

KOMPARASI MASA JENIS ALIRAN MASUK TERHADAP NILAI *TOTAL SUSPENDED SOLID* (TSS) PADA *OVERFLOW HYDROCYCLONE* MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD) PADA PT. PLN (PERSERO) PEMBANGKITAN TANJUNG JATI B UNIT 3 DAN 4

M. Syaiful Fuad⁽¹⁾, Mulyono⁽²⁾, Suwarti⁽²⁾

⁽¹⁾Mahasiswa Prodi Teknik Konversi Energi Polines Semarang

⁽²⁾Pengajar Prodi Teknik Konversi Energi Polines Semarang

Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Kotak Pos 6199 SMS, Semarang 50329

Telp. 7473417, 7466420 (Hunting), Fax. 7472396,

<http://www.polines.ac.id>, e-mail : secretariat@polines.ac.id

Abstrak

“PT. PLN (Persero) Pembangkitan Tanjung Jati B Unit 3 Dan 4 menangani air limpasan batubara dilakukan dengan mengendapkan pada coal runoff basin, dan mengalirkan ke WWTP untuk mengkondisikan air limpasan batubara sesuai peraturan KLH sebelum dibuang ke laut. Air limpasan batubara parameter yang tidak memenuhi standart KLH adalah nilai total suspended solid (TSS), nilainya diatas 100 mg/l sebab inilah ketidak efektifan air limpasan batubara diproses pada WWTP, karena hanya untuk menurunkan nilai TSS. Terdapat gagasan untuk mengganti proses pada WWTP dengan hydrocyclone. Penggunaan hydrocyclone dilapangan terlebih dahulu dilakukan pembuktian secara ilmiah melalui simulasi dengan metode computational fluid dynamic (CFD). Penelitian bertujuan untuk membandingkan pengaruh jumlah padatan berupa lumpur batubara didalam air limpasan batubara terhadap kinerja hydrocyclone. Metode penelitian menggunakan CFD, ada 3 tahapan, pertama pembuatan model 3 dimensi, kedua proses pencacahan, dan ketiga proses simulasi. Dari hasil simulasi dengan nilai masa jenis 1000,23 kg/m³ nilai efisiensi 95,28 % dan pada nilai masa jenis 1002,38 kg/m³ nilai efisiensi 99,95 %. Hasil simulasi hydrocyclone efisiensi terbaik pada nilai masa jenis 1002,38 kg/m³ dengan nilai efisiensi 99,95 %. Dapat disimpulkan hydrocyclone mampu memisahkan padatan berupa lumpur batubara dan air didalam air limpasan batubara dengan range nilai masa jenis 1000,23 kg/m³ sampai 1002,38 kg/m³.”

Kata kunci: Hydrocyclone, computational fluid dynamic (CFD), TSS

1. PENDAHULUAN

Pada proses produksi PLTU dihasilkan berbagai macam limbah. Limbah yang dihasilkan berupa limbah cair, limbah padat, dan limbah gas buang. Salah satu sumber limbah cair adalah air limpasan batubara yang bersumber dari air hujan dan penyiraman air untuk penanganan abu batubara.

Penanganan air limpasan batu bara dilakukan dengan cara menampung pada kolam air limpasan batubara (*coal run-off basin*) ini bertujuan untuk proses pengendapan lumpur batubara, dengan proses tersebut dapat diharapkan dapat mengurangi jumlah padatan berupa lumpur batubara sehingga air limpasan batubara mempunyai nilai *total suspended solid* (TSS)

yang rendah, setelah proses pengendapan air yang mempunyai nilai TSS yang rendah ditampung pada *pump pit* kemudian disalurkan menuju instalasi pengolahan air limbah (*waste water treatment plant*, WWTP). Pada proses WWTP ini bertujuan untuk mengolah air limbah sesuai yang diijinkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). Air limpasan batu bara nialinya yang tidak sesuai baku mutu KLH sebelum dibuang kelaut adalah nilai TSS diatas 100 mg/l.

Pada proses penanganan air limpasan batubara membutuhkan bnyak energi sehingga muncul gagasan untuk mengganti skema alir air limpasan batubara yang semula menggunakan WWTP diganti menggunakan *hydrocyclone*. Untuk

membuktikan secara ilmiah sebelum *hydrocyclone* digunakan dilapangan maka terlebih dahulu dilakukan pembuktian melalui simulasi dengan metode *computational fluid dynamic* (CFD).

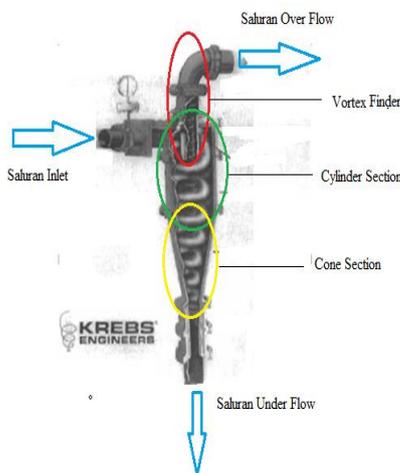
Dasar Teori

A. Hydrocyclone

Hydrocyclone merupakan suatu alat yang dapat memisahkan material ataupun partikel dari suatu komposisi campuran baik berbentuk padatan dengan cairan ataupun cairan dengan cairan (Cheremisnoff dan Nicholas P, 2000).

Hydrocyclone banyak digunakan dalam industri, karena kesederhanaan didalam desain, kapasitas tinggi, pemeliharaan rendah, biaya operasional rendah, dan ukuran fisik kecil. Pemilihan pengoperasian ini identik dengan keuntungannya yang mempunyai efisiensi pengumpulan didalam operasi. kekurangan menggunakan *hydrocyclone* untuk pengumpulan efisiensi yang tinggi hanya terbatas pada partikel yang mempunyai ukuran besar.

Bagian dari *hydrocyclone*



Gambar 1. *Hydrocyclone*

Hydrocyclone terdiri dari bagian diameter lubang masuk (*inlet area*), *cylindrical section*, *Vortex finder*, dan *Cone section*.

Prinsip kerja dari *hydrocyclone* adalah terdapatnya kumpulan padatan dan air yang masuk dalam arah tangensial ke dalam siklon pada bagian puncaknya. Kumpulan air dan padatan ditekan ke bawah secara spiral (*primary vortex*) karena bentuk dari siklon

(Cheremisnoff dan Nicholas P, 2000). Gaya sentrifugal menyebabkan padatan yang mempunyai masa jenis lebih besar terlempar ke arah luar, membentur dinding dan kemudian bergerak turun ke dasar *hydrocyclone* dan keluar melalui saluran (*under flow*). Dekat dengan bagian dasar *hydrocyclone*, padatan yang mempunyai masa jenis lebih kecil bergerak membalik dan bergerak ke atas dalam bentuk spiral yang lebih kecil (*secondary vortex*) bergerak keluar dari bagian puncak melalui saluran (*overflow*) *hydrocyclone*. Hasilnya air yang keluaran saluran (*overflow*) *hydrocyclone* mengandung jumlah padatan yang lebih kecil.

Persamaan yang Digunakan pada *Hydrocyclone*.

1. Kapasitas Aaliran

$$Q = A \cdot v$$

dimana: Q = kapasitas aliran (m^3/s)

v = kecepatan aliran (m/s)

A = luas penampang (m^2)

2. Gaya sentrifugal

$$F_c = m_b v_s^2 / r_h$$

dimana : F_c = gaya sentrifugal (kgm/s^2)

m_b = massa batu bara (kg)

v_s = kecepatan aliran silinder (m/s)

r_h = jari-jari silinder (m)

3. Nilai *total suspended solid* (TSS)

$$TSS_o = \frac{F_c}{v_s Q_o}$$

dimana : TSS_o = *Total Suspended Solid* (Kg/m^3)

F_c = gaya sentrifugal (N)

v_s = kecepatan aliran silinder (m/s)

Q_o = kapasitas aliran *over flow*

(m^3/s)

4. Efisiensi *hydrocyclone*

$$E_{TSS} = 1 - \frac{TSS_o}{TSS_i}$$

dimana: E_{TSS} = Efisiensi *hydroclone* (%)

TSS_o = TSS pada *overflow* (Kg/m^3)

TSS_i = TSS pada *inlet* (Kg/m^3)

B. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Komputasi dinamika fluida (*computational fluid dynamic*, CFD) merupakan cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode angka dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa masalah yang terjadi pada aliran fluida.

Secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama:

1. *Pre-process*
2. *Processor*
3. *Post Processor*

Pre-process merupakan tahapan pertama didalam merancang dan menganalisa aliran didalam pemodelan. *Preprocessor* mengandung masukan dari permasalahan yang dialami oleh aliran.

Processor adalah tahap 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.

Post Processor adalah langkah terakhir dalam CFD, dimana hasil perhitungan ditampilkan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu.

Keuntungan dari *computational fluid dynamic* (CFD)

- Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
- Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan dalam eksperimen.
- Memiliki kemampuan untuk studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
- Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi tersebut mencakup semua

kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir ini. Metodologi tugas akhir ini dapat dilihat secara lengkap melalui gambar 4. penjelasan untuk seluruh proses dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Identifikasi dan perumusan masalah

Pada proses ini akan dilakukan suatu identifikasi dan perumusan masalah yaitu tentang analisa perhitungan *hydrocyclone* dengan metode *computational fluid dynamics* (CFD), dimana variabel yang divariasikan adalah masa jenis, yang nantinya akan dihasilkan hubungan antara masa jenis dengan efisiensi.

2. Studi literatur

Studi literatur dengan tujuan untuk merangkum teori-teori dasar, acuan secara umum dan khusus, serta untuk memperoleh berbagai informasi pendukung lainnya yang berhubungan dengan pengerjaan tugas akhir ini. Studi literatur ini dapat diperoleh dari buku, jurnal, paper atau dari internet yang mendukung bahasan dari tugas akhir ini.

3. Metode Bimbingan

Bimbingan dilakukan dengan tanya jawab dengan pihak yang berkepentingan dan berkompeten pada bahasan ini.

4. Pembuatan model *hydrocyclone*

Merupakan tahap pembuatan model dengan dimensi yang telah ditentukan. Nilai dimensi *hydrocyclone* ditabelkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Dimensi ukuran fisik *hydrocyclone*

Panjang (m)			Diameter (m)			
Over flow	Silinder	Cone	Inlet	Under flow	Over flow	Silinder
0,105	0,242454	1,435	0,0708	0,0263	0,032	0,16

5. Pencacahan model

Merupakan tahap pencacahan (*meshing*) terhadap model.

6. Simulasi model

Merupakan tahapan terstruktur yang berisi tahapan-tahapan penyelesaian masalah aliran fluida. Pada simulasi *hydrocyclone* memvariasikan nilai masa jenis tiap aliran, variasi nilai masa jenis sebanyak 7 kali dengan nilai masa jenis 1000,233744 Kg/m³, 1001,286944 Kg/m³, 1001,839506 Kg/m³, 1002,146748 Kg/m³, 1002,273315 Kg/m³,

1002,342364 Kg/m³, dan 1002,385845 Kg/m³. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan yang mengalir pada *hydrocyclone* akibat adanya variasi nilai masa jenis pada efisiensi *hydrocyclone*.

7. Analisa Data dan Pembahasan

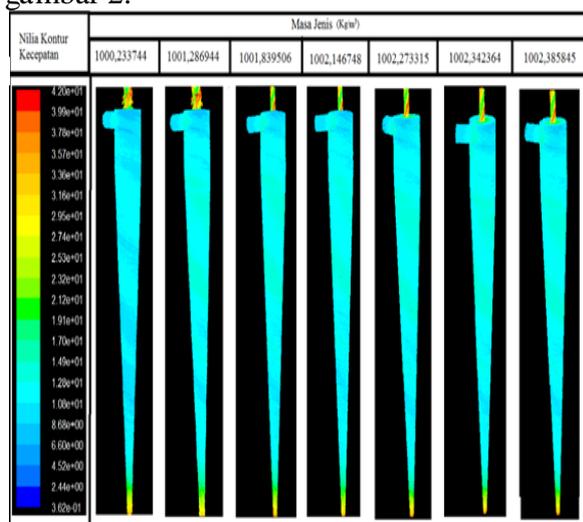
Setelah simulasi pada CFD selesai selanjutnya adalah analisa data dan pembahasan yaitu membandingkan data yang sudah didapat dari pengujian model pada tiap – tiap variable serta menampilkan data tersebut dalam grafik.

8. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa data dan pembahasan selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data yang sudah dilakukan.

3. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dari hasil simulasi *hydrocyclone* didapatkan data yang dibutuhkan untuk analisa yaitu kecepatan yang terjadi di *hydrocyclone*, baik pada sisi *inlet*, sisi *underflow* maupun *overflow*. Data-data tersebut akan digunakan untuk analisa lebih lanjut mengenai distribusi aliran fluida pada masing-masing *hydrocyclone* yang nantinya akan berpengaruh terhadap, efisiensi dari *hydrocyclone*. Hasil simulasi berupa kontur kecepatan pada *hydrocyclone* dari beberapa nilai variasi masa jenis dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil simulasi dari beberapa nilai masa jenis berupa kontur kecepatan pada *hydrocyclone*

Analisa Data Hasil Simulasi

Pada tahap ini, diperoleh data yang diperoleh dari proses simulasi yaitu kecepatan *inlet*, *silinder*, *overflow*, dan *underflow* dari beberapa nilai masa jenis dapat ditabulasikan pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai kecepatan *inlet*, *silinder*, *overflow*, dan *underflow* dari beberapa variasi nilai masa jenis.

no	p (Kg/m3)	V Inlet (m/s)	V Silinder (m/s)	V Under flow (m/s)	V Over flow (m/s)
1	1000,234	10	20	31,7	41,96
		10	20	28	36,6
		10	20	26	30,3
Rata-rata		10	20	28,56666667	36,28666667
2	1001,287	10	23	31,8	40,9
		10	23	28,5	36
		10	23	26	30,7
Rata-rata		10	23	28,76666667	35,86666667
3	1001,839	10	22,5	31,8	40,8
		10	22,5	28,7	35,7
		10	22,5	26,7	30,1
Rata-rata		10	22,5	29,06666667	35,53333333
4	1002,147	10	22	32,8	42,8
		10	22	28,7	34
		10	22	26,7	29,3
Rata-rata		10	22	29,4	35,36666667
5	1002,273	10	21,5	33,8	40,89
		10	21,5	28,7	34
		10	21,5	26,7	28,7
Rata-rata		10	21,5	29,73333333	34,53
6	1002,343	10	21	34,8	40,9
		10	21	28,7	31,7
		10	21	26,7	27,5
Rata-rata		10	21	30,06666667	33,36666667
7	1002,386	10	20,5	35,7	40,9
		10	20,5	29,5	30,8
		10	20,5	28,4	27,8
Rata-rata		10	20,5	31,2	33,16666667

Pada tahap ini, diperoleh data dari hasil perhitungan yang dilakukan berdasarkan persamaan yang digunakan pada *hydrocyclone* dan dapat ditabulasikan pada tabel 3.

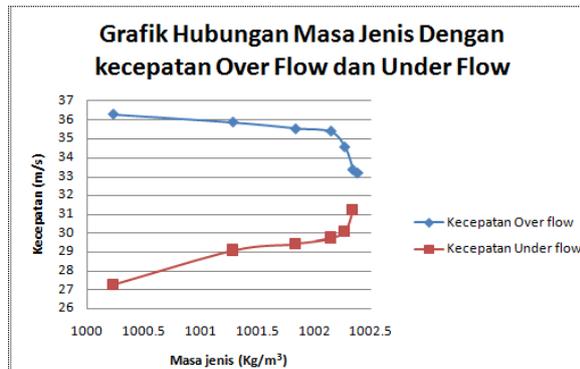
Tabel 3 Hasil perhitungan simulasi menggunakan metode CFD pada *hydrocyclone*

p (kg/m ³)	Qi (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	Fc (N)	TSS (kg/m ³)	TSSo (kg/m ³)	η (%)
1000,234	0,039349	0,0291687	0,0167599	0,005	0,1	0,00472	95,276
1001,287	0,039349	0,0288311	0,0163255	0,0066	1	0,00639	99,361
1001,839	0,039349	0,0285631	0,0163255	0,0063	2,5	0,00624	99,751
1002,147	0,039349	0,0284291	0,0163255	0,0061	5	0,00602	99,88
1002,273	0,039349	0,0277566	0,0159635	0,0058	7,5	0,00603	99,92
1002,343	0,039349	0,0268215	0,0159635	0,0055	10	0,00616	99,938
1002,386	0,039349	0,0266607	0,0159635	0,0053	12,5	0,00594	99,952

Pembahasan

Data-data yang ada didalam tabel 2 dan tabel 3 diplotkan kedalam bentuk grafik untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing model yang telah divariasikan.

Hubungan antara variasi masa jenis dengan kecepatan pada hydrocyclone.

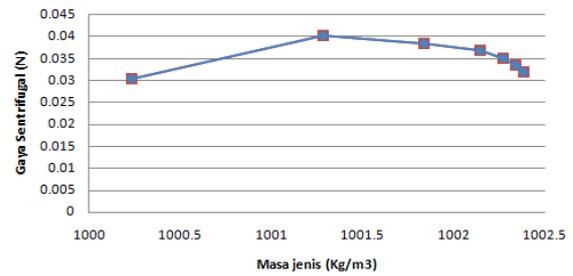


Gambar 3. Grafik hubungan antara masa jenis dengan kecepatan *over flow* dan *under flow*

Berdasarkan grafik hubungan masa jenis dengan kecepatan, pada sisi *over flow* didapat hubungan berbanding terbalik, semakin besar nilai masa jenis maka nilai kecepatan *over flow* semakin kecil. Nilai kecepatan *over flow* bergerak turun dari 36,2867 m/s sampai 33,167 m/s. Nilai kecepatan *over flow* terbesar pada masa jenis 1000,234 Kg/m³ yang mempunyai nilai 36,2867 m/s, sedangkan Nilai kecepatan *over flow* terkecil pada masa jenis 1002,386 Kg/m³ yang mempunyai nilai 33,167 m/s. pada sisi *under flow* didapat hubungan sebanding dengan kenaikan nilai masa jenis, semakin besar nilai masa jenis maka nilai kecepatan *under flow* semakin besar. Nilai kecepatan *under flow* bergerak naik dari 28,567 m/s sampai 31,2 m/s. Nilai kecepatan *under flow* terbesar pada masa jenis 1002,386 Kg/m³ yang mempunyai nilai 31,2 m/s, sedangkan nilai kecepatan *over flow* terkecil pada masa jenis 1000,234 Kg/m³ yang mempunyai nilai 28,567 m/s.

Hubungan antara variasi masa jenis dengan gaya sentrifugal pada hydrocyclone.

Grafik Hubungan Masa Jenis dengan Gaya Sentrifugal

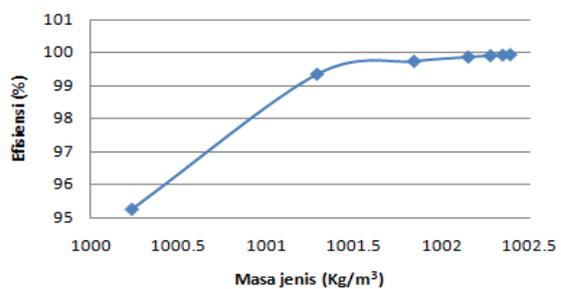


Gambar 4. Grafik hubungan masa jenis dengan gaya sentrifugal

Berdasarkan grafik hubungan masa jenis dengan gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal bergerak naik dari 0,005 N sampai 0,0066 N setelahnya mengalami penurunan sampai pada nilai gaya sentrifugal 0,0053 N. Nilai gaya sentrifugal terbesar pada masa jenis 1001,287 Kg/m³ yang mempunyai nilai 0,0066 N, sedangkan nilai gaya sentrifugal terkecil pada masa jenis 1000,234 Kg/m³ yang mempunyai nilai 0,005 N.

Hubungan antara variasi masa jenis dengan efisiensi pada hydrocyclone.

Grafik Hubungan Masa Jenis dengan Efisiensi



Gambar 5. Grafik hubungan masa jenis dengan efisiensi

Berdasarkan grafik hubungan masa jenis dengan efisiensi, pada sisi *over flow* didapat hubungan sebanding dengan kenaikan nilai masa jenis maka nilai efisiensi semakin besar, Nilai efisiensi bergerak naik dari 95,28 %, sampai 99,95 %. Nilai efisiensi terbesar pada masa jenis 1002,386 Kg/m³ yang mempunyai nilai 99,95 %, sedangkan nilai efisiensi terkecil pada masa jenis 1000,234 Kg/m³ yang mempunyai nilai 95,28 %.

4. KESIMPULAN

Dari Simulasi dan hasil yang telah diperoleh, dapat disimpulkan :

1. Hubungan masa jenis terhadap kecepatan pada nilai masa jenis 1000,234 kg/m³ sampai 1002,386 kg/m³ pada sisi *over flow* adalah berbanding terbalik semakin besar nilai masa jenis maka nilai kecepatan *over flow* semakin kecil, sedangkan pada sisi *under flow*, adalah sebanding dengan bertambahnya nilai masa jenis.
2. Hubungan masa jenis terhadap gaya sentrifugal pada nilai masa jenis 1000,234 kg/m³ sampai 1002,386 kg/m³, terdapat titik puncak pada nilai masa jenis 1001,287 Kg/m³ selanjutnya mengalami penurunan nilai gaya sentrifugal sampai pada nilai masa jenis 1002,386 kg/m³.
3. Hubungan masa jenis terhadap efisiensi pada nilai masa jenis 1000,234 kg/m³ sampai 1002,386 kg/m³ adalah berbanding lurus, semakin besar nilai masa jenis maka nilai efisiensi semakin bertambah.
4. *Hydrocyclone* pada *area limestone slurry hydrocyclone* efektif dalam memisahkan antara padatan berupa lumpur batu barabara dengan air pada air limpasan batu bara pada nilai masa jenis 1000,234 kg/m³ sampai 1002,386 kg/m³, ditunjukan dengan nilai *total suspended solid* (TSS) pada sisi *over flow* dibawah nilai

peraturan KLH yaitu +/- 4 mg/l sampai +/- 6 mg/l

DAFTAR PUSTAKA

- Amit Kumar. "CFD Modeling of Gas-Liquid-Solid Fluidized Bed". Orissa: Department of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela.
- Babcock and Wilcox. 2005. "Tanjung Jati B Power Station Flue Gas Desulfurization System Training". The Babcock and Wilcox Company
- Cheremisinoff, Nicholas P. 2000. "Handbook of Chemical Processing Equipment". United States of America: Butterworth-Heinemann.
- Febriant, FX Adeodatus Alfa. 2013. Pengurangan TSS Limbah Cair Coal Yard dengan Menggunakan Hydroclone Pada Pltu Tanjung Jati B. Tugas akhir. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Polines.
- Versteeg H K, W Malasekera. "An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Methode". United States of America: Longman Scientific & Technical.
- Wilson, Thomas E. 2005. "Clarifier Design". United States of America: McGraw-Hill.