

# Pengukuran Koefisien Kontraksi Pada Aliran Air Menggunakan Sensor Gaya

Yosephine Novita Apriati, Ign Edi Santosa\*

Pendidikan Fisika, Universitas Sanata Dharma, Paingan, Maguwohardjo, Depok, Sleman, Yogyakarta

\* E-mail: edi@usd.ac.id

**Abstrak** – Zat cair yang keluar dari lubang di samping tabung akan mengalami kontraksi. Luas penampang aliran air menjadi lebih kecil dibanding luas lubangnya. Koefisien kontraksi merupakan perbandingan antara luas penampang aliran air dengan luas penampang lubang. Pada makalah ini pengukuran koefisien kontraksi dilakukan melalui dua cara pengukuran kelajuan aliran. Air yang keluar dari lubang diukur beratnya secara kontinyu menggunakan sensor gaya dan direkam lintasannya menggunakan kamera. Kelajuan ditentukan dari pertama analisa data berat air dan kedua analisa lintasan air menggunakan software LoggerPro. Pada eksperimen ini didapatkan koefisien kontraksi rata-rata sebesar  $(0,69 \pm 0,03)$ .

**Kata kunci:** koefisien kontraksi, kelajuan, luas penampang, sensor gaya

**Abstract** – For the water come out of a circular orifice that located on the side of a container, the cross-section area is smaller than the area of the orifice. The contraction coefficient is the ratio between the cross-section area of flowing water and the orifice area. This paper describe the determination of contraction coefficient using two flowing water speed measurements methods. The weight of the collected water that come out of the orifice was measured using force sensor, while their trajectory was recorded using a camera. The speed of the water was then determined by analyzing the weight and the trajectory using LoggerPro software. The yielded average contraction coefficient is  $(0.69 \pm 0.03)$ .

**Keywords:** contraction coefficient, speed, cross-sectional area, force sensor

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan hukum Bernoulli dijumpai pada aliran zat cair melalui lubang pada samping tabung. Biasanya topik ini dikaitkan dengan jangkauan horizontal aliran dari tabung, untuk berbagai ketinggian lubang. Hal ini menarik untuk bahan pembelajaran.

Aliran air dijumpai pada proses pengosongan air dari tabung yang berlubang dibagian samping. Laju pengosongan tergantung pada diameter lubang. Untuk setiap ukuran lubang ketinggian air di dalam tabung akan menurun mengikuti hubungan kuadratik terhadap waktu. Sedangkan jarak horizontalnya mengikuti hubungan linear terhadap waktu [1].

Eksperimen untuk menunjukkan berlakunya hukum Toricelli dilakukan dengan mengukur kecepatan aliran zat cair yang keluar dari lubang di samping tabung. Pengukuran dilakukan dengan mengamati jarak horizontal yang dicapai zat cair untuk setiap ketinggian lubang dari dasar. Koreksi diberikan karena adanya tenaga yang hilang. Selain itu dari hasil analisa data ditemukan bahwa luas penampang air yang keluar lebih kecil dari luas penampang lubangnya [2]. Kontraksi ini dikenal sebagai *vena contracta* [3,4].

Pengamatan *vena contracta* dilakukan secara khusus oleh Libii et al, dengan mengukur kecepatan air yang keluar dari lubang di samping tabung [5]. Pada percobaan ini ketinggian air di dalam tabung dibuat konstan. Pengukuran dilakukan dengan mengumpulkan air yang keluar dengan volume tertentu dan mencatat waktu yang diperlukan. Nilai debit yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai kecepatan aliran. Selain itu kecepatan

air yang keluar dari lubang juga diukur dari jarak jangkauan horizontalnya. Koefisien kontraksi diperoleh dari perbandingan nilai kedua kecepatan [5].

Pengamatan aliran air dari tabung juga digunakan untuk menunjukkan gejala peluruhan secara eksponensial. Laju aliran diamati dengan perangkat berbasis komputer menggunakan sensor gaya dengan perangkat lunak LoggerPro [6], sehingga pengamatan menjadi cepat dan relatif mudah. Dengan latar belakang tersebut pada makalah ini disajikan hasil pengukuran koefisien kontraksi. Berbeda dari pustaka [5], pada pengukuran ini digunakan sensor gaya [6] untuk mengukur debit. Selain itu pengukuran kecepatan aliran dari lubang tidak diukur dari jangkauan horizontalnya tetapi dari lintasan air yang berbentuk parabola.

## II. LANDASAN TEORI

Pada tabung yang berlubang di bagian samping, air akan mengalir dengan kelajuan yang tergantung pada ketinggian air di dalam tabung seperti terlihat pada Gambar 1. Ketinggian air di dalam tabung  $h$  yang konstan, akan menghasilkan laju aliran yang konstan pula. Selanjutnya air ditampung dan diukur beratnya menggunakan sensor gaya. Peninjauan berat air yang ditampung tiap satuan waktu dibedakan dari dua keadaan yaitu tanpa kontraksi dan dengan kontraksi.

### a. Tanpa kontraksi

Pada keadaan tanpa kontraksi air akan mengalir melalui lubang dengan luas penampang aliran sama dengan luas penampang lubang. Bila luas penampang

lubang sebesar  $A_1$  dan laju aliran  $v_1$ , maka volume air yang keluar tiap satuan waktu mengikuti [5]

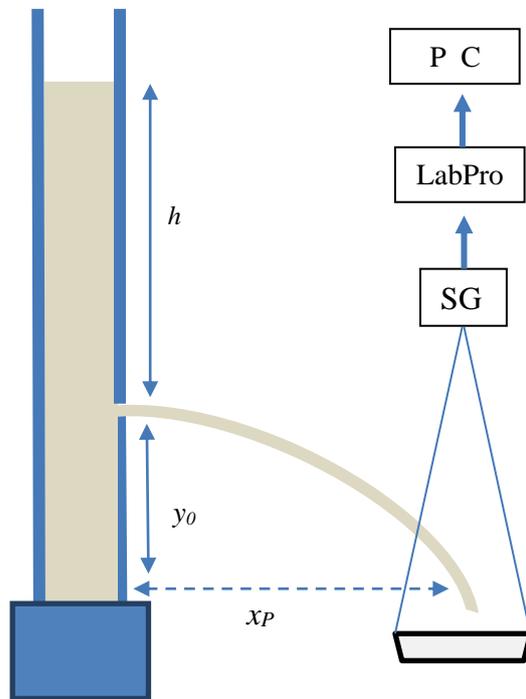
$$Q = v_1 A_1 \quad (1)$$

Berat air yang keluar tiap satuan waktu akan menjadi

$$W' = v_1 A_1 \rho g \quad (2)$$

dengan

- $W'$  : berat air tiap satuan waktu
- $\rho$  : massa jenis air
- $g$  : percepatan gravitasi



Gambar 1. Susunan peralatan.

Air mengalir melalui lubang di samping tabung menuju penampung yang digantungkan pada sensor gaya (SG). Sensor gaya dihubungkan dengan komputer PC melalui interface LabPro

### b. Dengan kontraksi

Air mengalir keluar dari lubang karena tekanan hidrostatik. Pada lubang lintasan air akan berbelok dan melengkung. Air tidak dapat berbelok langsung secara tegak lurus dari arah vertikal menjadi horisontal. Akibatnya penampang aliran akan lebih kecil dari penampang lubangnya. Kelajuan aliran juga akan berubah [3,4].

Pada keadaan ini air mengalir ke arah horisontal, dengan luas penampang aliran sebesar  $A_2$  dan kelajuan aliran  $v_2$ . Selanjutnya karena pengaruh percepatan gravitasi air akan mengikuti lintasan parabola seperti pada Gambar 1 di atas. Bila dasar tabung sebelah kanan dipakai sebagai acuan posisi ke arah horisontal  $x$  dan vertikal  $y$ , maka koordinat lubang adalah  $(0, y_0)$ . Air akan mencapai bidang dasar pada koordinat  $(x_P, 0)$ . Pada

lintasan berlaku hubungan antara  $y$  terhadap  $x$  mengikuti persamaan [5]

$$y = -\frac{g}{2v_2^2}x^2 + y_0 \quad (3)$$

Selain itu nilai kelajuannya juga dapat ditentukan secara langsung dari persamaan

$$v_2 = x_P \sqrt{\frac{g}{2y_0}} \quad (4)$$

Dengan kelajuan aliran  $v_2$  dan luas penampang aliran  $A_2$ , berat air yang ditampung tiap satuan waktu menjadi

$$W' = v_2 A_2 \rho g. \quad (5)$$

Koefisien kontraksi menunjukkan nilai perbandingan antara luas penampang aliran air dengan luas penampang lubang.

$$\alpha = \frac{A_2}{A_1}. \quad (6)$$

Pada kedua keadaan tersebut nilai berat air yang ditampung persatuan waktu adalah sama. Karena itu dari persamaan (2), (5), dan (6) dapat diperoleh koefisien kontraksi [4].

$$\alpha = \frac{v_1}{v_2}. \quad (7)$$

## II. METODE EKSPERIMEN

Pada eksperimen digunakan tabung pralon. Diameter tabung diukur dengan jangka sorong dan bernilai  $\phi_1 = (8,88 \pm 0,02)$  cm. Lubang keluaran dibuat pada samping tabung. Diameter lubang diukur dengan mikrometer sekrup dan analisis foto menggunakan software Logger Pro. Diameter lubang yang digunakan sebesar  $\phi_2 = (5,17 \pm 0,03)$  mm. Lubang keluaran ini berada 5 cm dari dasar tabung. Air dimasukkan melalui bagian atas tabung. Untuk menjaga agar ketinggian air tetap, pada tabung juga dibuat lubang pelimpahan. Ketinggian air  $h$  pada Gambar 1, dihitung dari lubang keluaran sampai lubang pelimpahan.

Air yang keluar dari lubang akan menuju penampung yang digantungkan pada sensor gaya. Sensor gaya yang digunakan adalah sensor gaya buatan Vernier dengan resolusi sebesar 0,05 Newton. Sensor ini dihubungkan dengan PC melalui interface LabPro.

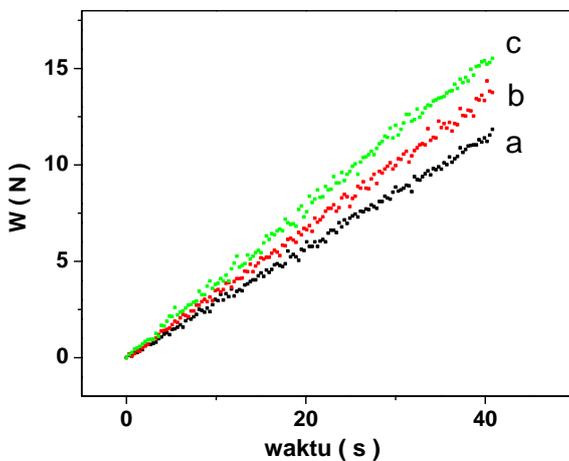


Gambar 2. Susunan peralatan yang digunakan. Sensor gaya terlihat di samping kiri.

Data berat air akan dikumpulkan dan dianalisis menggunakan *software* LoggerPro. *Software* ini menyediakan fasilitas *fitting* data dan analisis foto. Air dikumpulkan selama 40 detik. Selama pengumpulan ini lintasan air direkam menggunakan kamera. Nilai berat air tiap satuan waktu  $W'$  dapat diperoleh dari gradien grafik hubungan antara berat air  $W$  terhadap waktu. Selanjutnya kelajuan aliran air  $v_1$  dapat dihitung menggunakan persamaan (2). Gambar rekaman lintasan air berupa parabola dianalisis dan di-*fit* dengan persamaan (3) menggunakan *software* LoggerPro. Dari hasil *fitting* data ini diperoleh nilai kelajuan air  $v_2$ . Selanjutnya koefisien kontraksi  $\alpha$  dapat dihitung menggunakan persamaan (7).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

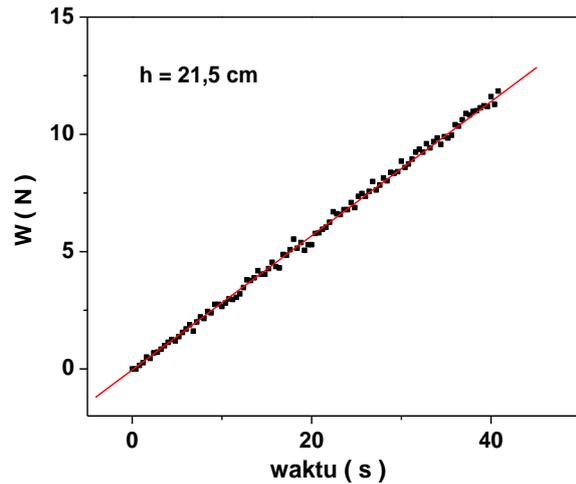
Air yang mengalir keluar dari lubang ditampung dan diukur beratnya selama 40 detik secara kontinyu. Berat air yang tertampung akan naik secara linear. Kenaikan berat tergantung dari kelajuan aliran air. Kelajuan ini tergantung dari ketinggian air di dalam tabung. Hasil pengamatan berat air yang ditampung untuk ketinggian air di dalam tabung yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Hubungan berat air yang ditampung terhadap waktu dengan ketinggian air dalam tabung: a. 21,5 cm; b. 31,5 cm; c. 41,5 cm

Dari Gambar 3 tampak bahwa semakin tinggi air yang ada di dalam tabung, berat air yang dikumpulkan semakin banyak. Untuk mengetahui berat air yang dikumpulkan tiap detik data pada Gambar 3 dicari gradiennya. Untuk ketinggian air dalam tabung 21,5 cm hubungan berat air yang dikumpulkan terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 4. Pada gambar ini juga disajikan garis linear hasil *fitting* data dengan persamaan (2). Dari hasil *fitting* pada Gambar 4 diperoleh nilai gradien sebesar  $W' = (284,7 \pm 0,2) \times 10^{-3} \text{ N/s}$ .

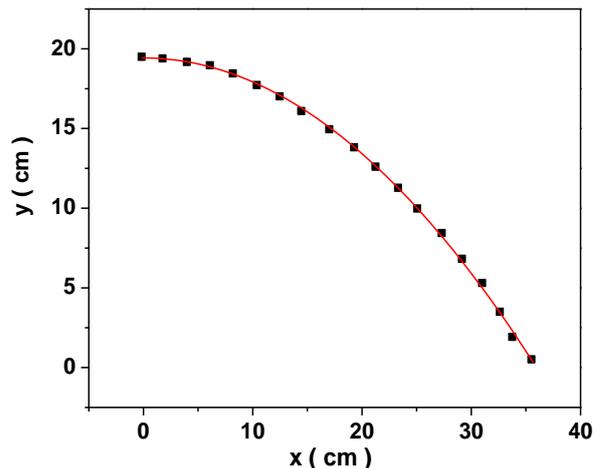
Dengan nilai ini kelajuan air yang melalui lubang dengan luas penampang  $A_1 = (20,9 \pm 0,2) \times 10^{-6} \text{ m}^2$  diperoleh dengan persamaan (2) sebesar  $V_1 = (138 \pm 1) \times 10^{-2} \text{ m/s}$ .



**Gambar 4.** Hubungan berat air yang ditampung terhadap waktu untuk ketinggian air dalam tabung 21,5 cm. Garis linear yang disertakan digunakan untuk menghitung gradien.

Pada ketinggian air yang sama juga diperoleh rekaman lintasan air. Koordinat air pada lintasan dapat dianalisis dengan program LoggerPro menghasilkan pola parabola seperti yang disajikan pada Gambar 5. Lintasan parabola ini di-*fit* dengan persamaan (3) menghasilkan nilai kelajuan air  $V_2 = (181 \pm 1) \times 10^{-2} \text{ m/s}$

Dari kedua nilai ini didapat nilai koefisien kontraksi dengan menggunakan persamaan (7) sebesar  $\alpha = (0,74 \pm 0,02)$ .

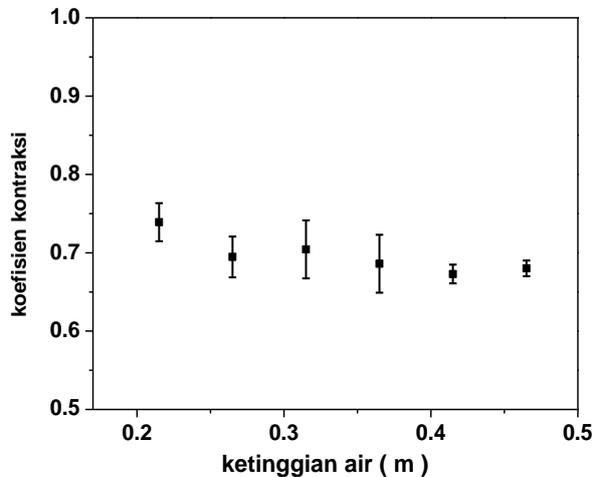


**Gambar 5.** Hubungan berat air yang ditampung terhadap waktu untuk ketinggian air dalam tabung 21,5 cm.

Untuk satu ketinggian air dalam tabung, pengukuran koefisien kontraksi dilakukan sebanyak tiga kali. Dengan cara yang sama eksperimen dilakukan untuk ketinggian lainnya. Hasil koefisien kontraksi untuk berbagai ketinggian air di dalam tabung disajikan dalam Tabel 1 dan Gambar 6

**Tabel 1.** Koefisien kontraksi yang diukur untuk berbagai ketinggian air dalam tabung.

No	Ketinggian air $h$ ( m )	Koefisien kontraksi $\alpha$
1	0,215	(0,74 ± 0,02)
2	0,265	(0,69 ± 0,03)
3	0,315	(0,70 ± 0,04)
4	0,365	(0,69 ± 0,04)
5	0,415	(0,67 ± 0,01)
6	0,465	(0,68 ± 0,01)

**Gambar 6.** Koefisien kontraksi yang terukur untuk berbagai ketinggian air dalam tabung.

Hasil eksperimen ini menunjukkan bahwa nilai koefisien kontraksinya sekitar 0,7. Nilai hasil pengukuran ini sesuai dengan yang ada di pustaka. Nilai koefisien kontraksi tergantung pada geometri lubangnya. Untuk lubang bulat seperti yang digunakan dalam penelitian ini, nilai kontraksinya adalah  $0,5 < \alpha < 1$  [4]. Pada eksperimennya Oliveira *et al.* menggunakan lubang berdiameter 2 mm dan mendapatkan diameter aliran air sebesar 1,8 mm. Dari kedua nilai tersebut diperoleh nilai koefisien kontraksi sebesar 0,81 [2].

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada jangkauan ketinggian air yang digunakan pada eksperimen ini, diperoleh nilai koefisien kontraksi yang relatif tetap. Dengan memperhatikan ketidakpastiannya tampak bahwa ketinggian air dalam tabung tidak mempengaruhi nilai koefisien kontraksi. Koefisien kontraksi lebih dipengaruhi oleh geometri lubangnya [3]. Dari Tabel 1, dapat diperoleh nilai koefisien kontraksi pada eksperimen ini sebesar  $(0,69 \pm 0,03)$ .

Penghitungan kecepatan aliran yang pertama menggunakan nilai pengukuran berat tiap satuan waktu dan luas penampang lubang. Ketidakpastian pengukuran ini dipengaruhi oleh keadaan lubang. Lubang dibuat pada pralon dengan cara dibor. Lubang yang ada sudah dihaluskan, meskipun demikian bentuk lubangnya tidak sempurna berupa lingkaran. Hal ini memberikan sumbangan ketidakpastian pada luas penampang lubang.

Pengukuran kelajuan aliran kedua ( $v_2$ ) menggunakan data lintasan air. Pada pustaka [5] penentuan kelajuan menggunakan persamaan (4) yang berarti hanya menggunakan dua koordinat yaitu titik awal dan akhir saja. Berbeda dari pustaka [5] tersebut, agar lebih teliti pada analisis ini telah dilakukan *fitting* titik data sepanjang lintasan aliran menggunakan persamaan (3). Ketidakpastian berasal dari penentuan titik data pada analisis foto menggunakan *software* LoggerPro.

Penelitian ini selanjutnya dapat digunakan untuk bahan praktikum mekanika, misalnya tentang gerak parabola. Penggunaan sensor gaya pada penelitian ini juga memperkaya metode analisis data.

#### IV. KESIMPULAN

Luas penampang aliran air yang keluar melalui lubang akan lebih kecil dari luas penampang lubangnya. Koefisien kontraksi tergantung dari keadaan geometri lubangnya. Nilai koefisien kontraksi yang diperoleh pada eksperimen ini adalah  $(0,69 \pm 0,03)$ .

#### PUSTAKA

- [1] R. Cross, *Filling or Draining a Water Bottle with Two Holes*, Phys. Educ., vol 51, 2016, pp.1-6.
- [2] P. M. C. de Oliveira, A. Delfino, E. V. Costa dan C. A. F. Leite, Pin-Hole Water Flow From Cylindrical Bottles, Phys. Educ.vol35(2), 2000, pp. 110-119.
- [3] Y.A. Cengeldan J.M. Cimbali, *Fluid Mechanics, Fundamentals and Applications*, 3<sup>rd</sup>ed, Mc Graw Hill, 2014.
- [4] R. Fitzpatrick, *Theoretical Fluid Mechanics*, Website: <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/336L/Fluid.pdf>, diakses tanggal 20 November 2016.
- [5] J. N Libii, M. Hartenstein dan J. D. Torres, Experimental Determination of The Contraction Coefficient of A Free Jet of Water. Phys. Educ. vol36 (2), 2001, pp. 115-118.
- [6] S. J. Fairman, J. A. Johnson, dan T. A. Walkiewicz, Fluid Flow with Logger Pro, The Physics Teacher, vol 41, 2003, pp. 345-350.

#### TANYA JAWAB

##### Anonim

- ? Apa saran yang dapat anda berikan untuk pengukuran kecepatan menggunakan persamaan Bernoulli? ( $v = \sqrt{2gh}$ ).

##### Yosephine Novita Apriati, USD

- ✓ Pengukuran kecepatan  $v = \sqrt{2gh}$  menggunakan berbagai pengabaian dan asumsi. Penelitian ini lebih mengutamakan pada perhitungan perbandingan luas penampang aliran air dan lubangnya. Untuk memperhitungkan pengabaian dan asumsi pada persamaan  $v = \sqrt{2gh}$  perlu penelitian lebih lanjut.