

STUDI EKSPERIMENTAL PERFORMANCE ORIFICE PLATE PADA BILANGAN REYNOLDS RENDAH

Mahmuddin⁽¹⁾, Muhammad Syahrir⁽¹⁾ Nurisma Maharani⁽²⁾,

¹⁾Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

²⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Pengukuran laju aliran volumetrik fluida dalam sebuah pipa sangat dibutuhkan pada suatu industri proses, khususnya industri yang memanfaatkan pipa sebagai media penyaluran fluida. *Flow meter* suatu alat yang dapat digunakan untuk mengukur laju aliran volumetrik fluida di dalam pipa berdasarkan prinsip beda tekanan (*differential pressure*) pada bagian *upstream* dan *downstream*. Investigasi performa dari pelat *orifice* dilakukan secara eksperimental pada tebal pelat *orifice* (s/d) 1.66 pada rasio diameter (β)=0.5. Kasus pada penelitian ini menggunakan bilangan *Reynolds* (Re) 3300-16500, untuk mengetahui keterkaitan dengan distribusi tekanan, *discharge coefficient* (C_d) dan *permanent pressure loss* sebagai parameter utama dalam penelitian ini. Persentase *permanent pressure loss* dengan referensi *centerline pressure* pada tebal *orifice* (s/d) = 1.66 menunjukkan hasil 64.33 % bahwa semakin tinggi Re maka semakin meningkat nilai *pressure drop* dari aliran fluida. Nilai rata-rata *discharge coefficient* dengan referensi *centerline pressure* 0.760 dan referensi D;0,5D adalah 0,797.

KATA KUNCI : Rasio tebal pelat, bilangan *Reynolds*, *discharge coefficient* dan *permanent pressure loss*.

1. PENDAHULUAN

Pengukuran laju aliran fluida dalam sebuah pipa sangat dibutuhkan pada suatu industri proses, khususnya industri yang memanfaatkan pipa sebagai media penyaluran fluida. *Flow meter* digunakan untuk mengukur variabel proses aliran fluida di dalam pipa. Pengukuran variabel proses dilakukan untuk mengendalikannya sesuai *setpoint* agar mencapai optimasi proses.

Salah satu konfigurasi yang sering digunakan adalah *orifice meter*. *Orifice meter* menggunakan elemen tahanan aliran berupa plat *orifice*. *Orifice plate meter* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volume di dalam saluran pipa berdasarkan prinsip beda tekanan. Ukuran plat *orifice* ini sudah distandarisasikan baik dalam konfigurasi lubang maupun cara pemasangannya, Andrew dan William (1979).

Pemasangan plat *orifice* dalam suatu sambungan pipa menyebabkan adanya perbedaan tekanan (*differential pressure*) pada bagian *upstream* dan *downstream*. pada kedua sisi diberikan *pressure taps* untuk mengukur tekanan akibat penyempitan aliran. Perbedaan tekanan yang disebabkan oleh penyempitan digunakan untuk mengukur laju aliran dengan menggunakan teorema Bernoulli, M A dkk (2016). Menurut Chisholm (1985) tebal plat *orifice* dibedakan menjadi *thin-plate orifices* ($\frac{s}{d} < 0,5$) dan *thick plates orifice* ($\frac{s}{d} > 0,5$). Pemilihan geometri sangat berpengaruh terhadap laju aliran dan tekanan suatu fluida serta *permanent pressure loss*, sehingga perlu adanya komparasi macam-macam geometri seperti: bentuk profil lubang, tebal dan rasio diameter restriksi pelat *orifice*. Perubahan geometri pelat *orifice* juga mempengaruhi nilai *discharge coefficient* (C_d).

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

- Bagaimana keterkaitan *discharge coefficient* (C_d) *orifice* terhadap bilangan *Reynolds* pada tebal pelat *orifice* (s/d)= 1.66 dengan rasio restriksi (β) = 0.5 .
- Bagaimana keterkaitan *permanen pressure loss* terhadap bilangan *Reynolds* pada tebal pelat *orifice* (s/d)= 1.66 dengan rasio restriksi (β) = 0.5

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

- Kondisi aliran *steady state*.
- Kondisi aliran fluida *incompressible flow*
- Kondisi aliran pada sisi *inlet* diasumsikan *uniform*

2. TINJAUAN PUSTAKA

Singh dkk (2010) melakukan prediksi aliran untuk *orifice meter* konsentris yang memiliki diameter pipa 40 mm NB (*Nominal Bore*) dan empat rasio diameter (0,40, 0,50, 0,60 dan 0,70). *Orifice meter* yang disimulasikan memiliki sudut bevel 30° dan ketebalan tepi 1,0 mm. Ketebalan pelat juga bervariasi dari 3,50 hingga 9,00 mm, lebih tinggi dari ketebalan yang ditentukan (3,20 mm) dalam ISO-51673 menunjukkan hasil bahwa zona resirkulasi *downstream* berubah seiring perubahan ketebalan plat *orifice*. Plat *orifice* tebal menghasilkan nilai *coefisien of discharge* yang lebih rendah sedangkan plat *orifice* tipis menunjukkan hasil pengukuran nilai *coefisien of discharge* yang lebih tinggi.

Pengujian yang dilakukan oleh (Septiadi, 2008) menganalisis penurunan *maximum pressure drop* yang terjadi serta *irrecoverable pressure drop* pada *orifice flow meter* dengan rasio diameter (β) 0.7; 0.6; 0.5 dengan tebal pelat *orifice* 10 mm dan 20 mm menunjukkan bahwa semakin kecil rasio diameter (β) maka nilai *max pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* semakin tinggi. *Drop* tekanan yang terjadi pada bagian plat *orifice* dengan tebal 20 mm lebih kecil jika dibandingkan dengan pengukuran pada *orifice plate* 10 mm.

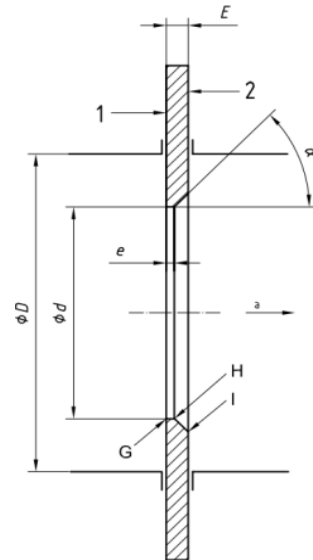
Pengujian yang dilakukan oleh Leopard (2017) yang melakukan Simulasi numerik dengan

model 3D dari *square edge orifice flow meter* dan *quadrant edge orifice flow meter* dengan rasio diameter (β) 0.5 dan 0.7 pada masing-masing bentuk geometri. Kasus pada penelitian ini menggunakan bilangan Reynolds pada 5×10^3 dan 5×10^4 . Kondisi aliran *steady flow* dan model *viscous* menggunakan standar *k-epsilon*. Simulasi ini menunjukkan hasil bahwa saat melewati leher *orifice*, dalam hal ini *square edge orifice*, aliran langsung terseparasi. Separasi menyebabkan terbentuknya *secondary flow* berupa *vortex* pada *downstream orifice*. *Vortex* yang terjadi seakan-akan membuat aliran yang mengalir melewati penampang lebih kecil, yang disebut dengan *vena contracta*.

Roul (2012) melakukan penelitian mengenai karakteristik aliran satu fase dan dua fase (air-udara) melalui *thick* dan *thin orifice* pada *horizontal pipes* berdiameter dalam 40 mm dan 60 mm dengan perbedaan geometri *orifice*, variasi area ratio (σ) 0,54 dan 0,73 serta variasi ketebalan (s/d) 0,025 dan 0,59 menunjukkan bahwa hasil *pressure drop* (ΔP) akan meningkat seiring dengan menurunnya ketebalan plat *orifice* tetapi peningkatan rasio area (σ) *orifice* akan menyebabkan menurunnya nilai *pressure drop* suatu aliran yang melintasi *orifice*.

Pelat *orifice* atau alat pengkondisian aliran sengaja dibuat untuk memiliki perbedaan tekanan pada daerah *upstream* dan *downstream* seperti yang disebutkan pada sub bab sebelumnya. Pelat *orifice* banyak digunakan di industri proses. 80% dari industri proses menggunakan pelat *orifice* sebagai *flow meter* (Miller, 1996 dikutip: Leopard, 2017). Hal ini dikarenakan keunggulannya yang sangat banyak yaitu: ekonomis, perawatan mudah, dan *compact*. Sedangkan untuk kelemahan pelat *orifice* adalah kurangnya presisi pada pengukuran, kapasitas limit dan *permanent pressure loss* yang cukup besar. Pelat *orifice* memiliki nilai ekonomis karena bentuknya yang sederhana. Pelat *orifice* memiliki bentuk lingkaran tipis yang ditengahnya terdapat lubang kecil. Geometri dari pelat *orifice* sudah memiliki standar yang tertulis pada ISO 5167-2(2013) dan dapat dilihat pada gambar 2.2. Konstruksi pelat *orifice* dipasang diantara dua *flange* bersama *sealing* agar tidak ada kebocoran. Mengacu pada standar ISO 5167-2(2013) dan Gambar 1, terdapat beberapa hal yang sudah ditentukan dan ditetapkan parameter-parameter geometri pada pelat *orifice* sebagai berikut:

- 1 merupakan sisi *upstream*.
- 2 merupakan sisi *downstream*.
- Ketebalan e berkisar antara $0.005D$ sampai $0.02D$.
- Ketebalan E berkisar antara e sampai $0.5D$, tetapi pada range $50 \text{ mm} \leq D \leq 64 \text{ mm}$ dapat mencapai 3.2 mm .
- Sudut *bevel* α memiliki nilai $45^\circ \pm 15^\circ$.
- Diameter rasio $\beta = d/D$ harus memiliki nilai lebih besar dari 0.1 dan lebih kecil atau sama dengan 0.75.



Gambar 1. Geometri Pelat Orifice Sesuai Standar International Organization For Standardization (ISO, 2003)

Bilangan *Reynolds* menjadi parameter penting dalam karakteristik nilai *discharge coefficient* (C_d) secara matematis didefinisikan sebagai berikut.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Dengan :

Re = Bilangan *Reynolds*

ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas dinamis fluida (kg/m.s)

Miller (1976) menggunakan persamaan sebagai berikut dalam menentukan nilai *permanent pressure loss* :

$$\frac{\text{permanent pressure loss}}{\text{maximum pressure drop}} (\%) = (1 - 0,24 \beta - 0,52 \beta^2 - 0,16 \beta^3) \times 100\%$$

Nilai *discharge coefficient* (C_d) dapat dihitung secara analitis. *The American Society of Mechanical Engineers* (ASME) merekomendasi menggunakan persamaan *curve-fit* yang dikembangkan oleh ISO (White, 2011). Persamaan tersebut dapat digunakan untuk validasi sehingga dituliskan sebagai berikut:

$$C_d = f(\beta) + 91.71 \beta^{2.5} Re_D^{-0.75} + \frac{0.09 \beta^4}{1 - \beta^4} F_1 - 0.0337 \beta^3 F_2$$

$$f(\beta) = 0.5959 + 0.0312 \beta^{2.1} - 0.184 \beta^8$$

Korelasi faktor F_1 dan F_2 pada posisi *pressure tap* :

- *Corner taps*: $F_1 = 0$; $F_2 = 2$
- *D;1/2D taps*: $F_1 = 0.4333$; $F_2 = 0.47$
- *Flange taps* :

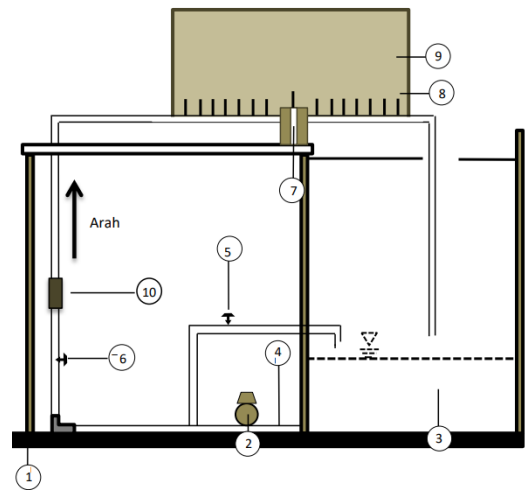
$$F_1 = \frac{1}{D(\text{in})}; F_2 = \begin{cases} \frac{1}{D(\text{in})}; & D > 2.3 \text{ in} \\ 0.4333; & 2.0 \leq D \leq 2.3 \text{ in} \end{cases}$$

Sebagai Referensi pada daerah *centerline pressure* dan $D;0.5D$ menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_d = \frac{Q \sqrt{1 - \beta^4}}{A_0 \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P_{max}}{\rho}}}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dan pengujian *orifice meter* ini menggunakan bahan fluida air dengan massa jenis 996 kg/m³ dan peralatan sebagai berikut:

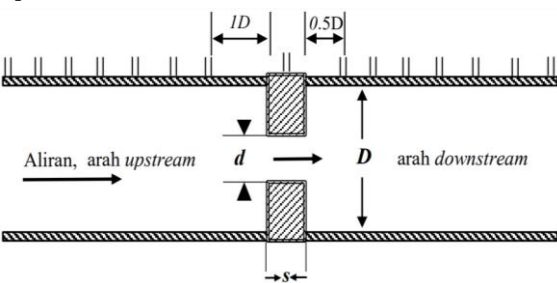


Gambar 2 Skema alat penelitian

Keterangan Gambar 2:

- 1. Meja atau kerangka penopang peralatan
- 2. Pompa
- 3. Bak air utama
- 4. Pipa hisap pompa (*suction line*)
- 5. Katup pada pipa *by pass* (*by pass line*)
- 6. Katup pada pipa alir (*discharge line*)
- 7. *Plat orifice*
- 8. Tap untuk pengukuran tekanan (*pressure tap*)
- 9. Papan manometer (*manometer board*)
- 10. *Flow meter*

Gambar 3 menunjukkan bagian uji *orifice plate* secara skematik



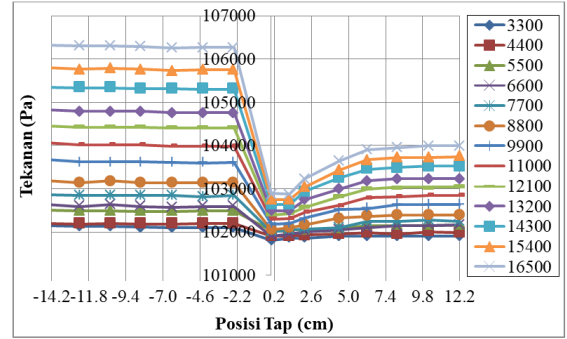
Gambar 3 Skema uji *orifice plate*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi Tekanan

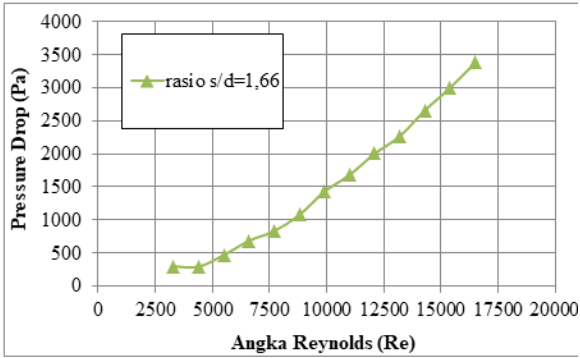
Kurva pada Gambar 4 menggambarkan distribusi tekanan pada arah *upstream* dan *downstream* menunjukkan bahwa saat aliran fluida akan melewati plat *orifice*, tekanan aliran berangsur-angsur mengalami penurunan sehingga kecepatan aliran akan bertambah akibat fluida yang dipaksa bergerak menuju plat *orifice*. Kecepatan aliran fluida mencapai maksimum mengakibatkan tekanan minimum yang terjadi pada *vena contracta*, hal ini sesuai prinsip persamaan Bernoulli. Kemudian tekanan berangsur-angsur meningkat setelah menjauhi *vena contracta* yang disebut daerah *reattachment point*. Peningkatan tekanan pada daerah *reattachment point* sebanding dengan penurunan kecepatan fluida, seperti yang diungkap Leopard (2017). Kemudian pada titik tertentu tekanan akan mengalami pemulihan

kembali, yang disebut *recovery point*. Namun tekanan pada daerah *recovery point* tersebut tidak sepenuhnya dipulihkan seperti tekanan pada daerah *upstream*. Fenomena itu disebut *irrecoverable pressure drop*.



Gambar 4 Grafik distribusi tekanan *upstream* dan *downstream* melintasi *orifice flow meter* dengan rasio tebal pelat (*s/d*) 1.66

Hasil pengukuran tekanan mengungkapkan pula bahwa kenaikan tekanan yang terjadi pada *reattachment point* tidak sama besarnya dengan tekanan pada daerah *upstream*, hal ini disebabkan oleh separasi aliran berupa *vortex* sehingga aliran cenderung berbalik, semakin jauh zona terbentuknya *vortex* maka semakin besar tekanan pada *recovery point*. Jauhnya zona *vortex* dipengaruhi oleh rasio tebal pelat *orifice*. Namun tekanan tidak sepenuhnya kembali seperti tekanan pada *upstream*. *Pressure tap* yang paling jauh (6D) dan *pressure tap* yang paling dekat (D) dari pelat *orifice*, pada bilangan *Reynolds* 16500 berturut-turut pada rasio tebal pelat *orifice* (*s/d*)=1.66 untuk *upstream* (106328 Pa–106269 Pa), *downstream* (103992 Pa–102879 Pa).



Gambar 5 Kurva *maximum pressure drop* pada variasi rasio tebal pelat *orifice* (*s/d*) = 1.66 pada bilangan *Reynolds* (*Re*) 3300–16500

Gambar 5 menunjukkan bahwa titik separasi aliran dan posisi *vena contracta* akan berbeda walaupun dalam pengukuran ini sulit diamati dengan cermat. *Pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* yang melewati *orifice* sangat dipengaruhi oleh rasio tebal pelat *orifice* (*s/d*).

4.2 Permanent Pressure Loss

Peletakan *pressure tap* yang optimal berada pada *vena contracta* untuk mendapatkan nilai pengukuran yang tepat. Profil kecepatan fluida kembali seperti semula saat *streamline* fluida yang terseparasi kembali bertemu dengan dinding pipa atau yang sering disebut dengan *reattachment point*, Leopard (2017). Pada *reattachment point*, bentuk profil kecepatan belum kembali seperti ketika di posisi *upstream* dan tekanan aliran belum sepenuhnya pulih (mencapai *recovery*) Leopard (2017). Aliran akan

mencapai kondisi tersebut pada jarak tertentu (*recovery point*) setelah melewati *reattachment point*.

Tekanan aliran juga pulih pada *reattachment point*. Akan tetapi tekanan aliran tidak sepenuhnya dipulihkan seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Selisih nilai tekanan tersebut sering disebut *permanent pressure loss*. Posisi *vena contracta* dan *reattachment point* merupakan keterkaitan dari rasio tebal pelat *orifice* (s/d) dan bilangan *Reynolds*. Bilangan *Reynolds* dapat juga mempengaruhi letak *vena contracta* dan *reattachment point* (Leopard, 2017). Hasil pengukuran tekanan arah *downstream* menghasilkan pemulihan tekanan dan *reattachment point* yang berbeda pada masing-masing rasio tebal pelat (s/d) dan bilangan *Reynolds*. Persentase *permanent pressure loss* pada daerah *centerline* pada rasio tebal (s/d) 1.66 menunjukkan 72.71% yang divalidasi dengan Miller (1996) dan menunjukkan hasil persentase 71.0%. Dengan itu dapat diketahui bahwa semakin tinggi rasio tebal pelat *orifice* maka semakin kecil nilai *permanent pressure loss* dari aliran fluida. Walaupun *reattachment point* yang dihasilkan Leopard (2017) dengan menggunakan *software* memiliki .presisi yang tepat, bila dibandingkan dengan hasil penelitian ini, tetapi memiliki kesesuaian karakteristik yang kuat.

Tabel 1 Perhitungan nilai *permanent pressure loss* dengan referensi *centerline pressure* dan *wall pressure* untuk rasio tebal pelat *orifice* (s/d) 1.66

Re	β	<i>Permanent Pressure Loss (%)</i>		
		<i>Centerline</i>	<i>Wall</i>	Miller (1996)
		s/d		
		1.66	1.66	
3300	0.5	66.89	33.43	
4400		83.28	36.91	
5500		72.71	40.90	71.0
6600		65.64	54.71	
7700		70.60	63.13	
8800		68.19	68.20	
9900		67.81	73.31	
11000		69.78	78.98	
12100		68.30	80.01	
13200		67.67	80.51	
14300		67.64	82.52	
15400		67.76	84.88	
16500		68.50	88.12	

4.3 Discharge Coefficient

Perhitungan *discharge coefficient* (Cd) menggunakan *centerline pressure* dengan *maximum pressure drop* dan tekanan arah *upstream* dan *downstream* masing-masing di titik D dan 0,5D terhadap pelat *orifice* sebagai tekanan referensi seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Perhitungan nilai Coefficient Discharge (Cd) dengan referensi *centerline pressure* dan D;0,5D untuk rasio s/d 1,66 pada bilangan *Reynolds* 3300-16500.

Re	<i>Coefficient Discharge (Cd)</i>		
	<i>Centerline</i>	D;0.5D	ISO 5167-2 (2013)
	s/d 1,66	s/d 1,66	
3300	0.558	0.632	0.640
4400	0.744	0.769	0.633
5500	0.735	0.785	0.628
6600	0.731	0.783	0.625
7700	0.774	0.824	0.623
8800	0.777	0.822	0.621
9900	0.759	0.789	0.619
11000	0.777	0.805	0.618
12100	0.783	0.813	0.617
13200	0.803	0.828	0.616
14300	0.803	0.830	0.615
15400	0.814	0.840	0.615
16500	0.822	0.848	0.614

Berdasarkan Tabel 2 kenaikan bilangan *Reynolds* yang divalidasi dengan hasil persamaan ISO 5167-2 (2013) menunjukkan bahwa nilai *discharge coefficient* (Cd) pada rasio pelat *orifice* s/d = 1,66 diperoleh Cd rata-rata untuk referensi D;0,5D = 0,797 untuk referensi *centerline* = 0,760.

DAFTAR PUSTAKA

Andrew, W., & Williams. (1979). Applied Instrumentation in the Process Industries. Gulf Publishing Co. Volume I, Edisi ke-2, 46-54.

Bohra, L. K. (2004). Flow And Pressure Drop Of Highly Viscous Fluids In Small Aperture Orifices. Georgia Institute of Technology, 62-63.

Chisholm, D. (1985). Two-Phase Flow in Heat Exchangers and Pipelines. Glasgow College of Technology, 48-57.

Hollingshead, C. L. (2011). Discharge Coefficient Performance of Venturi, Standard Concentric Orifice Plate, V-Cone, and Wedge Flow Meters at Small Reynolds Numbers. Utah: Utah State University.

Leopard, R. (2017). Studi Numerik Performa Square Edge Dan Quadrant Edge Orifice Flow Meter Dengan variasi Rasio Diameter. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

M A, P., Dr. V, S., & Yogesh, K. (2016). Analysis of Compressible Effect in the Flow Metering By Orifice Plate Using CFD. IJSRSET162420, 170-180.

Sanghani, C. R. (2016). Comparative Analysis of Different Orifice Geometries for Pressure Drop. IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering, Volume 2, Issue 10, 494-498.

Septiadi, W. N. (2008). Studi Eksperimental Orifice Flow Meter dengan Variasi Tebal dan Posisi Pengukuran Beda Tekanan Aliran Melintasi Orifice Plate. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol.2 No. 1, 61-68.

Singh, R. K., Singh, S. N., & Seshadri, V. (2010).
Perrformance Evaluation of Orifice Plate
Assemblies Under Non-Standard Conditions
using CFD. *Indian Journal of Engineering
& Material Sciences Vol 17*, 397-406