

**UJI EKSPERIMENTAL ORIFICE MULTI LUBANG PADA SALURAN
BERDIAMETER 50 MM
(EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MULTI-HOLES ORIFICE IN 50 MM
DIAMETER PIPE)**

Joko Waluyo¹, Sugiyanto²

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik-UGM ¹⁾

JI Grafika no 2, Yogyakarta

Email : waluyo.joko@gmail.com ¹⁾

Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi UGM ²⁾

JI Grafika no 2A Sleman Yogyakarta

Email : sugiyanto.ugm@gmail.com ²⁾

ABSTRAK

Orifice has been used widely for flow rate measurement on laboratory scale as well as on pipeline industries. It can be installed simply and gives accurate measurement. The available model of the orifice is single-hole. The single-hole orifice have disadvantage of trapping the condensate flows on the bottom pipe that make it is not suitable for two phase fluids application. In order to overcome the disadvantage, it is necessary to investigate the novel type orifice which has multi-holes.. This study is aimed to investigate the flow coefficient of multi-hole orifice with variation of 2, 3, and 4 holes of square edge orifice in the 50 mm diameter pipes. Characterization of the multi holes orifice was carried out by comparing to the ISO-ASME equation, based on parameter of equivalent diameter. The results yielded that the orifice 4 holes capable to fulfill the requirements on ISO-ASME equation. It is highlighted from statistical-significant test that the flow coefficient of 4 holes orifice has similar value of equivalent diameter with that on the single-hole orifice.

Keywords : multi-hole orifice, flow coefficient, ISO-ASME

INTISARI

Penggunaan orifice untuk pengukuran debit aliran sangat lazim digunakan baik di skala laboratorium maupun di perpipaan industri. Selain instalasi yang cukup sederhana, orifice ini memungkinkan untuk pengukuran yang akurat. Keberadaan orifice saat ini tersedia dalam bentuk tipikal dengan lubang tunggal di tengah. Kerugian orifice jenis lubang tunggal ini adalah terjadinya kantung jebakan fluida di dasar perpipaan, yang menyebabkannya kurang sesuai untuk diaplikasikan di aliran dua fasa pipa horisontal. Untuk menghindari terjadi jebakan aliran ini perlu dikaji lanjut bentuk orifice dengan multi lubang. Penelitian ini merupakan pengujian awal terhadap koefisien aliran orifice multi lubang. Pengujian dilakukan dengan variasi 2, 3, dan 4 lubang pada orifice tipe *square edge* di dalam saluran berdiameter 50 mm. Karakteristik koefisien aliran dilakukan dengan memperbandingkan terhadap persamaan kalibrasi ISO-ASME pada parameter diameter dasar dan diameter ekuivalen. Perbandingan hasil persamaan ISO-ASME dilakukan dengan pengujian statistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien aliran orifice dengan 4 lubang mampu memenuhi kesesuaian dengan persamaan ISO-ASME. Dari uji signifikansinya didapatkan kecenderungan bahwa diameter ekuivalenya setara dengan konfigurasi di orifice 1 lubang

Kata kunci : orifice multi lubang, koefisien aliran, kalibrasi ISO-ASME

PENDAHULUAN

Pengukuran debit adalah merupakan hal yang paling sering dilakukan untuk kebutuhan proses industry maupun di dalam skala laboratorium. Peralatan orifice meter merupakan peralatan pengukur aliran yang paling banyak digunakan karena memerlukan sedikit perawatan, konstruksi sederhana dan mudah diinstalasikan serta mampu digunakan baik untuk fluida kompresibel maupun inkompresibel.

Orifice meter menggunakan elemen tahanan aliran yang berupa plat orifice. Ukuran plat orifice ini sudah distandarisasikan baik dalam konfigurasi lubang maupun cara pemasangannya (Andrew dan William, 1979). Dari kesejajaran dengan pusat sumbu aliran, tercatat dua buah jenis plat orifice yaitu konsentrik dan eksentrik. Dari bentuk lubangnya, orifice dibuat dengan lingkaran, segmental dan elips. Semua plat orifice

tersebut dibuat hanya dengan menggunakan satu lubang saja.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian eksperimental terhadap bentuk baru plat orifice yang mempunyai lebih dari satu lubang. Tinjauan pengamatan lebih didasarkan pada perbandingan besar harga koefisien alirannya terhadap persamaan kalibrasi. Manfaat yang didapatkan dengan menggunakan plat orifice multi-lubang adalah dengan adanya rugi tekanan yang kecil aliran sehingga fluida lebih cepat kembali seragam selepas orifice. Manfaat kedua memungkinkan terhindarnya jebakan aliran fluida kondensat pada penggunaannya untuk fluida dua fasa. Pengujian orifice meter memerlukan kalibrasi pada awal pemasangannya dan selanjutnya diharapkan sudah tidak memerlukan perlakuan khusus pada pengoperasiannya. Pengkalibrasian dilakukan dengan mengamati koefisien aliran orifice terukur terhadap persamaan aliran acuan.

Beberapa peneliti terdahulu menekankan pada perbaikan konfigurasi geometrik lubang plat orifice. Tinjauan pengaruh kontur bibir orifice terhadap gaya seret aliran dilakukan oleh Akiba dkk (2001), hasilnya menunjukkan bahwa kontur bibir orifice mempengaruhi harga koefisien aliran orifice. Penelitian ini mengamati orifice jenis baru dengan konfigurasi multi lubang. Hasil pengamatan koefisien selanjutnya diperbandingkan terhadap persamaan ISO-ASME plat orifice lubang tunggal.

Penggunaan plat orifice banyak lubang memungkinkan untuk mengurangi rugi tekanan yang terjadi karena melewati peralatan pengukur. Data hasil pengujian ini diharapkan mampu digunakan sebagai pijakan awal untuk mengembangkan data kalibrasi aliran plat orifice multi-lubang. Hasil utama yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik hubungan koefisien aliran orifice terhadap angka Reynold dan rasio diameter lubang dan pipa. Selain itu juga diharapkan untuk memformulasikan rumus empiris koefisien aliran yang berisikan parameter pada orifice baru.

Dari tinjauan konfigurasi orifice, variable pokok yang mempengaruhi harga koefisien aliran orifice standar diterjemahkan sebagai pengaruh dari lubang plat orifice, posisi tapping dan karakteristik khusus lubang. Pengaruh lubang orifice secara signifikan mempengaruhi harga rasio diameter vena kontrakta terhadap diameter dalam pipa (β). Variabel kedua tentang posisi tapping

menyebutkan ada 4 posisi tapping pada penggunaan orifice meter, yaitu jenis flens, vena kontrakta, pipa dan 1D-½D (ASME Research Committee on Fluid Meter, 1971). Perbedaan jenis tapping tersebut berdasarkan dari jarak posisi tapping ke plat orifice arah hulu dan hilir aliran fluida. Taping flens mempunyai posisi tapping pada jarak 1 inci arah hulu dan hilir dari posisi plat orifice, tapping vena kontrakta terletak pada jarak 1 kali diameter sisi hulu dan pada posisi vena kontrakta, tapping pipa terletak pada jarak 2 ½ diameter pipa sisi hulu dan 8 diameter pipa sisi hilirnya, serta tapping 1D-½D mempunyai tapping 1 diameter di sisi hulu dan ½ diameter di sisi hilir. Sedangkan karakteristik khusus plat menyangkut variasi konfigurasi sudut bevel, *roundness* lubang lebih banyak ditekankan untuk mencari performa terutama pada aliran dengan angka Reynold tinggi (Beckwith et al, 1981).

Berbagai ketentuan yang dapat digunakan untuk menghitung harga koefisien aliran orifice meter, antara lain dinyatakan oleh Buckingham (1931), Murdock (1964) dan Stolz (1975). Persamaan Buckingham yang kemudian disebut persamaan ASME membahas perhitungan detail dan membaginya dari berbagai jenis tappingnya. Murdock memberikan ketentuan persamaan yang lebih sederhana. Baik persamaan yang disampaikan oleh Buckingham maupun Murdock harus menyertakan tabel yang dibedakan dari jenis tapping untuk mendapatkan harga koefisien alirannya. Kemudian Stollz, tahun 1975 memberikan persamaan yang diperbaharui oleh Miller dan Cullen tahun 1978, yang kemudian disebut sebagai persamaan ISO ASME, yang disepakati dan digunakan sebagai persamaan kalibrasi koefisien aliran sampai sekarang.

Dari uraian persamaan Bernoulli dan kontinuitas, debit aliran yang melewati orifice dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = C_d \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right) \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho(1-\beta^4)}} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan,

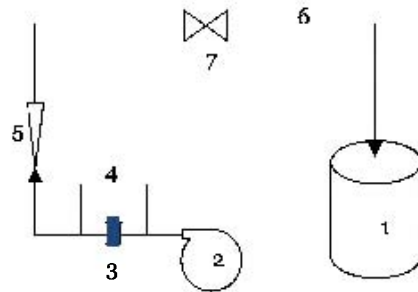
- Q :debit aliran , m³/det
- d :diameter dalam pipa, mm
- ΔP :perbedaan tekanan statis, N/m²
- ρ :massa jenis fluida, kg/m³
- C_D :koefisien aliran yang merupakan perbandingan laju massa aliran aktual dan ideal

Dari ketentuan persamaan yang diungkapkan Stolz, harga koefisien aliran orifice dinyatakan dari persamaan ISO-ASME (Benedict, 1984).

$$C_D = 0,5959 + 0,03231\beta^{2.1} - 0,184\beta^8 + 0,0029\beta^{2.5} \left(\frac{10^6}{Re_D\beta} \right) + \frac{0,09L_1\beta^4}{1-\beta^4} - 0,0337L_2\beta^3 \dots\dots\dots(2)$$

- β : rasio diameter lubang orifice terhadap diameter dalam pipa
- Re_D : angka Reynold
- L_1 : jarak tak berdimensi posisi tapping sisi hulu
- L_2 : jarak tak berdimensi posisi tapping sisi hilir

- Taping flens : $L_1 = 1/D$ dan $L_2 = 1/D$
- Taping pojok : $L_1 = 0$ dan $L_2 = 0$
- Taping 1D – 1/2D : $L_1 = 1$ dan $L_2 = 0,47$



Gambar 3 Skema Pengujian

Keterangan :

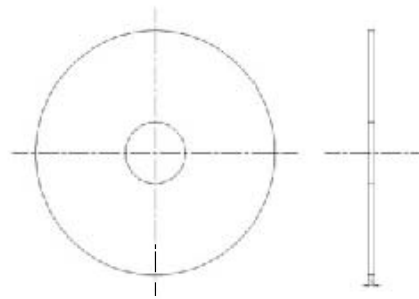
1. Tangki penyimpanan
2. Pompa
3. Taping orifice
4. Flow meter
5. Posisi tapping
6. Saluran Perpipaan
7. Kran

Sedangkan peralatan pengukurannya adalah sebagai berikut.

1. Termometer
2. Stopwatch
3. Manometer berketelitian 0,1 mm

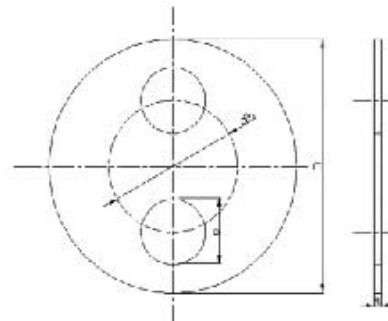
Penelitian ini menggunakan peralatan uji orifice yang dipasang di saluran pipa diameter dalam 50 mm, yang meliputi pengujian plat orifice standar 1 lubang dan plat orifice baru dengan konfigurasi multi lubang, yang tersaji di Gambar 2 dan Gambar 3. Penelitian ini menggunakan konfigurasi plat orifice lubang tunggal dan orifice multi lubang menggunakan diameter lubang (d), ketebalan plat dan kontur bibir yang sama serta dilakukan pada jenis tapping yang sama juga. Penelitian dilakukan pada konfigurasi

kontur *square edge* dengan tebal 3 mm pada pengujian jenis tapping 1D-1/2D.

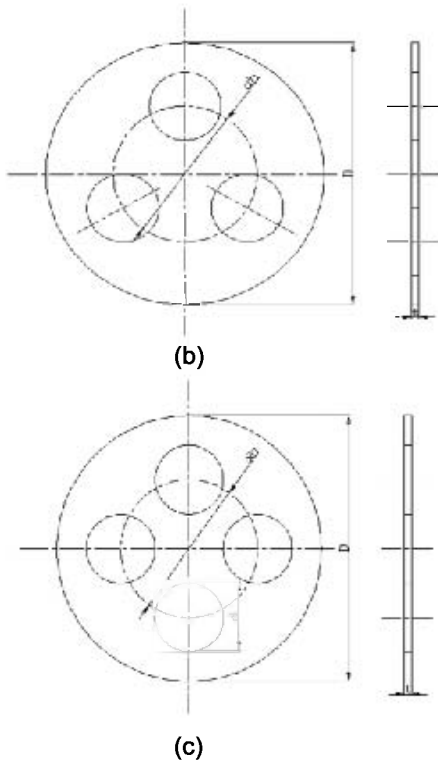


Gambar 2. Orifice lubang tunggal, diameter lubang dasar 14 mm dan diameter lubang ekuivalen 19.8, 24.25 dan 28 mm, tebal 3 mm.

Untuk pengujian awal dipilih orifice lubang tunggal berdiameter lubang dasar 14 mm. Selanjutnya ditentukan orifice multi-lubang yang divariasikan pada jumlah lubang (N), sudut orientasi lubang (θ) dan diameter sumbu lubang (d_H) dengan tetap menggunakan diameter lubang dasar 14 mm. Dari ketentuan ini ditentukan untuk menggunakan orifice dengan variasi jumlah lubang 2, 3 dan 4 lubang. Hal yang ditentukan kemudian adalah menghitung diameter lubang ekuivalen, yang kemudian digunakan sebagai pembanding koefisien orifice multi lubang. Diameter lubang ekuivalen dihitung dari luasan lubang yang setara dengan lubang pada orifice multi lubang.



(a)



Gambar 3. Orifice multi lubang (a) 2 lubang (b) 3 lubang dan (c) 4 lubang diameter (d) = 14 mm, tebal (t) = 3 mm, diameter hub (dh) = 28 mm

Perhitungan diameter lubang ekuivalen dapat dinyatakan dengan :

$$\pi \cdot d_e^2 / 4 = N \cdot \pi \cdot d^2 / 4 \dots (3)$$

dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa diameter ekuivalen untuk orifice 2 lubang diameter lubang 14 mm adalah sebesar 19.8 mm, 3 lubang diameter 14 mm mempunyai diameter ekuivalen 24.25 mm, sedangkan untuk 4 lubang diameter 14 mm serta dengan diameter ekuivalen 28 mm. Gambar konfigurasi orifice selengkapnya disajikan di gambar 4a, 4b dan 4c.

Perhitungan Reynold aliran melewati orifice lubang tunggal dihitung dari :

$$Re = \frac{4 \cdot Q \cdot d}{\pi \cdot d^2 \cdot \vartheta} \dots (4)$$

Angka Reynold aliran yang melewati orifice multi lubang dihitung dengan :

$$Re = \frac{4 \cdot Q \cdot d_e}{\pi \cdot N \cdot d^2 \cdot \vartheta} \dots (5)$$

- Dengan d_e = diameter ekuivalen
- d = diameter lubang dasar 14 mm
- N = jumlah lubang
- Q = debit aliran
- ϑ = viskositas kinematik air, m^2/det

Prosedur penelitian meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Pembuatan plat orifice
 - Plat orifice dibuat dari plat setebal 3 mm, tipe *Square Edge*, sebanyak 7 buah. 4 buah orifice mempunyai lubang tunggal sedang 3 lainnya menggunakan 2, 3 dan 4 lubang.
 - a. Plat orifice standar dengan diameter lubang 14 mm dan berdiameter 24,25 mm dan 28 mm. Diameter 19,8 mm, 24,25 mm dan 28 mm adalah diameter lubang yang menghasilkan luasan yang setara dengan luasan 3 lubang dan 4 lubang diameter 14 mm.
 - b. Plat orifice diameter lubang 14 mm dengan 2,3 dan 4 lubang.
2. Pengujian plat orifice standar 1 lubang diameter 14 mm, 19,8 mm, 24,25 mm dan 28 mm. Pengambilan data yang dilakukan pada pengujian ini adalah suhu air, debit aliran dan beda tekanan yang digunakan untuk menghitung harga koefisien aliran orifice.
3. Perhitungan koefisien aliran orifice acuan sebagai fungsi rasio diameter orifice dan diameter dalam pipa dan angka Reynold dengan menggunakan persamaan ISO-ASME. Hasil perhitungan ini selanjutnya diperbandingkan dengan harga terukur koefisien aliran yang didapatkan di langkah 2, untuk mendapatkan deviasinya terhadap koefisien aliran orifice ISO-ASME. Besarnya deviasi ini digunakan untuk uji statistik untuk memutuskan untuk menerima atau menolak harga koefisien aliran terukur. Pengujian ini menggunakan uji t student dengan tingkat kepercayaan 80%. Jika hasilnya diterima berarti harga koefisien aliran pada pengujian ini mempunyai harga deviasi yang kecil terhadap koefisien aliran ISO-ASME, ini berarti validasi koefisien aliran dilakukan langsung dengan persamaan koefisien aliran ISO-ASME. Jika hasilnya ditolak berlaku hal yang sebaliknya, koefisien aliran menggunakan koefisien aliran menggunakan koefisien aliran yang didapatkan di langkah 2.
4. Pengujian plat orifice 2, 3 lubang dan 4 lubang untuk mendapatkan harga terukur koefisien aliran multi lubang. Harga koefisien aliran ini diperbandingkan ke harga koefisien aliran ISO-ASME yang telah didapatkan di langkah 3
 - a. Koefisien aliran orifice 2 lubang diperbandingkan ke koefisien aliran ISO-ASME 1 standar diameter lubang 14 mm dan 19,8 mm.

- b. Koefisien aliran orifice 3 lubang diperbandingkan ke koefisien aliran ISO-ASME 1 standar diameter lubang 14 mm dan 24,25 mm.
 - c. Koefisien aliran orifice 4 lubang diperbandingkan ke koefisien aliran ISO-ASME 1 standar diameter lubang 14 mm dan 28 mm.
5. Karakteristik koefisien aliran orifice multi-lubang terhadap koefisien aliran standar dilakukan dengan 3 cara, yaitu pengujian statistik t student dengan keyakinan 80% untuk mengetahui signifikansi koefisien aliran orifice multi lubang terhadap, dan menghitung harga korelasi dan nilai *root mean square* untuk mengetahui tingkat kedekatannya terhadap koefisien aliran ISO-ASME.

Sedangkan langkah pengujian pengukuran koefisien aliran dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Pengaturan seting peralatan pengujian serta pemasangan plat orifice yang akan diuji.
2. Hidupkan motor pompa selama beberapa menit sampai didapatkan aliran yang tunak.
3. Melakukan pencatatan terhadap debit aliran yang ditunjukkan pada *flow meter* serta penurunan tekanan pada manometer miring.
4. Melakukan variasi aliran, dengan pengaturan debit aliran fluida.

PEMBAHASAN

Hasil pengukuran digunakan untuk pengolahan data untuk mendapatkan hal-hal berikut :

1. Mengetahui apakah koefisien aliran lubang tunggal bisa dikalibrasi terhadap persamaan ISO-ASME.
2. Mengetahui apakah koefisien aliran multi lubang bisa disesuaikan ke Apersamaan ISO-ASME.

Ada 2 langkah utama yang dilakukan untuk pengolahan data yaitu dengan perbandingan signifikansi koefisien aliran orifice standar terhadap persamaan ISO-ASME dan yang kedua pengujian koefisien aliran orifice multi lubang terhadap koefisien lubang tunggal diameter dasar dan ekuivalen.

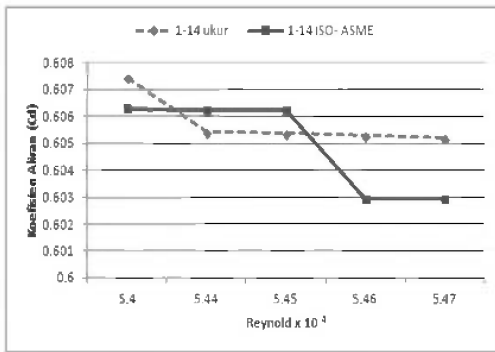
Langkah pertama dilakukan dengan memperbandingkan perolehan koefisien aliran terukur orifice standar diameter lubang

14 mm terhadap persamaan ISO-ASME Tujuannya untuk mengetahui tingkat kedekatan koefisien aliran standar terhadap persamaan ISO-ASME. Masih dalam kerangka ini juga, kemudian dilanjutkan dengan memperbandingkan diameter ekuivalen lubang 18,9 mm, 24,25 mm dan 28 mm terhadap persamaan kalibrasi ISO-ASME. Dari perbandingan tersebut didapatkan bahwa harga koefisien aliran untuk ke-4 orifice standar tersebut diterima mempunyai tingkat kedekatan yang sangat signifikan dengan persamaan ISO-ASME, yang didapatkan dari uji statistik t student. Dari pengujian ini selanjutnya diputuskan untuk bisa mengklarifikasi koefisien aliran orifice multi lubang dengan menggunakan kalibrasi persamaan ISO-ASME.

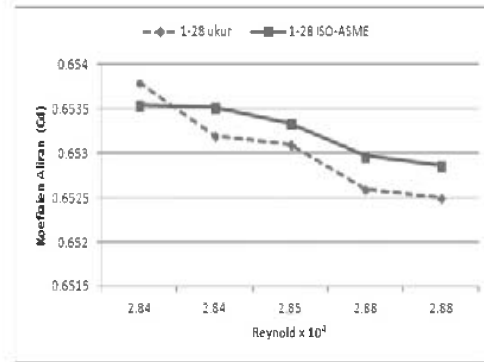
Karakteristik koefisien aliran multi lubang yang merupakan langkah kedua pada pengolahan data pada penelitian dilakukan dengan memperbandingkannya dengan persamaan kalibrasi orifice lubang tunggal diameter dasar dan diameter ekuivalen. Hal ini dilakukan dengan memperbandingkan koefisien aliran terhitung orifice 2 lubang diameter 14 mm dengan persamaan kalibrasi orifice lubang tunggal diameter 14 mm dan diameter 19,8 mm, orifice 3 lubang diameter 14 mm dengan orifice diameter 14 mm dan 24,25 mm serta orifice 4 lubang diameter 14 mm dengan orifice diameter 14 mm dan 28 mm.

Koefisien aliran orifice lubang tunggal didapatkan dengan memasukkan data hasil pengujian yang berupa debit aliran dan beda tinggi manometer ke persamaan (1), selanjutnya disebut sebagai harga koefisien aliran terukur. Harga ini kemudian diperbandingkan dengan harga koefisien kalibrasi yang terhitung dari persamaan ISO-ASME. Persamaan ISO-ASME ini merupakan persamaan empiris dengan variabel rasio diameter lubang terhadap diameter saluran serta angka Reynold aliran.

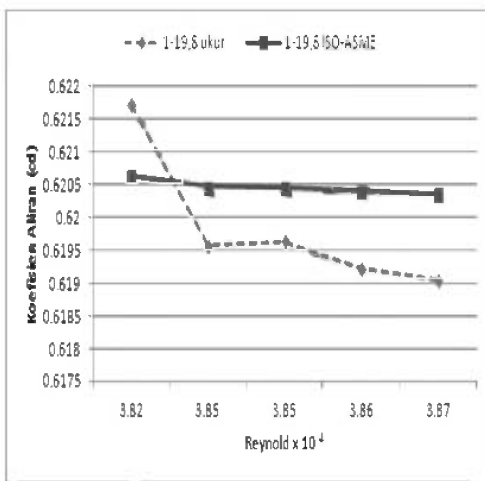
Perbandingan antara koefisien aliran orifice lubang tunggal dapat dilihat di gambar 4, 5, 6, 7, masing-masing untuk diameter 14 mm, 19,8 mm, 24,25 mm dan 28 mm. Pengolahan data koefisien aliran lebih dititik beratkan pada kesesuaian antara koefisien aliran terukur dengan persamaan kalibrasi ISO-ASME. Kesesuaian ini dilakukan dengan pengujian t student, koefisien korelasi dan harga kedekatan varians aposteor



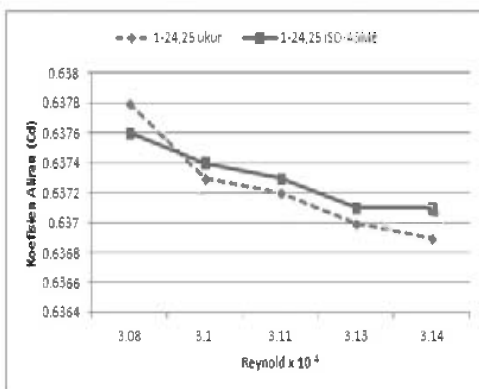
Gambar 4. Koefisien aliran orifice lubang tunggal diameter 14 mm



Gambar 7. Koefisien aliran orifice lubang tunggal diameter 28 mm



Gambar 5. Koefisien aliran orifice lubang tunggal diameter 19,8 mm



Gambar 6. Koefisien aliran orifice lubang tunggal diameter 24,25 mm

Secara umum pola koefisien aliran orifice lubang tunggal mempunyai kecenderungan mengikuti garis lurus dengan harga yang semakin kecil pada angka Reynold yang membesar. Dengan membesarnya diameter lubang orifice menyebabkan membesarnya juga harga koefisien aliran, Hal ini bisa difahami karena dari persamaan pembentuknya harga koefisien aliran berbanding lurus dengan akar dari pengurangan kuadrat rasio diameter lubang dan salurannya. Juga dapat dilihat bahwa pada orifice diameter lubang relatif kecil koefisien aliran ISO-ASME cenderung mempunyai garis landai, artinya dengan kemiringan yang relatif kecil jika dibandingkan dengan diameter orifice yang lebih besar. Hal ini dapat dilihat pada koefisien aliran dengan diameter lubang 14 mm terlihat bahwa koefisien alirannya mempunyai kemiringan yang kecil. Sedangkan untuk diameter lubang 19,8 mm, 24,25 mm dan 28 mm mempunyai kemiringan yang lebih tajam. Dari fenomena ini kiranya dapat dimengerti bahwa penggunaan orifice dengan diameter lubang kecil lebih dianjurkan karena mempunyai keuntungan pada kalibrasi angka koefisien aliran yang lebih konstan.

Dari pengujian kesesuaian antara koefisien aliran terukur dan terhitung dari persamaan ISO-ASME, yang meliputi pengujian statistik t student untuk menerima atau menolak kesesuaian dan dari perhitungan harga koefisien korelasinya dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian t student pada penelitian ini menggunakan derajat keyakinan data 80%. Pemilihan derajat keyakinan data sebesar 80% diambil dengan mempertimbangkan bahwa derajat keyakinan 80% cukup ketat untuk mampu menolak data yang diperkirakan ada blunder.

Di samping itu angka ini juga sudah sangat lazim digunakan pada institusi yang berwenang melakukan kalibrasi, semisal pada departemen instrumentasi dan kalibrasi. Hal lainnya yang menguatkan pengambilan angka 80% adalah penelitian ini sudah diusahakan semaksimal mungkin untuk menjaga keakuratan pengukurannya. Hal ini meliputi pengukuran debit aliran yang dilakukan dengan menggunakan wadah (*bucket*) berdiameter kecil sehingga cukup akurat dalam mencatat waktu penuhnya. Pencatatan waktu pengisian wadah ini dilakukan menggunakan stopwatch digital dengan ketelitian 2 digit. Pengukuran lainnya untuk menentukan beda tekanan pada manomernya dilakukan dengan bantuan mikrometer untuk mendapatkan ketelitian 0,1 mm. Dengan hal-hal tersebut penelitian menggunakan asumsi data dengan keyakinan benar sebesar 80%.

Tabel 1. Hasil uji t student dan koefisien determinasi koefisien aliran orifice lubang tunggal terhadap ISO-ASME.

Koefisien aliran		Uji t student		Korelasi
C _D terukur	C _D ISO-ASME	t _o	Hasil	R
1-14	1-14	-1.1573	diterima	0.944
1-18.9	1-18.9	-1.4117	diterima	0.979
1-24.25	1-24.25	-1.4291	diterima	0.958
1-28	1-28	-1.4385	diterima	0.937

Ket : harga $t_{(0,1,4)} = 1,533$

Diterima jika $|t_{(0,1,4)}| < |t_o|$

Ditolak jika $|t_{(0,1,4)}| > |t_o|$

Dari pembahasan terhadap uji t student dan perhitungan koefisien korelasi harga koefisien aliran orifice lubang tunggal dengan variasi lubang diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa pengkalibrasian orifice lubang tunggal yang digunakan dalam penelitian ini bisa merujuk ke persamaan ISO-ASME.

Hasil pengujian koefisien aliran orifice multi lubang disajikan di Tabel 2, 3 dan 4 masing-masing untuk orifice dengan 2,3 dan 4 lubang. Pengolahan data koefisien aliran orifice multi lubang ditujukan untuk mengetahui sebaran datanya dan untuk menentukan apakah orifice multi lubang bisa dikalibrasi dengan menggunakan persamaan ISO-ASME.

Tabel 2. Hasil pengujian orifice multi lubang 2-14

No	Debit	dh	v	Re x 10 ⁻²	Cd
	(x 10 ⁻⁴ m ³ /det)	(mm)	(m/det)		
1	5.3691	26	1.7432	3.99	0.6584
2	5.401	26.4	1.7535	4.02	0.6573
3	5.451	26.9	1.7698	4.06	0.6572
4	5.452	27.1	1.7703	4.06	0.655
5	5.4555	27.2	1.7712	4.06	0.6541

Tabel 3. Hasil pengujian orifice multi lubang 3-14

No	Debit	dh	v	Re	Cd
	(x 10 ⁻⁴ m ³ /det)	(mm)	(m/det)		
1	5.3691	10	1.1621	3.26	0.6728
2	5.401	10.5	1.169	3.28	0.6605
3	5.451	10.7	1.1798	3.31	0.6603
4	5.4525	11	1.1802	3.31	0.6514
5	5.4555	11.2	1.1808	3.31	0.6459

Tabel 4. Hasil pengujian orifice multi lubang 4-14

No	Debit	dh	v	Re	Cd
	(x 10 ⁻⁴ m ³ /det)	(mm)	(m/det)		
1	5.32	4.6	0.8637	2.8	0.7037
2	5.346	5	0.8678	2.81	0.6782
3	5.35	5.2	0.8685	2.81	0.6655
4	5.364	5.5	0.8709	2.82	0.6489
5	5.374	5.7	0.8725	2.83	0.6386

Tinjauan dilakukan dengan membandingkan harga koefisien aliran multi lubang terhadap harga persamaan ISO-ASME pada harga diameter lubang dasarnya dan diameter lubang ekivalennya. Pengolahan data menggunakan uji statistik t student, perhitungan koefisien korelasi dan perhitungan varians aposteoris disajikan pada tabel 5. Tabel tersebut memuat perbandingan harga koefisien aliran multi lubang 2,3 dan 4 terhadap orifice lubang tunggal berdiameter lubang dasar 14 mm serta diameter ekivalennya. Diameter 19,8 mm adalah lubang ekivalen untuk orifice 2 lubang diameter 14 mm, diameter 24,25 merupakan diameter lubang ekivalen untuk orifice 3 lubang diameter 14 mm, sedangkan diameter 28 mm merupakan diameter lubang ekivalen untuk orifice 4 lubang diameter 14 mm.

Tabel 5. Hasil t student, dan korelasi, varians aposteori koefisien aliran orifice multi lubang

Koefisien aliran		Uji t student		Kore lasi	Varians Aposteori
C _D terukur	C _D ISO-ASME	t ₀	Hasil	R	rms
2-14	1-14	61,032	ditolak	0,800	0,005642
2-14	1-18.9	22,847	ditolak	0,800	0,003403
3-14	1-14	10,332	ditolak	0,863	0,005697
3-14	1-24.25	8,043	ditolak	0,863	0,001484
4-14	1-14	4,509	ditolak	0,993	0,008434
4-14	1-28	0,476	diterima	0,993	0,001718

Ket : harga $t_{(0,1,4)} = 1,533$
 Diterima jika $|t_{(0,1,4)}| < |t_0|$
 Ditolak jika $|t_{(0,1,4)}| > |t_0|$

Dari hasil pengujian statistik t student dari tabel 5 tersebut didapatkan bahwa hampir semua harga orifice multi lubang mempunyai harga t_0 yang lebih besar daripada harga $t_{(0,1,4)}$ sehingga diperoleh penolakan terhadap kesesuaian data koefisien aliran lubang tunggal baik terhadap diameter lubang dasar maupun diameter lubang ekuivalen. Hal ini terjadi pada orifice lubang 2 dan lubang 3. Hasil diterima uji ini didapatkan pada data koefisien aliran lubang 4 terhadap koefisien aliran lubang tunggal diameter ekuivalen. Hasil ini sulit dijelaskan mengapa bisa terjadi, namun paling tidak bisa dijadikan petunjuk awal adanya kemungkinan untuk melakukan penelitian lanjut dengan menitik beratkan pada orifice lubang 4, dengan pengkajian pada berbagai variasi diameter antara sumbu yang berbeda serta dengan ketebalan orifice.

Dari pengamatan terhadap besarnya harga t_0 pada tabel 5, terlihat bahwa harga t_0 koefisien aliran orifice multi lubang lebih kecil daripada harga t_0 koefisien aliran diameter lubang dasar. Hal ini menunjukkan bahwa sebaran data koefisien aliran orifice multi lubang relatif lebih mendekati harga koefisien aliran orifice diameter ekuivalen. Kedekatan ini juga didukung dengan pengamatan harga varians aposteori yang menunjukkan harga relatif lebih kecil pada perbandingan orifice diameter ekuivalen dibandingkan terhadap diameter dasar.

Dari pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian koefisien aliran pada orifice multi lubang tidak bisa menggunakan kalibrasi persamaan ISO-ASME. Selanjutnya dengan melakukan regresi terhadap data pengukuran pada

penelitian ini, harga koefisien aliran orifice multi lubang dapat disampaikan sebagai berikut :

Orifice 2 lubang diameter 14 mm, harga koefisien alirannya memenuhi persamaan empiris $C_D = 0.8571-4.97 E-06.Re$

Orifice 3 lubang diameter 14 mm, harga koefisien alirannya memenuhi persamaan empiris $C_D = 1.8875-3.73 E-06.Re$

Orifice 4 lubang diameter 14 mm, harga koefisien alirannya memenuhi persamaan empiris $C_D = 7.2303-0.000233 Re$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari pembahasan hasil pada penelitian orifice pada saluran berdiameter 50 mm kiranya dapat disimpulkan berbagai hal sebagai berikut :

1. Dari hasil uji t student jumlah sampling 5, dengan derajat kepercayaan data 80% diperoleh hasil bahwa koefisien aliran orifice lubang tunggal, konfigurasi *square edge*, tebal 3 mm dengan tapping 1 D-1/2 D sesuai dengan koefisien aliran ISO-ASME. Implementasinya, koefisien aliran orifice lubang tunggal konfigurasi *square edge* bisa dikalibrasi dengan persamaan ISO-ASME. Sedangkan untuk orifice multi lubang dengan diameter lubang 14 mm, belum memenuhi kriteria kesesuaian dengan persamaan ISO-ASME.
2. Orifice dengan 4 lubang berdiameter 14 mm mempunyai kesesuaian dengan orifice lubang tunggal berdiameter 28 mm. Persamaan empiris linier orifice 4 lubang tersebut adalah $C_D=7.2303-0.000233.Re$. Orifice dengan 4 lubang mampu memenuhi ketentuan persamaan ISO-ASME.

Saran

1. Untuk diteliti lebih jauh pengujian untuk menentukan persamaan kalibrasi orifice multi lubang yang sesuai dengan persamaan ISO-ASME. Penelitian tersebut dengan memvariasikan sudut *bevel* orifice dan diameter sumbu antar lubang.
2. Untuk diteliti lebih jauh pengujian untuk dengan menggunakan jenis *tapping* yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Akiba M, Morooka S, Shirakawa K, 2001, *Experimental study on Improvement of Inlet Orifice in BWR Core*, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 36, No 9, halaman 793-798.

- Andrew WG dan Williams, 1979, *Applied Instrumentation in the Process Industries*, Volume 1, Edisi ke-2, halaman 46-54, Gulf Publishing Co.
- ASME Research committee On Fluid Meters, 1971, *Fluid Meter their Theory and Application*, Edisi 6.
- Beckwith TG, Buck NL, Marangoni RD, 1981, *Mechanical Measurement*, Edisi 3, halaman 483-512.
- Benedict RP, 1984, *Fundamental of Temperature, Pressure and Flow Measurement*, Edisi 3, halaman 415-512, John Wiley and Sons.
- Buckingham, 1931, *Note of the Orifice Meter*, J. Res NBC, halaman 61.
- Husain ZD and Teysandler RG, 1986, *The Effects of Plate Thickness and Bevel Angle in 150 Line Size Orifice Meter*, International Conference of Flow Measurement in the mid 80's.
- Murdock JW, 1964, *Tables for Interpolation and Extrapolation of ASME Coefficients for Square-Edge Concentric Orifices*, ASME Paper 64-WA/FM-6.
- Seidl W, 1995, *The Orifice Expansion Correction for 50mm line Size at Various Diameter Ratios*, Fluid Flow Measurement International Symposium.
- Stolz J, 1975, *An Approach Toward A General Correlation of Discharge Coefficients for Square-Edge Concentric Plate Meters*, National Engineering Laboratory, Paper K-1.
- Supranto, 1994, *Statistik Teori dan Aplikasi*, Erlangga Edisi ke-5.