

Evaluasi Desain *Piping System Wet Scrubber* Untuk Pengendalian Partikulat Pada Pabrik Gula Candi Baru Sidoarjo

Ariek Rahmat Setyawan^{1*}, George Endri Kusuma², Emie Santoso³

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2}

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: ariekraahmat@student.ppns.ac.id^{1*}; kusuma.george@ppns.ac.id^{2*}; emie.santoso@gmail.com^{3*};

Abstract - Boiler flue gas (flue gas) from the chimney produced from burning fuel also causes air pollution. Exhaust gases caused by combustion may contain materials that are harmful to the environment. Wet scrubber technology is a tool used to control air pollution and remove some harmful particles or gases from the industrial exhaust system of Candi Baru Sidoarjo Sugar Factory. In this work method, the piping system design is suitable for the needs of the wet scrubber, which includes piperouted 3D designs and isometric drawings, as well as piping layout designs. The pipe size used (6", 4", 3½", 2½") for the main pipe, then the size (4", 3", 1½") for the branch pipe. Based on the calculation of the total head manually, the value is 63,410 m and for the pipeflow expert software calculation, the value is 66,110 m with an error percentage value of 4.08%, the pump power used is 20.65 kW for manual calculations and for pipeflow expert software calculations. obtained a value of 21.97 kW with an error percentage value of 6.01%. Then we get the Spiral Jet Nozzle Standard Angle Spray nozzle type. Pump selection using a selection chart and the use of the EBARA 150x100 FS4NA pump was obtained. The results of the efficiency of particulate removal with a water discharge of 90 m³/h which is able to remove particles with a diameter of less than 5µm and has reached an efficiency target of 90%, the wet scrubber design has met the operating criteria. With an estimated material and manpower cost of Rp. 402.421.116.00.

Keywords: Bagasse, Piping System, Wet Scrubber, Nozzle, Pipeflow Expert

Nomenclature

Q	laju aliran (m ³ /s)
V	Standard minimum velocity of process water
ID	minimum inside diameter (m)
V'	Actual velocity system (m/s)
D1	Inside diameter calculate (m)
D2	Inside diameter data (m)
V	Standard minimum velocity of process water (m/s)

1. PENDAHULUAN

Operasi boiler disebagian besar pabrik gula saat ini banyak yang menggunakan pasokan bahan bakar limbah padat berupa amapas tebu (*bagasse*) karena memang lebih efisien ketimbang bahan bakar fosil. Sementara itu gas buang boiler (*flue gas*) dari cerobong yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar juga menimbulkan polusi udara.

Wet scrubber digunakan karena untuk menghilangkan bahan yang tidak diinginkan dari aliran gas yang disebut *absorber*. Apabila arus gas produser mengandung kedua polutan gas dan partikel *wet scrubber* secara umum adalah satu-satunya alat kendali polusi udara yang dapat membuang kedua jenis polutan tersebut. Yang paling umum cairan yang digunakan untuk melakukan sistem kerja ini adalah air.

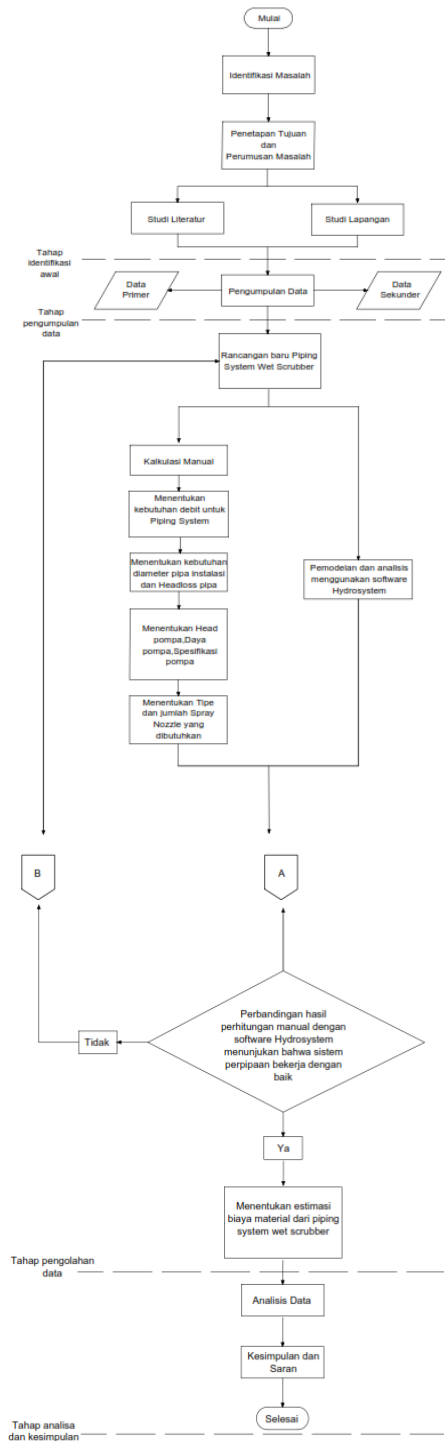
Dalam studi perencanaan ini diawali dengan pembuatan desain *piping system wet scrubber*, kemudian menghitung kalkulasi secara manual yang meliputi penentuan besar debit yang dibutuhkan *piping system*, diameter pipa, *headloss* pipa, menghitung daya pompa, *head* total pompa serta spesifikasi pompa, dan menentukan jenis *spray nozzle* yang diperlukan untuk sistem ini. Kemudian melakukan analisa dengan menggunakan *software* computer *Pipe Flow Expert*.

Hasil dari perhitungan *software* nantinya akan dibandingkan dengan perhitungan manual. Standard yang dapat digunakan sebagai acuan adalah standard ASTM (*American Standard Testing and Material*) A53Gr A.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Untuk diagram alir metodologi pada penelitian kali ini yaitu Desain piping system wet scrubber dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Perhitungan Diameter

Untuk mencari nilai minimum *inside diameter* yang dibutuhkan maka menggunakan persamaan berikut :

$$ID = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{Q}{V}} \quad (1)$$

Kemudian perhitungan *actual velocity* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V' = \frac{D1^2}{D2^2 \times V} \quad (2)$$

2.3 Debit Aliran

Persamaan debit (Q) pada aliran seragam dapat ditentukan dengan mengalikan antara kecepatan dan luas basah saluran [3], atau

$$Q = V \times A \quad (3)$$

2.4 Bilangan Reynold

Bilangan Reynolds bertujuan untuk mengetahui jenis aliran dalam pipa dengan beberapa parameter. Memiliki jenis laminar jika nilai $Re < 2300$, transisi jika $2300 < Re < 4000$, dan turbulen Ketika $Re > 4000$ [3]

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (4)$$

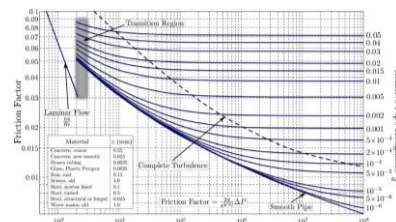
2.5 Koefisien Gesek

Koefisien gesek adalah nilai faktor kerugian yang diakibatkan oleh adanya gesekan antara fluida dan saluran basah pipa. Nilai f berbeda tergantung jenis aliran pada fluida yang dideskripsikan dengan bilangan *Reynolds*-nya [3]. Untuk aliran laminar

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

Sedangkan untuk aliran turbulen dapat diketahui dengan menggunakan *moody diagram* untuk dapat ditemukan *plot point* antara bilangan *Reynold* dan nilai kekasaran relatifnya

$$Kekasaran\ Relatif = \frac{\epsilon}{D} \quad (6)$$



Gambar 2. Moody Diagram

2.6 Persamaan Head Total Pompa

2.6.1 Headloss Mayor

Headloss Mayor dapat didefinisikan sebagai kehilangan energi akibat fluida yang mengalir dalam pipa lurus [3], atau dapat dituliskan:

$$hl_{mayor} = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \quad (7)$$

2.6.2 Headloss Minor

Headloss Minor adalah kehilangan energi akibat komponen system perpipaan (*fitting*) [3], atau dapat dituliskan:

$$hl_{minor} = \frac{K \cdot v^2}{2g} \quad (8)$$

2.6.3 Head Tekan

Head tekan merupakan kerugian akibat perbedaan tekanan antara sisi *suction* dan *discharge* pompa [3], atau dituliskan sebagai berikut:

$$hP = \frac{P2 - P1}{\rho \cdot g} \quad (9)$$

2.6.4 Head Kecepatan

Head kecepatan adalah perbedaan antara kecepatan pada titik hisap pompa dan titik tekan pompa [3], atau dapat dituliskan:

$$hK = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2.g} \tag{10}$$

2.6.5 Head Statik

Head statik adalah kerugian akibat perbedaan ketinggian permukaan air pada titik hisap pompa dan titik tekan pompa [3], atau dapat dituliskan:

$$Z = Z_1 - Z_2 \tag{11}$$

2.6.6 Head Total Pompa

Head total pompa adalah total dari *headloss*, *head* tekan, *head* kecepatan, dan *head* static [3]. Dapat dituliskan sebagai berikut:

$$H = h_{l_{mayor}} + h_{l_{minor}} + h_P + hK + Z \tag{12}$$

2.7 Daya Pompa

Daya pompa dapat dihitung dengan mengalikan fluida yang mengalir per detik dengan energi H [3], atau dapat dituliskan:

$$Ph = \rho \times g \times Q \times H \tag{13}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Diameter Pipa

Detail perhitungan diameter pipa utama dan pipa cabang pada *piping system wet scrubber* bisa dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1: Tabel hasil perhitungan diameter pipa.

Keterangan	Debit (m ³ /h)	Kecepatan Actual (m/s)	Diameter (Inch)
Pipa Suction	90	1,35	6
Pipa Utama Scrubber	30	1,30	3,5
Pipa Utama Mist Eliminator	50	1,68	4
Pipa Utama Cooler	10	1,31	2
Pipa Cabang Scrubber	15	1,33	2,5
Pipa Cabang Mist Eliminator	25	1,45	3
Pipa Cabang Cooler	5	1,03	1,5

3.2 Efisiensi Pengendalian Partikulat

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa untuk efisiensi removal partikulat yang telah dilakukan maka total penurunan efisiensi per layer akan ditunjukkan pada table 2 dibawah ini.

Tabel 2: Tabel hasil perhitungan efisiensi pengendalian partikulat.

Layer	Debit m ³ /h	Efisiensi Removal %
Scrubber	30	32 %
Mist Eliminator	50	47 %
Cooler	10	11 %
Total	90 m³/h	90 %

Diketahui bahwa hasil efisiensi pengendalian/penyisihan partikulat pada desain *wet scrubber* ini dengan debit air sebesar 90 m³/h telah dapat menyisihkan partikulat yang berdiameter kurang dari 5 µm. Dan telah mencapai target efisiensi desain yaitu sebesar 90 %.

3.3 Perhitungan Headloss

Perhitungan *headloss* adalah meliputi *headloss mayor* dan *headloss minor* yang dilakukan menggunakan persamaan (6) dan (7), sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3: Hasil Keseluruhan *Headloss Major* dan *Headloss Minor Piping System Wet Scrubber*.

No	Line	Headloss Major (m)	Headloss Minor (m)
1	Pipa Suction WS-101-ASTM A53Gr.A-6"	0,098	0,867
2	Pipa Utama WS-102-ASTM A53Gr.A-3,5"	1,137	3,564
3	Pipa Utama WS-103-ASTM A53Gr.A-4"	2,039	3,564
4	Pipa Cabang WS-104-ASTM A53Gr.A-2,5"	0,127	5,714
5	Pipa Utama WS-105-ASTM A53Gr.A-4"	2,039	3,564
6	Pipa Cabang WS-106-ASTM A53Gr.A-3"	0,305	2,905
7	Pipa Cabang WS-107-ASTM A53-GrA- 1,5"	0,263	0,225

3.4 Perhitungan Head Tekan

Hasil perhitungan *head* tekan berdasarkan persamaan (8) adalah

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{p_1 - p_2}{\rho \times g} \\ &= \frac{600000 - 70000}{998,97 \times 9,81} \\ &= 54,082 \text{ m} \end{aligned}$$

3.5 Perhitungan Head Kecepatan

Hasil perhitungan *head* tekan berdasarkan persamaan (9) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_v &= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times g} \\ &= \frac{1,73^2 - 0^2}{2 \times 9,81} \\ &= 0,1468 \text{ m} \end{aligned}$$

3.6 Perhitungan Head Statik

Hasil perhitungan *head* statik berdasarkan persamaan (10) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_z &= Z_2 - Z_1 \\ &= 6,823 \text{ m} - 0,426 \text{ m} \\ &= 6,397 \text{ m} \end{aligned}$$

3.7 Perhitungan Head Total Pompa

Hasil perhitungan *head* statik berdasarkan persamaan (11) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} HP &= H_f + H_{fm} + H_v + \Delta P \\ &= 2,931 \text{ m} + 6,397 \text{ m} + 0,1468 \text{ m} + 54,082 \text{ m} \\ &= 63,410 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan *head* pompa sebesar 63,410 m.

3.8 Head Total Pemodelan Software

Setelah melakukan *modelling* dengan menggunakan *software pipeflow expert* pada Gambar 3, maka didapatkan total *head* 63,410 m. Sedangkan pada perhitungan manual didapatkan total *head* sebesar 66,110 m. Sehingga selisih antara perhitungan *software* dan manual adalah sebesar 4,08 %, dimana nilai toleransi ini masih dalam *range* yang diharapkan yaitu 6,67 %.

Pump Data Name: Pump Catalog: Manufacturer: Type: Size: Stages: 0 Speed: 1500 Rpm Impeller Diam: 434,000 mm Min Speed: Not Specified Max Speed: Not Specified Min Diam: Not Specified Max Diam: Not Specified	Fluid Data Fluid: Water Density: 997,000 kg/m ³ Viscosity: 0,8900 cP Temperature: 25,000 °C Vapor Pressure: 0,0317 bar.a Atm Pressure: 1,0132 bar.a	Operating Notes Pref. Op. Region: 0% - 0% of BEP Pref. Flow Range: 0,0000 - 0,0000 m ³ /sec Notes:
Design Curve Shutoff Head: 66,110 m.hd Fluid Shutoff dP: 6,4837 bar.g BEP: 79,4% @ 0,0722 m ³ /sec Power at BEP: 47,89 kW NPSH at BEP: 2,020 m.hd Fluid Max Flow Power: 55,45 kW @ 0,0980 m ³ /sec	Data Point Flow: 0,0090 m ³ /sec Head: 66,110 m.hd Fluid Efficiency: 26,62% Power: 21,97 kW NPSH: 1,438 m.hd Fluid	

Gambar 3. Hasil Perhitungan Shaft power dengan software Pipeflow Expert

3.9 Perhitungan Daya Pompa

Daya pompa yang dibutuhkan berdasarkan nilai *head* total pompa dan persamaan (12) adalah:

$$\begin{aligned} P_{shaft} &= \frac{P_{pump}}{\eta} \\ &= \frac{5,5}{26,63 \%} \\ &= 20,65 \text{ kW} \end{aligned}$$

3.10 Pemilihan Spesifikasi Pompa

Setelah diketahui *head total* pompa dan daya pompa, dapat dilakukan pemilihan pompa dengan

menggunakan grafik *selection chart* maka spesifikasi pompa yang dipilih adalah sebagai berikut:

Merk	: Ebara
Type	: 150 x 100 4NA575
Rpm	: 1500
Capacity	: 100 m ³ /h (max)
BEP	: 80 %
Frekuensi	: 50 Hz
Motor Power	: 22 kW

3.11 Pemilihan Spesifikasi Nozzle

Dalam penentuan jenis *nozzle* yang akan digunakan, dengan didapatkan nilai *pressure drop* pada *software pipeflow expert* yaitu sebesar 40 Psi atau sekitar 2,7 - 3 Bar, maka spesifikasi *nozzle* yang dipilih berdasarkan *catalog nozzle* sebagai berikut:

Merk	: Spiral Jet Nozzle Standart Angle Spray
Material	: SD-HB Housing and Stainless Steel
Type	: HHSJX 3/8 inch (90° dan 120°)
Capacity Size	: 53 Inch

3.12 Estimasi Biaya

Setelah didapatkan kebutuhan pada proyek ini, maka dilakukan perhitungan harga material dan manpower tersebut dari referensi berbagai vendor. Untuk proyek ini membutuhkan biaya sebesar Rp. 402.421.116,00.

4. KESIMPULAN

- Desain *piping system wet scrubber* layout, desain 3D dan isometric drawing pada system wet scrubber yang meliputi *piping system* serta *equipment* lain yang dapat dilihat pada lampiran B, lampiran C, lampiran D secara berturut-turut
- Ukuran diameter pipa untuk system ini adalah 6" untuk pipa suction I, 3,5" untuk pipa utama II dan III, 4" untuk pipa utama IV, 2" untuk pipa utama V dan 2,5" untuk pipa cabang I, 3" untuk pipa cabang II, 1,5" untuk pipa cabang III).
- Total *headloss* yang didapatkan pada pompa dengan perhitungan manual sebesar 63,410 m. dengan total *head* pompa yang didapatkan dengan *software pipeflow expert* adalah sebesar 66,110 m sehingga selisih errornya sebesar 4,08 % kemudian nilai daya pompa dengan perhitungan manual sebesar 20,65 kW dan perhitungan *software pipe flow expert* sebesar 21,97 kW. Dengan hasil tersebut maka selisih daya pompa antara *software* dan kalkulasi manual adalah sebesar 6,01 %. Dimana nilai toleransi dikedua nilai tersebut ini masih didalam *range* yang diharapkan yakni 6,67%. Menggunakan spesifikasi pompa Ebara 50 Hz Type 150x100 4NA590.
- Berdasarkan perhitungan yang telah didapatkan untuk penentuan jenis *nozzle* maka, jenis *nozzle* yang akan dipasang yaitu *High Velocity Water Spray Nozzle* model SD-H Stainless Steel Type K 78. Sesuai *catalog*.

5. Nilai estimasi biaya material dan *manpower* yang dibutuhkan pada piping system wet scrubber ini adalah sebesar Rp. 402.421.116,00 dengan sumber harga yang didapatkan dari katalog baik secara online maupun offline

5. SARAN

Saran yang diberikan penulis kepada peneliti yang akan melakukan penelitian selanjutnya antara lain:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan perhitungan stress, kebutuhan support sehingga lebih detail Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode pengujian selain pengujian korosi
2. Diharapkan penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan oleh perusahaan dalam hal proyek piping system wet scrubber.
3. Pengujian selanjutnya dapat menggunakan larutan proses elektroplating yang berfungsi sebagai pelapis yang berbeda.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyusunan jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., FRINA., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Raden Dimas Endro W., S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Ibu Ika Erawati, S.S, M.Pd selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng., selaku Dosen Pembimbing pertama. Beliau yang selalu memberikan masukan dan solusi dari setiap permasalahan yang dihadapi penulis dalam penelitian ini.
6. Ibu Ir. Emie Santoso, M.T selaku Dosen Pembimbing kedua. Beliau yang selalu memberikan masukan dan solusi dari setiap permasalahan yang dihadapi penulis dalam penelitian ini.
7. Kedua orang tua yang telah memberi banyak motivasi dan juga nasehat selama menempuh perkuliahan ini.
8. Seluruh staf pengajar Program Studi D-IV Teknik Perpipaan yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama pengerjaan Tugas Akhir
9. Semua teman-teman *piping engineer* telah memberikan bantuan berupa semangat, keceriaan, dan ilmu selama penulisan tugas akhir.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] EPA. 2003. U.S. EPA, Office of Clean Air Technology Center, "Scrubber". EPA-452/F-03-010-EPA-452/F-03-017. North Carolina: Research Triangle Park.
- [2] Fitri, A (2019). Perencanaan wet scrubber pada unit boiler di industri minyak goreng. Surabaya: PPNS.
- [3] J.J. Iess and M. Mori. (2008). Computational fluid dynamics (CFD) analysis of cyclone separators connected in series. *Ind. Eng. Chem. Res.* 47:192–200.
- [4] Johnstone, H. F., R. B. Feild, and M. C. Tassler. "Gas absorption and aerosol collection in a venturi atomizer." *Industrial & Engineering Chemistry* 46.8 (1954): 1601-1608.
- [5] Larry W. Mays, *Water Resources Handbook*, International Edition, United States Of America, (1996).
- [6] Liu, Y., Li, J., & Smits, A. J. (2019). Roughness effects in laminar channel flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 876, 1129-1145.
- [7] Mahardhika, P. (2018) 'Evaluasi Instalasi Plumbing Air Bersih Rumah Tipe 42 Menggunakan Pipe Flow Expert Berdasarkan Sni 03-7065-2005.
- [8] Parisher, R. A., & Rhea, R. A. (2002). *Pipe Drafting and Design* (Second Edition ed.).
- [9] Prayoga, D.G.S., Priyanta, D. and Siswanto, N. (2018). "Comparative analysis of probability of failure determination using weibull distribution and generic failure frequencies on heat exchanger tube bundles based on API 581". *Int. J. of Marine Eng. Innovation and Research* 2(3):210-215.
- [10] Pollution, T. A. and Administrators, P. (2006) 'Controlling Fine Particulate Matter Under the Clean Air Act: A Menu of Options Controlling Fine Particulate Matter Under the Clean Air Act', (March).
- [11] Putra. I. (2013) "Mengenal Turbin Uap" *Artikel Mechanical Engineering*.
- [12] Ramakrishnan S dan Moeller SP, 2002. *Liquid Smoke: Product Of Hardwood Pyrolysis. Fuel Chemistry Division Preprints* 2002.
- [13] Ridwan. (1999). *Mekanika Fluida Dasar*. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- [14] Sularso dan Haruno T. *Pompa dan Kompresor. Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.*
- [15] Waskito K. T., Mau, S., & Talahatu, M. A. (2018). Effect of coconut fiber suspensions on drag reduction in circular pipe. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 105, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.
- [16] W.A. Purbaya (2018) *Analisa Pengaruh Radius Miter Bend Terhadap Nilai Laju Erosi Aliran Dua Fase (Udara-Partikel Fly Ash)*.

- [17] Xiang, R., S.H. Park and K.W. Lee. 2001. Effects of cone dimension on cyclone performance. *J. Aerosol Sci.* 32:549–561.