



## OPTIMASI NILAI $h_1/d$ PADA KEBERLAKUAN PERSAMAAN BERNOULLI

Hindaresmi<sup>1</sup>, Moh. Toifur<sup>2\*</sup>

Magister Pendidikan Fisika, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia

e-mail<sup>2\*</sup>: [toifur@mpfis.uad.ac.id](mailto:toifur@mpfis.uad.ac.id)

Diterima 1 Juli 2021

Disetujui 18 April 2022

Dipublikasikan 17 Mei 2022

<https://doi.org/10.33369/jkf.5.1.63-68>

### ABSTRAK

Telah dilakukan eksperimen hukum Bernoulli pada fenomena bejana berlubang dengan bantuan aplikasi *tracker*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh diameter lubang kebocoran terhadap laju penurunan air ( $v_1$ ) dan menentukan pengaruh kecepatan penurunan cairan di permukaan bejana ( $v_1$ ) terhadap kecepatan cairan yang mengalir dari lubang kebocoran bejana ( $v_2$ ), menggunakan bantuan aplikasi *tracker*, ditinjau dari segi eksperimen. Penelitian ini dilakukan sebanyak lima kali pada diameter lubang kebocoran yang berbeda-beda yaitu 0,5 cm, 1,0 cm, 1,5 cm, 2,0 cm, dan 2,5 cm, dengan diameter bejana 15 cm. Video yang dihasilkan dari rekaman kebocoran air kemudian ditrack menggunakan aplikasi *tracker* untuk mendapatkan nilai  $h_1$  persatuan waktu. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah ditemukannya hubungan antara laju penurunan air dan diameter lubang kebocoran, yaitu semakin besar diameter lubang kebocoran, semakin besar juga laju penurunan air yang terjadi pada permukaan bejana dan diperoleh hubungan antara kecepatan penurunan air (kecepatan *efflux*) dan kecepatan mengalirnya air pada lubang kebocoran yaitu semakin besar kecepatan *efflux* semakin besar pula laju kebocoran air pada sisi bejana.

**Kata kunci:** Persamaan Bernoulli, aplikasi *tracker*, kecepatan *efflux*.

### ABSTRACT

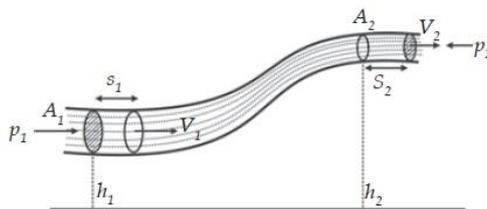
Bernoulli's law experiment has been carried out on the phenomenon of hollow vessels with the help of a tracker application. This study aims to determine the effect of the diameter of the leak hole on the rate of water reduction ( $v_1$ ) and determine the effect of the velocity of the liquid on the surface of the vessel ( $v_1$ ) on the velocity of the liquid flowing from the leak hole ( $v_2$ ), using the help of a tracker application, in terms of experiments. This research was conducted five times at different diameters of the leak holes, namely 0.5 cm, 1.0 cm, 1.5 cm, 2.0 cm, and 2.5 cm, with a vessel diameter of 15 cm. The video generated from the water leak recording is then tracked using the tracker application to get the  $h_1$  value per unit of time. The results obtained from this study were found a relationship between the rate of decrease in water and the diameter of the leak hole, namely the larger the diameter of the leak hole, the greater the rate of water reduction that occurred on the surface of the vessel and a relationship was obtained between the speed of water reduction (*efflux* speed) and the flow rate. water in the leak hole, namely the greater the *efflux* velocity, the greater the rate of water leakage on the side of the vessel.

Keywords— Bernoulli equation, tracker app, *efflux* speed.

### I. PENDAHULUAN

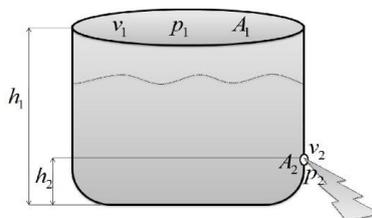
Ketika fluida mengalir disepanjang tabung aliran horizontal dengan berbagai penampang melintang, kecepatannya harus berubah (1). Jika tekanan di setiap wilayah adalah sama, akan menyebabkan besaran-besaran yang bekerja pada tabung aliran tersebut bernilai 0 (2), ketika penampang tabung divariasasi, tekanan juga harus bervariasi disepanjang tabung, bahkan ketika tidak ada perbedaan ketinggian. Jika ketinggian berubah, terdapat penambahan tekanan yang berbeda.

Persamaan Bernoulli adalah ekspresi umum yang menghubungkan perbedaan tekanan antara dua titik yang berada di dalam tabung aliran untuk perubahan kecepatan dan perubahan ketinggian (3).



**Gambar 1.** Aliran fluida pada sebuah tabung bertekanan

Asas Bernoulli dapat digunakan untuk melakukan kalkulasi kebocoran pada tangki air atau bejana berlubang (4). Pada sebuah fenomena keseharian, sebuah bejana yang diisi cairan sampai kedalaman tertentu atau biasa disebut dengan  $h_1$ , pada dinding bejana tersebut terdapat lubang kebocoran yang terletak pada ketinggian tertentu, biasa disebut dengan  $h_2$  yang diukur dari tanah.



**Gambar 2.** Aliran fluida yang mengalir melewati lubang kebocoran

Dari lubang kebocoran tersebut akan mengalir sejumlah cairan dengan kecepatan tertentu sebesar  $v_2$ , dan penurunan cairan yang ada di permukaan bejana disebut dengan  $v_1$ . Kecepatan penyusutan atau penurunan cairan yang berada pada permukaan bejana sampai dasar bejana atau sampai pada lubang kebocoran biasa disebut dengan kecepatan *efflux* (5,6). Penyebab terjadinya penyusutan cairan pada permukaan bejana diakibatkan karena adanya tekanan yang diberikan oleh udara yang menggantikan posisi dari cairan (7).

Konsep yang sudah diterapkan secara mendasar adalah bahwa kecepatan menurunnya cairan di permukaan bejana atau kecepatan *efflux* akan sama dengan 0 (8,9). Hal itu disebabkan karena luas penampang bejana jauh lebih besar dibandingkan dengan luas lubang kebocoran di sisi (10). Tentu hal tersebut menimbulkan keresahan ilmiah di kalangan akademisi disiplin ilmu fisika, karena tidak semua keadaan dapat menerapkan teori tersebut. Dari keresahan ilmiah itulah maka penelitian ini dilakukan, penelitian dengan judul “Optimasi Nilai  $h_1/d$  Pada Keberlakuan Persamaan Bernoulli” bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter lubang kebocoran terhadap laju penurunan cairan ( $v_1$ ) dan menentukan pengaruh kecepatan penurunan cairan di permukaan bejana ( $v_1$ ) terhadap kecepatan cairan yang mengalir dari lubang kebocoran bejana ( $v_2$ ). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, optimasi adalah suatu tindakan atau suatu proses yang ideal (nilai efektif yang dapat dicapai) (11). Penerapan optimasi dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mencari nilai terbaik dari perbandingan diameter lubang kebocoran terhadap penurunan ketinggian cairan pada permukaan bejana. Dengan memvariasikan lubang kebocoran ( $d$ ), maka akan didapat nilai optimal untuk keberlakuan dari persamaan Bernoulli.

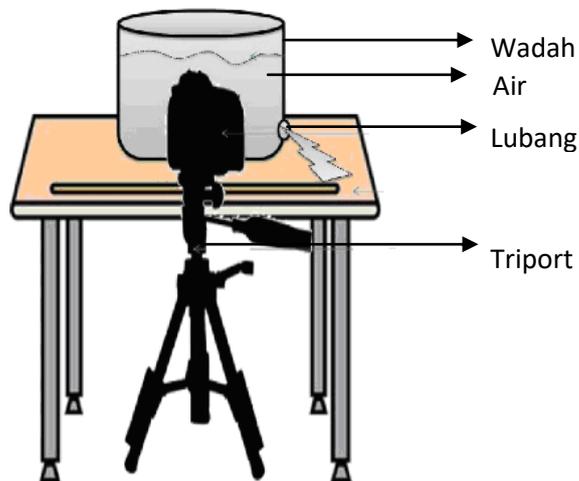
Untuk menganalisis gejala fisis seperti di atas, perlu digunakannya sebuah perangkat yang dapat meneiliti lebih rinci mengenai gejala tersebut, salah satunya yaitu *Video Based Laboratory* (VBL) merupakan laboratorium berbasis video dengan gejala Fisika secara nyata didokumentasikan melalui video kemudian dengan menggunakan bantuan komputer. Gejala tersebut dapat dianalisis untuk mengetahui hubungan antar variabel-variabel fisisnya. VBL mampu menyajikan gejala fisika nyata dan berbagai bentuk representasinya (data kuantitatif, grafik, dan persamaan) secara simultan

yang dapat dilakukan secara interaktif. VBL merupakan alat yang mampu memadukan aspek teoritik dan eksperimental dalam pembelajaran Fisika (12).

Saat ini telah tersedia beberapa perangkat lunak untuk VBL, misalnya perangkat lunak *tracker* dan *logger pro*. Perangkat lunak *logger pro* memiliki fasilitas video analisis untuk membuat dan menganalisis grafik representasi gerak yang terlihat dalam video sehingga dapat digunakan dalam pembelajaran fisika. *Software tracker* merupakan sebuah perangkat lunak yang mampu menganalisis dan memodelkan fenomena gerak dan optik. Selain itu, *software tracker* juga merupakan proses memperkirakan dari waktu ke waktu dan dari lokasi satu obyek atau lebih. Melalui *software tracker*, kita dapat dengan mudah menganalisis permasalahan dunia nyata khususnya pada topik gerak dan optik yang terkadang sulit dilakukan tanpa bantuan teknologi (13). *Software tracker* juga digunakan untuk melacak pergerakan suatu cairan yang berada pada permukaan bejana dengan lubang kebocoran di salah satu sisinya.

## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dan observasi. Alat yang digunakan terdiri dari laptop, kamera, *tripot*, dan bejana (wadah) yang sudah dilubangi pada satu sisinya dengan 5 ukuran lubang yang berbeda yaitu 0,5 cm, 1,0 cm, 1,5 cm, 2,0 cm, dan 2,5 cm. Bahan yang digunakan adalah fluida (air). Gambar rangkaian alat eksperimen adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.** Rangkaian alat eksperimen

Adapun tahap-tahap yang dilakukan yakni 1) mengatur perangkat eksperimental dan mempersiapkan materi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 2) mengisi bejana dengan air dengan ketinggian 18 cm dan membiarkan air keluar melalui lubang yang ada di sisi bejana, karena hanya menggunakan satu bejana dengan 5 lubang kebocoran, pada saat pengambilan data untuk lubang dengan diameter 0,5 cm, maka keempat lubang lainnya ditutup menggunakan perekat yang kuat agar tidak ada air atau udara yang keluar dari lubang lainnya. Begitupun untuk pengambilan data pada diameter lubang 1,0 cm, 1,5 cm, 2,0 cm, dan 2,5 cm. 3) Merekam video turunnya air di permukaan bejana dengan menggunakan kamera yang disimpan sejauh 1 meter dari bejana. 4) Menyimpan video yang telah direkam dalam folder yang akan dianalisis. 5) Mengulangi rekaman kebocoran air dengan empat variasi lubang kebocoran yang berbeda di sisi bejana. 6) Menganalisis dengan bantuan *video tracker*, *logger pro*, dan *microsoft excel*.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Analisis Teori Kasus Kebocoran Air

Dalam beberapa kasus, seringkali besarnya  $v_1$  dianggap 0, karena luas bejana jauh lebih besar dibandingkan dengan luas lubang kebocoran (9). Akan tetapi dalam kenyataannya  $v_1$  tidak bisa dianggap 0 karena sebesar apapun luas penampang bejana, tetap saja  $v_1$  tidak akan bernilai 0. Dengan mengasumsikan bahwa besarnya tekanan di permukaan bejana dan tekanan di lubang kebocoran adalah sama (14), dapat diperoleh suatu persamaan sebagai berikut:

$$P_1 = P_2 \tag{1}$$

Dengan tekanan  $p$ :

$$p = \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 \tag{2}$$

Sehingga jika persamaan (1) diimplementasikan di permukaan air dan di lubang keluaran air dapat ditulis menjadi:

$$\rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \tag{3}$$

Dengan memindah ruaskan besaran yang sama, persamaan (3) dapat disederhanakan menjadi:

$$\rho g(h_1 - h_2) + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \tag{4}$$

Sehingga, besarnya  $v_2$  adalah:

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2) + v_1^2} \tag{5}$$

Untuk permukaan wadah yang tidak luas sekali, maka tinggi permukaan cairan di bejana tidak dapat dianggap konstan. Perubahan  $h_1$  selama selang waktu tertentu dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v_1 = \frac{dh_1}{dt} \tag{6}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (5) ke dalam persamaan (6), besarnya  $v_2$  menjadi:

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2) + \left(\frac{dh_1}{dt}\right)^2} \tag{7}$$

Fungsi  $h_1$  didapatkan dengan cara memfitting data  $(h_i, t_i)$  menurut kurva eksponensial:

$$h_1 = Ae^{-bt} \tag{8}$$

Sehingga

$$\frac{dh_1}{dt} = -bAe^{-bt} \tag{9}$$

Substitusi pers. (9) ke pers. (7) menjadi:

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2) + (bAe^{-bt})^2} \tag{10}$$

Persamaan (10) ini berbeda dengan persamaan yang diturunkan dari kasus jika besarnya kecepatan *efflux* adalah 0, sebagaimana yang dituliskan di buku-buku pelajaran selama ini, yaitu:

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \tag{11}$$

Persamaan (10) dan (11) untuk selanjutnya diselidiki dalam eksperimen.

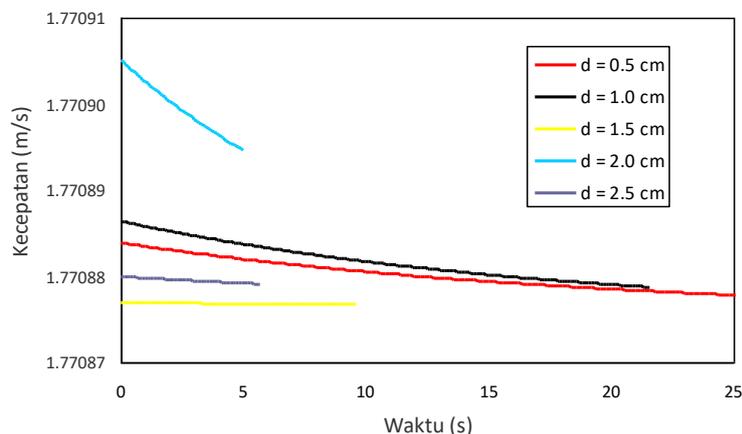
#### 3.2 Data Eksperimen

Telah dilakukan eksperimen hukum Bernoulli pada fenomena bejana berlubang dengan bantuan aplikasi *tracker* yang bertujuan untuk menentukan pengaruh diameter lubang kebocoran terhadap

laju penurunan air ( $v_1$ ) dan menentukan pengaruh kecepatan penurunan air di permukaan bejana ( $v_1$ ) terhadap kecepatan air yang mengalir dari lubang kebocoran bejana ( $v_2$ ), menggunakan bantuan aplikasi *tracker*, ditinjau dari segi eksperimen, dan diperoleh perbandingan dari masing-masing diameter lubang kebocoran. Berikut rincian analisis dengan bantuan *video tracker*, *logger pro*, dan *microsoft excel* yang telah dilakukan.

1. Video yang telah direkam dimasukkan ke dalam aplikasi *tracker* untuk kemudian di *tracking* dan mendapatkan nilai ketinggian air  $h_1$  dalam bejana dan waktu ( $t$ ). Proses *tracking* dilakukan sebanyak lima kali, yaitu masing-masing satu kali pada lima variasi diameter lubang.
2. Data  $h_1$  dan  $t$  yang diperoleh dari hasil *tracking* kemudian diolah menggunakan aplikasi *logger pro* untuk mendapatkan nilai A dan B dari persamaan eksponensial. Setelah nilai A dan B diketahui, mencari nilai  $v_2$  dengan menggunakan persamaan (10) menggunakan *microsoft excel*.
3. Setelah mendapatkan nilai A dan B yang diperoleh dari *logger pro*, kemudian menghitung nilai kecepatan turunnya air pada permukaan bejana ( $v_1$ ) dengan menggunakan persamaan (9). Setelah diperoleh nilai  $v_1$  untuk masing-masing diameter lubang, kemudian mencari nilai kecepatan mengalirnya air pada lubang kebocoran ( $v_2$ ) dengan menggunakan persamaan (10), dan hasilnya dibandingkan dengan nilai  $v_2$  dengan menggunakan persamaan (11) yang tidak menyertakan nilai  $v_1$  atau biasa disebut dengan persamaan Bernoulli.

Kemudian diperoleh grafik hasil eksperimen untuk variasi lima diameter lubang kebocoran sebagaimana pada Gambar 4. Pada Gambar 4, diameter lubang kebocoran 0,5 cm diwakili garis merah, diameter lubang kebocoran 1,0 cm diwakili garis hitam, diameter lubang kebocoran 1,5 cm diwakili garis kuning, diameter lubang kebocoran 2,0 cm diwakili garis biru dan diameter lubang kebocoran 2,5 cm diwakili garis ungu.



**Gambar 4.** Grafik perbandingan kecepatan penurunan air per satuan waktu

Gambar 4 memperlihatkan bahwa semakin besar diameter lubang kebocoran, semakin cepat pula penurunan air pada permukaan bejana, yang artinya kecepatan *efflux* semakin besar. Setelah dianalisis dengan menggunakan kedua persamaan di atas, diperoleh nilai  $v_2$  yang tidak melibatkan  $v_1$  atau menggunakan persamaan (11) adalah sebesar  $1,77087 \text{ m/s}^2$ . Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa semakin besar diameter lubang kebocoran, menyebabkan bertambah cepatnya penurunan air pada permukaan bejana, sehingga laju penurunan air ( $v_1$ ) semakin besar. Terdapat hubungan antara laju penurunan air ( $v_1$ ) dan laju kebocoran air ( $v_2$ ). Nilai  $v_1$  akan mempengaruhi nilai  $v_2$ , yaitu semakin besar kecepatan penurunan air pada permukaan bejana ( $v_1$ ) maka semakin besar pula kecepatan mengalirnya kebocoran air pada sisi bejana ( $v_2$ ). Hasil penelitian ini sejalan

dengan penelitian yang menyatakan bahwa semakin kecil diameter lubang kebocoran (*gate valve*), semakin kecil laju penurunan air sehingga laju kebocoran juga semakin kecil (14).

#### IV. SIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan uraian pembahasan yang telah dijabarkan, penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut: (1) Laju penurunan air pada permukaan bejana dipengaruhi oleh besarnya lubang kebocoran. Semakin besar lubang kebocoran, maka semakin cepat pula penurunan ketinggian air pada permukaan bejana sehingga diameter lubang kebocoran dan penurunan ketinggian air memiliki nilai yang sebanding. (2) Penurunan ketinggian air persatuan waktu yang biasa disebut dengan  $v_1$  mempengaruhi besarnya nilai  $v_2$  atau kecepatan air yang bocor pada sisi bejana. Hubungan kedua variabel ini yaitu semakin besar nilai  $v_1$  akan menyebabkan nilai  $v_2$  semakin besar.

##### 4.2 Saran

Perlu dikembangkan eksperimen yang lebih variatif, misalnya dengan menambah jumlah lubang kebocoran mulai dari diameter kecil hingga besar serta mengganti jenis fluida yang digunakan, seperti minyak, sirup dan lain-lain agar diperoleh hasil eksperimen yang lebih relevan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Program Studi Magister Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan yang telah menyediakan sarana untuk proses penelitian dan semua pihak yang telah berkontribusi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Giancoli. Fisika Dasar Jilid I. Jakarta: Erlangga; 2014.
2. Abdullah. Fisika Dasar Jilid I. Bandung: Institut Teknologi Bandung; 2017.
3. Tipler PA. Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga; 1998.
4. Sears FW, Zemansky MW, Young HD. University Physics. London: Addison Wesley Publishing Company; 1984.
5. Serway R, A., John W. Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Salemba Teknika; 2009.
6. Halliday D, Resnick R. Fisika. Jakarta: Erlangga; 1985.
7. Tipler PA. Fisika Edisi Ketiga Jilid I. Jakarta: Erlangga; 1998.
8. Giancoli DC. Fisika. Jakarta: Erlangga; 1998.
9. Halliday D, Resnick, Robert. Dasar-Dasar Fisika. Tangerang: Binarupa Aksara; 1991.
10. Young HD, Freedman RA. Fisika Universitas. Jakarta: Erlangga; 2002.
11. Kemendikbud. Kamus Besar Bahasa Indonesia. Jakarta: Badan Pengembangan dan Perbukuan; 2008.
12. Fahrizal Eko Setiono, Sar S, Parmi S. Problem Based Learning dalam Pembelajaran Fisika menggunakan Simulation Based Laboratory (SBL) dan Video Based Learning (VBL). J Mater dan Pembelajaran Fis. 2012;2:25–36.
13. Habibulloh M, Madlazim M. Penerapan Metode Video Analisis Video Tracker dalam Pembelajaran Fisika. J Penelit Fis dan Apl. 2014;4(1):15–22.
14. Ramadhan Y, Ramelan, Sumbodo W. Pengembangan Media Pembelajaran Pengukuran Rugi Aliran Fluida Cair dalam Pipa Venturi. J Mech Eng Learn. 2014;3(2):115–24.