

STUDI KOMPRESIBILITAS UDARA KETIKA BERINTERAKSI DENGAN AIR DALAM SISTEM VENTURI MANOMETER TERBUKA

Compressibility Study of Air when Interacting with Water in Open Manometer Venturi System

I Gede Rasagama*

Aeronautical Engineering Study Program, Department of Mechanical Engineering, Bandung State Polytechnic, Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia 40559
e-mail : igesagama@polban.ac.id

Kata Kunci

Massa jenis udara
Kompresibilitas udara
Tabung venturi
Manometer terbuka

Abstrak

Tujuan penelitian untuk mengetahui perubahan nilai massa jenis (kompresibilitas) udara ketika berinteraksi dengan air dalam sistem venturi manometer terbuka. Dalam penelitian eksperimen ini, perbedaan tinggi air dari ke-2 lengan manometer dikondisikan sebagai peubah terikat, diameter tabung venturi dan daya mekanik dikondisikan sebagai 2 peubah bebas dimana salah satu berubah yang lain tetap, dan massa jenis udara dikondisikan sebagai peubah moderat. Penelitian menunjukkan : (1) massa jenis udara memengaruhi hubungan perbedaan tinggi permukaan air dengan diameter dimana nilainya menurun ketika diameter makin besar dan daya mekanik tetap, rerata-gradiennya $-31E-02$ kg/m⁴ untuk pola konvergen dan $-6.87E-02$ kg/m⁴ untuk pola divergen, rerata koefisien-determinasinya 43.6 % untuk pola divergen dan 44.4 % untuk pola konvergen; 2) massa jenis udara memengaruhi hubungan perbedaan tinggi permukaan air dengan daya mekanik, dimana nilainya menurun ketika daya mekanik makin besar namun diameter tetap, rerata gradiennya $-5.45E-05$ kg/m^{3W} dan rerata koefisien-determinasinya 45.9 %.

Keywords

Air density
Air compressibility
Venturi tube
Manometer open

Abstract

The study purpose was to determine the change in the air density value (compressibility) when interacting with water in an open manometer venturi system. In this experimental study, the difference in water height of the manometer arms was conditioned as dependent variable, the diameter of the venturi tube and the mechanical power were conditioned as 2 independent variables where one changed the other was constant, and the density of air was conditioned as a moderate variable. The research shows: (1) the air density affects the relationship between the difference in water surface height and diameter where the value decreases as the diameter increases and the mechanical strength remains constant, the mean gradient is $-6.31E-02$ kg/m⁴ for the convergent pattern and $-6.87E-02$ kg /m⁴ for the divergent pattern, the mean of determination coefficient is 43.6% for the divergent pattern and 44.4% for the convergent pattern; 2) the air density affects the relationship between the difference in water level and the mechanical power, where the value decreases when the mechanical power increases but the diameter remains constant, the mean gradient is $-5.45E-05$ kg/m^{3W} and the mean of determination coefficient is 45.9%.

©2022 The Author
p-ISSN 2338-3240
e-ISSN 2580-5924

Received 26 March 2022; Accepted 15 April 2022; Available Online 22 April 2022

*Corresponding Author: igesagama@polban.ac.id

PENDAHULUAN

Latar belakang

Dalam pembelajaran fisika dasar, salah satu gejala menarik perhatian dalam topik fluida statis adalah adanya perbedaan tinggi permukaan air dari ke-2 lengan manometer terbuka dan dalam topik fluida dinamis adalah adanya perbedaan laju udara disepanjang aliran dalam tabung venturi. Ke-2 gejala ini terkait besaran setipe, masing-masing disebut tekanan statis dan tekanan dinamis. Tekanan statis

adalah selisih tekanan diantara 2 permukaan referensi berisi fluida statis dan tekanan dinamis adalah selisih tekanan diantara 2 permukaan referensi berisi fluida dinamis [1 & 2]. Ketika ke-2 gejala ini dikondisikan dalam sistem venturi manometer terbuka, menurut azas Bernoulli maka aliran udara dalam tabung venturi menimbulkan perbedaan tekanan bagian atas permukaan air dari ke-2 lengan manometer terbuka sehingga gejala fluida statis tersebut terjadi.

Udara dan air merupakan 2 tipe fluida yang sering diteliti dalam rangka menghasilkan

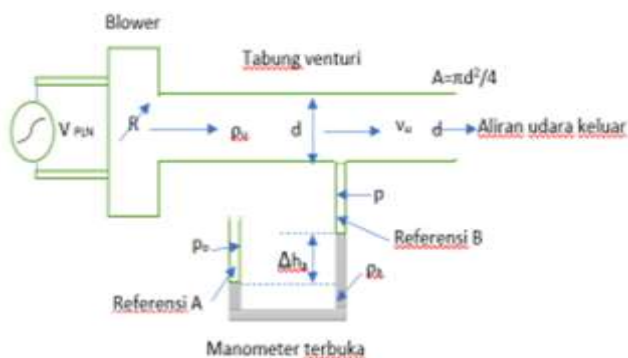
kemanfaatan lebih besar bagi kehidupan manusia. Perihal energi terbarukan, keduanya menduduki posisi prioritas sebagai objek penelitian [3 & 4]. Keduanya ini termasuk SDA melimpah dan melalui sistem konversi energi dapat dirubah bentuk menjadi energi listrik. Pada tipe penelitian ini, pengetahuan tentang massa jenis fluida sangat diperlukan untuk mengetahui kuantitas energi kinetik ke-2 fluida sebagai fluida dinamis [5 & 6].

Pada industri migas, ada keterlibatan massa jenis gas sebagai fluida dinamis untuk kepentingan perhitungan. Seperti pada penggunaan alat *thermal mass flowmeter*, tampak ada keterlibatan massa jenis gas untuk menghitung laju aliran massa gas secara teoritis, sebagai pembanding hasil perhitungan laju aliran massa gas terkait fakta di lapangan. Dalam tipe perhitungan ini, massa jenis gas dianggap sebagai sebuah tetapan untuk laju aliran gas tertentu [7].

Peningkatan pengetahuan perihal massa jenis udara sangat dibutuhkan untuk mendukung berbagai eksperimen atau kegiatan lapangan dalam bidang massa [8, 9, & 10]. Peran penting massa jenis udara tidak dapat diabaikan seperti pada kegiatan laboratorium seperti pengukuran volume untuk pengenceran berbasis alat labu ukur [11] dan pengujian volume gelas ukur [12]. Pada kegiatan ini, udara diperlakukan sebagai fluida statis.

Massa jenis udara bersifat unik. Pada situasi tertentu, udara berperilaku sebagai fluida statis namun pada situasi yang lain, udara berperilaku sebagai fluida dinamis. Ketika sebagai fluida dinamis pun, udara dibedakan lagi sifat-sifat fisiknya sesuai laju alirannya. Nilai massa jenis udara sebagai salah satu sifat fisika, tentu berubah mengikuti berbagai situasi dari udara tersebut. Perubahan nilai massa jenis udara (kompresibilitas udara) tersebut perlu diverifikasi melalui kegiatan penelitian.

Kerangka Teori



Gambar 1. Interaksi udara - air dalam sistem venturi manometer terbuka

Ketika aliran udara berlangsung pada bagian atas permukaan air dari salah satu lengan manometer, tampak permukaan air bergerak naik dan diam pada posisi lebih tinggi dibanding posisi ketinggian permukaan air dari lengan manometer yang nihil aliran udara, seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Tekanan udara pada bagian atas permukaan air yang nihil aliran udara, tampak berinteraksi langsung dengan udara luar sehingga bertipe tekanan sama seperti tekanan udara luar (p_0) dan tekanan udara pada bagian atas permukaan air dari lengan manometer yang ada aliran udara adalah bertipe tekanan udara tertentu (p), dimana bernilai lebih rendah dibanding tekanan udara luar. Fenomena fisika ini terjadi secara alamiah, tanpa dikondisikan.

Selisih antara ke-2 tekanan ini ($p_0 - p$) memenuhi definisi tekanan dinamis dan tekanan statis [1 & 2]. Jika ditinjau dari besaran laju aliran udara (v_u) maka dilibatkan massa jenis udara (ρ_u) dan tampak terkait definisi tekanan dinamis yaitu energi kinetik angin per satuan volume udara. Sesuai azas Bernoulli, selisih tekanan udara antara bagian atas permukaan air dari lengan manometer yang nihil aliran udara (referensi A, Gambar 1) dengan bagian atas permukaan air dari lengan manometer yang ada aliran udara (referensi B, Gambar 1) memenuhi persamaan :

$$p_0 - p = \frac{1}{2}\rho_u v_u^2 \tag{1}$$

Jika ditinjau dari perbedaan tinggi permukaan air (Δh_a) dari ke-2 lengan manometer terbuka maka dilibatkan massa jenis air (ρ_a) dan percepatan gravitasi Bumi (g). Ini terkait dengan definisi tekanan statis yaitu energi potensial gravitasi Bumi per satuan volume air. Sesuai azas Bernoulli, selisih tekanan udara antara bagian atas permukaan air dari lengan manometer terbuka yang nihil aliran udara (referensi A, Gambar 1) dengan bagian atas permukaan air dari lengan manometer terbuka yang ada aliran udara (referensi B, Gambar 1) maka memenuhi persamaan :

$$p_0 - p = \rho_a g \Delta h_a \tag{2}$$

Berdasarkan persamaan (1) dan persamaan (2), maka ketika berlangsung interaksi antara udara dan air, ada proses konversi bentuk energi dari energi kinetik (udara mengalir atau angin) menjadi energi potensial gravitasi Bumi (air). Dengan mengabaikan faktor-faktor terkait kehilangan energi oleh gaya-gaya non-konservatif dan mengeliminasi suku ($p_0 - p$),

maka laju udara bergerak memenuhi persamaan :

$$v_u = \left[2 \frac{\rho_a}{\rho_u} g \Delta h_a \right]^{1/2} \quad [3]$$

Disisi lain tampak bahwa energi kinetik angin dapat diperoleh dari proses konversi energi listrik melalui gejala fisika dalam sistem *blower* bersumber AC PLN. Melalui pengendalian *rheostat* dalam sistem *blower* maka daya listrik atau daya mekanik dapat dikondisikan sesuai kebutuhan. Jika V adalah tegangan listrik sumber AC PLN dan R adalah hambatan listrik *rheostat* maka diperoleh persamaan konversi energi listrik per detik ke daya mekanik :

$$\frac{V^2}{R} = \frac{1}{2} \rho_u v_u^2 Q \quad [4]$$

Besaran fisika Q adalah debit udara yang mengalir melalui tabung venturi dan dihitung sebagai hasil kali antara laju udara (v_u) dengan luas penampang melintang tabung venturi (A). Pengendalian daya listrik atau daya mekanik tersebut adalah sesuai prinsip kerja *rheostat*, dimana makin besar hambatan listrik, makin kecil arus listrik, makin kecil pula debit aliran udara dalam tabung venturi. Jika d adalah simbol diameter tabung venturi maka luas penampang tabung venturi memenuhi persamaan $A = \pi d^2/4$ dan laju udara pada persamaan (4) berubah dan memenuhi persamaan :

$$v_u = \left[\frac{8V^2}{\pi \rho_u R d^2} \right]^{1/3} \quad [5]$$

Melalui persamaan (3), persamaan (5), dan tindakan eliminasi terhadap laju aliran udara (v_u), maka diperoleh persamaan matematis yang mendeskripsikan determinasi peubah moderat yaitu massa jenis udara (ρ_u) terhadap hubungan perbedaan tinggi permukaan air (Δh_a) dengan diameter tabung venturi (d) dan daya mekanik (V^2/R). Persamaannya berbentuk :

$$\rho_u = 2[\rho_a g]^3 \left[\frac{R}{V^2} \right]^2 \left[\frac{\pi d^2}{4} \right]^2 [\Delta h_a]^3 \quad [6]$$

Di lapangan, persamaan (6) tampak memuat kategori-kategori sbb : (1) Massa jenis air, percepatan gravitasi Bumi dan tegangan listrik sebagai tetapan, karena selama pengukuran dikondisikan nihil perlakuan; (2) Diameter dan daya mekanik (berbanding terbalik hambatan listrik) sebagai sepasang peubah bebas dengan perlakuan, jika salah

satu berubah yang lain tetap; (3) Perbedaan tinggi permukaan air adalah peubah terikat berlangsung akibat tipe pengkondisian 2 peubah bebas dan dapat diukur secara langsung; (4) Massa jenis udara adalah peubah moderat yang tergantung pada tipe pengkondisian 2 peubah bebas dan 1 peubah terikat terkait. Peubah moderat adalah peubah yang memengaruhi tingkat hubungan variabel bebas dengan variabel terikat, dimana nilainya dapat berbeda tergantung tingkat hubungan peubah bebas dengan peubah terikat [13]. Dari kategori ini diduga bahwa massa jenis udara bukan sebuah tetapan namun tergantung pada tipe pengkondisian 2 peubah bebas dan hasil tipe pengkondisian 2 peubah bebas terkait berupa 1 peubah terikat.

Perumusan masalah

Interaksi udara-air dapat dikondisikan berlangsung didalam sistem venturi manometer terbuka dan dapat diarahkan untuk menghasilkan beberapa perbedaan tinggi permukaan air dari ke-2 lengan manometer. Melalui pengendalian jumlah energi listrik per detik yang dikonversikan menjadi daya mekanik angin dan pemilihan beberapa tipe titik observasi disepanjang tabung venturi dengan luas penampang melintang tertentu maka dapat diperoleh beberapa hasil pengukuran secara langsung yaitu perbedaan tinggi permukaan air dari ke-2 lengan manometer dan juga beberapa hasil pengukuran tidak langsung terkait yaitu massa jenis udara. Titik-titik disepanjang tabung venturi berdiameter berbeda tersebut adalah tempat terjadinya interaksi antara udara dan air berlangsung.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran secara tidak langsung terhadap massa jenis udara untuk beberapa tipe daya mekanik berbeda dan beberapa tipe diameter tabung venturi berbeda. Dari studi yang dilakukan ini dapat diketahui sifat kompresibilitas udara atau perubahan nilai massa jenis udara meliputi : (1) perubahan nilai massa jenis udara ketika dikondisikan diameter tabung venturi makin besar namun daya mekanik tetap; (2) perubahan nilai massa jenis udara ketika dikondisikan daya mekanik makin besar namun diameter tabung venturi tetap; dan (3) perubahan nilai massa jenis udara 'yang lebih kuat' antara 'ketika memengaruhi hubungan perbedaan ketinggian permukaan air ke-2 lengan manometer terbuka dengan diameter' dan 'ketika memengaruhi hubungan perbedaan ketinggian permukaan air ke-2 lengan manometer terbuka dengan daya mekanik'.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian eksperimen ini dikerjakan di Laboratorium Fisika dengan memanfaatkan fasilitas institusi Politeknik Negeri Bandung, salah satu PTN berlokasi di Jawa Barat. Melalui penelitian eksperimen dapat diketahui perubahan perilaku atau keadaan atau nilai yang ditimbulkan akibat perlakuan atau manipulasi keadaan yang dilakukan [14 & 15]. Dilibatkan 3 peralatan utama yaitu: (1) sebuah sistem pembangkit angin (*blower*) sumber AC PLN dilengkapi *rheostat* untuk mengatur daya listrik atau daya mekanik; (2) 1 tabung venturi mawadahi aliran udara, dilengkapi 8 titik observasi (tiap titik dilengkapi pipa kecil untuk jalur interaksi udara-air) berdiameter berbeda-beda; dan (3) 1 manometer terbuka berisi air murni. Digunakan peralatan pendukung meliputi 5 selang elastis berbahan silikon untuk konektor venturi manometer dan penutup titik observasi ketika tidak difungsikan, 1 multimeter digital, 1 lampu tabung, dan alat ukur panjang berupa mistar dan jangka sorong. Desain peralatan ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Desain peralatan penelitian

Data penelitian ada yang bersumber dari studi literatur, pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung. Massa jenis air sebesar 1 g/cm^3 [16] dan percepatan gravitasi Bumi di tempat penelitian sebesar 9.79 m/s^2 [17], keduanya dari hasil studi literatur. Tegangan listrik sumber AC PLN diukur langsung dengan multimeter digital sebesar 220 Volt dari rerata 5 kali pengulangan. Hambatan listrik diukur langsung dengan multimeter digital sebagai indikator pengendalian daya mekanik, dimana hambatan listrik makin kecil, daya mekanik makin besar. Pengukuran hambatan listrik dikondisikan dalam 5 kali pengulangan pada ke-9 posisi disepanjang lintasan kontak slider *rheostat*,

yang ditentukan berdasarkan pembagian posisi proporsional dengan mistar.

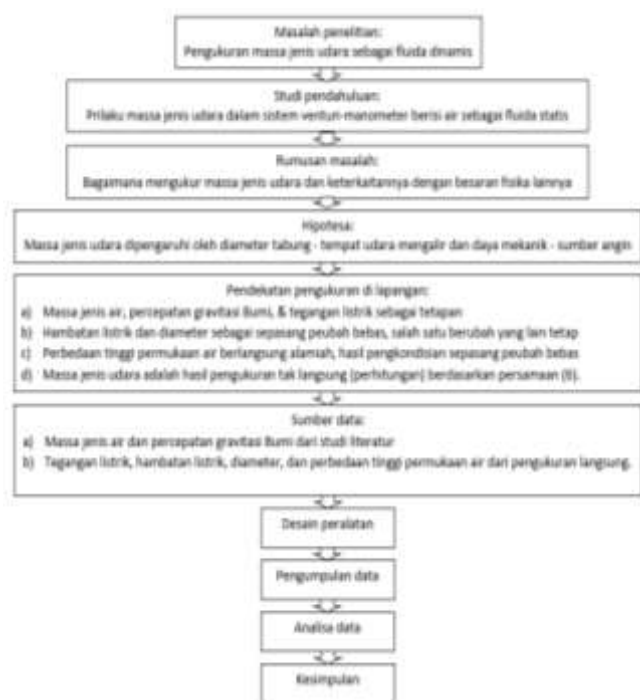
Diameter tabung venturi dari ke-8 titik observasi diukur secara langsung dengan alat ukur panjang jangka sorong, yaitu diameter luar dikurangi $2 \times$ ketebalan dinding. Sesuai karakteristik peralatan tabung venturi, ke-8 tipe data dibedakan dalam 2 kategori yaitu 5 tipe diameter berada pada ruang aliran berpola konvergen dan 4 tipe diameter berada pada ruang aliran berpola divergen, dimana 1 tipe diameter terkecil berada pada ruang aliran ke-2 kategori.

Dari 2 tipe pengkondisian terhadap pasangan data (hambatan listrik atau daya mekanik, diameter) dihasilkan 144 perbedaan tinggi permukaan air meliputi 72 tipe data terkait kondisi diameter berubah namun daya mekanik tetap dan 72 tipe data terkait kondisi daya mekanik berubah namun diameter tetap. Tipe data ini diukur langsung dengan mistar (didukung penerangan lampu tabung) berdasarkan selisih posisi ketinggian permukaan air diantara ke-2 lengan atau ke-2 kolom kaca manometer terbuka.

Melalui pengukuran tak langsung yaitu perhitungan dengan aplikasi *microsoft excel* berdasarkan persamaan (6) diperoleh 144 hasil pengukuran massa jenis udara meliputi 72 kali untuk diameter tetap dan 72 kali untuk daya mekanik tetap. Setiap hasil pengukuran ini bersifat khas bagi 3 besaran fisika terkait yaitu diameter, daya mekanik, dan perbedaan tinggi permukaan air.

Untuk analisa pendukung, dibutuhkan 26 tipe kurva dengan aplikasi *microsoft excel* meliputi kurva hubungan massa jenis udara dengan diameter pada daya mekanik tetap baik pola konvergen dan pola divergen, serta kurva hubungan massa jenis udara dengan daya mekanik pada diameter tetap. Termasuk dibutuhkan juga kurva linier terkait, untuk mengetahui gradien dan koefisien determinasi (R^2) sesuai metode regresi linier. Dalam metode regresi linier, hubungan peubah terikat dengan peubah bebas bersifat linier [18]. Tingkat hubungan peubah terikat dengan peubah bebas untuk interval $67\% < R^2 < 100\%$ dikategorikan kuat, $33\% < R^2 < 67\%$ dikategorikan moderat, dan $19\% < R^2 < 33\%$ dikategorikan lemah [19]. Untuk kepentingan analisa, dalam penelitian ini dilakukan penyesuaian fungsi dan kedudukan peubah terikat digantikan oleh peubah moderat. Tindakan ini logis untuk dapat melihat secara kuantitatif dan kualitatif pengaruh implisit dari peubah moderat terhadap hubungan peubah bebas dengan peubah terikat.

Perubahan nilai massa jenis udara dalam memengaruhi hubungan perbedaan tinggi permukaan air dengan diameter, ketika diameter makin besar dan daya mekanik tetap, dilihat dari tendensi secara visual ke-18 kurva hubungan massa jenis udara dengan diameter, rerata gradien ($\Delta\rho_u/\Delta d$) dan rerata koefisien determinasi (R^2). Perubahan nilai massa jenis udara dalam memengaruhi hubungan perbedaan tinggi air dengan daya mekanik, ketika daya mekanik makin besar dan diameter tetap juga dilihat dari tendensi secara visual ke-8 kurva hubungan massa jenis udara dengan daya mekanik, rerata gradien ($\Delta\rho_u/\Delta P$) dan rerata koefisien determinasi (R^2). Perubahan nilai massa jenis udara 'yang lebih kuat' dalam memengaruhi 2 tipe hubungan peubah terikat dengan peubah bebas terkait, dilihat dari rerata koefisien determinasi, dimana yang lebih kuat jika memiliki R^2 lebih besar. Alur penelitian ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Alur penelitian

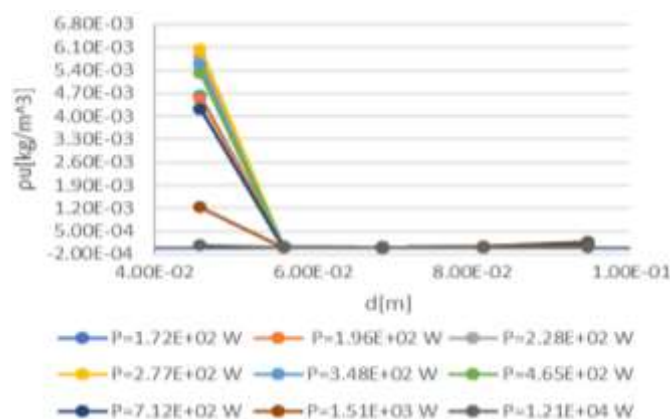
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Temuan pertama, terkait perubahan nilai massa jenis udara ketika diameter makin besar, daya mekanik tetap, dalam pola konvergen ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Tabel 1.

Ketika diameter disepanjang aliran pola konvergen makin kecil, hasil pengukuran terhadap perbedaan tinggi permukaan air sebagai peubah terikat di lapangan tampak

makin besar dan massa jenis udara sebagai peubah moderat juga tampak makin besar. Untuk pengamatan sebaliknya dimana diameter makin besar, baik peubah terikat maupun peubah moderat terkait tampak makin kecil. Ini terjadi pada hampir setiap tipe pengkondisian daya mekanik. Penurunan nilai peubah moderat paling tajam ada diantara 2 tipe diameter pertama, berbeda untuk 4 tipe diameter terakhir. Fakta ini diperkuat oleh ke-9 gradien kurva linier terkait, dimana semua bernilai negatif dengan rerata $-6.31E-02 \text{ kg/m}^4$. Nilai peubah moderat dan peubah terikat terbesar ketika tipe diameter tabung venturi terkecil, bernilai $4.58E-02 \text{ m}$. Koefisien determinasi peubah moderat terhadap hubungan peubah terikat dengan peubah bebas terkait berinterval 41.3-45.0%, rerata 43.6% dengan kategori moderat.



Gambar 4. Kurva $\rho_u(d)$ pada kondisi daya mekanik tetap dalam pola konvergen

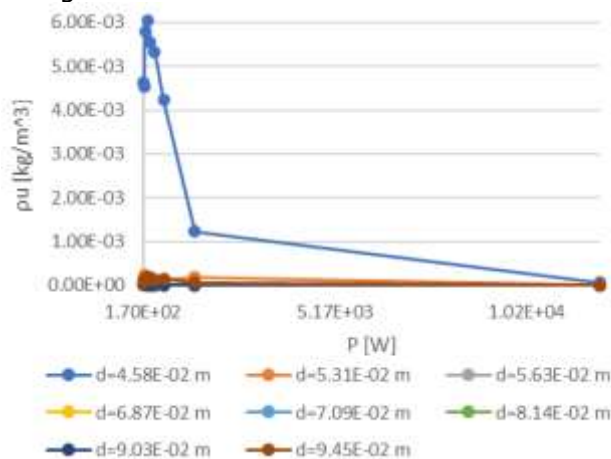
Tabel 1. Gradien dan koefisien determinasi massa jenis udara ketika diameter makin besar dan daya mekanik tetap

P(W)	Pola konvergen		Pola divergen	
	$\Delta\rho_u/\Delta d$ (kg/m^4)	R^2 (%)	$\Delta\rho_u/\Delta d$ (kg/m^4)	R^2 (%)
1.72E+02	-7.12E-02	45.0	-7.61E-02	44.0
1.96E+02	-6.84E-02	43.4	-7.57E-02	45.5
2.28E+02	-8.88E-02	45.0	-9.53E-02	43.9
2.77E+02	-9.13E-02	43.6	-1.00E-01	44.2
3.48E+02	-8.43E-02	44.0	-9.21E-02	44.5
4.65E+02	-8.14E-02	44.5	-8.77E-02	43.7
7.12E+02	-6.36E-02	43.3	-7.01E-02	44.3
1.51E+03	-1.79E-02	41.6	-2.05E-02	46.2
1.21E+04	-9.20E-04	41.6	-1.03E-03	42.8

Temuan ke-2, mirip seperti temuan pertama. Temuan ini terkait perubahan nilai massa jenis udara ketika mengalir melalui tabung berdiameter makin besar, berpola divergen, dan daya mekanik tetap, seperti ditunjukkan oleh Gambar 5 dan Tabel 1.

Ketika diameter makin besar, hasil pengukuran secara langsung menunjukkan bahwa perbedaan tinggi permukaan air dari ke-2 lengan manometer makin kecil. Fakta serupa ditunjukkan oleh hasil pengukuran tidak langsung massa jenis udara. Nilai terbesar peubah-peubah ini terjadi ketika titik observasi berdiameter terkecil yaitu $4.58E-02$ m. Penurunan massa jenis udara terkait, paling tajam berlangsung diantara 2 titik observasi pertama, berbeda diantara 3 titik observasi terakhir. Bukti pendukung dalam pola aliran divergen ini adalah kenegatifan semua gradien kurva linier hubungan massa jenis udara dengan diameter. Ini berlaku bagi setiap tipe pengkondisian daya mekanik. Rerata nilai ke-9 gradien kurva linier terkait adalah $-6.87E-02$ kg/m^4 . Koefisien determinasi massa jenis udara terhadap hubungan peubah terikat dengan peubah bebas terkait berada pada interval 42.8-46.2%, rerata 44.4% dengan kategori moderat.

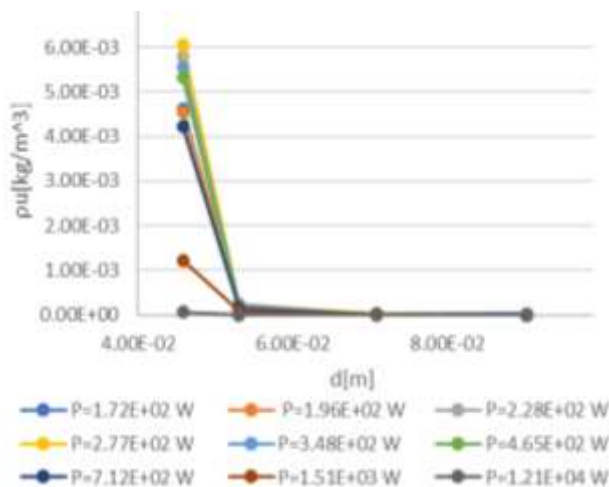
terikat dengan peubah bebas terkait, berkisar antara 13.5-78.8%, rerata 45.9% dengan kategori moderat.



Gambar 6. Kurva $\rho_u(P)$ pada kondisi diameter tabung venturi tetap

Tabel 2. Gradien dan koefisien determinasi massa jenis udara ketika daya mekanik makin besar dan diameter tetap

d (m)	$\Delta\rho_u/\Delta P$ (g/m^3W)	R^2 (%)
4.58 E-02	-4.00E-04	62.7
5.31 E-02	-2.00E-05	78.8
5.63 E-02	-2.00E-06	29.0
6.87 E-02	-2.00E-07	13.5
7.09 E-02	-1.00E-06	49.6
8.14 E-02	-2.00E-06	57.7
9.03 E-02	-8.00E-07	19.3
9.45 E-02	-1.00E-05	56.4



Gambar 5. Kurva $\rho_u(d)$ pada kondisi daya mekanik tetap dalam pola divergen

Temuan ke-3, terkait perubahan nilai massa jenis udara ketika dikondisikan daya mekanik makin besar namun diameter tabung venturi tetap, ditunjukkan oleh Gambar 6 dan Tabel 2.

Ketika daya mekanik berubah, baik perbedaan tinggi permukaan air dari hasil pengukuran langsung maupun massa jenis udara dari hasil pengukuran tidak langsung tampak nilai ke-2 peubah ini mengalami perubahan. Gejala ini menunjukkan bahwa udara pada keadaan ini bersifat kompresibel. Jika daya mekanik makin besar tampak tendensi perbedaan tinggi permukaan air makin besar namun massa jenis udara makin kecil, dengan rerata gradien $-5.45E-05$ kg/m^3W . Gradien terbesar terjadi ketika titik observasi berdiameter $4.58E-02$ m. Koefisien determinasi massa jenis udara terhadap hubungan peubah

Pembahasan

Secara konseptual, massa jenis benda (padat, cair, dan gas) adalah massa benda per satuan volume benda. Volume bagi benda padat dan benda cair selalu tetap, tidak tergantung tekanan dan suhu ruang dimana benda berada. Namun volume benda gas (udara) dipengaruhi oleh tekanan dan suhu ruang dimana benda berada. Sifat massa benda adalah sama bagi setiap wujud benda, tergantung jumlah partikel atau jumlah atom atau jumlah molekul dan berat molekul benda. Massa didefinisikan sebagai hasil kali jumlah molekul dengan berat molekul benda. Secara teoritis, penyebab massa jenis benda berkurang adalah massa berkurang dan, atau volume bertambah. Konsep ini sangat relevan dan lebih mudah dipahami ketika diterapkan untuk menjelaskan gejala perubahan massa jenis benda sebagai fluida statis. Namun sangat berbeda ketika gejala kompresibilitas ini dikaitkan dengan benda sebagai fluida dinamis. Gejala kompresibilitas ini tampak sangat terkait

dengan besaran fisika baru, yang sebelumnya tidak ada pada gejala fluida statis, yaitu laju aliran. Disisi lain dapat dipandang bahwa gejala kompresibilitas ini timbul dalam rangka mengakomodasi atau mempertahankan hubungan khusus yang telah berlangsung, diantara peubah bebas dengan peubah terikat, ketika ada perlakuan terhadap peubah bebas. Dengan demikian tipe peubah bebas ini dapat dijadikan pertimbangan utama ketika menelusuri penyebab dari perubahan nilai massa jenis udara tersebut.

Terkait temuan pertama dan temuan ke-2, ketika diameter disepanjang aliran udara dikondisikan makin besar, baik dalam pola konvergen dan pola divergen, dipastikan laju udara makin rendah. Ini sesuai konsep yang berlaku eksplisit pada persamaan kontinuitas dimana laju aliran fluida berbanding terbalik kuadrat diameter tabung venturi, tempat fluida mengalir [20 & 21]. Laju udara makin rendah menyebabkan aliran massa udara makin menurun atau berkurang. Peluang massa dari partikel-partikel udara yang dapat menempati bagian penampang melintang atau elemen volume tabung venturi untuk interval waktu tertentu makin terbatas. Disisi lain diameter adalah ukuran volume untuk ruang yang ditempati udara. Pada kondisi diameter makin besar maka volume ruang ditempati partikel-partikel udara makin besar. Aliran massa udara yang makin berkurang dan volume ruang yang ditempati partikel-partikel udara makin besar adalah penyebab kenegatifan gradien kurva linier hubungan massa jenis udara dengan diameter atau tendensi nilai massa jenis udara makin kecil.

Struktur tabung venturi penelitian, searah aliran udara dari in-let ke out-let meliputi 5 titik observasi pertama berdiameter makin kecil maka terbentuk pola aliran konvergen dan 4 titik observasi terakhir berdiameter makin besar maka terbentuk pola aliran divergen. Jika struktur tabung venturi ini dikaitkan dengan konsep garis arus, maka garis arus partikel-partikel udara yang berpeluang lebih tinggi mengalami persinggungan dengan dinding tabung venturi adalah terjadi dalam pola aliran konvergen dibanding dalam pola aliran divergen. Garis arus adalah lintasan setiap partikel fluida dan berarah sejajar dengan kecepatan partikel tersebut [20 & 21]. Pada pola konvergen, dengan adanya gejala persinggungan yang cukup cenderung menghambat dan memperlambat aliran massa partikel-partikel udara. Pada pola divergen, dengan adanya gejala persinggungan yang minimum cenderung mengkondisikan aliran massa partikel-partikel udara lebih lancar dan

lebih cepat dibanding pada pola aliran konvergen. Akibatnya disepanjang arah aliran udara, jumlah massa mengalir pada pola divergen menjadi lebih banyak dibanding pola konvergen. Amplitudo laju penurunan massa jenis udara pada pola divergen menjadi lebih besar dibanding pola aliran konvergen atau nilai kenegatifan gradien kurva liniernya pada pola divergen lebih besar dibanding pola konvergen.

Terkait temuan ke-3, ketika daya mekanik dikondisikan makin besar, jumlah partikel-partikel udara yang dikendalikan oleh sistem *blower* untuk dialirkan melalui tabung venturi menjadi makin banyak. Dalam arah horizontal tabung venturi dipastikan timbul tekanan dinamis semakin tinggi, dimana tekanan in-let lebih tinggi dibanding tekanan out-let. Kecepatan setiap partikel udara atau laju perpindahan setiap partikel udara juga meningkat. Dengan demikian peluang partikel-partikel udara untuk berada pada bagian penampang melintang atau elemen volume tabung venturi menjadi makin kecil karena ketersediaan waktu yang terbatas. Jumlah massa udara dalam elemen volume makin berkurang sehingga menghasilkan gradien kurva linier hubungan massa jenis udara dengan daya mekanik bernilai negatif.

Terkait temuan perihal hubungan perbedaan tinggi permukaan air dari ke-2 lengan manometer dengan diameter tabung venturi, dapat dijelaskan dengan 2 konsep fisika yaitu persamaan kontinuitas dan hukum kekekalan energi. Dalam persamaan kontinuitas berlaku bahwa diameter makin kecil menimbulkan laju udara makin besar atau sebaliknya [20 & 21]. Dalam hukum kekekalan energi berlaku bahwa melalui interaksi udara dengan air dalam sistem venturi manometer menyebabkan adanya gejala konversi bentuk energi dari energi kinetik menjadi energi potensial gravitasi Bumi. Energi kinetik benda sebanding kuadrat laju benda dan energi potensial gravitasi Bumi benda sebanding ketinggian benda [20 & 21]. Makin tinggi laju udara, makin besar perbedaan tinggi permukaan air. Jika diameter tabung venturi makin besar akibatnya adalah perbedaan tinggi permukaan air makin kecil. Gejala inilah yang terjadi baik pada pola aliran konvergen dan pola aliran divergen.

Berdasarkan penerapan metode penelitian di lapangan tampak bahwa pengendalian daya mekanik terkait besaran massa udara, dan pengendalian diameter terkait volume ruang yang ditempati udara dalam tabung venturi. Oleh karena analisa terkait gejala fluida dinamis maka laju fluida sangat berdampak terhadap massa jenis fluida, bersama-sama dengan besaran massa dan besaran volume. Besaran

massa berperan lebih signifikan dibanding volume ketika massa jenis udara mengakomodasi hubungan peubah terikat dengan peubah bebas terkait. Laju udara cukup tinggi mampu mempercepat pengosongan massa udara dalam ruang namun tidak mampu mengubah volume ruang dalam tabung venturi. Konsep inilah menjadi alasan bahwa hubungan peubah terikat dengan peubah bebas terkait dipengaruhi lebih kuat oleh massa jenis udara ketika daya mekanik yang dikendalikan dibanding ketika diameter tabung venturi yang dikendalikan. Terbukti dari nilai rerata koefisien determinasi massa jenis udara ketika daya mekanik makin besar 'lebih besar dibanding' ketika diameter makin besar, baik dalam pola konvergen dan pola divergen.

Terkait dengan aliran udara dalam tabung venturi, tampak bahwa tipe struktur peralatan penelitian menjadi penyebab dimana pola aliran divergen 'sedikit lebih berkontribusi (walau tidak terlalu besar) dibanding' pola aliran konvergen, sehingga determinasi massa jenis udara terhadap hubungan perbedaan tinggi permukaan air dengan diameter lebih kuat ketika aliran berlangsung dalam pola divergen dibanding pola konvergen. Terbukti dengan rerata koefisien determinasi massa jenis udara lebih tinggi ketika pola aliran divergen dibanding ketika pola aliran konvergen. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, hal ini terkait erat dengan faktor perbedaan kuantitas dan kualitas persinggungan garis arus partikel udara dengan dinding tabung venturi, yang akhirnya memicu adanya perbedaan laju aliran massa diantara 2 tipe pola aliran udara tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Massa jenis udara dalam interaksinya dengan air dalam sistem venturi manometer terbuka bukan sebagai tetapan namun suatu besaran fisika yang berubah makin kecil ketika memengaruhi hubungan perbedaan tinggi permukaan air dengan diameter pada kondisi diameter makin besar dan daya mekanik tetap. Ini terjadi baik pada pola aliran konvergen maupun pola aliran divergen. Massa jenis udara juga berubah makin kecil ketika memengaruhi hubungan perbedaan tinggi permukaan air dengan daya mekanik pada kondisi daya mekanik makin besar dan diameter tetap. Tingkat determinasi massa jenis udara terhadap hubungan peubah terikat dengan peubah bebas terkait, terbesar ketika daya mekanik berubah makin besar namun diameter tetap, disusul ketika diameter berubah makin besar dalam pola aliran divergen namun daya mekanik tetap, dan terkecil ketika diameter berubah

makin besar dalam pola aliran konvergen namun daya mekanik tetap, dan semuanya dalam kategori moderat. Pengukuran massa jenis udara dalam sistem venturi manometer terbuka paling efektif ketika diameter tabung venturi dikondisikan bernilai $4.58E-02$ m.

Untuk meningkatkan kualitas produk penelitian ini perlu digunakan atau dikembangkan metode pengukuran digital sebagai pengganti sistem manual dalam sistem manometer terbuka. Dengan meniadakan metode pembacaan manual terhadap perbedaan tinggi permukaan air pada ke-2 lengan manometer terbuka dan menggantinya dengan metode pengukuran digital diharapkan hasil pengukuran langsung terhadap peubah terikat lebih presisi sehingga berimbas pada hasil pengukuran tidak langsung dari peubah moderat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. H. Collicott, D. T. Valentine, E. L. Houghton, & P. W. Carpenter, "Aerodynamics for Engineering Students", Butterworth-Heinemann. 2016
- [2] A. Fadholi, "Studi Pengaruh Suhu Dan Tekanan Udara Terhadap Daya Angkat Pesawat Di Bandara S. Babullah Ternate". *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, Volume 1 Nomor (2).
- [3] R. R. AlHaki. "Model energi Indonesia, tinjauan potensi energi terbarukan untuk ketahanan energi di Indonesia": Sebuah ulasan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, Volume 1 Nomor 1 Tahun 2020.
- [4] H. P. Dida, S. Suparman, D. Widhiyanuriyawan, (2016). "Pemetaan potensi energi angin di perairan Indonesia berdasarkan data satelit QuikScat dan WindSat". *Jurnal Rekayasa Mesin*, Volume 7 Nomor (2), pp 95-101, Tahun 2016.
- [5] R. R. Novri, 2021, "The Analisis Potensi Energi Angin Tambak Untuk Menghasilkan Energi Listrik". *Journal of Research and Education Chemistry*, Volume 3 Nomor (2), pp 96-112, Tahun 2021
- [6] A. Sheptian, A. (2018). Studi Potensi Energi Angin di Merak Banten untuk Membangkitkan Energi Listrik. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, Volume 1 Nomor 1, Tahun 2018
- [7] G. A. Nudian, S. Firmansyah, F. I. Mughtadi, & F. Mukhlis, "Pembuatan Prototipe Thermal Mass Flowmeter Tipe Heat Transfer untuk Pengukuran Laju Aliran Massa Udara". *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumentasi*, Volume 6 Nomor 1, pp 11-24, Tahun 2015
- [8] C. Peng, J. Wang, & D. Wu, "Impacts of Air Density Fluctuations Toward the Mass Measurements of a 1 kg Silicon Sphere". *IEEE Access*, 8, 140840-140847, Tahun 2020
- [9] M. L. Win, T. Sanponpute, & B. Suktat, "Partial differentiation of air density in mass metrology. ACTA IMEKO, Volume 9 Nomor 5, pp 33-36, Tahun 2020
- [10] A. Picard, & H. Fang, (2003). "Methods to determine the density of moist air". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 52 Nomor 2, pp 504-507, Tahun 2003
- [11] M. D. KIFLI, M. D. "ANALISA PENGARUH MASSA JENIS UDARA TERHADAP PENGUJIAN LABU UKUR", (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [12] I. D. WAHYUNI, "PENGARUH MASSA JENIS UDARA DAN MASSA JENIS ANAK TIMBANGAN TERHADAP UJI

- VOLUME GELAS UKUR" (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada), 2018
- [13] A. Jaedun, "Metodologi penelitian eksperimen. Fakultas Teknik UNY", 12, 2011
- [14] A. Alsa, "Pendekatan kuantitatif dan kualitatif serta kombinasinya dalam penelitian psikologi". Yogyakarta: Pustaka Pelajar. 2003
- [15] Latipun. "Psikologi Eksperimen". Malang: UMM Press. 2002
- [16] S. W. Hughes, (2006). "Measuring liquid density using Archimedes' principle. *Physics Education*", Volume 41 Nomor 5, pp 445-447, 2006
- [17] L. Lasiman, (2007). "Komparasi Pengukuran Percepatan Gravitasi Bumi Dengan Cara Gerak Jatuh Bebas Biasa dan Dengan CassyLab. *Sigma-Mu*", Volume 1 Nomor 2, Pp 28-34, Tahun 2007
- [18] I. Ghozali, "Aplikasi Analisis Multivariete Dengan Program IBM SPSS 23". Edisi 8. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- [19] W. W. Chin, (1998). "The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern methods for business research*", Volume 295 Nomor 2, pp 295-336, Tahun 1998
- [20] D. Halliday, R. Resnick, & J. Walker, *Fundamentals of Physics, Extended, 5th Edition*. New York: John Wiley & Sons. 1997
- [21] C. E. Swartz, "Phenomenal Physics". New York: John Wiley & Sons. 1981