



# ANALISIS DESAIN *STATIC MIXER PIPE* UNTUK MENINGKATKAN PROSES KOAGULASI DI *EXTERNAL WATER TREATMENT PLANT* (WTP)

## *Design Analysis of Static Mixer Pipe to Increase Coagulation Process in External Water Treatment Plant (WTP)*

Riyan Ariyansah<sup>1\*</sup>, Istianto Budhi Rahardja<sup>2</sup> dan Adhes Gamayel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik Dan Ilmu Komputer, Insitut Teknologi dan Kesehatan Jakarta, Jl. Raya Jatiwaringin No.42, Jawa Barat 17411, Indonesia

<sup>2</sup>Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Jl.Gapura No.8, Jawa Barat 17520, Indonesia

### Informasi artikel

Diterima: 01/04/2019

Direvisi : 14/05/2020

Disetujui: 23/06/2020

### Abstrak

Di pabrik kelapa sawit, *Water Treatment Plant* adalah stasiun yang digunakan khusus untuk melakukan proses pengolahan air. Adapun tahapan-tahapan dari proses pengolahannya adalah dari sungai, waduk (*reservoir*) *untreated tank*, *clarifier tank*, *water basin*, *sand filter*, *treated water tank* dan selanjutnya dikirim untuk domestik dan air untuk kebutuhan dalam pengoperasian *Boiler*. Kualitas air yang dihasilkan sangat tergantung bagaimana cara pengolahan dan jumlah *chemical* yang dibutuhkan dalam kg/jam, dan kinerja dari *chemical* juga dipengaruhi oleh desain dari *Water Treatment Plant* itu sendiri. Adapun jenis *chemical* yang ada pada pengolahan air di *Water Treatment Plant* adalah untuk koagulan digunakan alum (Nalco 3276) sebagai pembuat *flock* dan untuk flokulasi digunakan Nalco 8173. Untuk meningkatkan kerja dari Nalco 3276 sebagai pembuat *flock* adalah dengan cara menyebarkan keseluruhan bagian sisi pipa dan menurunkan laju kecepatannya sehingga *flock*nya dapat terbentuk secara sempurna dan juga memudahkan kerja dari Nalco 8173 sebagai penjarang atau penangkap *flock*. Dengan alasan ini dibuatlah sebuah alat guna menunjang kinerja dari Nalco 3276 yaitu *Static Mixer Pipe* sebagai pengaduk dan menaikkan turbulensi dari Re 95.808,800 hingga menjadi Re 191.912,2400. Sedangkan penambahan *Head loss* yang terjadi adalah sebesar 0,4542 m dari total *Head loss* desain awal yaitu 5,343 m. Penambahan *Static Mixer Pipe* akan menghasilkan dua kali pengadukan yang lebih besar dari aliran turbulen yang terjadi sehingga akan menghasilkan pembentukan *flock* yang lebih banyak sehingga menghasilkan kualitas air yang lebih baik untuk proses pengolahan air di pabrik minyak kelapa sawit (PMKS).

**Kata Kunci:** *water treatment plant, untreated tank, clarifier tank, water basin, sand filter.*

### Abstract

At the palm oil mill, the *Water Treatment Plant* is a station that is used specifically for water treatment. The stages of the processing are from rivers, *untreated tanks*, *clarifier tanks*, *water basins*, *sand filters*, *treated water tanks* and then sent to domestic and water for the needs of *Boiler* operations. The quality of the water produced depends on how it is processed and the amount of *chemical* needed in kg / hour, and the performance of the *chemical* is also influenced by the design of the *Water Treatment Plant* itself. The type of *chemical* available in water treatment in the *Water Treatment Plant* is used for coagulant alum (Nalco 3276) as the maker of *flock* and for flocculation used Nalco 8173. To improve the work of Nalco 3276 as a *flock* maker is to spread the entire side of the pipe and lower the speed of the *flock* so that it can form perfectly and also facilitate the work of Nalco 8173 as a catcher or *flock* catcher. For this reason, a tool was made to support the performance of Nalco 3276, namely the *Static Mixer Pipe* as a stirrer and increase turbulence from Re 95,808,800 to Re 191,912,2400. While the addition of *Head loss* that occurs is equal to 0.4542 m from the total initial design *head loss* which is 5.343 m. The addition of *Static Mixer Pipe* will produce twice the stirring greater than the turbulent flow that occurs so that it will produce more *flock* formation resulting in better water quality for the water treatment process in the palm oil mill (PMKS).

**Keywords:** *water treatment plant, untreated tank, clarifier tank, water basin, sand filter.*

\*Penulis Korespondensi. Tel: 021 8451 155; Handphone: 0852 8980 4444  
email : [riyan@itkj.ac.id](mailto:riyan@itkj.ac.id)

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia dari tahun ke tahun mengalami pertumbuhan penduduk yang sangat pesat, hal ini menyebabkan semakin tingginya permintaan dunia akan minyak kelapa sawit serta produk turunannya. Agar dapat memenuhi kebutuhan dan kepuasan pelanggan tidak cukup hanya berpikir kuantitas, tetapi harus memperhatikan juga kualitas dari pada minyak kelapa sawit tersebut. Dalam proses pengolahan khususnya pengolahan minyak kelapa sawit ada beberapa stasiun yang penting dalam keberhasilan pengolahan kelapa sawit, stasiun ini terdiri dari 2 bagian, yaitu stasiun utama dan stasiun pendukung.

Dalam proses pengolahan air membutuhkan *chemical* untuk penjernihan, adapun jenis-jenis dari *chemical* ini antaranya Nalco 3276 (untuk pembuat *flock*), Nalco 8173 (untuk penjaring *flock*), Nalco 2811 dan Nalco 3273 (untuk *internal water treatment Boiler*). Nalco 3276 yang di gunakan sebagai pembuat *flock* di injeksikan didalam pipa air dari *untreated tank* menuju *clarifier tank* sehingga sebelum air masuk ke dalam tanki *Clarifier* sudah terbentuk *flock* dan dijaring oleh Nalco 8173 sehingga *flock - flock* tersebut akan turun atau terjadi proses sedimentasi ditanki *Clarifier*.

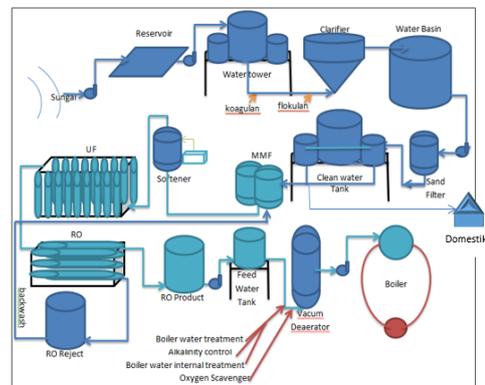
Untuk konsentrasi berapa *chemical* yang dibutuhkan harus sesuai dengan hasil *Jar test* pada setiap harinya tetapi dalam proses pengolahan airnya tidak menggunakan *Jar test* jadi hanya mengikuti berapa nilai konsentrasi larutan Nalco 3276 yaitu berkisar 5% (40 kg larutan per 800 liter air sebagai pelarut) yang pada awalnya hanya 3% (25 kg larutan per 800 liter air sebagai pelarut), walaupun sudah di tingkatkan dari 25 kg menjadi 40 kg tapi kualitas air yang dihasilkan belum maksimal (hal ini tidak di pengaruhi oleh cuaca karena untuk cuaca di Kutai Timur, Kalimantan Timur sangat fluktuatif/tidak menentu).

Jadi dari hal ini bisa disimpulkan bahwa dalam penginjeksian Nalco 3276 di dalam pipa tidak maksimal pencampurannya, sehingga pembuatan *flock* tidak maksimal di dalam aliran pipa, apabila pembuatan *flock* tidak maksimal maka Nalco 8173 akan turun kerjanya dalam menjaring atau menangkap *flock*, oleh karena itu diharapkan dengan adanya *Static Mixer Pipe* ini pencampuran antara larutan (Nalco 3276) dengan pelarut (air) dapat tersebar ke seluruh sisi bagian dalam pipa secara merata dan dapat meningkatkan kualitas air di *Water*

*Treatment Plant*, diluar semua itu, apakah dengan penambahan unit *Static Mixer Pipe* ada kerugian debit air, kerugian tekanan, berapakah penambahan *Head loss* serta peningkatan nilai turbulensi, maka dari itu dilakukan pengkajian lebih lanjut tentang unit *Static Mixer Pipe* (Alatas, 2015).

### Water Treatment Plant

*Water treatment plant* berfungsi mengolah air dari sumber air seperti sungai untuk dijernihkan dan dihilangkan kotorannya sehingga dapat dipakai dalam proses pengolahan. Sedangkan *reverse osmosis system* adalah pengolahan air lebih lanjut setelah diolah di *water treatment plant*, sehingga memenuhi syarat kualitas air untuk penggunaan di *boiler*. Adapun alur proses yang ada di *water treatment plant* adalah seperti pada gambar 1 (Anis dan Karnowo, 2008).



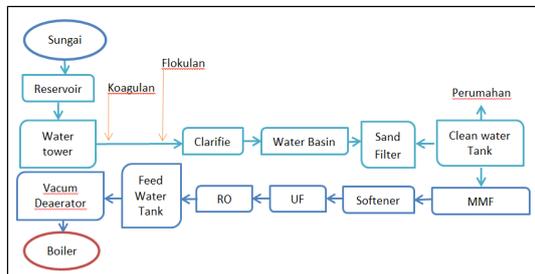
Gambar 1 Alur Proses di *Water Treatment Plant*

### Alur Proses *Water Treatment Plan*

Untuk tahapan *external water treatment*, sebagai berikut :

- a. Koagulasi  
Penambahan koagulan untuk menetralkan muatan, membuat koloid dapat beraglomerasi. Untuk koagulan yang dipakai adalah alum (Nalco 3276).
- b. Flokulasi  
Pengikatan antara flokulan dan aglomerasi partikel koloid, sehingga membentuk partikel yang lebih besar dan dapat mengendap. Untuk flokulasi digunakan flokulan yang sesuai kebutuhan (Nalclafar 8173 Pulv).
- c. Sedimensi  
Menahan padatan tersuspensi dan memisahkan dari air dengan cara diendapkan/disaring.

Setelah air dijernihkan, maka dilakukan penanganan lebih lanjut yang disebut dengan *reverse osmosis system* supaya bisa digunakan di *boiler*. Selanjutnya pengolahan air dilakukan dengan tahapan proses seperti gambar 2.



Gambar 2 Alur Proses Water Treatment Plant

Sistem *reverse osmosis* merupakan proses dengan efisiensi yang tinggi untuk menurunkan kandungan mineral yang terlarut (TDS), bakteri, maupun zat *organic* lainnya yang terkandung didalam air. *Reverse osmosis* adalah proses pemisahan menggunakan membran dan dapat dikatakan sebagai filter molekul dan mampu menurunkan sampai 95% TDS, bakteri, partikel maupun zat organik (Rahardja, 2013)

Proses *Reverse Osmosis* (RO) adalah proses pemisahan air dari larutan yang mengandung garam, air dipaksakan keluar menembus membran dengan bantuan tekanan pompa. Untuk dapat memisahkan air dan zat padat terlarut maka diperlukan *membrane semipermeable* khusus dengan pori yang sangat halus dan pompa yang memiliki daya tekan yang cukup tinggi sekitar 10 - 20 bar (150 - 300 psi). system RO tergolong dalam kelompok nano filtrasi atau penyaringan dengan membran yang berpori super halus. Membrane RO adalah *membranesemipermeable* yang dibuat dari bahan khusus dan rentan terhadap kondisi-kondisi ekstrim. Adapun untuk diagram alir *water treatment plant* adalah seperti pada gambar 2 (Berkman dan Calabrese, 1988)

#### Peralatan dan Fungsi pada *Water Treatment Plant*

- **Preming tank dan pompa reservoir.** Tangki yang mencegah angin masuk saat mengirim air dari waduk, kemudian dipompakan ke *Untreated Tank*.
- **Chemical dosing pump dan chemical stirrer.** Pompa bahan kimia (*chemical pump*) digunakan untuk memasukkan

bahan kimia ke dalam pipa air sebelum masuk kedalam tangki pemisah lumpur.

- **Tangki pemisah endapan (*Clarifier Tank*).** Berupa tangki yang berbentuk kerucut, Pada bagian bawah tangki dipasang kran pembuang endapan (lumpur), sedangkan pada bagian tengah dan atas dipasang pipa kran kontrol untuk mengetahui ketinggian endapan dalam tangki. Tangki pemisah endapan (*Clarifier Tank*) berfungsi sebagai tempat penggumpalan dan pengeluaran kotoran (lumpur) setelah bercampur (bereaksi) dengan bahan kimia.
- **Water basin.** Fungsi dari *water basin* yaitu sebagai tempat penampungan air hasil endapan, sebelum di pompa ke *sand filter* untuk menyaring kembali endapan yang masih terikut dari *clarifier*.
- **Penyaringan pasir (*sand filter*).** Alat penyaring pasir (*sand filter*) terdiri dari tabung silinder yang di dalamnya berisi pasir kwarsa sebagai alat penyaring. Penyaringan pasir (*sand filter*) digunakan untuk menghilangkan (menyaring) endapan yang masih terdapat dalam air.
- **Menara tangki air (*water tower/clean water tank*).** Fungsi dari menara air (*water tower/clean water tank*) adalah untuk menimbun dan membagi air ke peralatan-peralatan (proses pengolahan dan perumahan) yang membutuhkan air.

Peralatan yang terdapat di *reverse osmosis system* adalah sebagai berikut:

- *Multi media filter*
- *Softener*
- *Ultra filtration*
- *Reverse osmosis*
- Pompa air dan pompa bahan kimia untuk regenerasi.

#### Hukum Kontinuitas

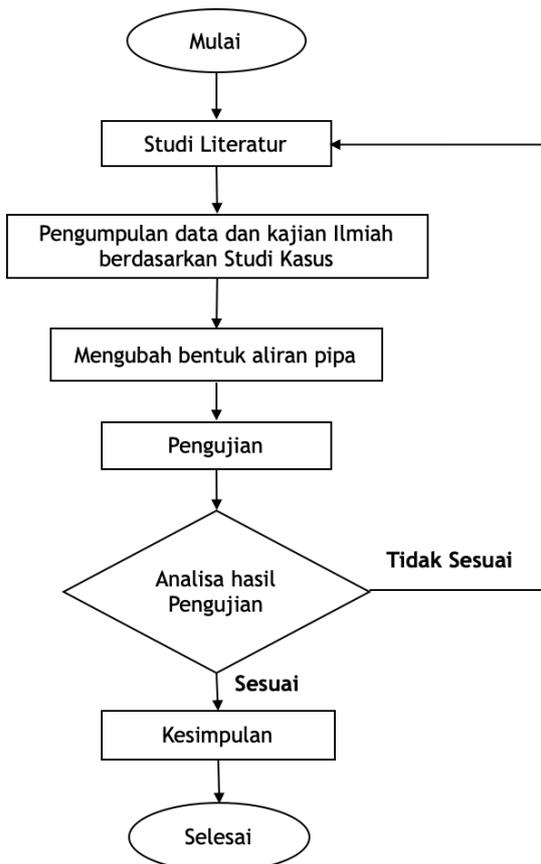
Menurut Rahardja (Rahardja, 2013), Fluida atau zat cair (termasuk uap air dan gas) di bedakan dari benda padat karena kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan.

Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut, zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair dan gas, zat cair tidak

mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan padanya gaya yang sangat besar dan gas tidak mempunyai bentuk maupun volum yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Karena fase cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Dengan demikian keduanya sering secara kolektif disebut sebagai fluida (Hanum, 2002).

## 2. METODOLOGI

Adapun diagram alir dalam penelitian ini, seperti pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu: studi literatur, pengumpulan data dan kajian ilmiah berdasarkan studi kasus yang diangkat. Setelah didapatkan hasil tersebut, maka selanjutnya adalah mengubah bentuk aliran pipa dengan cara mendesain ulang serta menghitungnya.

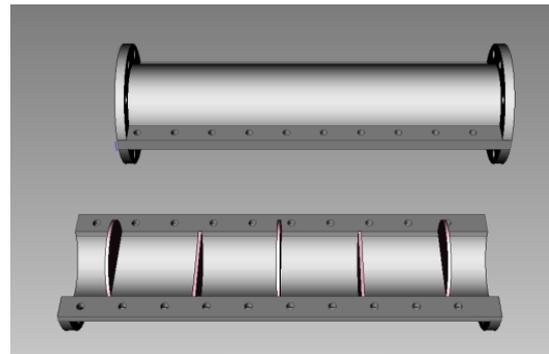
Tahap berikutnya adalah proses manufaktur sesuai desain yang telah dihasilkan kemudian dilakukan pengujian.

Jika hasil analisisnya sesuai dengan targetnya, maka dapat diambil kesimpulan dan jika tidak, maka dilakukan studi literature kembali, dengan mencari penyebab hasil analisis yang tidak sesuai.

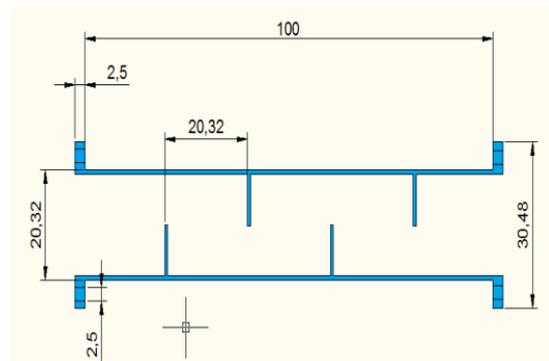
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Bentuk dan Dimensi Static Mixer Pipe

Bentuk dan dimensi Static Mixer Pipe di rancang untuk menghasilkan pencampuran yang sempurna pada proses pembuatan *flock* oleh Nalco 3276, bentuk alat dan dimensi seperti pada gambar 4 dan gambar 5 (Lee et al., 2011).



Gambar 4 Bentuk Desain Static Mixer Pipe

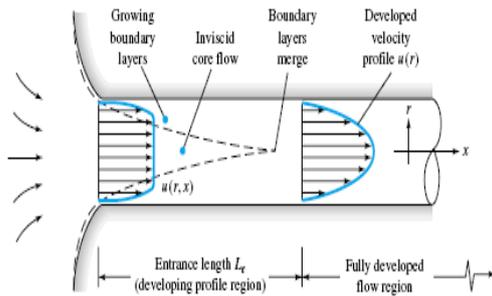


Gambar 5 Dimensi Static Mixer Pipe

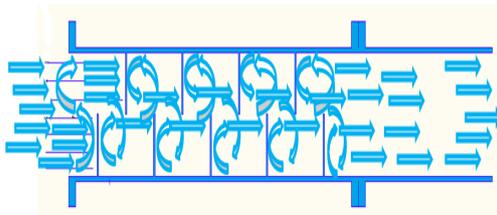
### Bentuk Aliran yang terjadi di dalam Static Mixer Pipe

Aliran yang terjadi di dalam pipa Static Mixer Pipe adalah dari fluida yang bergerak maju lurus dengan perbedaan kecepatan titik fluida, kecepatan aliran fluida yang berada di sisi atau dinding pipa lebih kecil dari pada kecepatan fluida yang berada ditengah pipa, kemudian di hadang oleh plat dan yang akan terjadi adalah fluida air akan mengalami peningkatan kecepatan dan berefek pada turbulensi, sehingga terjadi pengadukan serta perputaran arus balik fluida, seperti

pada gambar 6 dan gambar 7 (Naibaho,1996).



**Gambar 6** Aliran Fluida tanpa Plat Penghambat



**Gambar 7** Aliran Fluida dengan Plat Penghambat

Aliran dalam pipa yang menggambarkan terjadinya aliran masuk (*entrance region flow*) yang bersifat turbulen dan terjadi *boundary layer*, dan juga aliran berkembang penuh (*fully developed flow*) yang bersifat laminar dengan perbedaan kecepatan antara aliran di sisi dinding pipa dengan di tengah pipa. Apabila *profile developed velocity* di ubah kembali menjadi *entrance region flow* yang bersifat *turbulen* dengan kecepatan aliran yang tidak menentu dan berubah-ubah akan terjadi proses olakan/vortex, kemudian terjadi lagi proses tabrakan antara fluida dengan plat dan tabrakan antar fluida itu sendiri sehingga terjadi turbulensi dua kali dari yang sebelumnya dan perputaran arus balik. Jika terdapat campuran yang berisi koloid (bubuk *chemical*) maka akan terlempar dengan nilai lemparan yang berbeda pada setiap sisi.

#### Pembuktian Tidak Ada Kerugian Debit Aliran ( $\text{m}^3/\text{jam}$ ) Berdasarkan Hukum Kontinuitas

Berdasarkan rumus hukum kontinuitas yaitu (Pahan, 2008):

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

Dimana Q adalah kapasitas aliran fluida ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), v adalah kecepatan aliran fluida ( $\text{m}/\text{s}$ ) dan A adalah luas penampang pipa ( $\text{m}^2$ ) sebagai tempat luasan dimana fluida

tersebut mengalir, di dalam penambahan unit static mixer pipe yang di pasang di pipa aliran air dari untreated tank menuju clarifier tank tidak ada penambahan energi yang mempengaruhi debit aliran, hanya saja aliran fluida tersebut di belokkan dengan sedemikian rupa sehingga di harapkan dengan adanya pembelokan ini terjadinya proses pencampuran antara air (pelarut) dengan *chemical* Nalco 3276 (larutan) ke setiap sisi aliran dalam pipa, dan setelah terjadinya pencampuran di harapkan akan lebih mempercepat terbentuknya proses koagulasi, dan untuk mempercepat proses larutnya suatu larutan di dalam pelarut adalah dengan cara menaikkan temperatur pelarut dan yang kedua adalah dengan proses pengadukan, yang terjadi di dalam *static mixer pipe* adalah proses pengadukan, tidak ada penambahan nilai temperatur.

Sesuai dengan rumus hukum kontinuitas dalam pipa yaitu (Pahan, 2008):

$$Q_{in} (v_1 \times A_1) = Q_{out} (v_2 \times A_2) \quad (2)$$

apabila kita tidak memberikan energi perubahan (secara mekanis) maka  $Q_{in} = Q_{out}$

Adanya perubahan kecepatan dengan pengecilan luas penampang sehingga akan meningkatkan temperatur yang di akibatkan oleh gesekan pada dinding pipa oleh fluida, sehingga ini akan berdampak pada peningkatan nilai kekentalan fluida (viskositas fluida).

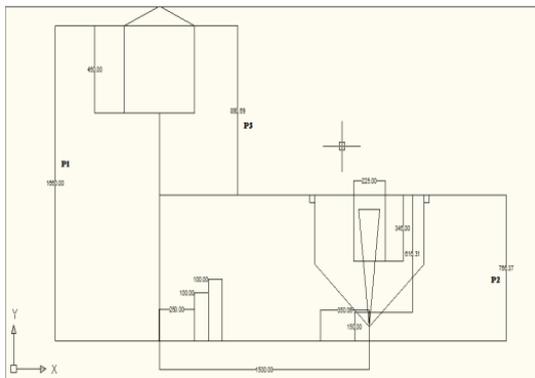
#### Pembuktian tidak ada kerugian tekanan pada aliran fluida

Sifat-sifat yang mempengaruhi tekanan berdasarkan rumus Bernoulli di antaranya yaitu :

- Viskositas fluida/kekentalan fluida ( $\mu$ ), dalam penambahan unit static mixer pipe di pipa air dari untreated tank menuju clarifier tank tidak ada penambahan suhu oleh karena itu tidak terjadi kenaikan atau penurunan nilai viskositas ( $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  atau Pascal second) dari fluida, jadi dari hal ini membuktikan tidak ada kenaikan atau penurunan nilai tekanan
- Temperatur atau suhu, temperatur atau suhu adalah salah satu sifat yang dapat mempengaruhi tekanan dan dengan penambahan unit static mixer pipe tidak ada kenaikan atau penurunan nilai suhu
- Densitas fluida ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), dengan tidak adanya penambahan suhu dan viskositas fluida maka nilai densitas dari fluida tidak akan berubah, dimana densitas air

- atau  $\rho$  air yaitu  $1000 \text{ kg/m}^3$ .
- Tinggi (Z), dalam penambahan unit static mixer pipe tidak ada penambahan tinggi dari aliran air yang dapat mempengaruhi nilai tekan jadi tidak akan mengalami kerugian tekanan.
  - Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ ), gravitasi tidak pernah berubah yaitu tetap dengan nilai sebesar  $9,82 \text{ m/s}^2$ .
  - Kecepatan aliran fluida ( $\text{m/s}$ ), yang mempengaruhi bertambah atau berkurangnya kecepatan aliran fluida adalah luas penampang dari aliran fluida, dengan penambahan static mixer pipe tidak ada pengecilan atau pembesaran luas penampang, karena jarak antara plat 1 ke plat 2 sama nilainya dengan luas penampang pipa yaitu 8 inch, seperti pada gambar 4.

Penjelasan secara rinci dan berdasarkan rumus tekanan dengan mengacu pada desain dari *drawing book* seperti pada gambar 8.



Gambar 8 Dimensi Desain Aliran Pipa

Dari gambar 8 bisa di dapatkan perhitungan untuk mencari nilai tekanan pada aliran yaitu dengan menggunakan rumus (Potter dan Somerton, 2006):

$$P = \rho \times g \times h \quad (3)$$

dimana P = Tekanan ( $\text{N/m}^2$ ),  $\rho$  = Densitas air ( $\text{kg/m}^3$ ), g = Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ ), h = Tinggi (m)

Berdasarkan gambar 8, di ketahui :

- $\rho$  air =  $1000 \text{ kg/m}^3$
- Tinggi untuk  $h_1 = 16,6 \text{ m}$ ,  $h_2 = 7,66 \text{ m}$  dan  $h_3 = 8,94 \text{ m}$
- Gravitasi (g) =  $9,82 \text{ m/s}^2$

Jadi untuk mencari nilai tekanan P1 adalah:

- $P_1 = \rho \times g \times h_1$   
 $P_1 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,82 \text{ m/s}^2 \times 16,6 \text{ m} = 163012 \text{ N/m}^2$  atau  $163,012 \text{ kPa}$
- $P_2 = \rho \times g \times h_2$

$$P_2 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,82 \text{ m/s}^2 \times 7,66 \text{ m} = 75221,2 \text{ N/m}^2 \text{ atau } 75,2212 \text{ kPa}$$

- $P_3 = \rho \times g \times h_3$   
 $P_3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,82 \text{ m/s}^2 \times 8,94 \text{ m} = 87790,8 \text{ N/m}^2$  atau  $87,7908 \text{ kPa}$
- $P_1 - P_2 = P_3$

Jadi dari perhitungan ini membuktikan bahwa tidak ada pengaruh tekanan akibat penambahan *Static Mixer Pipe*, aliran dalam pipa akan mendapatkan tekanan yang sama yaitu sebesar  $87,7908 \text{ kPa}$ , hal ini akan menjadi *trouble* apabila tekanan yang masuk dengan tekanan yang keluar adalah sama atau selisih antara P1 dan P2 adalah nol (0). Jika hal di tersebut tidak terjadi maka energi perubahan dan energi hilang di anggap nol maka yang terjadi adalah energi masuk = energi keluar

Berdasarkan satuan dari tekanan adalah  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa} = 10 \text{ mKa}$ , dimana jika terjadi gangguan tekanan maka hantaran air menurun dalam 1 cm dengan panjang 10 m kolom air.

#### Perhitungan Head Total, Head Loss dan Nilai Tubulensi (Bilangan Reynold) tanpa Static Mixer Pipe

Dalam persamaan dasar rumus Bernoulli, di jelaskan bahwa energi masuk + energi berubah = energi keluar dan energi masuk + energi hilang = energi keluar. Energi masuk terdiri dari Energi Kinetik ( $\frac{mv^2}{2}$ ) dan Energi Potensial (mgZ) sedangkan energi berubah dan energi hilang di pengaruhi oleh:

- Perubahan sifat fisika, perubahan sifat fisika adalah adanya penambahan energi secara dinamik yang mempengaruhi energi keluar dan hal ini tidak terjadi di dalam *Static Mixer Pipe*.
- Perubahan sifat kimia, perubahan sifat kimia adalah adanya penambahan unsur yang bersifat kimiawi didalam *Static Mixer Pipe*, hal ini tidak terdapat didalam *Static Mixer Pipe*.
- Perubahan elektrik, perubahan elektrik adalah adanya penambahan atau pengurangan energi secara elektrik di dalam *Static Mixer Pipe*, hal ini tidak terdapat di dalam *Static Mixer Pipe*.

Dari gambar 8, dapat menentukan parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan *Head total* dan *Head loss* dengan menggunakan rumus Bernoulli, yaitu:

- Ketinggian ( $Z_1 - Z_2$ ) = 16,6 m - 7,66 m
- Q (kapasitas aliran fluida di dapat dari *flow meter*) = 55 m<sup>3</sup>/jam = 0,0153 m<sup>3</sup>/s
- Diameter pipa = 8" x 2,54 cm = 20,32 cm = 0,2032 m
- ΔhP (selisih tekanan P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub>) = P<sub>3</sub> = 87,7908
- Panjang pipa = 16,6 m + 15 m + 2 m = 33,6 m
- Kondisi pipa dan Harga C (*formula Hazern-William*)

**a. Perhitungan rugi-rugi akibat panjang pipa**

Perhitungan rugi-rugi dapat di cari dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Rahardja, 2013):

$$hf \text{ (kerugian panjang pipa)} = \frac{10,66 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,85}} \times L \quad (4)$$

$$hf = \frac{10,66 \times 0,0153 \frac{m^3}{s}^{1,85}}{120^{1,85} \times 0,2032 m^{4,85}} \times 33,6 m$$

$$hf = \frac{4,6713 \times 10^{-3}}{7022,3958 \times D^{4,85}} \times 33,6 m$$

$$= \frac{0,1569 m}{3,0897} = 0,0501$$

Peningkatan rerugi ini di akibatkan oleh panjang pipa, sehingga semakin pendek aliran dalam sistem pemipaan maka nilai kerugiannya akan semakin kecil. Dalam pemilihan bahan dalam instalasi pipa juga mempengaruhi hasil rugi-rugi semakin kecil nilai gesekan antara dinding dan fluida maka akan semakin kecil nilai ruginya berdasarkan tabel penentuan harga C pada rumus.

**b. Rugi - rugi akibat belokan atau elbow 90**

Di ketahui ada dua *elbow* dengan kemiringan 90<sup>0</sup> dan kerugian ini dapat di cari dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Rahardja, 2013):

$$f = \left\{ 0,131 + 1,847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right\} \left( \frac{\theta}{90^0} \right)^{0,5} \quad (5)$$

$$f = \left\{ 0,131 + 1,847 \left( \frac{0,2032 m}{2 \times 0,1016 m} \right)^{3,5} \right\} \left( \frac{90^0}{90^0} \right)^{0,5}$$

$$f = \{ 0,131 + 1,847 (1)^{3,5} \} (1)^{0,5}$$

$$f = \{ 0,131 + 1,847 \} = 1,978 m$$

dan belokan dengan sudut 90<sup>0</sup> terdapat dua belokan pada aliran pipa maka

kerugiannya adalah 2 x 1,978 m = 3,9560 m.

**c. Kerugian akibat pemasangan katub (valve)**

Koefisien *f* pada perhitungan kerugian akibat pemasangan katub adalah sebesar 0,026 dengan diameter 20,32 cm. Untuk mencari kerugiannya dengan menggunakan rumus (Rahardja, 2013):

$$hf = f \times \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

untuk mencari berapa nilai kecepatan laju aliran dalam pipa (*v*) dapat di cari dengan menggunakan rumus (Rahardja, 2013):

$$Q = v \times A \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (7)$$

$$v = \frac{Q \left( \frac{m^3}{s} \right)}{A m^2}$$

$$v = \frac{0,0153 \left( \frac{m^3}{s} \right)}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,2032 m)^2}$$

$$v = \frac{0,0153 \left( \frac{m^3}{s} \right)}{0,0324 m^2}$$

$$v = 0,4715 \frac{m}{s} \text{ (kecepatan aliran dalam fluida)}$$

Jadi kerugian dari pemasangan katub adalah:

$$h_v = f_v \times \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

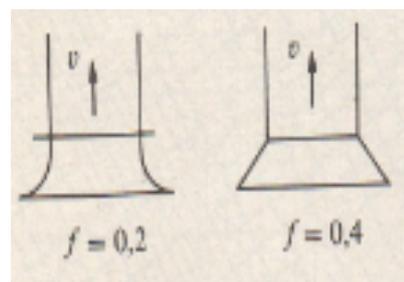
dengan *f<sub>v</sub>* = koefisien kerugian katub

$$hf = 0,026 \times \frac{(0,4715 \frac{m}{s})^2}{2 \times 9,82 \frac{m}{s^2}} = 0,0284 m$$

jadi kerugian akibat pemasangan katub adalah sebesar 0,284 m

**d. Kerugian akibat ujung masuk pipa**

Berdasarkan desain yang dibuat, ujung masuk pipa seperti pada gambar 9.



Gambar 9 Koefisien Kerugian *f* Ujung Masuk Pipa

Dari gambar 9 dapat diketahui koefisien  $f$  dari ujung masuk pipa adalah 0,2 ( $f$  adalah bilangan jadi tidak ada satuan), dan untuk mencari berapa nilai kerugiannya dapat di cari dengan menggunakan rumus 8 sebagai berikut (Rahardja, 2013):

$$hf = fx \frac{v^2}{2g}, \text{ dengan } f = \text{koefisien kerugian ujung masuk pipa}$$

$$h_v = 0,2 x \frac{(0,4715 \frac{m}{s})^2}{2 x 9,82 \frac{m}{s^2}} = 0,2183 \text{ m}$$

jadi kerugian akibat ujung masuk pipa sebesar 0,2183 m.

**e. Head loss total pada aliran pipa tanpa penambahan unit Static Mixer Pipe**

Head loss total pada aliran pipa tanpa penambahan unit Static Mixer Pipe dapat di cari dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Rahardja, 2013):

$$H = h_a + \Delta h_P + h_l + \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

- $H_a$  (perbedaan ketinggian di anggap nol karena hanya bejana berhubungan tidak menggunakan pompa) = 0
- $\Delta h_P$  = selisih tekanan yaitu = 87,7908 kPa di anggap nol (0) karena bejana berhubungan bukan pompa
- $H_l$  (Head loss) = 0,0501 m + 3,9560 m + 0,0284 m + 0,2183 m = 4,2528 m
- Jadi ,  $H = h_a + \Delta h_P + h_l + \frac{v^2}{2g} = H = 0 + 0 + 4,2528 + \frac{(0,4715 \text{ m/s})^2}{2 x 9,82 \text{ m/s}^2} = 5, 3443 \text{ m}$

**f. Head total**

Head total dari aliran ini dapat dicari dengan menggunakan rumus Bernoulli sebagai berikut (Rahardja, 2013):

$$H = \left[ (Z_1 - Z_2) + \frac{v^2}{2g} + \left[ \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} \right] \right] \quad (10)$$

$$H = \left[ (16,6 - 7,66) + \frac{(0,4715 \text{ m/s})^2}{2 x 9,82 \text{ m/s}^2} + \left[ \frac{163,012 \text{ N/m}^2}{1000 \frac{kg}{m^3} x 9,82 \text{ m/s}^2} - \frac{75,2212 \text{ N/m}^2}{1000 \frac{kg}{m^3} x 9,82 \text{ m/s}^2} \right] \right]$$

$$H = \left[ (16,6 - 7,66) + \frac{0,2223 \text{ m}^2/s^2}{19,64 \text{ m/s}^2} + [16,6 - 7,66] \right]$$

$$H = [(16,6 - 7,66) + 1,0915 + [16,6 - 7,66]]$$

$$H = [(8,94) + 1,0915 + [8,94]] = 18,9715 \text{ m}$$

Jadi head yang di dihasilkan dari aliran ini adalah sebesar 18,9715 m, *netto head* adalah *Head total* - *head loss* = 18,9715 m - 5, 3443 m = 13, 6272 m, ini adalah besarnya head tekan yang terjadi dalam aliran pipa tanpa Static Mixer Pipe.

Faktor-faktor yang mempengaruhi head loss adalah perbedaan ketinggian antara ujung masuk dengan ujung keluar, selisih tekanan (EK + EP), head losses serta kecepatan dengan berbanding terbalik dua kali gravitasi.

**g. Nilai turbulensi fluida**

Nilai turbulensi fluida di pengaruhi oleh densitas fluida ( $\rho$ ), kecepatan aliran fluida ( $v$ ), diameter ( $D$ ), dan viskositas ( $\mu$ ), apabila kecepatan fluida tinggi yang di pengaruhi oleh diameter pipa maka nilai turbulensi akan meningkat pada aliran dan nilai viskositas akan berubah di pengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur maka nilai viskositas akan turun atau kecil, dan untuk mencari nilai turbulensi yang terjadi dalam aliran pipa dapat di cari dengan menggunakan rumus bilangan Reynold sebagai berikut (Rahardja, 2013):

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}, \quad (11)$$

dengan  $\mu$  viskositas fluida 20°C =  $1 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2\text{s}$

$$\bullet \quad Re = \left( \frac{1000 \frac{kg}{m^3} x 0,4715 \text{ m/s} x 0,2032 \text{ m}}{1 x 10^{-3} \text{ N/m}^2\text{s}} \right)$$

$$\bullet \quad Re = 95.808,8000 \text{ Re (Turbulen)}$$

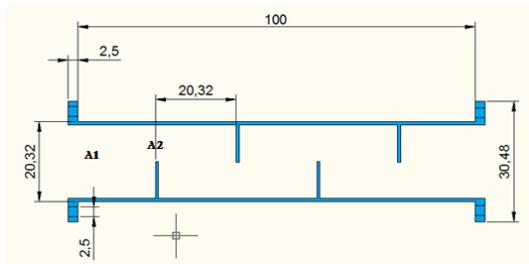
Aliran ini termasuk aliran turbulen karena  $Re > 3500$ , di dalam pipa ini terjadi turbulensi dengan nilai  $Re$  95.808,8000 , di dalam pencampuran antara larutan dengan pelarut atau antara gas dengan udara pada intake manifold mobil sangat di butuhkan untuk menghasilkan pencampuran yang benar-benar merata, sebagaimana diketahui bahwa aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta perputaran antar lapisan, sehingga akan menggerakkan semua fluida atau fluida dengan campurannya (Nalco 3276) ke seluruh bagian-bagian sisi-sisi aliran, jadi semakin tinggi nilai turbulensi maka semakin baik pula pengadukan dan pencampurannya (Rahardja, 2013).

**Perhitungan penambahan nilai *Head Loss* dan nilai Turbulensi (Bilangan Reynold) pada *Static Mixer Pipe***

Dalam *Static Mixer Pipe* terjadi ekspansi dan kontraksi secara tiba-tiba. Kerugian yang terjadi karena perubahan penampang pipa secara mendadak (kontraksi tiba-tiba) mempunyai koefisien kerugian ( $f$ ) =  $f(V_2^2/2g)$ , adalah fungsi dari rasio  $A_2/A_1$ . Nilai  $f$  berubah secara gradual dari satu kondisi ekstrim dengan sisi masuk bertepi tajam ( $A_2/A_1$ )= 0 dengan  $f$  = (0.50) sampai kondisi ekstrim lainnya tanpa adanya perubahan luas ( $A_2/A_1$ )= 1 dengan  $f$ =(0).

Untuk aliran akibat perbesaran mendadak serupa dengan aliran sisi keluar. Fluida meninggalkan pipa yang lebih kecil dan pada awalnya membenturkan struktur seperti jet sewaktu memasuki pipa yang lebih besar. Setelah jarak beberapa diameter dihilir dari perbesaran, jet menjadi tersebar diseluruh penampang pipa dan aliran berkembang penuh terbentuk kembali.

Koefisien kerugian dari sebuah perbesaran mendadak dapat dihitung secara teoritis. Kerugian akibat pengecilan luas penampang (kontraksi) secara tiba-tiba, perhitungannya adalah berdasarkan gambar 10.



**Gambar 10** Perbedaan Luas Penampang

Berdasarkan gambar 10, maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- a. Luas penampang masuk ( $A_{in}$ ) dan kecepatan aliran masuk ( $v_1$ ).

$$A_{in} = \frac{1}{4} \pi D^2 \tag{9}$$

$$= \frac{1}{4} 3,14 (0,2032 \text{ m})^2$$

$$= 0,0324 \text{ m}^2$$

Kecepatan aliran masuk:

- $Q = v \times A$
- $v_1 = \frac{Q (\frac{m^3}{s})}{A (m^2)}$
- $v_1 = \frac{0,0153 (\frac{m^3}{s})}{0,0324 (m^2)}$

- $v = 0,4715 \text{ m/s}$

- b. Luas penampang keluar ( $A_{out}$ ) dan kecepatan aliran keluar ( $v_2$ ).

$$A_{out} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} 3,14 (0,1016 \text{ m})^2$$

$$= 0,0081 \text{ m}^2$$

Kecepatan aliran keluar:

- $Q = v \times A$
- $v_2 = \frac{Q (\frac{m^3}{s})}{A (m^2)}$
- $v_2 = \frac{0,0153 (\frac{m^3}{s})}{0,0081 (m^2)}$
- $v_2 = 1,8889 \text{ m/s}$

Dari perbedaan luas penampang di atas maka didapat nilai koefisien  $f$  adalah  $A_2/A_1 = 0,0081 \text{ m}^2/0,0324 \text{ m}^2 = 0.25$  maka koefisien  $f$  dari grafik adalah sebesar 0,4, jadi kerugian pengecilan luas penampang secara mendadak dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

- $hf = f \frac{v_2^2}{2g}$
- $hf = 0,4 \frac{(1.8889 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,82 \text{ m/s}^2}$
- $hf = 0,4 \frac{3,5679 \frac{m^2}{s^2}}{19,64 \frac{m}{s^2}}$
- $hf = 0,4 \times 0,1816$
- $hf = 0,0726 \text{ m}$

Di dalam *Static Mixer Pipe* terdapat 4 titik pengecilan luas penampang secara mendadak jadi  $4 \times 0,0726 \text{ m} = 0,2906 \text{ m}$ . Kerugian ekspansi luas penampang secara mendadak mempunyai koefisien kerugian  $f$  yang akan mempengaruhi hasil perhitungan, dan dari  $A_2/A_1 = 0,0081 \text{ m}^2/0,0324 \text{ m}^2 = 0.25$  maka koefisien  $f$  dari grafik adalah sebesar 0,4, jadi kerugian dari ekspansi luas penampang secara mendadak dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut

- $hf = f \frac{v_1 - v_2^2}{2g}$
- $hf = 0,4 \frac{(0,4715 \frac{m}{s} - 1.8889 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,82 \text{ m/s}^2}$
- $hf = 0,4 \frac{2,0090 \text{ m}^2/\text{s}^2}{19,64 \text{ m/s}^2}$
- $hf = 0,4 \times 0,1022 \text{ m} = 0,0409 \text{ m}$

Selain hal tersebut, di dalam *Static Mixer Pipe* juga terdapat 4 titik pengecilan luas penampang secara mendadak jadi  $4 \times 0,0409 \text{ m} = 0,1636 \text{ m}$ .

Jadi total kerugian dari ekspansi dan pengecilan luas penampang secara tiba-tiba adalah  $0,2906 \text{ m} + 0,1636 \text{ m} = 0.4542 \text{ m}$

Secara perhitungan teoritis penambahan *Head loss* dari *Static Mixer Pipe* adalah sebesar  $0,4245 \text{ m}$ , dari hal ini membuktikan tidak terlalu signifikan penambahan *head loss*nya, jadi kehilangan *head* tekan aliran tidak akan mempengaruhi *head total* tekan alirannya. Jika di lihat dari perhitungan teoritis antara pembesaran dan pengecilan luas penampang secara tiba-tiba adalah kecepatan aliran fluida  $v_2$  pada pengecilan luas penampang secara tiba-tiba adalah dua kali lipat dari kecepatan  $v_1 - v_2$  pada pembesaran luas penampang secara tiba-tiba, jadi pada dasarnya kecepatan aliran fluida yang di jadikan sebagai faktor pembilang adalah sama, tidak terjd perubahan kecepatan dan pastinya berdampak pada aliran fluida, yaitu  $Q_{in} = Q_{out}$ .

c. Turbulensi yang terjadi di dalam *static mixer pipe*

Untuk menentukan nilai turbulensi yang terjadi pada *Static Mixer Pipe* dapat di cari dengan menggunakan rumus:

- $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$
- $Re = \left( \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times 1,8889 \text{ m/s} \times 0,1016 \text{ m}}{1 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2 \text{ s}} \right)$
- $Re = 191.912,2400$

Dengan adanya peningkatan nilai kecepatan yang di pengaruhi oleh diameter pipa maka nilai turbulensi yang di dapat dari perhitungan teoritis adalah sebesar  $Re = 191.912,2400$ , dan di bandingkan dengan  $Re = 95.808,8000$  nilainya dua kali lipat dan dengan penaikan nilai turbulensi dari  $Re = 95.808,8000$  menjadi  $Re = 191.912,2400$  di harapkan terjadi dua kali lipat pengadukan dan pencampurannya sehingga akan lebih sempurna dalam penyebaran Nalco 3276 ke setiap sisi aliran dalam pipa. (Saroso, Hadi; 2016)

**Analisa Hasil**

Dari hasil pengkajian secara teoritis dan analisa perhitungan yang di lakukan pada *Static Mixer Pipe* dan berdasarkan metode yang digunakan dengan membandingkan parameter yang satu dengan yang lainnya.

a. Pengaruh Bentuk Aliran Fluida Tanpa *Static Mixer Pipe* Dengan Menggunakan *Static Mixer Pipe*

Bentuk aliran yang terjadi di dalam jalur pipa yaitu *fully developed flow* dengan kecepatan antar sisi yang berbeda di ubah menjadi aliran berbentuk *jet* yang bergerak tidak teratur ke setiap sisi pipa, dengan adanya pergerakan yang tidak teratur ini dapat di manfaatkan untuk menghasilkan pencampuran yang lebih sempurna antara Nalco 3276 dengan air dan setelah teraduk merata sepanjang jalur dengan jarak 1 meter maka kondisi aliran fluida akan kembali lagi pada *fully developed flow*, pada posisi ini di harapkan *flock-flock* yang berada di dalam air dapat di tangkap secara maksimal dan merata sehingga hal ini juga akan memudahkan untuk proses flokulasi/penjaringan *flock* oleh Nalco 8173.

b. Hubungan Antara *Head Total* Dengan *Head Loss*

Dari proses perhitungan di dapatkan hasil *head total* dari aliran ini adalah sebesar  $18,9715 \text{ m}$ , *netto head* adalah  $Head total - head loss = 18,9715 \text{ m} - 5,3443 \text{ m} = 13,6272 \text{ m}$ , jadi total *head* yang di terima oleh aliran adalah sebesar  $13,6272 \text{ m}$  tanpa penambahan *Static Mixer Pipe* dan setelah di tambahkan dengan *static mixer pipe* penambahan kerugian *head*nya hanya bertambah sebesar  $0.4542 \text{ m}$ , dari hal ini tidak bisa diketahui bahwa aliran masih akan menerima tekanan aliran dalam satuan meter sebesar  $13,1730 \text{ m}$ , jadi dengan tekanan yang di dapat dari perbedaan ketinggian yaitu sebesar  $87,7908 \text{ kPa}$  dapat menghasilkan hantaran fluida air sebesar  $13,1730 \text{ m}$ . sebagaimana di ketahui bahwa yang dapat menimbulkan masalah pada aliran adalah tekanan masuk = dengan tekanan keluar, dan  $Head total = Head loss$  apabila hal ini terjadi maka fluida tidak akan dapat di alirkan.

c. Nilai Turbulensi yang di hasilkan dari *Static Mixer Pipe*

Aliran yang terjadi pada pada sudah termasuk aliran turbulen yaitu  $Re > 3500$ , dari hasil perhitungan nilai turbulensi awal adalah sebesar  $Re = 95.808,8000$ , di anggap hal ini belum

maksimal dalam penyebaran *chemical* yang hanya di injeksi satu sisi pada pipa, jadi nilai turbulensinya di tingkatkan menjadi Re 191.912,2400 dan dengan peningkatan ini akan menghasilkan dua kali lipat pencampuran dan penyeberannya sehingga menghasilkan dua kali lipat hasil pembuatan *flock*-nya.

#### d. Hubungan head dengan debit aliran

Berdasarkan rumus Bernoulli hubungan antara debit aliran dengan *Head* adalah dapat di jabarkan sebagai berikut :

$$H = h_a + \Delta h_P + h_l + \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan :

$h_a$  = Perbedaan ketinggian antara ujung masuk dengan keluar ( $Z_1 - Z_2$ )

$\Delta h_P$  = Perbedaan tekanan masuk dengan tekanan keluar ( $P_1 - P_2$ )

$H_l$  = *Head loss*

$v$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$g$  = Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Jika diperkecil perumusan dari tekanan yaitu

$$\Delta h_P = (P_1 - P_2)$$

$$(P_1 - P_2) = (\text{Energi kinetik} + \text{Energi potensial})_1 + (\text{Energi kinetik} + \text{Energi potensial})_2$$

$$P = E_k + E_p$$

$$E_p + E_k = \frac{1}{2} m \times v^2 + (\rho \times g \times h)$$

Dari rumus di atas untuk dapat di kalkulasikan maka di beri pengaruh *volume* ke dalam perumusan maka bentuk persamaannya menjadi:

$$E_p + E_k = \frac{1}{2} m \times v^2 + (\rho \times g \times h) \times V$$

dan perumusannya menjadi sebagai berikut:

$$E_p + E_k = \frac{1}{2} m \times v^2 + (m \times g \times h)$$

Untuk mendapatkan nilai kecepatan sehingga dapat di gabungkan dengan hukum kontinuitas fluida (debit) maka perumusannya menjadi:

$$v^2 = \frac{2(E_k + E_p - m \times g \times h)}{m}$$

$$v^2 = \frac{2(E_k + E_p) - (m \times g \times h) \times V}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2(E_k + E_p - m \times g \times h)}{m}}$$

maka, jika dihubungkan dengan debit aliran:

$$v = \sqrt{\frac{2(E_k + E_p - m \times g \times h)}{m}}, Q = v \times A$$

$$v = \sqrt{\frac{2(E_k + E_p - m \times g \times h)}{m}}, v = Q / A$$

$$v = \sqrt{\frac{2(E_k + E_p - m \times g \times h)}{m}} = Q / A$$

Jika dialihkan untuk menjadi sebagai parameter keberhasilan debit aliran maka :

$$Q = \sqrt{\frac{2(E_k + E_p - m \times g \times h)}{m}} \times A$$

Berdasarkan hal tersebut, maka dapat di simpulkan bahwa jika Energi kinetik dan Energi potensial kecil maka debit juga akan kecil *head* yang mengalir di dalam aliran dalam satuan meter juga kecil dan sebaliknya.

#### 4. SIMPULAN

Kesimpulan dari perhitungan dan analisa mengenai penambahan *Static Mixer Pipe* pada pengolahan *external water treatment plant* adalah (1) Tekanan yang terjadi pada aliran *untreated tank* menuju *clarifier tank* tetap sama yaitu sebesar 87,7908 kPa, (2) *Head total* dari aliran yang sudah ada sebesar 18,9715 m dengan *head loss* sebesar 5,343 m; (3) Tambahan *Head loss* dari penambahan *Static Mixer Pipe* yaitu sebesar 0.4542 m; dan (4) Peningkatan nilai turbulensi dari Re 95.808,8000 menjadi Re 191.912,2400.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alatas, Andi R. 2015. Trend Produksi dan Ekspor Minyak Sawit (CPO) Indonesia, *Jurnal Agraris*, Vol.1, No.2, Juli 2015.
- Anis, Samsudin dan Karnowo. 2008. Dasar Pompa. Universitas Negeri Semarang.
- Berkman, P.D. and Calabrese, R.V., 1988. Dispersion of viscous liquids by turbulent flow in a static mixer. *AIChE Journal*, 34(4), pp.602-609.
- Hanum, Farida. 2002. Proses Pengolahan Air Sungai Untuk Keperluan Air Minum, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.
- Hardyanti, N. and Fitri, N.D., 2006. Studi Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Bersih Untuk Kebutuhan Domestik dan Non Domestik (Studi Kasus Perusahaan Tekstil Bawen Kabupaten Semarang). *Jurnal Presipitasi*, 1(1), pp.37-42.

- Lee, K.P., Arnot, T.C. and Mattia, D., 2011. A review of reverse osmosis membrane materials for desalination—development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*, 370(1-2), pp.1-22.
- Naibaho, P.M. 1996. Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Pahan, Iyung. 2008. Panduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir. Penerbit Penebar Swadaya.
- Potter, Merle C. and Craig W. Somerton, 2006, Thermodynamics for Engineers 2<sup>nd</sup> Edition. New York: Michigan State University.
- Rahardja, Istianto Budhi. 2013. Mekanika Fluida. Bekasi: Politeknik Citra Widya Edukasi
- Saroso, H., 2016. Optimalisasi Pemakaian NaOH dan HCl untuk Regenerasi Resin Two Bed Water Treatment Plant. *SENTIA* 2016, 8(2).