>

**Abstract** – *Miter bend at line fly ash there is leakage that happens frequently caused by erosion. This miter bend has 4 inches in diameter and 150 mm in radius with material specification A53 grade B schedule 40. By using radius variation in miter bend like R300, R450, R500 that's to be expected can reduce erosion rate value, so it will has longer lifetime. The calculation and analysis of this research used the standard DNV RP O501-2015, API 570, and ASME B31.3. From the calculation can get result the erosion rate value and lifetime rate of each variation of the radius, erosion rate value interior surface wall at 150, 300, 450, 500 radius of miter bend is 0,490 mm/years, 0,477 mm/years, 0,436 mm/years, 0,427 mm/years, while in the 150, 300, 450, 500 radius of miter bend has 8,9 years, 9,5 years, 10,5 years, 11,1 years lifetime. From these results, it can conclude that the smaller radius of miter bend will result with the bigger erosion rate and short lifetime and the other hand. The suggestion for researcher that will develop his research, they can add analysis variation of material that can be used.*

**Keyword:** *Erosion. Fly Ash, Lifetime, Miter Bend, Radius.*

### Nomenclature

$A_t$	Luasan yang terkena erosi (m <sup>2</sup> )
ID	Inside Diameter pipa (m)
$\alpha$	Sudut tumbukan (°)
$\dot{E}_L$	Erosion rate (m/s)
$\dot{m}_p$	Mass flow of sand (kg/s)
K	Material constant (m/s) <sup>-n</sup>
Up	Particle impact velocity (m/s)
F( $\alpha$ )	Function characterising ductility of the material
$\rho_t$	Density of target material (kg/m <sup>3</sup> )
Cunit	Unit conversion factor (m/s~ mm/year)
P	Internal design pressure (psi)
SE	Maximum allowable working pressure (psi)
Y	Coefficient
A	Additional wall thickness (in)
I	Nilai dari intrados atau extrados
Tr	remant lifetime (years)
t <sub>acc</sub>	thickness actual (mm)
tm	thickness minimum
E <sub>L</sub>	erosion rate (mm/years)
E <sub>L</sub>	erosion rate (kg/m <sup>2</sup> .s)
SL	total longitudinal stress (psi)
S <sub>aksial</sub>	longitudinal stress akibat gaya aksial (psi)
SL <sub>press</sub>	longitudinal stress akibat pressure (psi)
SL <sub>bend</sub>	Longitudinal stress akibat momen bending (psi)

### 1. PENDAHULUAN

Sistem pada *line fly ash* banyak menggunakan berbagai komponen perpipaan salah satunya adalah *miter bend*. *Miter bend* merupakan belokan pada sistem perpipaan yang terbuat dari potongan-potongan plat dengan *mitering* (potongan bersudut) yang disambung sehingga membentuk belokan (radius). *Miter bend* berfungsi untuk membelokkan arah aliran disuatu sistem perpipaan. Pada *line fly ash* sering terjadi kebocoran pada *miter bend* yang dilalui oleh *fly ash* sehingga berdampak proses produksi terhambat dan tercemarnya udara lingkungan sekitar. Analisa setelah melihat kebocoran pada *miter bend* penyebabnya adalah dari fluida (*gas-solid*) tersebut. Dengan adanya perubahan arah aliran secara mendadak dengan kecepatan tinggi (27,026 m/s) yang disertai benturan partikel *fly ash* dengan dinding permukaan dalam *miter bend* secara kontinyu menjadi penyebab kebocoran pada komponen tersebut kemudian fenomena ini disebut dengan erosi. Pada penelitian ini akan membahas tentang analisa pengaruh variasi radius *miter bend* terhadap nilai laju erosi aliran dua fase (udara – partikel *fly ash*). Dimana *life time miter bend* pada *line fly ash* agar mampu bertahan sesuai dengan *lifetime* yang telah ditentukan. Hal yang bisa dilakukan adalah mevariasikan radius dari *miter bend* tersebut dengan radius 300 mm, 450

mm, dan 500 mm. Diharapkan dengan melakukan hal tersebut akan bisa mengurangi nilai *erosion rate* dan menambah *lifetime* dari *miter bend* pada *line fly ash*. Metode untuk menghitung dari variasi radius *miter bend* menggunakan API RP 14. Perhitungan nilai laju erosi menggunakan DNV RP 0501 kemudian dimodelkan menggunakan *Computational Fluid Dynamics*.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Luas area permukaan dinding dalam miter bend yang terdampak akibat erosi

Perhitungan luas area elbow yang terdampak erosi digunakan untuk menentukan luas area dinding bagian dalam yang terdampak erosi (Yoga, P., Emie, S., Nopem, A., 2017) [5], dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_t = \frac{\pi \cdot ID^2}{4 \cdot \sin(\alpha)} \quad (1)$$

Dimana,

$A_t$  = Luasan yang terkena erosi (m<sup>2</sup>)  
 $ID$  = *Inside Diameter* pipa (m)  
 $\alpha$  = Sudut tumbukan (°)

### 2.2 Nilai Laju Erosi

Perhitungan nilai laju erosi digunakan untuk menentukan nilai pengikisan dinding bagian dalam komponen perpipaan, mengacu pada Det Norske Veritas (DNV). (2015), *Recommended Practice RP 0501 Erosive wear In Piping System*.

$$\dot{E}_L = \frac{\dot{m}_p \cdot K \cdot U_p^n \cdot F(\alpha)}{\rho_t \cdot A_t} \quad (2)$$

Dimana,

$\dot{E}_L$  = *Erosion rate* (m/s)  
 $\dot{m}_p$  = *Mass flow of sand* (kg/s)  
 $K$  = *Material constant* [(m/s)<sup>-n</sup>]  
 $U_p$  = *Particle impact velocity* (m/s)  
 $F(\alpha)$  = *Function characterising ductility of the material*  
 $\rho_t$  = *Density of target material* (kg/m<sup>3</sup>)  
 $A_t$  = *Area exposed to erosion* (m<sup>2</sup>)  
 $\dot{E}_L$  = *erosion rate* (mm/year)  
 $\dot{E}_L$  = *erosion rate* (kg/m<sup>2</sup>.s)  
 $\rho_t$  = *Density of target material* (kg/m<sup>3</sup>)  
 Cunit = *Unit conversion factor* (m/s~mm/year)

### 2.3 Ketebalan Minimum

Perhitungan *minimal wall thickness* digunakan untuk menentukan ketebalan minimum komponen perpipaan berdasar tekanan fluida yang mengalir dan nilai *allowable stress* yang dimiliki setiap material komponen perpipaan,

mengacu pada ASME B31.3 *Process Piping*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$t = \frac{PD}{2(SEW/I+PY)} \quad (3)$$

Dimana,

$P$  = *Internal design pressure* (psi)  
 $SE$  = *Maximum allowable working pressure* (psi)  
 $Y$  = *Coefficient*  
 $t_m$  = *Minimum wall thickness* (in)  
 $A$  = *Additional wall thickness* (in)  
 $I$  = Nilai dari *intrados* atau *extrados*

### 2.4 Lifetime

Perhitungan *lifetime* digunakan untuk menentukan ketahanan komponen perpipaan terhadap pengikisan dinding bagian dalam komponen perpipaan, mengacu pada API 570 *Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-Service Piping Systems*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_r = (t_{acc} - t_m) / E_L \quad (4)$$

Dimana,

$T_r$  = *remant lifetime* (years)  
 $t_{acc}$  = *thickness actual* (mm)  
 $t_m$  = *thickness minimum* (mm)  
 $E_L$  = *erosion rate* (mm/years)

### 2.5 Total Longitudinal Stress

Perhitungan *total longitudinal stress* digunakan untuk menentukan nilai *longitudinal stress* yang terjadi pada komponen perpipaan, erosi (Kannapan, Sam, 2017) [5], dengan persamaan sebagai berikut:

$$SL = SL_{aksial} + SL_{pressure} + SL_{bending} \quad (5)$$

Dimana,

$SL$  = *total longitudinal stress* (psi)  
 $SL_{aksial}$  = *longitudinal stress akibat gaya aksial* (psi)  
 $SL_{press}$  = *longitudinal stress akibat pressure* (psi)  
 $SL_{bend}$  = *Longitudinal stress akibat momen bending* (psi)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Perhitungan Erosion Rate

Perhitungan luas area permukaan dinding dalam elbow yang terdampak erosi menggunakan persamaan 1, didapatkan nilai luas area permukaan dinding dalam elbow yang terdampak

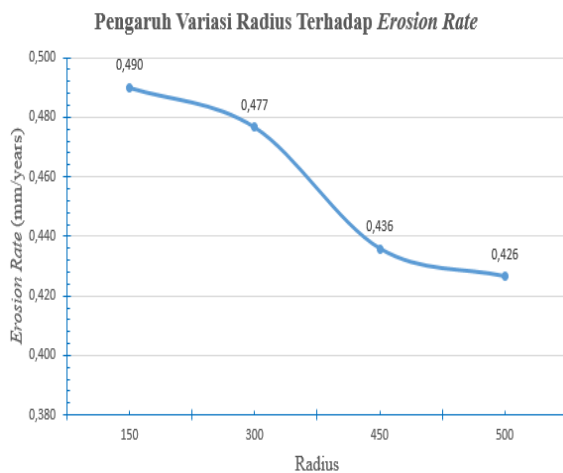
erosi yang terdampak erosi di setiap komponen perpipaan yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Nilai Luas Area Terdampak Erosi

Miter Bend	Luas Area	Satuan
R150	0.0093	m <sup>2</sup>
R300	0.0102	m <sup>2</sup>
R450	0.0111	m <sup>2</sup>
R500	0.0115	m <sup>2</sup>

### 3.2 Nilai Laju Erosi

Dari perhitungan *erosion rate* menggunakan persamaan 2, didapatkan nilai *erosion rate* di setiap komponen perpipaan yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Grafik Pengaruh Variasi Radius Terhadap Erosion Rate

Dari Gambar 1 Grafik Pengaruh Variasi Radius Terhadap Nilai Laju Erosi menunjukkan bahwa semakin besar radius *miter bend* maka nilai laju erosi semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan nilai dari *characteristic pipe bend area exposed to erosion* karena adanya pembesaran radius *miter bend*, apabila radius *miter bend* semakin besar maka nilai dari *characteristic pipe bend area exposed to erosion* akan menjadi besar pula sehingga dapat mengurangi dampak laju erosi yang terjadi pada *miter bend*. Pada perhitungan variasi radius yang ditunjukkan pada Gambar 1 nilai laju erosi di setiap radiusnya adalah R150 mempunyai nilai laju erosi sebesar 0,490 mm/years, R300 mempunyai nilai laju erosi sebesar 0,477 mm/years, R450 mempunyai nilai laju erosi sebesar 0,436 mm/years, R500 mempunyai nilai laju erosi sebesar 0,426 mm/years.

### 3.3 Hasil Ketebalan Minimal

Dari perhitungan *minimall wall thickness* menggunakan persamaan 3, didapatkan nilai

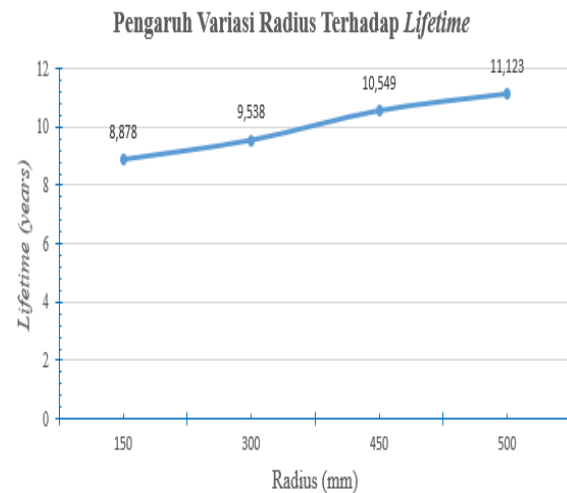
*minimall wall thickness* setiap komponen perpipaan yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Nilai *Minimall Wall Thickness*

Miter Bend	Minimum Wall Thickness	Satuan
R150	1.6700	mm
R300	1.4730	mm
R450	1.4220	mm
R500	1.2760	mm

### 3.4 Hasil Lifetime

Dari hasil perhitungan *erosion rate* dan *minimall wall thickness* yang sudah didapat akan digunakan untuk menentukan *lifetime* komponen perpipaan menggunakan persamaan 4, didapatkan nilai *lifetime* setiap komponen perpipaan yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Pengaruh Variasi Radius Terhadap Lifetime

Dari Gambar 2 grafik pengaruh variasi radius terhadap *lifetime* menunjukkan bahwa semakin besar radius *miter bend* maka *lifetime* semakin besar. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan nilai dari *intrados* atau *extrados* karena adanya pembesaran radius *miter bend*, apabila radius *miter bend* semakin besar maka nilai dari *intrados* atau *extrados* akan menjadi kecil sehingga mempengaruhi nilai ketebalan minimum dari *miter bend*. Hal tersebut mempengaruhi nilai ketebalan minimum dari *miter bend*, dimana bisa disimpulkan bahwa semakin besar radius *miter bend* maka nilai ketebalan minimum dari *miter bend* semakin besar sehingga dapat menambah *lifetime* dari *miter bend*. Pada perhitungan variasi radius yang ditunjukkan pada Gambar 2 *lifetime* di radius 150, 300, 450, 500 adalah 8,9 years, 9,5 years, 10,5 years, 11,1 years.

### 3.5 Total Longitudinal Stress

Dari perhitungan total longitudinal stress menggunakan persamaan 5, didapatkan nilai *total longitudinal stress* setiap komponen perpipaan yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik Pengaruh Variasi Radius Terhadap Longitudinal Stress

Dari Gambar 3 grafik pengaruh variasi radius terhadap *longitudinal stress* menunjukkan bahwa semakin besar radius *miter bend* maka nilai *longitudinal stress* semakin besar. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan nilai dari tegangan longitudinal akibat lendutan karena adanya pembesaran radius *miter bend*, apabila radius *miter bend* semakin besar maka nilai dari tegangan longitudinal akibat lendutan akan menjadi besar sehingga mempengaruhi nilai total tegangan longitudinal yang terjadi pada *miter bend*. Pada perhitungan variasi radius yang ditunjukkan pada Gambar 3 nilai *longitudinal stress* disetiap radiusnya adalah R150 mempunyai nilai *longitudinal stress* total sebesar 248,790 psi, R300 mempunyai nilai *longitudinal stress* sebesar 594,940 psi, R450 mempunyai nilai *longitudinal stress* sebesar 1539,962 psi, R500 mempunyai nilai *longitudinal stress* sebesar 2039,184 psi. Nilai *longitudinal stress* dari semua variasi radius *miter bend* telah memenuhi tegangan ijin berdasarkan ASME B31.3 karena nilai *longitudinal stress* kurang dari 138000 psi.

### 3.6 Grid Independency

Dari hasil pemodelan *computational fluid dynamics* dengan metode *discrete phase model* didapat kontur kecepatan yang akan digunakan untuk memvalidasi hasil. Pada tahap validasi menggunakan *grid independency* yang akan melakukan perbaikan kerapatan *mesh* sebanyak 8 kali percobaan dari setiap variasi radius miter bend. Perbaikan kerapatan *mesh* dari setiap variasi radius *miter bend* dilakukan dengan peningkatan jumlah *mesh* 2 kali dari sebelumnya. Sehingga mendapatkan hasil yang tidak terpengaruh dari perbaikan *mesh* dimana perubahannya mendekati 0% atau masih dalam batas toleransi dimana perubahannya  $\pm 10\%$  dan mempunyai nilai  $Y^+$  antara 5-30 telah dianggap mencapai *grid independency*. Kemudian didapatkan hubungan profil kecepatan dengan *n-elements* yang dihasilkan dari perbaikan suatu *meshing* pada setiap radius *miter bend*. Tabel 3

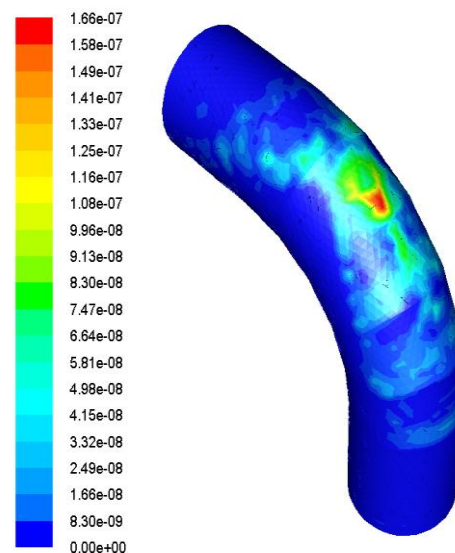
menunjukkan hasil dari  $Y^+$  dari setiap radius *miter bend* yang telah melalui proses validasi menggunakan *grid independency*.

Tabel 3: Nilai  $Y^+$

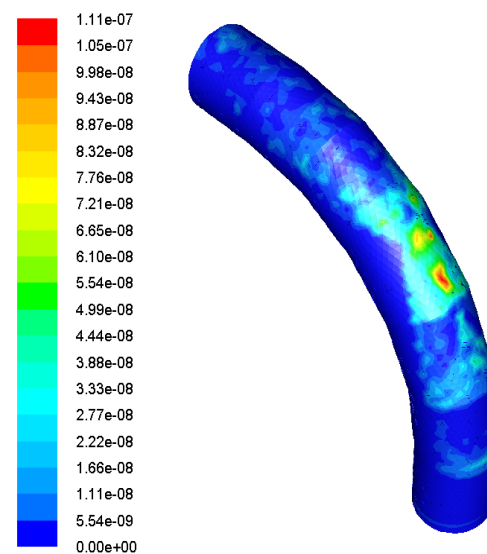
Miter bend	$Y^+$
R150	14.6071
R300	13.9190
R450	12.4648
R500	12.3887

### 3.7 Simulasi DPM

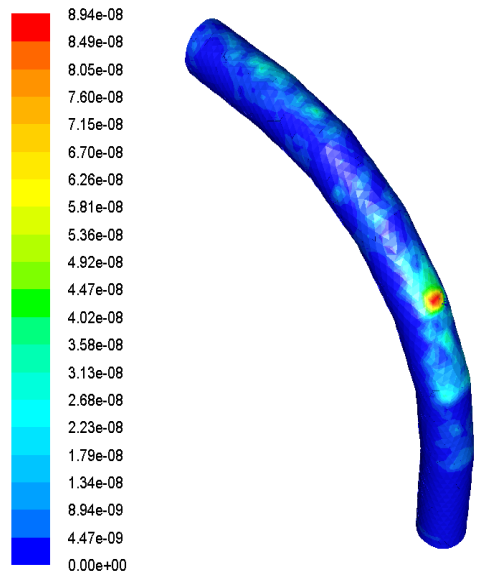
Simulasi pada penelitian ini menggunakan *Fluent CFD* dengan menggunakan metode DPM yang akan menghasilkan kontur DPM yang mengetahui dimana daerah terdampak erosi pada *miter bend*.



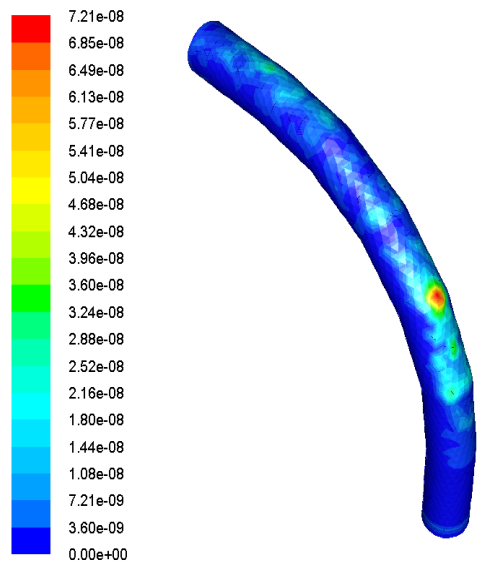
Gambar 4 Daerah Terdampak Erosi Dari Radius 150



Gambar 5 Daerah Terdampak Erosi Dari Radius 300

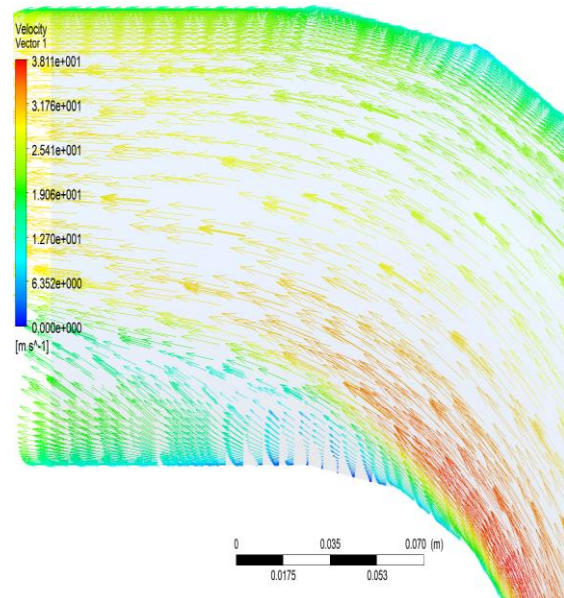


Gambar 6 Daerah Terdampak Erosi Dari Radius 450

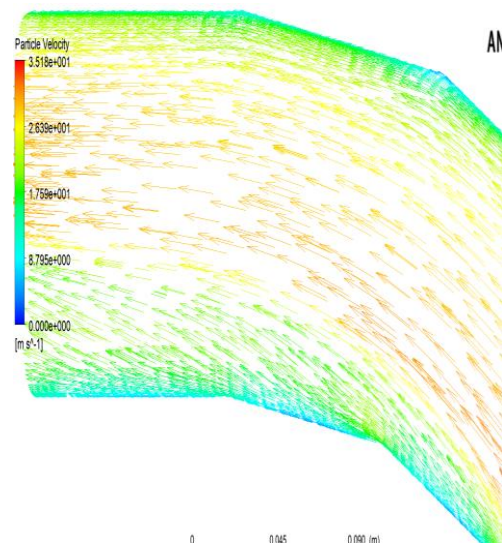


Gambar 7 Daerah Terdampak Erosi Dari Radius 500

8.94E-08 kg/m<sup>2</sup>.s, Pada gambar 4.6 memiliki nilai maksimum laju aliran massa yang hilang persatuan luasnya sebesar 7.21E-08 kg/m<sup>2</sup>.s.

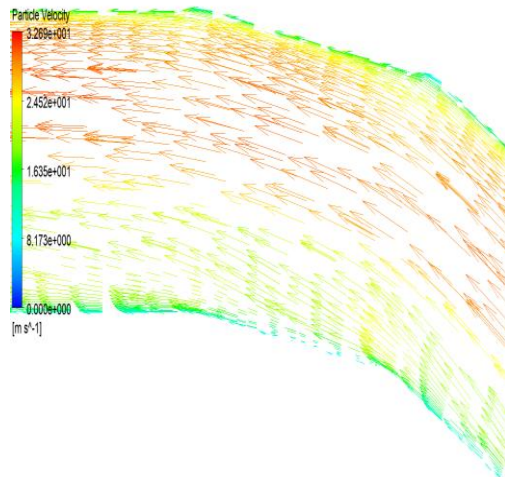


Gambar 8 Vektor Velocity Miter Bend Radius 150

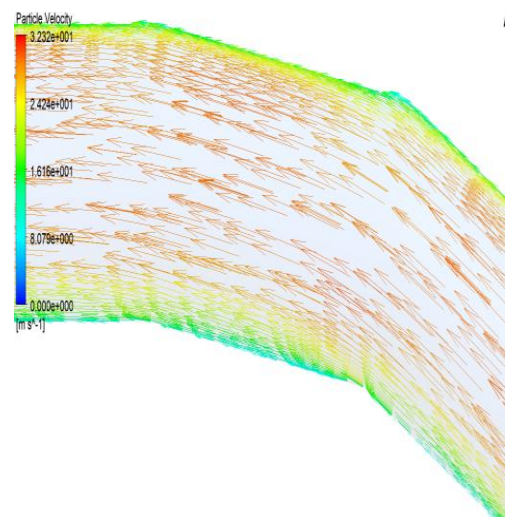


Gambar 9 Vektor Velocity Miter Bend Radius 300

Pada Gambar 4 Daerah Terdampak Erosi Dari Radius 150, Gambar 5 Daerah Terdampak Erosi Dari Radius 300, Gambar 6 Daerah Terdampak Erosi Dari Radius 450, dan Gambar 7 Daerah Terdampak Erosi Dari Radius 500 adalah hasil simulasi dari setiap variasi radius, pada gambar tersebut menunjukkan variasi kontur warna yang menggambarkan daerah terdampak erosi dimana memiliki satuan kg/m<sup>2</sup>.s. Nilai lokasi daerah kritis yang terdampak oleh erosi ditunjukkan dengan warna merah, sedangkan nilai lokasi daerah tidak kritis yang terdampak oleh erosi ditunjukkan dengan warna biru. Pada gambar 4.33 memiliki nilai maksimum laju aliran massa yang hilang persatuan luasnya sebesar 1.66E-07 kg/m<sup>2</sup>.s, Pada gambar 4.34 memiliki nilai maksimum laju aliran massa yang hilang persatuan luasnya sebesar 1.11E-07 kg/m<sup>2</sup>.s, Pada gambar 4.35 memiliki nilai maksimum laju aliran massa yang hilang persatuan luasnya sebesar



Gambar 10 Vektor Velocity Miter Bend Radius 450



Gambar 11 Vektor Velocity Miter Bend Radius 500

Pada Gambar di atas menunjukkan vektor velocity yang mempresentasikan arah dari kecepatan yang terjadi di *miter bend* radius 150, 300, 450, dan 500. Nilai kecepatan terkecil dinyatakan oleh warna biru tua dan nilai tertinggi dinyatakan oleh warna merah, dari hasil tersebut didapat *velocity* maksimal pada *miter bend* 150 sebesar 37,92 m/s<sup>2</sup>, *miter bend* 300 sebesar 34,08 m/s<sup>2</sup>, *miter bend* 450 sebesar 32,53 m/s<sup>2</sup>, *miter bend* 500 sebesar 32,15 m/s<sup>2</sup>. Kecepatan sendiri adalah salah satu faktor utama dalam terjadinya penggerusan dinding / erosi pada pipa, dimana menurut batasan dari API RP-14E untuk kasus ini adalah 5,3 m/s, dan untuk batasan kecepatan pipa berdasarkan buku dari Prof. Dr. Haruo Tahara adalah 6 m/s. Jadi bisa dikatakan bahwa di pipa ukuran 4" ini memiliki kemungkinan erosi paling besar dibanding ukuran lainnya. Perubahan kontur warna yang terjadi pada setiap gambar dari merah menuju biru muda pada *miter bend* menunjukkan bahwa terjadinya penurunan kecepatan, perbedaan kecepatan tersebut terjadi karena terdapat perubahan ukuran laju lintasan

atau radius *miter bend*. Dimana ketika aliran fluida melewati area yang memiliki radius lebih panjang maka kecepatan aliran fluida yang terjadi akan semakin lambat.

#### 4. KESIMPULAN

1. Disimpulkan bahwa semakin kecil radius *miter bend* maka semakin kecil juga luas area permukaan dinding dalam *miter bend* yang terdampak akibat erosi, sedangkan semakin besar radius *miter bend* maka semakin besar juga luas area permukaan dinding dalam *miter bend* yang terdampak akibat erosi.

2. Disimpulkan bahwa semakin kecil radius *miter bend* maka semakin besar nilai laju erosinya, sedangkan semakin besar radius *miter bend* maka semakin kecil nilai laju erosinya.

3. Disimpulkan bahwa semakin kecil radius *miter bend* maka akan memiliki *lifetime* yang singkat, sedangkan semakin besar radius *miter bend* maka akan memiliki *lifetime* yang lama.

4. Disimpulkan bahwa semakin kecil radius *miter bend* maka akan memiliki nilai *longitudinal stress* yang kecil, sedangkan semakin besar radius *miter bend* maka akan memiliki nilai *longitudinal stress* yang besar. Adapun nilai *longitudinal stress* dari semua variasi radius *miter bend* telah memenuhi tegangan ijin berdasarkan ASME B31.3 karena nilai *longitudinal stress* kurang dari 138000 psi.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] API 570. (2016). *Piping Inspection Code: In Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping System*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- [2] ASME (2014). ASME B31.3-2014 (*Revision of ASME B31.3-2012*). *Process Piping, ASME Code for Pressure Piping, B31. The American Society of Mechanical Engineering: U.S.A.*
- [3] Det Norske Veritas (DNV). (2015), *Recommended Practice RP O501 Erosive wear In Piping System*. Amoco Norway Oil Company: Norway.
- [4] Kannapan, Sam. (1986). *Introduction to pipe stress Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
- [5] Yoga, P., Emie, S., Nopem, A., (2017). Analisa Erosi Terhadap *Lifetime* Jalur Pipa Avtur Terminal ISG Tanjung Perak-DPPU Bandara Juanda Pada Line Number PRK-04-0#150-PRK-05-8#600. *Proceeding 2nd Conference of Piping Engineering and its Application*.