

ANALISIS EKSPERIMENTAL PROFIL PERMUKAAN *VORTEX* BEBAS DENGAN VARIASI LUBANG BAWAH TABUNG SILINDER

Sri Suwasti¹⁾

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengetahui profil permukaan dari *vortex* bebas dengan menjelaskan pengaruh diameter lubang bawah pada tabung silinder yaitu, 1,75 cm dan 2,75 cm. Metode pengambilan data dilakukan dua cara yaitu, pertama metode eksperimen dengan bervariasi tinggi pengukuran permukaan *vortex* 11 cm, 14 cm, 17 cm dan data yang akan diperoleh adalah jarak dari pusat tabung dan kedua metode secara visual berupa gambar dengan menggunakan kamera digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *vortex* bebas membentuk *hyperbola asymptotic* dengan diameter pusaran bertambah besar jika diameter lubang bawah tabung silinder juga bertambah.

Kata kunci: *Vortex*, tabung silinder, *hyperbola asymptotic*.

I. PENDAHULUAN

Vortex atau gerak pusaran untuk beberapa sistem yang stabil sering dihindari, namun untuk proses-proses tertentu hal ini sangat dibutuhkan seperti pada alat pencampuran (mixing) fluida, penukar kalor (heat exchanger), komponen pendingin elektronik dll. Terjadinya *vortex* justru akan membawa efek yang menguntungkan karena dapat menghemat pemakaian energi dan mengurangi biaya produksi. *Vortex* dapat terbentuk jika terdapat beda tekanan yang disebabkan oleh perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan, sehingga fluida tersebut mengalami torsi dan kemudian berputar. Aliran *vortex* adalah aliran melingkar di sekeliling sebuah titik pusat, seperti sebuah pusaran air dimana partikel-partikel fluida adalah partikel irrotasional. Artinya partikel tidak berputar ketika bergerak di dalam lingkaran-lingkaran sepusat terhadap sumbu *vortex* (welty et al., 2000).

Terbentuknya *vortex* ini dapat menguntungkan disesuaikan dengan pemanfaatannya. Dampak menguntungkan dari pembangkitan *vortex* ini akan maksimal jika jaraknya didalam saluran baik secara *longitudinal* (memanjang) dan *transversal* (melintang) adalah optimal (Valencia, A. 2000).

Dalam mekanika fluida terdapat dua type *vortex*, yaitu *free vortex* dan *forced vortex*. Dari pembagian type *vortex* tersebut maka peneliti melakukan analisis terhadap *vortex* bebas dimana pada jenis ini air dibiarkan mengalir ke dalam tabung silinder transparan dengan diameter lubang bawah yang bervariasi. Adapun tujuan penelitian

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

ini adalah menentukan profil permukaan dari *vortex* bebas dengan memvariasikan diameter lubang bawah silinder.

Banyak kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fluida. Sebagai contoh aliran dapat digolongkan sebagai aliran *steady* atau *unsteady*, satu-, dua-, atau tiga-dimensi, seragam atau tidak seragam, laminar atau turbulen dan dapat mampat atau tidak dapat mampat. Selain itu, aliran gas ada yang subsonik, transonik, supersonik atau hipersonik, sedangkan zat cair yang mengalir disalurkan terbuka ada yang subkritis, kritis atau superkritis.

Fluida adalah zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk wadah/tempatnya. Bila berada dalam kesetimbangan, fluida tidak dapat menahan gaya tangensial atau tegangan geser, semua fluida dengan derajat kompresibilitas akan memberikan tahanan kecil terhadap perubahan bentuk.

Fluida terdiri atas dua jenis yaitu cair dan gas, perbedaan utama dalam penggolongan tersebut adalah:

- a. cairan praktis tidak kompresibel yaitu terdiri atas molekul-molekul yang tetap rapat dengan gaya kohesi yang relative kuat dimana cairan mengisi volume tertentu dan mempunyai permukaan-permukaan bebas.
- b. Fluida kompresibel dimana gas mempunyai jarak antara molekul-molekul besar dan gaya kohesinya terabaikan dimana gas dengan massa tertentu mengembang sampai mengisi seluruh wadahnya.

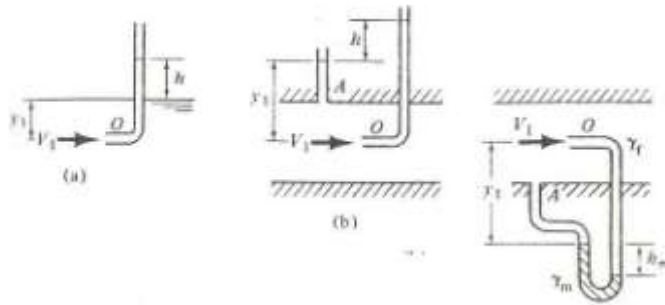
A. Pengukuran Kecepatan

Kecepatan di sebuah titik atau sejumlah titik pada sebuah potongan sering diperlukan untuk menggambarkan profil kecepatan. Profil kecepatan biasanya diminati dalam studi-studi dasar mengenai lapisan batas atau *wake*, atau untuk mendapatkan kecepatan rata-rata diseluruh potongan dari integrasi profil kecepatan untuk menentukan laju aliran. Kecepatan titik adalah sebuah besaran yang hampir tidak mungkin diukur, karena alat sensor mana pun mempunyai daerah cakupan yang terbatas. Namun, jika luas aliran yang ditempati oleh alat sensor sangat kecil dibanding luas total aliran. Kita boleh beranggapan bahwa kecepatan yang diukur di situ pada dasarnya adalah kecepatan titik.

Perlu diperhatikan bahwa keberadaan sebuah alat sensor dalam sebuah aliran tidak boleh mempengaruhi aliran yang tengah diukur, karena itu persyaratan ini juga membatasi ukuran instrument yang dapat digunakan secara memuaskan. Kecepatan biasanya diukur secara tidak langsung melalui pengukuran selisih antara tekanan stagnasi dan tekanan arus bebas (statis).

B. Tabung Pitot

Kalau sebuah tabung terbuka yang ditebuk ditempatkan menghadap ke arah hulu dalam suatu aliran zat cair terbuka, zat cair akan naik dalam tabung itu setinggi h (efek kapiler dianggap tidak ada) seperti gambar 1.



Gambar 1. Tabung Pitot dalam (a) Aliran Zat Cair Terbuka, (b) Sebuah Pipa, dan (c) Sebuah Pipa yang Terhubung dengan Sebuah Manometer

Persamaan Bernoulli yang ditulis dari sebuah titik di sebelah hulu ujung tabung yang terendam sampai ke ujung tabung itu sendiri adalah:

$$\frac{\rho V_1^2}{2} + p_1 = p_0 \quad (1)$$

karena didalam tabung tersebut terjadi suatu kondisi stagnasi. Karena $p_1 = \gamma y_1$ dan $p_0 = \gamma (y_1 + h)$, maka untuk menghitung kecepatan arus.

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \gamma h}{\rho}} = \sqrt{2 g h} \quad (2)$$

Bila kecepatan arus di sebuah titik dalam pipa yang hendak diukur (gambar 1), persamaan yang sama juga berlaku. Jika tekanan statik tinggi, y_1 akan besar sehingga pembacaan tinggi piezometrik y_1 dan $y_1 + h$ mungkin sulit. Tabung dalam gambar 1.b harus terhubung dengan sebuah manometer sederhana seperti dalam gambar 1.c untuk menghasilkan sistem yang lebih enak. Selisih antara tekanan stagnasi dan tekanan statik (arus bebas) adalah:

$$p_0 - p_1 = h_m (\gamma_m - \gamma_f)$$

dengan h_m defleksi manometer dan γ_m serta γ_f berturut-turut adalah berat jenis manometer dan fluida yang mengalir. Kecepatan arus dengan demikian menjadi

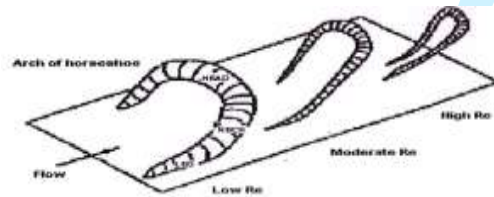
$$V_1 = \sqrt{2 g h_m \frac{\gamma_m - \gamma_f}{\gamma_f}} = \sqrt{\frac{2 (p_0 - p_s)}{\rho}} \quad (3)$$

C. Vortex

Aliran *vortex* yang juga dikenal sebagai *Vortex* didefinisikan sebagai massa fluida (cairan atau gas) yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis *streamline* yang membentuk lingkaran konsentris (Robenson, 1997). Gerakan berputar partikel fluida ini disebabkan adanya perbedaan kecepatan antar lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu. Gradien kecepatan ini akan menyebabkan puntiran

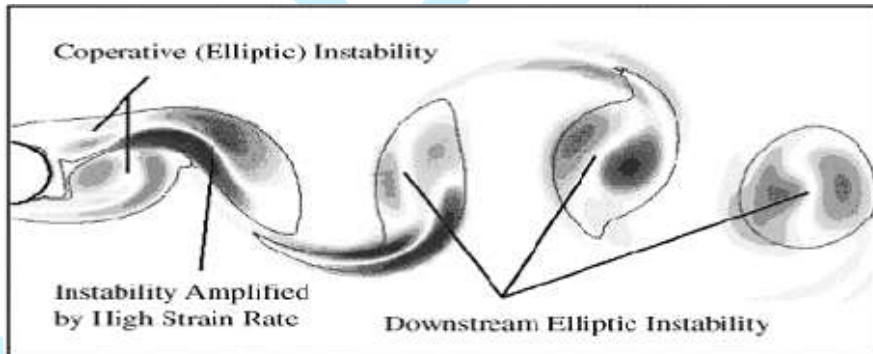
(torsi), inilah yang menyebabkan terjadinya *vortex* pada fluida tersebut. Secara teoritis *vortex* dianggap terdapat pada fluida yang tidak kental (*inviscid flow*), dimana dalam aliran ini fluida tidak memiliki gesekan dan gerakannya kontinyu. Namun pada kenyataannya tidak ada fluida yang tak kental, oleh karena itu gerakan secara kontinyu diperlukan untuk mempertahankan gerakan *vortex*.

Sesungguhnya *vortex* berwujud tiga dimensi, dan dapat berubah menurut harga bilangan Reynoldsnnya. Pada bilangan Reynolds yang rendah *vortex* berbentuk seperti tapal kuda, semakin tinggi bilangan Reynoldsnnya maka *vortex* akan semakin meruncing (Robenson, 1997).



Gambar 2. Geometri Vortex Menurut Besar Bilangan Reynolds
(Sumber: Robenson, 1997: 607)

Untuk dapat melihat *vortex* dalam tiga dimensi dipakai peralatan khusus, namun karena keterbatasan alat maka *vortex* yang bisa diamati hanya dalam dua dimensi saja. Berikut tampilan *vortex* dua dimensi berdasarkan hasil simulasi.

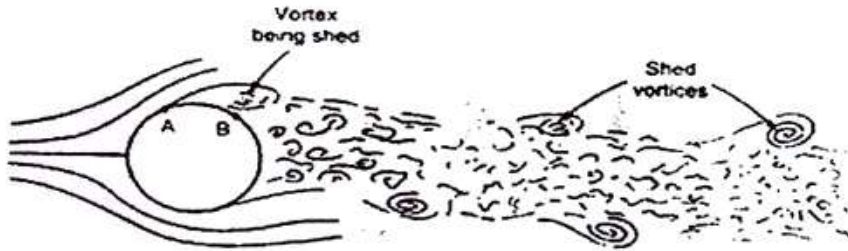


Gambar 3. Countour Plot Vortex Dua Dimensi
(Sumber: Williamson, 2003)

Untuk memperoleh pemahaman tentang dinamika *vortex* maka diamati secara dua dimensi karena kompleksitasnya lebih sederhana. Gambar 2 merupakan visualisasi *vortex* yang terbentuk saat aliran fluida melewati *bluff body*. Ketidakstabilan aliran yang menyebabkan terbentuknya *vortex* diawali oleh separasi aliran pada titik stagnasi. Fluida yang mengalir di sekitar *bluff body* akan mengalami percepatan yang mengakibatkan adanya perbedaan tekanan sehingga menimbulkan pembalikan arah aliran fluida di belakang *bluff body*, hal inilah yang membentuk

vortex (Kreith, 1995). Saat *vortex* mengalir, ketidakstabilanya diperkuat dengan adanya regangan aliran fluida sehingga diameter *vortex* membesar. Disini juga dapat dilihat bahwa pola garis arus pada *vortex* juga menyerupai lingkaran.

Aliran yang melewati benda tumpul seperti silinder akan mengalami hambatan. Apabila hambatan aliran fluida tegak lurus dengan sumbu silinder maka pusaran vortices atau *eddies* (daerah fluida yang bersirkulasi) akan terbentuk, dan meninggalkan (*shed*) objek tersebut secara teratur dan bergantian dari kedua sisi yang berlawanan seperti ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.



Gambar 4. Vortex *Shedding* dari Suatu Silinder
(Sumber: Potter, 1997: 347)

Dari gambar terlihat bahwa proses pembentukan *vortex* pada bagian atas, bawah dan kekanan dari *vortex* pertama ke *vortex* yang lain. Dimana proses pembentukan dan pelepasan *vortex* berlangsung dalam waktu yang cukup cepat, dengan demikian proses aliran dibelakang silinder meliputi pembentukan dan pelepasan dari *vortex* berlangsung secara bergantian dari satu sisi dan sisi yang lain. Hal ini terjadi jika aliran disekitar silinder titik separasinya berosilasi dibelakang dan dibagian depan secara bergantian.

Aliran Vortex

Aliran vortex dapat berupa aliran *vortex* paksa atau aliran *vortex* bebas, tergantung pada ada tidaknya gaya yang bekerja membentuk aliran *vortex*.

Pada kasus *vortex* bebas, *streamlines*nya adalah pusat lingkaran, tapi variasi kecepatan dengan radius dinyatakan masing-masing tidak mengalami perubahan terhadap total energi per unit berat dengan radiusnya, sehingga:

$$\frac{dH}{dr} = \frac{v^2}{gr} + \frac{v}{g} \cdot \frac{dv}{dr} = 0. \text{ Maka ,}$$

$$0 = \frac{v}{g} \left(\frac{v}{r} + \frac{dv}{dr} \right),$$

$$\frac{dv}{v} + \frac{dr}{r} = 0$$

Diintegralkan,

$$\log_e v + \log_e r = \text{constant}$$

Dimana C adalah konstan yang diketahui sebagai *strength* dari *vortex* pada setiap jari-jari r ,

$$v = \frac{C}{r} \quad (4)$$

Pada setiap titik berlaku,

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H = \text{constant},$$

Substitusi untuk v dari persamaan (1.4),

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{C^2}{2gr^2} = H$$

Jika cairan berada pada permukaan bebas, $\frac{p}{\rho g} = 0$ dan profile dari permukaan bebas diberikan oleh persamaan,

$$H - z = \frac{C^2}{2gr^2} \quad (5)$$

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Program Studi Teknik Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Adapun alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Forced Vortex Apparatus*

- a. Tabung silinder
- b. Jarum ukur diameter vortex
- c. Skala
- d. Katup control
- e. datum

2. *Hydraulic Bench*

- a. tangki pengukuran volume
- b. tangki penampung air
- c. pompa
- d. katup control
- e. skalr on/off
- f. sambungan cabang dua
- g. katup penampungan

Pada penelitian ini pertama-tama menentukan alat ukur setelah itu melakukan pengukuran pada *vortex* dengan variasi tinggi permukaan air dari datum yaitu 11 cm, 14 cm, dan 17 cm untuk diameter lubang silinder dipakai 1,7 cm dan 2,75 cm dan pada masing-masing tinggi permukaan air akan diukur jari-jari permukaan *vortex* dan tinggi permukaan *vortex* dari datum.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Permukaan Vortex Bebas

Untuk *vortex* bebas dilakukan pengukuran pada diameter lubang bawah 1,75cm dan 2,75cm dimana tinggi air dari datum h_0 adalah 17cm, 14cm dan 11cm. Peneliti mengukur jari-jari r tertentu pada permukaan *vortex* untuk mendapatkan tinggi permukaan *vortex* h dari datum dan menghitung putaran n *vortex* dengan menggunakan seutas benang yang diberi beban. Data hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. *Vortex* bebas dengan diameter lubang bawah 1,75 cm pada ketinggian air 17 cm

No	Jari-jari permukaan <i>vortex</i> r (cm)	n (rpm)	Tinggi permukaan <i>vortex</i> Eksperimen h_e (cm)	Tinggi permukaan <i>vortex</i> Teori h_t (cm)
1	0,9	1906	0	0,56
2	1	1466	6	5
3	1,14	1056	9	8,9
4	1,4	634	12	12,6
5	3	110	16	16,38
6	7	30	16,8	16,74
7	11	18	17	16,76
8	12	17	17	16,76

Tabel 2. *Vortex* bebas dengan diameter lubang bawah 1,75 cm pada ketinggian air 14 cm

No	Jari-jari permukaan <i>vortex</i> r (cm)	n (rpm)	Tinggi permukaan <i>vortex</i> Eksperimen h_e (cm)	Tinggi permukaan <i>vortex</i> Teori h_t (cm)
1	0,9	1758	0	0,02
2	1,2	1006	6	5,86
3	1,4	596	9	9,22
4	1,8	282	12	11,85
5	3	141	13	13
6	7	20	13,8	13,89
7	11	8	14	13,96
8	12	6	14	13,97

Tabel 3. *Vortex* bebas dengan diameter lubang bawah 1,75 cm pada ketinggian air 11 cm

No	Jari-jari permukaan <i>vortex</i> r (cm)	n (rpm)	Tinggi permukaan <i>vortex</i> Eksperimen h_e (cm)	Tinggi permukaan <i>vortex</i> Teori h_t (cm)
1	0,9	1560	0	0

2	1,4	669	6	6,1
3	2	316	9	8,76
4	3	128	10	10,17
5	7	21	10,8	10,88
6	11	10	11	10,93
7	12	9	11	10,93

Tabel 4. *Vortex* Bebas dengan diameter lubang bawah 2,75 cm pada ketinggian air 17 cm

No	Jari-jari permukaan vortex r (cm)	n (rpm)	Tinggi permukaan vortex Eksperimen h_e (cm)	Tinggi permukaan vortex Teori h_t (cm)
1	1,4	1250	0	0,05
2	1,54	894	6	6,5
3	1,6	784	9	8,3
4	1,8	526	12	12,06
5	3	130	15,5	16,17
6	7	48	16,3	16,39
7	11	30	16,5	16,39
8	12	28	17	16,39

Tabel 5. *Vortex* Bebas dengan diameter lubang bawah 2,75 cm pada ketinggian air 14 cm

No	Jari-jari permukaan vortex r (cm)	n (rpm)	Tinggi permukaan vortex Eksperimen h_e (cm)	Tinggi permukaan vortex Teori h_t (cm)
1	1,4	1134	0	0,04
2	1,6	756	6	5,9
3	1,8	524	9	9,07
4	2	294	12	11,7
5	3	136	13	13
6	7	38	13,2	13,6
7	11	17	13,5	13,8
8	12	17	14	13,8

Tabel 6. *Vortex* Bebas dengan diameter lubang bawah 2,75 cm pada ketinggian air 11 cm

No	Jari-jari permukaan vortex r (cm)	n (rpm)	Tinggi permukaan vortex Eksperimen h_e (cm)	Tinggi permukaan vortex Teori h_t (cm)
1	1,4	1006	0	0,01
2	1,7	548	6	6,2
3	2	336	9	8,5

4	3	130	9,8	10,15
5	7	48	10,2	10,38
6	11	30	10,5	10,38
7	12	28	11	10,38

Sedangkan untuk Tinggi permukaan *vortex* secara teori dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

$$H - z = \frac{c^2}{2g r^2}$$

Dimana:

$H = h_o$ = tinggi air dari datum (cm)

$z = h_t$ = tinggi permukaan vortex dari datum (cm)

$C = v \cdot r$

Sehingga,

$$\begin{aligned} h_o - h_t &= \frac{(v \cdot r)^2}{2g r^2} \\ h_o - h_t &= \frac{v^2}{2g} \end{aligned} \quad (6)$$

Dengan mengambil contoh data nomor 2 pada tabel 1 untuk membandingkan hasil eksperimen dan teori.

Diketahui:

$r_{\text{vor}} = 1 \text{ cm}$, $n = 1466 \text{ rpm}$, $h_o = 17 \text{ cm}$

maka,

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (7)$$

$$\omega = \frac{3,14 \times 1466}{30} = 153,44 \text{ rad/s}$$

Diketahui persamaan kecepatan tangensial:

$$v_\theta = \omega \cdot r$$

$$\text{Maka, } v = 153,44 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 1 \text{ cm} = 153,44 \text{ rad cm/s}$$

Substitusi ke persamaan (6),

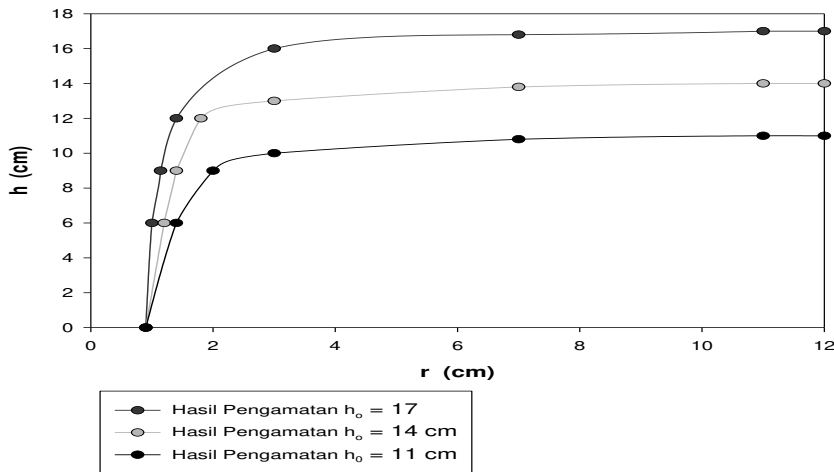
$$17 - h_t = \frac{153,44^2}{2 \times 981 \times 1^2}$$

$$17 - h_t = 11,99$$

$$h_t = 5 \text{ cm}$$

Untuk hasil perhitungan selengkapnya, dapat dilihat pada tabel yang sama dan perbandingan profil permukaan eksperimen dan teori dapat dilihat pada pembahasan.

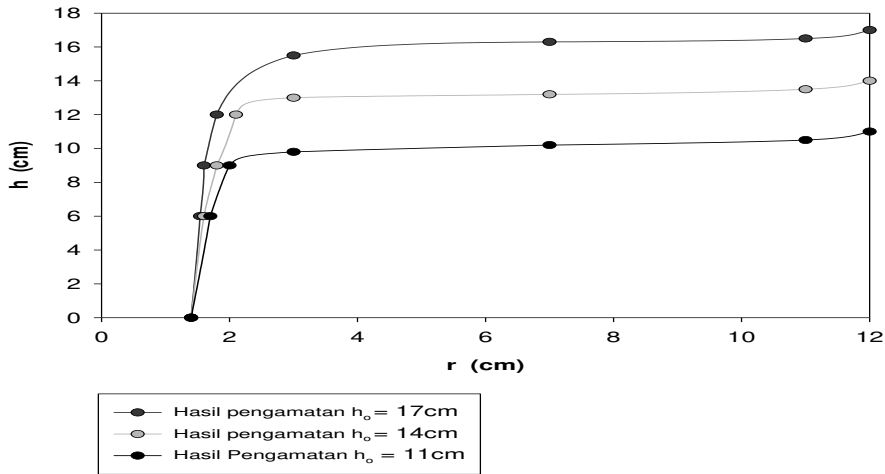
Analisa Gambar dan Grafik pada *Vortex Bebas* dengan lubang bawah silinder 1,75cm.



Gambar 5. Karakteristik *Vortex Bebas* antara Tinggi Pusaran Air (h) dengan Jari- Jari Pusaran Air (r) pada Tinggi Air 17 cm, 14 cm dan 11 cm

Jika dilihat ke tiga grafik hasil pengamatan pada gambar 5 menunjukkan bahwa semakin kecil jari-jari permukaan *vortex* maka pusaran air semakin tinggi. Ini dapat dilihat pada tinggi air $h_o = 17\text{cm}$, $h_o = 14\text{cm}$ dan $h_o = 11\text{cm}$. Adapun pada $r = 3\text{cm}$, $r = 7\text{cm}$ dan $r = 11\text{cm}$ sama untuk setiap tinggi air yang berbeda ditetapkan oleh peneliti sebagai variabel konstan dengan tujuan supaya profil permukaan dapat terlihat dengan jelas. Dari ketiga grafik menunjukkan kesamaan pada $r = 11\text{cm}$ dan $r = 12\text{cm}$ tinggi permukaan pusaran air relatif konstan.

Analisa Gambar dan Grafik pada Vortex Bebas dengan lubang bawah silinder 2,75cm.



Gambar 6. Karakteristik Vortex Bebas antara Tinggi Pusaran Air (h) dengan Jari-Jari Pusaran Air (r) pada Tinggi Air 17 cm, 14 cm dan 11 cm

Pada diameter lubang bawah 2,75cm ini, grafik hasil pengamatan antara tinggi pusaran air fungsi jari-jari pusaran relatif sama dengan diameter lubang bawah 1,75 cm. Pada sisi tabung grafik untuk tiap tinggi air tidak rata, karena pada kondisi ini pengaruh daya isap pusaran masih ada sehingga air ingin terus bergerak naik. Pada gambar 6 menunjukkan bahwa semakin kecil jari-jari pusaran maka semakin tinggi permukaan pusaran air bisa terjadi, hingga pada jari-jari tertentu tinggi permukaan pusaran akan relatif konstan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Vortex yang terbentuk adalah *hyperbola asymptotic*, ini dapat dilihat dari bentuk gambar grafik yang dihasilkan.
2. Semakin kecil jari-jari pusaran maka semakin tinggi permukaan pusaran air bisa terjadi, hingga pada jari-jari tertentu tinggi permukaan pusaran akan relatif konstan.

Saran

Perlu dilengkapi alat-alat ukur yang standarisasi untuk pengembangan penelitian.

V. DAFTAR PUSTAKA

blog.hasslberger.com/2007/06/water_vortex_dri... Water Vortex Drives Power Plant

crazytopics.blogspot.com/2007/02/water-vortex... Water Vortex Sculpture

Edwin N.Lightfoot, R.Byrron Bird, dan Warren F.Stewart, 1960.*Transport Fenomena*.

Reuben M.Olson dan Steven J Wright, 1993. *Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik*. Edisi Kelima.

Welty J.R., W. Charles, R. Wilson, and R. Gergory, 2000. *Dasar-Dasar Fenomena Transport*, Vol. 1 Edisi Ke-4. Penerbit Erlangga.

www.kamron.com/Health/pureh2o.htm, **Vortex Properties**