

**PENGARUH LUAS LUBANG PADA KOEFISIEN BOCORAN
PIPA SILINDER TERBUKA**

**ANIS MARSALIHAWATI
NIM H1021161051**

SKRIPSI



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2023**

**PENGARUH LUAS LUBANG PADA KOEFISIEN BOCORAN
PIPA SILINDER TERBUKA**

**ANIS MARSALIHAWATI
NIM H1021161051**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Fisika



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2023**

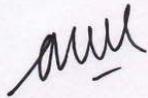
**PENGARUH LUAS LUBANG PADA KOEFISIEN BOCORAN
PIPA SILINDER TERBUKA**

Tanggung Jawab Yuridis Material Pada

Anis Marsalihawati
NIM H1021161051.

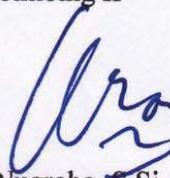
Disetujui oleh,

Pembimbing I



Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si.
NIP198107302005011002

Pembimbing II



Dr. Bintoro S. Nugroho, S.Si., M.Si.
NIP198102062006041003

Disahkan Oleh

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura



Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP197108022000031001

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PONTIANAK**

TIM PENGUJI SKRIPSI

NAMA/NIP	TIM PENGUJI	GOLONGAN/ JABATAN	TANDA TANGAN
Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si. NIP198107302005011002	Pimpinan Sidang Merangkap Anggota Penguji	IIIc/Lektor	
Dr. Bintoro S. Nugroho, S.Si., M.Si. NIP198102062006041003	Sekretaris Sidang Merangkap Anggota Penguji	IIIId/Lektor	
Dr. Joko Sampurno, S.Si., M.Si. NIP198408252008011004	Ketua Penguji	IIIc/Lektor	
Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si. NIDN0019018805	Anggota Penguji	Tenaga Pengajar	

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Tanjungpura Pontianak

Nomor : 1170/UN22.8/TD.06/2023

Tanggal : 29 Maret 2023

Tanggal Lulus : 12 April 2023

Pengaruh Luas Lubang pada Koefisien Bocoran Pipa Silinder Terbuka

Abstrak

Koefisien bocoran merupakan perbandingan antara debit aliran eksperimen dan teoritis. Hukum Bernoulli merupakan hukum tentang energi kinetik dan energi potensial yang diterapkan pada fluida bergerak. Pada penelitian ini, pengaruh luas lubang pada koefisien bocoran pipa silinder terbuka dilakukan dengan menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur tinggi permukaan air. Dengan menggunakan pencocokan kurva dapat diperoleh nilai $A_{2\text{eksperimen}}$ dan koefisien bocoran (C_d). Penelitian ini menunjukkan bahwa waktu pengurasan air dan nilai koefisien bocoran berbanding terbalik dengan luas lubang. Hasil ini diharapkan bisa memberi informasi terkait pengaruh luas lubang dan dapat diterapkan dalam industri-industri yang menggunakan pipa-pipa pada produksinya.

Kata Kunci: Koefisien Bocoran, Persamaan Bernoulli, Silinder Terbuka

Effect of Hole Area on Leak Coefficient of Open Cylindrical Pipe

Abstract

The leakage coefficient is the ratio between the experimental and theoretical flow rates. Bernoulli's law is the kinetic energy and potential energy applied to moving fluids. In this research, the influence of the orifice area on the leakage coefficient of an open cylindrical pipe is carried out using an ultrasonic sensor to measure the water level. By using curve fitting can be obtained the value of $A_{2_{experimental}}$ and the leakage coefficient (C_d). This research shows that the water drain time and leakage coefficient values are inversely proportional to the orifice area. This research is expected to provide information related to the effect of hole area and can be apply in industries that use pipes in their production.

Keywords: Leakage Coefficient, Bernoulli Equation, Open Cylinder

PRAKATA

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Pengaruh Luas Lubang pada Koefisien Bocoran Pipa Silinder Terbuka**”. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar sarjana sains pada program studi Fisika, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa bimbingan, bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, baik secara finansial maupun non-finansial. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak H. Anim, S.E., dan Ibu Hj. Suriati, S.Pd.SD selaku orang tua penulis yang sudah memberi dukungan, kasih sayang, doa, membiayai uang kuliah maupun kebutuhan sehari-hari serta tidak pernah bosan mengingatkan, memberikan nasehat dan memberikan yang terbaik untuk anaknya.
2. Bapak Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing I yang memberikan bimbingan, mengingatkan, dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Bintoro Siswo Nugroho, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing II yang memberikan bimbingan dan memperhatikan penulisan skripsi dengan teliti.
4. Bapak Dr. Joko Sampurno, S.Si., M.Si., selaku Penguji I yang memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Mega Nurhanisa, S.Si., M.Si., selaku Penguji II yang memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini.
6. Ibu Mariana Bara'allo, S.Si., M.Sc., selaku Pembimbing Akademis pertama ketika masih mahasiswa baru yang memberikan arahan, dukungan serta saran setiap semester.
7. Ibu Dr. Dwiria Wahyuni, S.Si., M.Sc., selaku Pembimbing Akademis yang telah mengingatkan tentang jumlah sks dan nilai agar memenuhi syarat sidang serta masukan-masukannya selama 1 tahun.

8. Bapak Yuris Sutanto, M.Sc., selaku Pembimbing Akademis yang mengingatkan agar menyelesaikan skripsi karena sudah di akhir semester bagi penulis.
9. Bapak Prof. Dr. Garuda Wiko, S.H., M.Si., selaku Rektor Universitas Tanjungpura dan Bapak Dr. Gusrizal, S.Si, M.Si., selaku Dekan Fakultas FMIPA Universitas Tanjungpura.
10. Dosen-dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Tanjungpura yang telah membina dan turut andil dalam penyelesaian masa studi.
11. Hazlina, Nadia, Yeni Apriyanti, Anissa Purastika dan Dala Novika Sandi yang telah membantu, memberikan motivasi, dan dukungan selama penulis menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman Angkatan Fisika 2016 FMIPA Universitas Tanjungpura yang telah menemani penulis semasa studi.
13. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.
14. Anis Marsalihawati, terima kasih untuk tidak menyerah dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini terdapat kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak. Semoga yang tertulis dalam skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca. Amin.

Penulis, 12 April 2023

Anis Marsalihawati

DAFTAR ISI

Abstrak	iv
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Laju Aliran Fluida	4
2.2 Debit Aliran	4
2.3 Persamaan Kontinuitas	4
2.4 Hukum Bernoulli	6
2.5 Asas Toricelli	7
2.6 Koefisien Debit Aliran	8
BAB II METODOLOGI PENELITIAN.....	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Prosedur Kerja.....	13
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Hasil Pengukuran Jarak Permukaan Air ke Sensor	15
4.2 Pengaruh Luas Bocoran pada $A_{2_{eksperimen}}$	16
4.3 Pengaruh Luas Bocoran pada $v_{2_{eksperimen}}$	18
4.4 Pengaruh Luas Bocoran pada Koefisien Bocoran.....	18

BAB V SIMPULAN DAN SARAN	20
5.1 Kesimpulan.....	20
5.2 Saran.....	20
DAFTAR PUSTAKA	21
LAMPIRAN.....	22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perpindahan elemen fluida sejauh Δx selama selang waktu Δt	4
Gambar 2.2	Elemen fluida berupa silinder.	4
Gambar 2.3	Massa fluida mengalir dengan luas penampang berbeda selalu konstan.	6
Gambar 2.4	Menentukan laju keluar air dari suatu keran.	7
Gambar 2.5	Skema Sistem.	9
Gambar 3.1	Rancangan perangkat keras.	12
Gambar 3.2	Perangkat elektronik arduino uno.	13
Gambar 3.3	Bentuk lubang bocoran.	13
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian.	14
Gambar 4.1	Grafik jarak permukaan air ke sensor terhadap waktu untuk beberapa nilai luas bocoran.	15
Gambar 4.2	Kebergantungan waktu pengurasan terhadap luas bocoran.	16
Gambar 4.3	Kebergantungan gejala <i>vena contracta</i> terhadap luas bocoran.	17
Gambar 4.4	Kebergantungan nilai koefisien bocoran terhadap luas bocoran.	19

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data jarak awal, jarak akhir, dan konstanta C diberbagai luas lubang bocoran.	17
Tabel 4.2 Variasi kecepatan aliran yang keluar dari lubang bocoran eksperimen dan teoritis.	18

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	22
Lampiran 1.1 Pengambilan data penelitian.....	22

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebocoran aliran fluida di wadah atau tangki terbuka sering dipelajari pada pelajaran mekanika fluida sehingga banyak ilmuwan yang meneliti lebih dalam tentang aliran fluida yang melalui wadah terbuka. Salah satunya fenomena kebocoran aliran pada pipa silinder terbuka yang merupakan langkah awal dalam pengembangan ilmu teknik secara lebih lanjut, misalnya pada industri-industri yang dalam proses produksinya menggunakan pipa-pipa sebagai upaya perencanaan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai koefisien bocoran.

Penelitian tentang aliran fluida yang mengalir dari lubang bocoran di bagian bawah wadah silinder terbuka telah banyak dilakukan. Pada tahun 1906, Judd dan King melakukan penelitian untuk mengukur laju aliran volumetrik dengan cara meneliti perubahan koefisien bocoran versus kedalaman air, hal ini berkaitan dengan kecepatan air yang keluar. *Micrometer caliper* adalah alat yang digunakan untuk mengukur bentuk dari kecepatan aliran fluida dari lubang bocoran, dan hasilnya menunjukkan bahwa bentuk aliran fluida lebih kecil setelah melalui lubang bocoran yang dikenal sebagai vena kontrakta. Penelitian Judd dan King dilakukan kembali oleh Medugh dan Johnson pada tahun 1940 untuk mengukur koefisien bocoran dengan ketinggian air yang berbeda-beda, yang hasilnya menunjukkan bahwa koefisien bocoran fluida bergantung dengan kecepatan air yang keluar dari lubang bocoran.

McLemore et al. (2013) melakukan penelitian tentang koefisien bocoran pada pipa bulat yang lubang bocorannya berbentuk lingkaran, hasilnya menunjukkan bahwa aliran lateral dari sisi melengkung pipa riser ini menurun, vena kontrakta yang terjadi berbeda dari biasanya saat arus melalui sebuah lubang bocoran biasa. Namun, koefisien bocoran meningkat akibat permukaan air mendekati bagian atas bocoran tersebut. Hick dan Slaton (2015) melakukan

penelitian tentang penentuan koefisien bocoran menggunakan bantuan detektor gerak ultrasonik. Penelitian ini dilakukan pada wadah terbuka yang memiliki lubang bocoran berbentuk lingkaran dengan empat diameter yang berbeda dan terdiri dari dua sisi yaitu sisi tajam (tidak ada *grommet*) dan ujung bulat (*grommet*).

Yunita (2016) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi lubang terhadap koefisien bocoran pada wadah terbuka berisi oli, hasilnya menunjukkan bahwa nilai koefisien bocoran pada lubang berbentuk lingkaran lebih besar dari pada lubang berbentuk segitiga. Harsanti (2021) meneliti tentang pengaruh jumlah gerigi pada ambang terhadap nilai koefisien bocoran dengan menggunakan model saluran terbuka dengan kemiringan dasar 5%, diujicobakan untuk delapan nilai debit yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah gerigi, nilai koefisien bocoran semakin besar. Dan debit aliran yang semakin besar, nilai koefisien bocoran juga semakin besar. Selanjutnya, penelitian mengenai penentuan koefisien bocoran dengan bantuan arduino uno pada pipa silinder terbuka oleh Budiono (2022) juga telah dilakukan. Penelitian dilakukan pada pipa *polivinil klorida* (PVC) 6 inci dan sensor ultrasonik berupa arduino uno sebagai alat untuk mengukur jarak dari sensor ke permukaan air, dengan menggunakan lubang bocoran berbentuk lingkaran yang diameternya berbeda-beda pada bagian bawah pipa PVC. Hasilnya menunjukkan bahwa koefisien bocoran merupakan variabel tak berdimensi berdasarkan dengan nilai koreksi antara hasil eksperimen dan teori.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya mengenai koefisien bocoran, maka penelitian Budiono (2022) dilakukan kembali pada penelitian ini dengan menggunakan bentuk lubang persegi panjang dan luas lubang yang berbeda-beda. Penelitian ini mengambil data nilai rata-rata jarak awal dan akhir dari pengulangan sebanyak 5 kali pada luas lubang bocoran yang berbeda-beda selama 165 s, 24 s, 11 s dan 7 s. Jarak awal dan akhir merupakan jarak sensor ke permukaan air. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh luas lubang bocoran pada saat waktu pengurasan dan koefisien bocoran pipa silinder terbuka.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh luas lubang pada waktu pengurasan pipa silinder terbuka?
2. Bagaimana pengaruh luas lubang pada koefisien bocoran pipa silinder terbuka?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah penelitian ini, maka batasan masalah yang akan diteliti adalah:

1. Jenis pipa PVC yang digunakan yaitu pipa PVC berbentuk silinder terbuka.
2. Lubang bocoran terletak di bagian bawah pipa PVC.
3. Lubang berbentuk persegi panjang dengan luas penampang sebesar 1 cm^2 , 4 cm^2 , 9 cm^2 dan 16 cm^2 .

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah penelitian ini, maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menentukan pengaruh luas lubang bocoran pada waktu pengurasan air dalam silinder terbuka.
2. Untuk menentukan pengaruh luas lubang bocoran pada koefisien bocoran pipa silinder terbuka.

1.5 Manfaat Penelitian

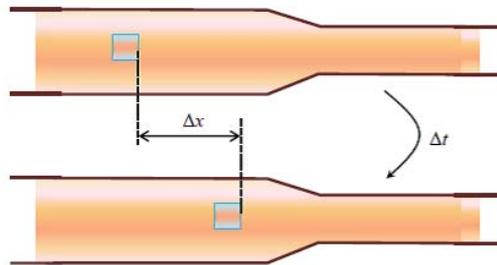
Manfaat pada penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi tentang pengaruh luas lubang pada waktu pengurasan air dan perbedaan luas bocoran pada koefisien bocoran silinder terbuka, yang mungkin dapat diterapkan dalam industri-industri yang menggunakan pipa-pipa pada produksinya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Laju Aliran Fluida

Laju aliran fluida merupakan salah satu besaran yang penting dalam mempelajari fluida bergerak. Jarak yang ditempuh satu elemen dalam fluida per satuan waktu disebut juga dengan laju aliran. Perhatikan Gambar 2.1. sejauh Δx selama selang waktu Δt terjadinya perpindahan sebuah elemen fluida, Δx adalah jarak perpindahan (m) dan Δt adalah selang waktu (s). Persamaan (2.1) berlaku untuk fluida yang mengalir dalam saluran tertutup atau selama fluida mengalir tidak ada kebocoran, baik penampang yang tetap ataupun berubah (Abdullah, 2016).

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.1)$$



Gambar 2.1 Perpindahan elemen fluida sejauh Δx selama selang waktu Δt .

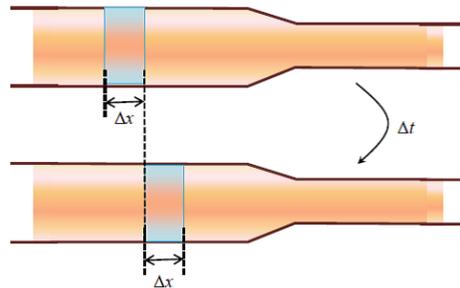
2.2 Debit Aliran

Debit aliran merupakan jumlah volume fluida yang dapat melewati penampang tertentu per satuan waktu (Abdullah, 2016). Perhatikan Gambar 2.2. fluida tegak lurus terhadap penampang pipa yang tebalnya Δx (m), luas penampang dianggap A (m^2). Volume fluida dalam elemen tersebut adalah $\Delta V = A\Delta x$. Elemen tersebut berpindah sejauh Δx selang waktu selama Δt (s). Jika laju aliran fluida adalah v (m/s) maka $\Delta x = v\Delta t$, sehingga elemen volume fluida yang mengalir adalah

$$\Delta V = Av\Delta t \quad (2.2)$$

Debit aliran fluida didefinisikan sebagai berikut

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = Av \quad (2.3)$$



Gambar 2.2 Elemen fluida berupa silinder.

Pengukuran debit aliran secara langsung di lapangan bisa dilakukan dengan teknik sebagai berikut (Asdak, 2023):

1. Pengukuran volume air sungai.
2. Pengukuran debit dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang sungai.
3. Pengukuran debit dengan menggunakan bahan kimia (pewarna) yang dialirkan dalam aliran sungai (*substance tracing method*).
4. Pengukuran debit dengan membuat bangunan pengukur debit, seperti aliran air lambat (*weir*) atau aliran cepat (*flume*).

2.3 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah persamaan yang menghubungkan kecepatan suatu fluida dari satu tempat ke tempat yang lain. Secara umum, jika pipa yang dialiri fluida tidak ada kebocoran maka tidak ada fluida yang akan meninggalkan pipa atau fluida dari luar yang masuk ke dalam pipa sehingga berlaku hukum kekekalan massa (Abdullah, 2016). Jumlah massa fluida yang mengalir per satuan waktu pada pipa yang memiliki luas penampang yang berbeda selalu konstan, seperti pada Gambar 2.3. Hukum kekekalan massa

$$Q_1 = Q_2$$

atau

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) juga disebut sebagai persamaan kontinuitas. Berdasarkan persamaan di atas dapat dikatakan bahwa pada bagian pipa yang luas penampang kecil, kecepatan fluida yang mengalir lebih cepat.



Gambar 2.3 Massa fluida mengalir dengan luas penampang berbeda selalu konstan.

dengan:

A_1 = luas penampang ujung pipa dengan diameter besar (m^2)

A_2 = luas penampang ujung pipa dengan diameter kecil (m^2)

v_1 = kecepatan aliran fluida pada bagian pipa berdiameter besar (m/s)

v_2 = kecepatan aliran fluida pada bagian pipa berdiameter kecil (m/s)

2.4 Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli merupakan salah satu hukum dasar yang menyelesaikan persoalan fluida bergerak. Hukum Bernoulli menyatakan bahwa peningkatan kecepatan fluida akan mengakibatkan penurunan tekanan fluida secara bersamaan atau penurunan energi potensial fluida. Intinya adalah jika kecepatan aliran fluida meningkat, maka tekanan akan menurun. Hukum Bernoulli merupakan hukum tentang energi mekanik (energi kinetik dan energi potensial) yang diterapkan pada fluida bergerak (Abdullah, 2016). Sehingga persamaan Bernoulli dapat ditulis

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (2.5)$$

dengan:

P adalah tekanan (Pascal)

ρ adalah massa jenis fluida (kg/m^3)

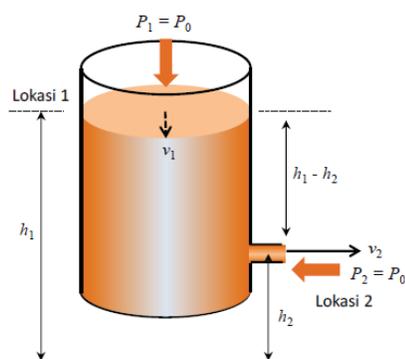
v adalah kecepatan fluida (m/s)

g adalah percepatan gravitasi ($g=9,8 \text{ m/s}^2$)

h adalah ketinggian (m)

2.5 Asas Toricelli

Asas Toricelli merupakan aplikasi khusus dari hukum Bernoulli. Namun asas ini ditemukan satu abad sebelum hukum Bernoulli dirumuskan oleh Toricelli sehingga nama asas Toricelli sudah umum digunakan. Perhatikan Gambar 2.4. Tangki berisi dengan air yang luas penampangnya sangat besar. Dengan dipasangnya sebuah keran pada dasar tangki yang luas penampangnya lebih kecil dari penampang tangki. Pada permukaan air dalam tangki (lokasi 1) dan mulut keran (lokasi 2) diterapkan hukum Bernoulli, yaitu persamaan (2.2). Tekanan udara luar sebesar 1 atm mendorong air yang berada di lokasi 1 maupun lokasi 2. Laju turun permukaan air dalam tangki sangat kecil dan bisa dianggap nol yang disebabkan oleh perbedaan penampang, dimana luas penampang di lokasi 1 jauh lebih besar daripada luas penampang di lokasi 2 (Abdullah, 2016).



Gambar 2.4 Menentukan laju keluar air dari suatu keran.

Laju fluida yang keluar dari lubang bocoran sama persis dengan laju benda jatuh bebas pada ketinggian h_2 (m) ketika dilepas dari ketinggian h_1 (m). Persamaan (2.6) dikenal dengan asas Toricelli

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2.6)$$

2.6 Koefisien Debit Aliran

Ketika aliran fluida mengalir melalui lubang bocoran maka terjadi kehilangan tenaga, sehingga parameter-parameter aliran akan lebih kecil daripada aliran zat cair ideal. Parameter aliran yang berkurang bisa ditunjukkan oleh beberapa koefisien (Triatmodjo, 1993), yaitu:

1. Koefisien Kontraksi (C_c)

Koefisien kontraksi merupakan perbandingan antara luas penampang aliran pada vena kontrakta (A_c) dan luas lubang bocoran (A) yang sama dengan luas penampang aliran zat cair ideal. Koefisien kontraksi tergantung pada tinggi energi, bentuk dan ukuran lubang, dan sekitar 0,64 adalah nilai rerata koefisien kontraksi.

2. Koefisien Kecepatan (C_v)

Koefisien kecepatan merupakan perbandingan antara kecepatan nyata aliran pada vena kontrakta (V_c) dan kecepatan teoritis (V). Bentuk dari sisi lubang bocoran (tajam atau bulat) dan tinggi energi merupakan faktor yang mempengaruhi nilai koefisien kecepatan. Nilai rerata koefisien kecepatan adalah 0,97.

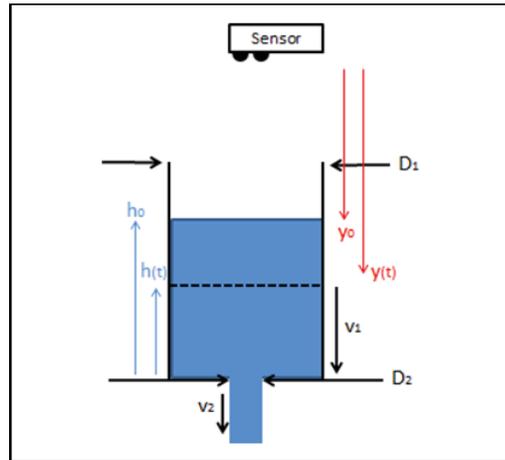
3. Koefisien debit (C_d)

Koefisien debit aliran sangat tergantung pada laju aliran dan kecepatan fluida, dan juga tidak memiliki dimensi (Ginjar & Hariati, 2015). Nilai koefisien debit aliran untuk setiap fluida berbeda tergantung pada jenis pengukuran aliran (nilai koefisien kontraksi dan koefisien kecepatan), dan nilai rerata koefisien debit adalah 0,62. Koefisien debit dilambangkan dengan C_d (*coefficient of discharge*), dan juga dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara laju aliran eksperimen dan teoritis.

$$C_d = \frac{\text{debit aliran eksperimen}}{\text{debit aliran teoritis}} \quad (2.7)$$

Suatu fluida (air) dalam wadah silinder terbuka memiliki ketinggian awal h_0 (perhatikan Gambar 2.5). Kecepatan fluida yang mengalir keluar dari lubang

bawah mempunyai kecepatan v_2 (m/s), dan kecepatan fluida dalam wadah adalah v_1 (m/s) (Hick & Slaton, 2015).



Gambar 2.5 Skema Sistem

Sehingga persamaan kontinuitas-nya adalah

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2.8)$$

Dan persamaan Bernoulli-nya

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.9)$$

Dari persamaan 2.8 dan persamaan 2.9 dapat diperoleh persamaan kecepatan fluida tersebut adalah sebagai berikut:

$$v_1^2 = \frac{2gh}{\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1} = Ch, \quad \text{di mana} \quad C = \frac{2g}{\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1} \quad (2.10)$$

Jika kita menyelesaikan v_2 bukan v_1 , maka akan ditemukan asas Toricelli untuk kecepatan fluida keluar melalui lubang bocoran yang jauh lebih kecil dari

luas penampang wadah. Perhatikan persamaan 2.10 menunjukkan bahwa ketika fluida mengalir dari ketinggian h_0 saat mendekati 0, kecepatan permukaan atas berkurang dan mencapai nol, sehingga wadah benar-benar kosong. Kemiringan grafik posisi *versus* waktu saat wadah dikosongkan, permukaan fluida akan rata. Jarak awal antara permukaan fluida ke sensor yaitu y_0 , dan jarak akhir fluida ke sensor yaitu y_f , dan ketika pengukuran dimulai pada waktu t_0 , maka persamaan jarak ketinggian fluida dari sensor sebagai berikut:

$$y(t) = y_f - \left[\sqrt{y_f - y_0} - \frac{1}{2}\sqrt{C}(t - t_0) \right]^2 \quad (2.11)$$

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengukuran secara otomatis oleh sensor, maka persamaan (2.11) dapat digunakan untuk menghitung nilai konstanta C yaitu dengan pencocokan kurva (*curve fitting*) pada perangkat lunak komputer. Konstanta C dapat digunakan dalam menentukan luas penampang eksperimen aliran fluida

$$A_{2\text{eksperimen}} = \frac{A_1}{\sqrt{\frac{2g}{C} + 1}} \quad (2.12)$$

Laju aliran fluida dapat dinyatakan sebagai densitas fluida ρ dikalikan dengan kecepatan fluida v dan luas penampang aliran A . Perlu diingat bahwa $A_{2\text{eksperimen}}$ merupakan luas penampang eksperimen aliran fluida dan A_2 luas sebenarnya. Sehingga koefisien debit dalam kasus ini adalah

$$C_d = \frac{A_{2\text{eksperimen}} v_{2\text{eksperimen}}}{A_2 v_2} \quad (2.13)$$

Densitas fluida ρ dianggap tidak ada, maka persamaan (2.13) dapat disederhanakan menjadi

$$C_d = \frac{A_{2\text{eksperimen}}}{A_2} \sqrt{\frac{1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}}{1 - \frac{A_{2\text{eksperimen}}^2}{A_1^2}}} \quad (2.14)$$

A_1 adalah luas permukaan pada wadah berbentuk silinder terbuka (pipa PVC) dan A_2 adalah luas permukaan lubang bocoran.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai koefisien debit sebagai berikut (Harsanti, 2021):

1. Kedalaman air di dalam saluran.
2. Kemiringan lereng wadah saluran (hulu bendung/pelimpah/ambang).
3. Tinggi air di atas wadah saluran.
4. Perbedaan antara tinggi air rencana pada saluran pengatur aliran yang bersangkutan.