

PENGARUH TEKANAN MASUK TERHADAP NILAI TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS) PADA OVERFLOW HYDROCYCLONE MENGGUNAKAN METODE KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA (CFD) PADA PT PLN (PERSERO) PEMBANGKITAN TANJUNG JATI B UNIT 3 DAN 4

Fuad Ardiansyah¹⁾, Mulyono²⁾, Margana³⁾

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Sudarto, S.H, Tembalang, Semarang, 50275, PO BOX 6199 / SMS

Telp. (024) 7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396

http://www.polines.ac.id, e-mail : sekretariat@polines.ac.id

Abstrak

Limbah cair batubara pada *Waste Water Treatment Plant (WWTP)* PT PLN (Persero) Pembangkitan Tanjung Jati B unit 3 dan 4 mengandung kadar *TSS* sebesar 234 mg/l, harga ini tidak memenuhi batas aman yang diizinkan Kementerian Lingkungan Hidup sebesar < 100 mg/l. Tingginya kadar *TSS* tersebut menyebabkan kerja dari sistem *WWTP* menjadi berat yang mengakibatkan pemborosan. Dari permasalahan tersebut muncul gagasan baru dengan menggunakan *hydrocyclone*, sebuah alat pemisah partikel dalam fluida dengan prinsip gaya sentrifugal, yang diharapkan dapat mengurangi kadar *TSS* hingga < 100 mg/l. Untuk mewujudkan gagasan tersebut, dapat dilakukan permodelan *hydrocyclone* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. *CFD* adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Dalam permodelan, dilakukan pengujian dengan mengkomparasi tekanan masuk *hydrocyclone* sebesar 41368,54 Pa; 68947,57 Pa; 103421,4 Pa; 247111,2 Pa dan 274568 Pa dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi *hydrocyclone* terbaik dalam pengurangan kadar *TSS*. Dari permodelan tersebut diperoleh hasil efisiensi terbaik adalah 96,56 % pada tekanan 274568 Pa, sedangkan efisiensi terendah adalah 94,32 % pada tekanan 41368,54 Pa. Dengan nilai efisiensi terendah *hydrocyclone* mampu memisahkan kadar *TSS* 1757,4692 mg/l menjadi 100 mg/l, sehingga *hydrocyclone* sangat efektif dalam mengurangi kadar *TSS* pada *WWTP* PLTU Tanjung Jati B unit 3 dan 4.

Kata kunci : Tekanan, *hydrocyclone*, *Computational Fluid Dynamics*, *TSS*

1. Pendahuluan

Meningkatnya produksi listrik menimbulkan permasalahan. Pembangkit Listrik Tenaga Uap menghasilkan limbah dalam proses produksi tersebut. Kebanyakan industri-industri membuang secara langsung limbah-limbah yang dihasilkannya sebagai salah satu *output* dalam proses produksi ke laut yang berada di sekitar kawasan perindustrian. Akibatnya, kualitas laut dan daya dukung lingkungan menurun secara signifikan. Peningkatan volume limbah cair yang disalurkan ke laut merupakan suatu hal yang sangat penting untuk dipecahkan. Karena pertambahan limbah sekecil apapun bila terjadi peningkatan dalam jumlah yang besar dapat memberikan kontribusi yang besar dalam hal kerusakan lingkungan. Untuk itu, dalam rangka mengatasi dampak negatif dari air limbah sebuah pembangkit listrik diperlukan suatu alternatif yang dapat meminimalisasi limbah cair yang terbuang ke laut. (Titah, 2013)

Kementerian Lingkungan Hidup menetapkan standar baku mutu untuk limbah cair *Waste Water Treatment Plant (WWTP)* yang

berbentuk endapan lumpur batubara digunakan parameter *Total Suspended Solid (TSS)* dimana dibatasi sebesar 100 mg/l. Sementara *TSS* di PLTU TJB masih berada di kisaran 200-250 mg/l. Parameter untuk buangan limbah ke laut dari Kementerian Lingkungan Hidup sesuai Tabel 1.

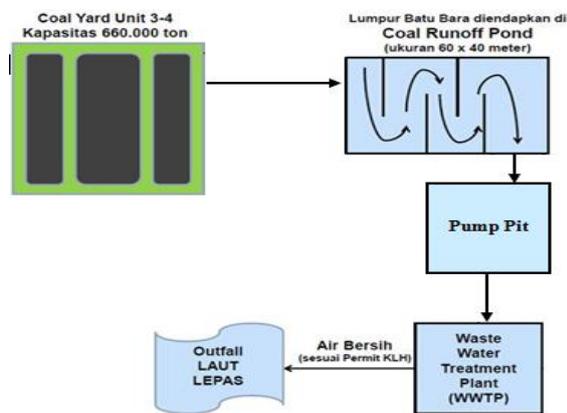
Tabel 1. Parameter buangan limbah ke laut KLH

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	Ph	-	6 – 9
2	TSS	mg / L	100
3	Minyak dan Lemak	mg / L	10
4	Kromium Total (Cr)	mg / L	0.5
5	Tembaga (Cu)	mg / L	1
6	Besi (Fe)	mg / L	3
7	Seng (Zn)	mg / L	1
8	Phospat (PO ⁴⁻)	mg / L	10

Sumber : Permen LH No.18 tahun 2011

Tantangan mengatasi permasalahan *TSS* pada *Coal Run off Basin* yaitu pembuktian secara ilmiah melalui simulasi distribusi kecepatan fluida yang mengalir di *Hydrocyclone* dengan *Computational Fluid Dynamic (CFD)* sehingga dapat ditentukan rekayasa sebuah alat untuk menurunkan *TSS* dibawah baku mutu lingkungan. (Titah, 2013)

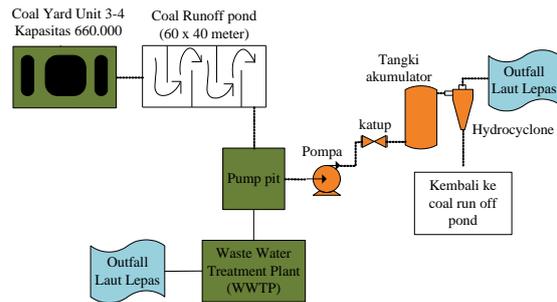
Kondisi saat ini parameter yang menjadi acuan limbah yang dihasilkan *Coal Run off Basin* sudah dibawah ambang batas kecuali kandungan *TSS* yang mengalir ke *Retention Basin* sebesar ~240 mg/l, kementerian lingkungan hidup membatasi untuk *TSS* maksimal sebesar 100 mg/l. Berikut adalah skema aliran air limpasan batubara yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Skema aliran air limpasan batubara

Permasalahan pada PLTU Tanjung Jati Unit 3 dan 4 adalah, air limpasan batu bara sudah memenuhi standar permit dari KLH, hanya saja *TSS*nya saja yang masih terlalu besar, sehingga jika hanya mengurangi *TSS* tetapi harus dibawa ke *WWTP* akan membuat suatu pemborosan, sehingga perlu cara baru untuk bisa mengurangi *TSS* tanpa menampung air limpasan batu bara pada *WWTP*. Oleh karena itu gagasan yang akan dilakukan adalah dengan menggunakan *hydrocyclone* dan air limpasan yang keluar dari *overflow hydrocyclone* diharapkan dapat memiliki nilai *TSS* < 100 mg/l dan dapat langsung di buang ke laut. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. (Titah, 2013)

Proses gagasan barunya yaitu mengurangi kadar *TSS* tanpa melewati *WWTP*, yang diharapkan dapat menghemat biaya dalam pengolahan limbah cair yang disebabkan oleh air limpasan batubara tersebut.



Gambar 2 Skema gagasan baru aliran air limpasan batubara

Proses gagasan barunya yaitu mengurangi kadar *TSS* tanpa melewati *WWTP*, yang diharapkan dapat menghemat biaya dalam pengolahan limbah cair yang disebabkan oleh air limpasan batubara tersebut.

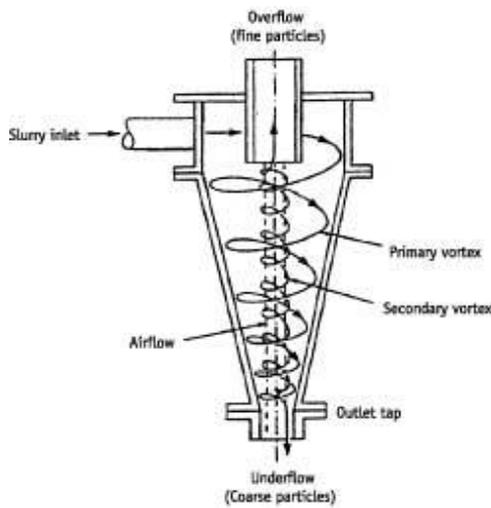
1.1. Landasan Teori

A. Hydrocyclone

Hydrocyclone merupakan gabungan dari dua kata yaitu *hydro* dan *cyclone*. *Hydro* dapat diartikan air ataupun cairan, sedangkan *cyclone* dapat diartikan sebagai pusaran. Sehingga *hydrocyclone* diartikan sebagai pusaran air. Dalam penggunaannya secara nyata *hydrocyclone* dapat diartikan sebagai suatu alat yang dapat memisahkan material ataupun partikel dari suatu komposisi campuran baik berbentuk padatan dengan cairan ataupun cairan dengan cairan.

Gambar 3 menunjukkan prinsip kerja dari *hydrocyclone*, yaitu terdapatnya kumpulan partikel dan air yang masuk dalam arah tangensial ke dalam siklon pada bagian masukannya. Kumpulan air dan partikel ditekan ke bawah secara spiral (*primary vortex*) karena bentuk dari siklon. Gaya sentrifugal menyebabkan partikel terlempar ke arah luar membentur dinding dan kemudian bergerak turun ke dasar *hydrocyclone*. Dekat dengan bagian dasar *hydrocyclone*, air bergerak membalik dan bergerak ke atas dalam bentuk spiral yang lebih kecil (*secondary vortex*) partikel yang lebih ringan bergerak keluar dari bagian puncak *hydrocyclone* sedangkan partikel yang berat keluar dari dasar *hydrocyclone* (Cheremisnoff, 2000). Adapun fluida yang sudah terpisah dengan padatan didalamnya

(berkurang kandungan *TSS*nya) akan masuk kepada *core* dan keluar sebagai *overflow* dengan *TSS* yang telah berkurang.



Gambar 3. Prinsip kerja *hydrocyclone* (GN Solids Control, 2010)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas Aliran dan kecepatan aliran

$$Q_i = Q_o + Q_u \dots\dots\dots(1)$$

2. Massa jenis campuran

$$\rho_m = 100/[C_w/\rho_s + [100-C_w]/\rho_l] \dots\dots\dots(2)$$

3. Tekanan

$$P = \rho_m \times g \times H_t \dots\dots\dots(3)$$

4. Gaya entrifugal

$$F_s = \frac{m \cdot v_b^2}{r_h} \dots\dots\dots(4)$$

5. Efisiensi *hydrocyclone*

$$E_{TSS} = 1 - \frac{TSS_o}{TSS_I} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

B. Computational Fluid Dynamic

CFD adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali jenis dan karakteristik tertentu yang begitu kompleks, *CFD* melakukan pendekatan dengan metode numerasi serta menggunakan persamaan-persamaan fluida. *CFD* merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol

dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya.

Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau *software*. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebutkan tadi atau *meshing*. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan *domain* dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip ini adalah *Finite Element Analysis (FEA)* yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid. (Amit, 2009)

Tahapan proses penghitungan menggunakan metode *CFD*:

1. Preprocessor

Preprocessor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Ditahap itu juga sebuah benda atau ruangan yang akan analisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering disebut juga dengan *meshing*. Pada tahapan ini dapat menggunakan *software Catia V5R14* untuk menggambar model benda yang akan disimulasi dan *software gambit* untuk membagi jumlah grid benda (*meshing*) benda yang akan disimulasi.

2. Processor

Tahap selanjutnya adalah *processor*, pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara *iteratif*. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju *error* terkecil

atau hingga mencapai nilai yang *konvergen*. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. Pada tahapan ini digunakan *software* yang dapat melakukan penghitungan yaitu *Fluent 6.3.26*.

3. Post processor

Tahap akhir merupakan tahap *post processor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Dengan menggunakan *software Fluent 6.3.26* pula tahapan ini dilakukan.

2. Metode Penelitian

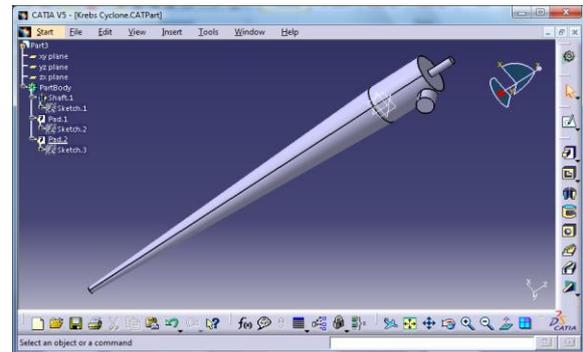
Metode penghitungan CFD dapat dilakukan dengan mengambil sampel data yang akan dilakukan pengujian. Sampel air limpasan batubara diambil dari *coal run off basin* dan *pump pit*. Lokasi tersebut merupakan tampungan awal air limpasan batubara, sehingga diharapkan nilai *TSS*nya cukup tinggi. Pada tabel 2. dapat dilihat data sampel air limpasan batubara.

Tabel 2. Sampel air limpasan batubara

Tempat	TSS (mg/l)
Coal Run Off basin	123
Pump Pit kedalaman 3,5 meter	126
Pump Pit kedalaman 2 meter	120
Pump Pit kedalaman 1 meter	108

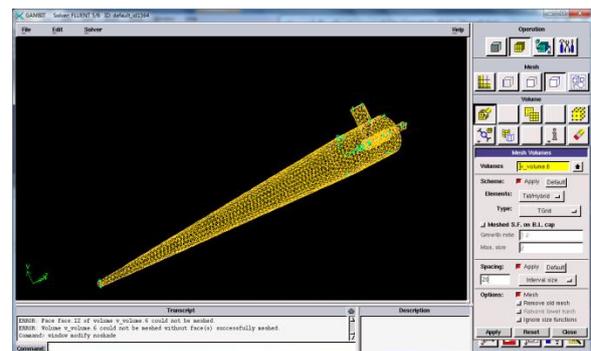
Berdasarkan data tabel 3.1, dapat diperoleh nilai massa jenis air limpasan batubara. Massa jenis air limpasan batubara tersebut digunakan sebagai kondisi operasi pada tahapan penghitungan. Massa jenis didapatkan nilai sebesar $\rho_m = 1000 \text{ kg/m}^3$. Besarnya tekanan masuk *hydrocyclone* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan tekanan. Pada penghitungan ini dibatasi nilai tekanan masuk adalah 41368,5437 Pascal, 68947,5729 Pascal, 103421,3594 Pascal, 247111,2 Pascal dan 274568 Pascal. Tahapan sebelum melakukan penghitungan adalah

Menggambar fisik *hydrocyclone* seperti pada gambar 4.



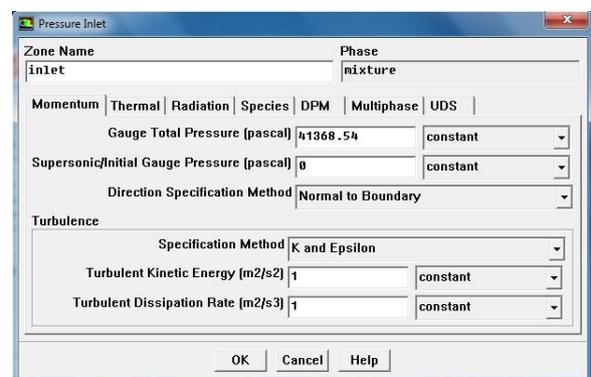
Gambar 4. Model 3D *hydrocyclone*

Tahapan berikutnya dengan mengimport gambar 4 pada *software* gambit guna dilakukan pencacahan.



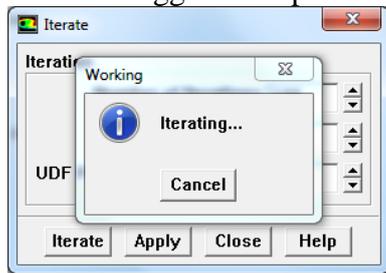
Gambar 5 Hasil meshing

Tahapan terakhir adalah simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software fluent 6.3.26*.



Gambar 6. Menentukan kondisi batas

Penentuan kondisi batas dan variasi tekanan dilakukan pada tahapan ini. Selanjutnya adalah proses iterasi, penghitungan dilakukan secara otomatis hingga mencapai konvergen.



Gambar 7. Proses iterasi

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari proses penghitungan berupa kontur kecepatan seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil simulasi tekanan 41368,5437 Pascal

Hasil perhitungan menggunakan CFD untuk semua variasi dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil penghitungan CFD

Tekanan (Pascal)	Debit overflow (m ³ /s)	Fs (N)	TSS overflow (kg/m ³)	η (%)
41368,5437	0,03956	0,0006	0,00715	94,32
6894,5729	0,06923	0,0015	0,00555	95,59
103421,359	0,08583	0,0022	0,00548	95,64
247111,2	0,14677	0,0055	0,00455	96,38
274568	0,19669	0,0061	0,00428	96,59

Hasil percobaan *hydrocyclone* dilapangan dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

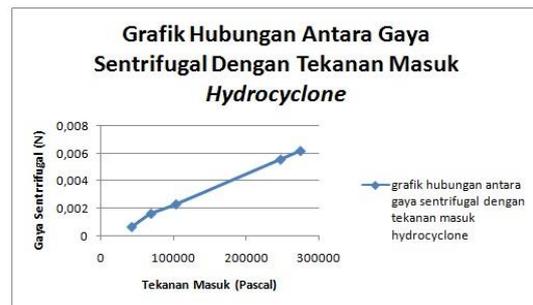
Tabel 4. Hasil percobaan dilapangan

Tekanan (Pascal)	Efisiensi (%)
42368,5437	72,81

68947,5729	73,63
103421,3594	74,16
247111,2	Tidak mampu
274568	Tidak mampu

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh dari simulasi maupun percobaan dilapangan, didapatkan beberapa hubungan.

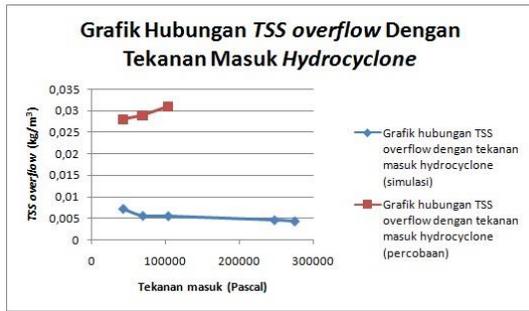
1. Hubungan Tekanan Masuk *Hydrocyclone* dengan Gaya Sentrifugal



Gambar 9. Grafik Hubungan Tekanan Masuk *Hydrocyclone* dengan Gaya Sentrifugal

Berdasarkan gambar 9 tersebut terlihat bahwa hubungan antara gaya sentrifugal dengan tekanan masuk *hydrocyclone* adalah sebanding. Apabila tekanan masuk bertambah besar maka gaya sentrifugal yang dialami oleh partikel batubara juga akan bertambah besar. Sehingga partikel batubara yang terlempar ke dinding *hydrocyclone* akan semakin banyak yang mengakibatkan partikel batubara yang keluar melalui lubang *underflow* semakin banyak. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa pada tekanan 274568 Pa terjadi gaya sentrifugal tertinggi dengan nilai 0,006184 Newton, sedangkan gaya sentrifugal terendah terjadi pada tekanan 42368,5437 Pa dengan nilai 0,000634 Newton.

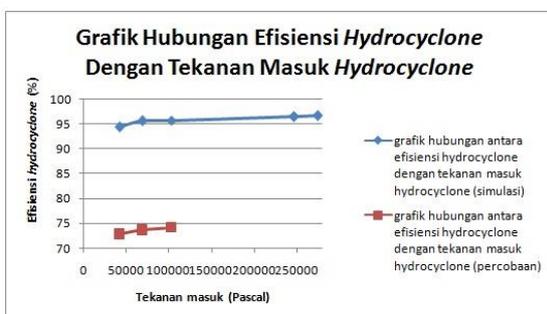
2. Hubungan Tekanan Masuk *Hydrocyclone* dengan TSS overflow



Gambar 10. Grafik Hubungan Tekanan Masuk Hydrocyclone dengan TSS overflow

Berdasarkan gambar 10 ditunjukkan bahwa hubungan TSS overflow dengan tekanan masuk hydrocyclone adalah untuk percobaan di lapangan mengalami kenaikan nilai TSS overflow, sedangkan pada simulasi mengalami penurunan TSS overflow jika tekanan masuk hydrocyclone semakin bertambah besar. Hal ini terjadi karena pada percobaan di lapangan nilai TSS yang masuk ke dalam hydrocyclone mengalami perubahan. Apabila tekanan masuk hydrocyclone diperbesar maka kandungan TSS yang masuk ke hydrocyclone akan mengalami kenaikan (hisapan pompa semakin tinggi) sehingga kandungan TSS overflow juga mengalami kenaikan. Pada simulasi besarnya TSS yang masuk menuju hydrocyclone adalah konstan walaupun tekanannya berubah-ubah. Sehingga diperoleh grafik seperti gambar 4.7 (garis warna biru). Atau jika tekanan semakin besar maka TSS overflow akan semakin kecil nilainya. TSS overflow terendah terjadi pada saat tekanan 274568 Pa dengan nilai 0,004284332 kg/m³ atau 4,284332 mg/l.

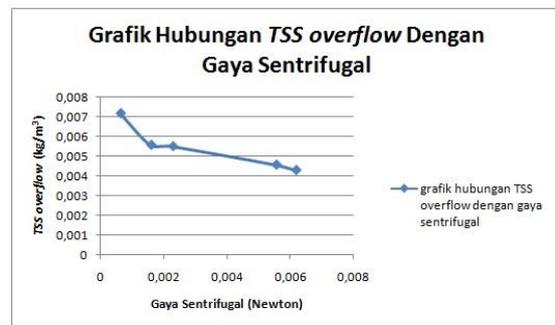
3. Hubungan Tekanan Masuk Hydrocyclone dengan Efisiensi Hydrocyclone



Gambar 11. Grafik Hubungan Tekanan Masuk Hydrocyclone dengan Efisiensi Hydrocyclone

Berdasarkan gambar 11 tersebut hubungan antara efisiensi hydrocyclone dengan tekanan masuk hydrocyclone adalah sebanding. Semakin besar tekanan yang masuk ke hydrocyclone maka semakin besar pula efisiensi hydrocyclone. Namun peningkatan efisiensinya sangat kecil yaitu sekitar 1,328 % sehingga pada grafik tidak terlalu terlihat peningkatannya. Efisiensi tertinggi berdasarkan simulasi terjadi pada tekanan 274568 Pa dengan nilai 96,59 %.

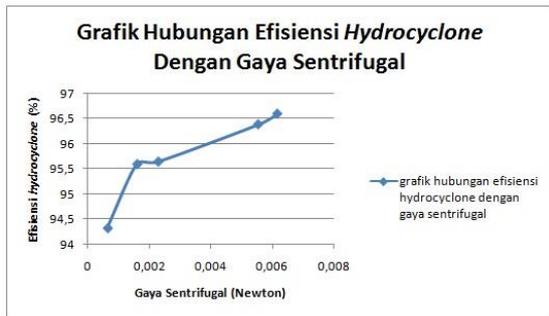
4. Hubungan Gaya Sentrifugal dengan TSS overflow



Gambar 12. Grafik Hubungan Gaya Sentrifugal dengan TSS overflow

Berdasarkan gambar 12 dapat dilihat bahwa semakin besar gaya sentrifugal maka kandungan TSS yang keluar dari saluran overflow semakin menurun. Hal ini terjadi karena gaya sentrifugal yang dialami oleh partikel batubara membuat partikel batubara tersebut terlempar pada dinding hydrocyclone dan keluar melalui saluran underflow. Sehingga air yang keluar melalui saluran overflow mengandung partikel batubara yang sedikit (TSS rendah).

5. Hubungan Gaya Sentrifugal dengan Efisiensi Hydrocyclone



Gambar 13. Grafik Hubungan Gaya Sentrifugal dengan Efisiensi Hydrocyclone

Berdasarkan gambar 13 dapat dilihat bahwa hubungan antara efisiensi hydrocyclone dengan gaya sentrifugal adalah sebanding. Semakin besar gaya sentrifugal yang dialami partikel batubara maka semakin besar pula efisiensi hydrocyclonenya. Hal ini berarti semakin besar gaya sentrifugal yang dialami partikel maka pemisahan partikelnya semakin baik.

6. Batas maksimal kadar TSS yang dapat dipisahkan menggunakan hydrocyclone.

Nilai efisiensi hydrocyclone yang telah diketahui berdasarkan simulasi maupun percobaan di lapangan, maka dapat ditentukan berapa besar TSS yang masuk hydrocyclone jika TSS overflow maksimum (100 mg/l = 0,1 kg/m³) sesuai ketentuan kementerian lingkungan hidup agar dapat dibuang langsung ke laut. Untuk mencegah terjadinya gangguan atau hambatan yang terjadi maka dipilih nilai efisiensi yang terendah sebagai acuannya. Efisiensi hydrocyclone terendah berdasarkan simulasi memiliki nilai 94,32 %, sedangkan untuk Efisiensi hydrocyclone terendah berdasarkan percobaan memiliki nilai 72,81 %. Berdasarkan persamaan 2.13 dapat dihitung besarnya kandungan TSS yang masuk hydrocyclone seperti berikut ini:

1. Berdasarkan simulasi

$$E_{TSS} = \left(1 - \frac{TSS_0}{TSS_1}\right) \times 100\%$$

$$94,32 = 1 - \frac{100}{TSS_1} \times 100\%$$

$$\frac{94,32}{100} = 1 - \frac{100}{TSS_1}$$

$$0,9432 = \frac{TSS_1 - 100}{TSS_1}$$

$$0,9432 TSS_1 = TSS_1 - 100$$

$$100 = TSS_1 - 0,9432 TSS_1$$

$$100 = 0,0569 TSS_1$$

$$TSS_1 = \frac{100}{0,0569}$$

$$TSS_1 = 1757,4692 \text{ mg/l}$$

$$TSS_1 = 1,7574692 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan perhitungan diatas, untuk mencapai TSS overflow maksimum berdasarkan simulasi, TSS maksimum yang masuk hydrocyclone adalah 1,7574692 kg/m³. Sehingga jika air limpasan batubara di pump pit kurang dari 1,7574692 kg/m³ maka dengan hydrocyclone ini air limpasan batubara dapat dibuang langsung ke laut dan sesuai dengan ketentuan kementerian lingkungan hidup. Namun jika air limpasan batubara memiliki kandungan TSS lebih dari 1,7574692 kg/m³ maka air limpasan batubara tersebut harus diendapkan terlebih dahulu.

Berdasarkan percobaan secara langsung, untuk mencapai TSS overflow maksimum berdasarkan simulasi, TSS maksimum yang masuk hydrocyclone adalah 0,36778227 kg/m³. Sehingga jika air limpasan batubara di pump pit kurang dari 0,36778227 kg/m³ maka dengan hydrocyclone ini air limpasan batubara dapat dibuang langsung ke laut dan sesuai dengan ketentuan kementerian lingkungan hidup. Namun jika air limpasan batubara memiliki kandungan TSS lebih dari 0,36778227 kg/m³ maka air limpasan batubara tersebut harus diendapkan terlebih dahulu.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perhitungan dengan menggunakan metode computational fluid dynamic (CFD) dapat dijadikan sebagai acuan pemasangan hydrocyclone pada pengolahan air limbah di PT PLN (Perseo) Pembangkitan Tanjung Jati B Unit 3 dan 4 karena memiliki efisiensi hydrocyclone tertinggi sebesar 96,59 %.

2. Berdasarkan simulasi, semakin besar nilai tekanan masuk *hydrocyclone* maka semakin kecil nilai *TSS* yang keluar melalui saluran *overflow*. Hal ini terjadi karena gaya sentrifugal yang dialami partikel batubara semakin besar, sehingga partikel akan terlempar ke dinding *hydrocyclone* dan jatuh melewati saluran *underflow*.
3. Semakin besar tekanan masuk pada *hydrocyclone* maka semakin besar pula efisiensi *hydrocyclone* tersebut. Berdasarkan simulasi nilai efisiensi *hydrocyclone* tertinggi pada tekanan 274568 Pascal dengan nilai 96,59 %. Sedangkan berdasarkan percobaan secara langsung efisiensi tertinggi terjadi pada tekanan 103421,3594 dengan nilai 74,16 %.
4. Berdasarkan simulasi, untuk memenuhi syarat KLH ($TSS < 100 \text{ mg/l}$), *hydrocyclone* mampu memisahkan kadar *TSS* maksimum hingga sebesar 1757,4692 mg/l ($1,7574692 \text{ kg/m}^3$), sedangkan berdasarkan percobaan di lapangan kadar *TSS* maksimum hingga sebesar 367,78227 mg/l ($0,36778227 \text{ kg/m}^3$).

DAFTAR PUSTAKA

- Agil Y, Sudarwanto dan I. Andriyanto. 2013. *Pengaruh Rancang Bangun Hydrocyclone Terhadap Performa Pemisahan Partikel Pengotor Dalam Campuran*. Jakarta: Universitas Mercubuana. (makalah)
- Amit, K. 2009. *CFD Modeling of Gas-Liquid-Solid Fluidized Bed*. Department of Chemical Engineering. Rourkela: National Institute of Technology. (buku)
- Cheremisinoff, N.P. 2000. *Handbook of chemical processing equipment*. United States of America: Butterworth-heinemann. (buku)
- Taranggono, Subagya, dan Rachmat U. 2000. *SAINS FISIKA 1a*. Jakarta: Bumi Aksara. (Buku)
- Taranggono, Subagya, dan Rachmat U. 2001. *SAINS FISIKA 1b*. Jakarta: Bumi Aksara. (Buku)
- Thomas E, W. 2005. *Clarifier design second edition*. Alexanderia: Water Environment Federation. (buku)