

## Pengembangan Model Praktikum “Persamaan Bernoulli” Untuk Pembelajaran Konsep Fluida Dinamis Mahasiswa Politeknik Negeri Bandung

I Gede Rasagama<sup>1</sup>, Kunlestiowati Hadiningrum<sup>2</sup>, Ratu Fenny Muldiani<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Unit Pelayanan Mata Kuliah Umum, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : igesagama@polban.ac.id, kunlestiowati@polban.ac.id, ratu.fenny@polban.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian dilatar-belakangi oleh tingginya keberfungsian konsep fluida dinamis bagi mahasiswa untuk kepentingan pekerjaan di dunia industri, hasil survey silabus Fisika Terapan Politeknik Negeri Bandung (POLBAN) Tahun 2016 bahwa ada urgensi penguasaan konsep fluida dinamis bagi mahasiswa 11 Prodi Jurusan Rekayasa, dalam 20 tahun terakhir belum pernah ada aktivitas praktikum mahasiswa POLBAN terkait sub pokok bahasan persamaan Bernoulli, dan kondisi set-up peralatan praktikum fluida dinamis di Lab. Fisika POLBAN sudah tidak berfungsi secara utuh lagi. Tujuan utama penelitian adalah menghasilkan model dan modul praktikum persamaan Bernoulli yang mendukung pembelajaran konsep fluida dinamis bagi mahasiswa POLBAN. Metode penelitian merupakan pendekatan penelitian dan pengembangan, yang mengacu kepada Borg (1979). Hasil penelitian menunjukkan: (i) modul praktikum penelitian telah memverifikasi teori yang berlaku dalam pokok bahasan fluida dinamis, (ii) pembelajaran dengan model praktikum penelitian memberi peningkatan penguasaan konsep lebih tinggi dibanding perkuliahan teori di kelas, walaupun hasil belajarnya belum berbeda signifikan, untuk taraf signifikansi 5%; (iii) tanggapan mayoritas mahasiswa adalah setuju bahwa konten unit-unit modul praktikum penelitian telah sesuai dengan tujuan dan berfungsi sebagaimana mestinya, serta metode praktikum dianggap telah menimbulkan minat dan membantu kegiatan belajar. (iv) kesulitan mahasiswa selama mengikuti model praktikum penelitian diantaranya dalam hal: mengukur perbedaan ketinggian permukaan fluida dalam manometer terbuka, mengerjakan tugas pendahuluan, memahami rumus-rumus fluida dinamis, melakukan perhitungan dengan intensitas tinggi, menerapkan dan memahami konsep persamaan Bernoulli.

### Kata Kunci

*Model praktikum fisika, modul praktikum fisika, pembelajaran konsep fluida dinamis, persamaan kontinuitas, persamaan Bernoulli*

### 1. PENDAHULUAN

Persamaan Bernoulli merupakan konsep besar, hasil penggabungan beberapa unit konsep fisika seperti tekanan, massa jenis, laju zat alir, kekentalan zat alir, dan ketinggian potensial gravitasi. Konsep ini mampu mendeskripsikan secara kualitatif dan kuantitatif perilaku dinamis zat alir. Di dunia industri, banyak cara kerja peralatan dilandasi oleh konsep ini. Konsep ini juga bermanfaat untuk analisis kognitif perilaku dinamis zat alir didalam peralatan teknik untuk proses produksi, seperti perilaku bahan bakar mesin selama mengalami perubahan wujud dan perilaku air untuk pertukaran kalor selama proses pendinginan mesin karena kondisi *overheat* selama proses produksi.

Menurut Rasagama dkk. [1] dari sudut pandang utilitas konsep, bidang kajian ini sangatlah penting karena mampu memberikan teori dasar untuk memahami bidang teknologi berbasis konsep dinamika fluida untuk mahasiswa Jurusan Rekayasa

POLBAN. Hasil survey Silabus Fisika Terapan POLBAN Tahun 2016 menunjukkan ada 11 prodi di Jurusan Rekayasa POLBAN yang memasukkan konsep ini. Prodi-prodi tersebut ada pada 4 dari 7 jurusan rekayasa yang ada di POLBAN.

Hasil pengamatan di lapangan tampak bahwa selama 20 tahun terakhir belum pernah ada kegiatan praktikum fisika berbasis konsep Persamaan Bernoulli bagi ke 11 prodi tersebut. SDM terkait di POLBAN juga belum pernah mengembangkan modul praktikum terkait. Modul praktikum ini masih original, hasil terbitan TEDC Bandung, yang digunakan pada saat pelatihan dosen Fisika Politeknik seluruh Indonesia Tahun 1987. Hasil pemetaan peralatan di Laboratorium Fisika juga tampak bahwa *setting* peralatan untuk praktikum terkait sudah dalam kondisi tidak utuh lagi, sehingga tidak dapat lagi digunakan untuk pelayanan praktikum bagi mahasiswa POLBAN.

Produk yang dihasilkan dari aktivitas penelitian ini diharapkan dapat melengkapi kebutuhan kajian konsep (ilmu) bidang prodi yang dilaksanakan melalui paktikum. Pemanfaatan produk penelitian ini untuk kegiatan pembelajaran yang dilaksanakan di laboratorium diharapkan mampu merealisasikan peningkatan penguasaan konsep fluida dinamis mahasiswa. Hal ini merupakan salah satu indikator bagi meningkatnya mutu layanan Laboratorium Fisika Terapan, KBK IPD, UPMKU di lingkungan civitas akademika POLBAN.

Secara umum, kegiatan praktikum dalam pembelajaran fisika merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah bagi rendahnya penguasaan konsep yang dihadapi mahasiswa. Metode ini mampu membuka cakrawala mahasiswa dalam hal berargumentasi dan membuktikan hipotesis yang telah dipelajari, sehingga pembelajaran menjadi lebih berpusat pada mahasiswa bukan pada dosen. Penerapan metode ini juga sangat cocok untuk pendidikan politeknik, karena kegiatan lebih menekankan pada kinerja proses dan produk, serta mampu menciptakan ruang bagi terbentuknya ketrampilan menemukan fakta-fakta ilmiah seperti mengalami atau melakukan sendiri, mengikuti proses, mengamati objek, dan menganalisis, membuktikan, serta menarik kesimpulan sendiri mengenai obyek, keadaan atau proses tersebut. Fakta-fakta ilmiah tersebut bermuara pada hasil belajar berupa kognitif berupa penguasaan konsep fisika yang sedang dipelajari, sikap, dan psikomotor mahasiswa.

Untuk itu dalam penelitian ini, selain dikembangkan model dan modul praktikum Persamaan Bernoulli, juga diteliti dampak kegiatan praktikum Persamaan Bernoulli tersebut terhadap peningkatan penguasaan konsep fluida dinamis mahasiswa. Sesuai dengan karakteristik yang melekat dalam metode eksperimen, maka modul praktikum harus mempunyai variabel-variabel yang diidentifikasi, meliputi variabel manipulasi, variabel respon, dan variabel kontrol.

Landasan pengembangan model praktikum Persamaan Bernoulli juga harus disesuaikan dengan kebutuhan praktis peralatan di industri, dimana mayoritas untuk pengukuran laju aliran fluida. Melalui serangkaian kegiatan pada setiap tahapan pengembangan, selanjutnya diperoleh masukan-masukan sebagai umpan balik untuk penyempurnaan model dan modul praktikum

Persamaan Bernoulli. Dengan demikian produk penelitian ini betul-betul sesuai tujuan yang diharapkan.

## 2. METODE

Subjek penelitian terdiri atas 15 mahasiswa Kelas I Prodi TPKM DIV sebagai kelas eksperimen dan 16 mahasiswa Kelas I Prodi TPKM DIV sebagai kelas kontrol, dosen MKK Prodi Jurusan Rekayasa yang terkait layanan Mata Kuliah (MK) Fisika Terapan, dan seorang dosen MK Fisika POLBAN. Rancangan penelitian memakai pendekatan penelitian dan pengembangan yang mengacu pada Borg [2]. Langkah-langkah penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

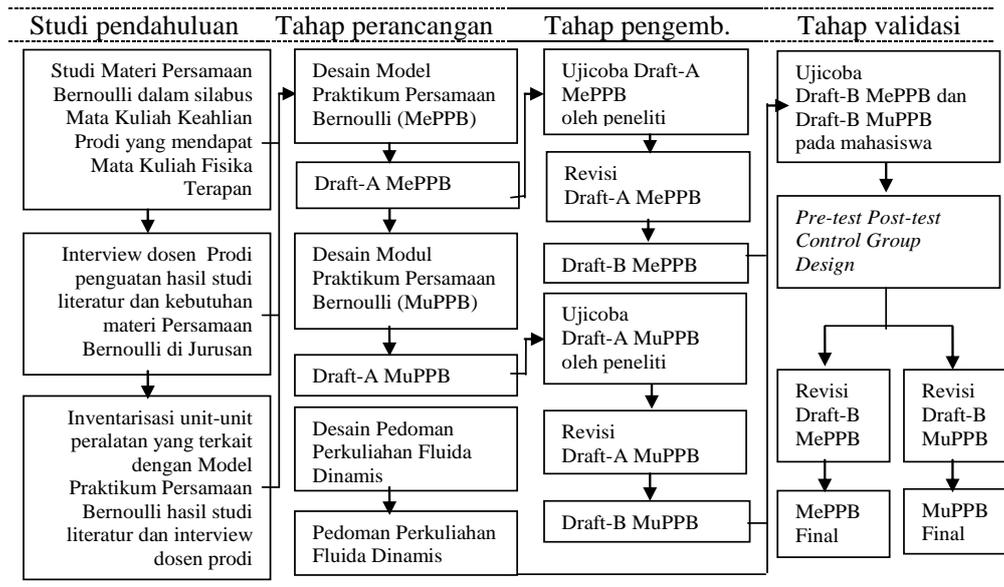
### 3.1 Studi Literatur Konsep “Persamaan Bernoulli”

Studi literatur materi Persamaan Bernoulli di Jurusan Rekayasa POLBAN dilakukan dengan mengkaji silabus MKK Prodi yang mendapat MK Fisika Terapan. Informasi perihal kebutuhan prodi terhadap materi Persamaan Bernoulli sebagai penunjang mata kuliah yang ada di Prodi dan sesuai dengan kebutuhan kurikulum, ditunjukkan melalui sebaran mata kuliah prodi rekayasa POLBAN. Mata kuliah yang berkaitan dengan konsep Persamaan Bernoulli ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. MKK Prodi Rekayasa POLBAN yang membutuhkan konsep P. Bernoulli

No	Mata Kuliah	Prodi
1	Pneumatik dan Hidrolik	DII Teknik Mesin
2	Mekanika Fluida	DIII Teknik Aeronautika
	Pneumatik dan Hidrolik	
3	Mekanika Fluida	DIII Teknik Mesin
	Pneumatik dan Hidrolik	
4	Mekanika Fluida	DIV Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin
	Pneumatik dan Hidrolik	
5	Mekanika Fluida	DIV Proses Manufaktur
6	Mekanika Fluida	DIII Teknik Konversi Energi
7	Mekanika Fluida	DIV Teknik Pembangkit Tenaga Listrik
8	Mekanika Fluida	DIV Teknik Konversi Energi
9	Proses Industri Kimia I	DIII Teknik Kimia
10	Proses Industri Kimia I	DIV Teknik Kimia Produksi Bersih

Tampak ada 3 MKK Prodi POLBAN sangat membutuhkan konsep Persamaan Bernoulli yaitu MKK Mekanika Fluida pada Jurusan Teknik Mesin dan Jurusan Teknik Konversi Energi, MKK Pneumatik dan Hidrolik pada Jurusan Teknik Mesin dan Jurusan Teknik Konversi Energi, dan MKK Proses Industri Kimia I pada Jurusan Teknik Kimia. Sebaran prodi yang membutuhkan dukungan MK Fisika Terapan dengan sub pokok bahasan Persamaan Bernoulli ada pada 10 prodi dalam 3 jurusan.



Gambar 1. Alur penelitian

### 3.2 Interview Dosen MKK Prodi/Jurusan Rekayasa POLBAN

Untuk lebih memastikan kebutuhan konsep Persamaan Bernoulli selain dikaji silabus MKK Prodi dan MK Fisika Terapan, juga dilakukan interview ke dosen MKK Prodi perihal penguatan hasil studi literatur yang telah dilakukan. Pelaksanaan interview dilakukan secara tertulis dan lisan menggunakan formulir pedoman interview pada 3 dosen DIII dan 3 dosen DIV. Berdasarkan data hasil kuesioner dan wawancara, diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Perihal silabus singkat mata kuliah yang berhubungan dengan konsep Persamaan Bernoulli, seluruh responden mengatakan adanya keterkaitan antara konsep Persamaan Bernoulli dengan bahasan zat alir yang ada pada mekanika fluida. Perihal fluida tempat penerapan konsep Persamaan Bernoulli berupa fluida ideal yang menjadi dasar pemahaman tentang sifat fluida. Sementara pada mata kuliah prodi sudah menjurus ke fluida nyata, yang prinsipnya ada kemiripan dengan fluida ideal.
2. Perihal kebutuhan industri tentang konsep Persamaan Bernoulli, semua dosen yang diwawancara mengatakan sangat dibutuhkan, karena aliran gas pada pipa merupakan kebutuhan kritis pada industri. Contoh penerapan konsep Persamaan Bernoulli pada industri antara lain adalah: (i) Pompa hidrolik ram (pompa hidram) adalah teknologi pompa air yang bekerja dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Di Indonesia sendiri, teknologi pompa hidram ini sudah dikembangkan termasuk dilakukan modifikasi desain untuk meningkatkan efisiensinya. Mesin hidrolik dioperasikan dengan

menggunakan hidrolik, di mana cairan memakai media *powering*. Di sisi lain, ada *pneumatics* yang didasarkan pada penggunaan gas sebagai medium untuk transmisi listrik, pembangkitan (generasi) dan kontrol. Fungsi karburatornya adalah untuk menghasilkan campuran bahan bakar dengan udara, kemudian campuran ini dimasukkan kedalam beberapa silinder mesin untuk tujuan pembakaran. (ii) Gaya angkat sayap pesawat terbang untuk pesawat udara, *engine* berfungsi memberikan gaya dorong agar pesawat dapat bergerak maju. Akibat gerak maju pesawat maka terjadi gerakan relatif udara di permukaan sayap. Dengan bentuk geometri *airfoil* tertentu dan sudut serang sayap (*angel of attack*) tertentu maka menghasilkan suatu karakteristik aliran udara dipermukaan sayap yang kemudian menciptakan beda tekanan dipermukaan atas dan permukaan bawah sayap, yang kemudian membangkitkan gaya angkat yang dibutuhkan untuk terbang.

3. Perihal penting atau tidaknya pokok bahasan, dan batasan Persamaan Bernoulli yang harus disampaikan dalam perkuliahan teori pada MK Fisika Terapan ada 83,3 % responden memberi jawaban yang sama, yaitu dibatasi hanya pada fluida ideal, tetapi diberi juga pemahaman adanya faktor-faktor yang harus diperhatikan pada fluida nyata, seperti viskositas, jenis aliran fluida seperti laminar dan turbulen, melalui rumus bilangan Reynold. Sementara sisanya, responden menyatakan bahwa cukup diberikan fluida ideal saja. Sedangkan perihal kebutuhan perkuliahan praktikum/eksperimen Persamaan Bernoulli, semua responden mengatakan bahwa

praktikum/eksperimen konsep Persamaan Bernoulli sangat dibutuhkan.

Berdasarkan studi diatas tampak bahwa konsep Persamaan Bernoulli sangat perlu diajarkan dalam MK Fisika Terapan, baik melalui perkuliahan teori maupun eksperimen atau laboratorium. Karena konsep ini sangatlah penting untuk menunjang beberapa MK yang ada di prodi, khususnya MK Mekanika Fluida.

### 3.3 Inventarisasi Peralatan Terkait Praktikum “Persamaan Bernoulli”

Berdasarkan Data Inventaris Laboratorium Fisika terbaru (Januari 2017) yang dicreate oleh Teknisi Lab Fisika POLBAN dan divalidasi oleh Ka.Lab. Fisika UPMKU POLBAN [3], dapat ditelusuri alat-alat seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Ditemukan 2 peralatan blower, namun yang terkait dengan penelitian hanya 1 yaitu nomor urut 5. Nomor urut 66 merupakan blower digunakan untuk percobaan impuls-tumbukan, yaitu penghasil gerak benda berbantal angin atau antar permukaan benda yang bergerak relatif tanpa gesekan.

Dari seluruh nomor urut peralatan yang ada (yaitu: 436), yang terkait dengan kegiatan riset hanya 3 tipe saja, seperti diperlihatkan pada Tabel 2, yaitu nomor urut 5, 50, dan 143. Semuanya merupakan *set up* peralatan percobaan fluida dinamis udara, namun 2 peralatan terakhir sudah tidak dapat difungsikan lagi untuk melayani kegiatan praktikum mahasiswa. Sementara *set up* peralatan praktikum fluida dinamis air di POLBAN belum ada.

Tabel 2. Peralatan Hasil Inventarisasi dalam Riset Kap.Lab/PS 2017

NO URUT	Tanggal Pembukuan	UNIT BARANG		Asal /Kepada Tahum	Jumlah
		Nama Barang	Type/Kode		
5	01 April 2000	BLOWER + SET OF NOZLES + VENTURI TUBE, 373 19, 20, 71	APBN	1984	1 Buah
66	01 April 2000	BLOWER, 375 51	APBN	1984	2 Buah
50	01 Okt. 2006	MANOMETER	DIP	2006	1 Buah
143	01 Okt. 2004	DUAL & DIFFERENTIAL INPUT MANOMETER PM-9107	DIP	2004	1 Buah

Manometer (nomor urut 50) tampak mempunyai alas dengan kemiringan tertentu, mempunyai sumbu horisontal O bersatuan Pascal, dan mempunyai sumbu vertikal v bersatuan m/s. Ketika alat ini diujicobakan pada/dengan peralatan nomor urut 5 (*Blower + Set of Nozles + Venturi Tube, 373 19, 20, 71*) tampak hasil pengukuran tekanan dan laju aliran tidak mempunyai keselarasan dengan konsep fisika yang berlaku dalam pokok bahasan fluida dinamis. Berdasarkan informasi dari teknisi, pengadaan alat yang bersangkutan tidak melalui instansi yang khusus menjual peralatan praktikum fisika. Namun alat tersebut dikerjakan oleh seorang teknisi dengan mengikuti desain yang diunduh melalui internet.

Pembuatan alat ini tidak melalui ujicoba berbasis konsep fluida dinamis.

Untuk peralatan nomor urut 143 yaitu: *Dual & Differential Input Manometer PM-9107* tampak tidak dapat digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan udara yang mengalir di sepanjang pipa *ventury* (peralatan nomor urut 5 bernama *Blower + Set of Nozles + Venturi Tube, 373 19, 20, 71*). Alat ini tidak memiliki sensitivitas perbedaan tekanan untuk skala laboratorium.

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa tidak ada keutuhan *set-up* peralatan untuk praktikum Persamaan Bernoulli di POLBAN sehingga tidak mungkin diadakan praktikum Persamaan Bernoulli bagi mahasiswa prodi di jurusan rekayasa. Untuk itu agar praktikum terkait dapat dilakukan, dimana didalamnya terdapat konsep Persamaan Bernoulli dan dapat memfungsikan kembali peralatan nomor urut 5 diatas, maka dilakukan pengadaan 2 alat manometer terbuka yang bisa diisi air. Dengan alat ini tekanan udara pada setiap titik disepanjang pipa *ventury* dapat diukur. Pengukuran tidak langsung memakai penerapan Persamaan Bernoulli pada air sebagai fluida statis, dimana akibat perbedaan tekanan yang dialaminya menimbulkan perbedaan ketinggian permukaan air pada ke-2 lengan manometer. Dengan pengadaan 2 alat tersebut, dapat dihasilkan 1 *set-up* peralatan Praktikum Fluida Dinamis Udara yang terkait dengan konsep debit aliran, persamaan kontinuitas, dan persamaan Bernoulli. Untuk menambah kapasitas *set-up* peralatan Laboratorium Fisika UPMKU POLBAN, yang sesuai misi riset yang dilakukan, juga didesain satu *set-up* peralatan untuk Fluida Dinamis Air. Modul ini mampu menunjukkan fenomena atau gejala yang serupa seperti dalam praktikum fluida dinamis udara.

### 3.4 Penyusunan Model Praktikum “Persamaan Bernoulli”

Dari hasil kajian silabus, interview terhadap dosen sebagai narasumber serta inventarisasi alat maka model praktikum untuk perkuliahan kelas eksperimen adalah model daur belajar seperti yang diadafasi dari pendapat Alberta Learning [4]. Menurutnya model daur belajar adalah bagian dari pendekatan inkuiri. Proses inkuiri adalah suatu proses khusus untuk memperluas atau memperdalam pengetahuan melalui penelitian. Oleh karena itu metode inkuiri kadang-kadang disebut juga metode ilmiahnya penelitian.

Metode inkuiri adalah metode belajar dengan inisiatif sendiri, yang dapat dilaksanakan secara individu atau kelompok kecil. Pembelajaran

berbasis inkuiri merupakan proses yang melibatkan mahasiswa untuk merumuskan pertanyaan, meneliti secara menyeluruh, dan kemudian membangun pemahaman, pemaknaan dan pengetahuan yang baru. Metode inkuiri merupakan metode pembelajaran yang berusaha meletakkan dasar dan mengembangkan cara berfikir ilmiah. Dalam penerapan metode ini mahasiswa dituntut lebih banyak belajar sendiri dan berusaha mengembangkan kreatifitas dalam menyelesaikan masalah yang dihadapinya. Metode inkuiri menciptakan kondisi belajar yang efektif dan kondusif.

Dengan demikian model praktikum yang dikembangkan pada penelitian ini adalah Model Praktikum Kontekstual meliputi 5 fase yaitu: fase 1; Orientasi mahasiswa pada suatu fenomena atau gejala yang berbasiskan teori fisika yang berlaku, fase 2; Demonstrasi oleh dosen dengan tujuan memperkenalkan konsep-konsep untuk identifikasi hubungan antar besaran fisika, fase 3; Praktikum secara inkuiri dan kooperatif yang dilakukan oleh mahasiswa, fase 4; Penjelasan fenomena melalui pertanyaan yang ada pada modul praktikum, dan fase 5; Refleksi oleh dosen ketika mahasiswa sudah mengumpulkan laporan .

Dengan model diatas dapat dibangun karakteristik Model Praktikum Konseptual untuk praktikum Fisika Terapan mahasiswa Jurusan Rekayasa POLBAN, dengan tujuan meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan generik sains mahasiswa, yang dapat diaplikasikan pada mata kuliah prodi. Dalam mata kuliah sains kegiatan laboratorium atau praktikum merupakan bagian integral dari kegiatan belajar mengajar. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya peranan kegiatan laboratorium untuk mencapai tujuan pendidikan sains.

### 3.5 Penyusunan Modul Praktikum “Persamaan Bernoulli”

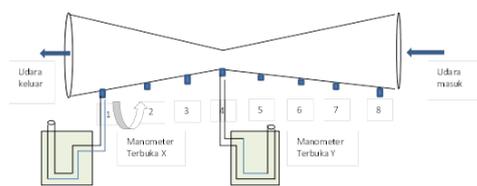
Berdasarkan hasil studi pendahuluan diatas dapat dilakukan karakterisasi bahwa modul praktikum yang dibutuhkan haruslah memperhatikan hal-hal fundamental berikut:

1. dapat melakukan pengukuran tekanan dan laju aliran sebagai bagian dari besaran fisika yang menyusun Persamaan Bernoulli dan Persamaan Kontinuitas;
2. dapat memverifikasi hubungan antara diameter atau luas penampang pipa dengan tekanan, diameter atau luas penampang pipa dengan laju aliran, dan tekanan dengan laju aliran, seperti yang berlaku dalam Persamaan Bernoulli dan Persamaan Kontinuitas.

Berdasarkan 2 karakteristik tersebut diatas, dapat disusun modul praktikum sbb:

1. Fluida Dinamis Udara. Modul ini *dicreate* sebagai tindak lanjut dari keberfungsian kembali set peralatan nomor urut 5 (*Blower + Set of Nozles + Venturi Tube*, 373 19, 20, 71), dimana ada bagian peralatan pendukung yang sudah tidak berfungsi atau bisa dimanfaatkan untuk kegiatan praktikum mahasiswa. Peralatan tersebut antara lain nomor urut 50 dan 143, seperti ditunjukkan oleh Tabel 2. Adapun karakteristik modul ini, antara lain:
  - a. Struktur modul terdiri atas tujuan, dasar teori, alat, tugas pendahuluan, kondisi ruangan, langkah percobaan dan perhitungan, pertanyaan, simpulan, sumber kesalahan, dan daftar pustaka.
  - b. Didalam peralatan ini dapat *dicreate* beberapa aliran udara dengan laju bervariasi disesuaikan dengan pengaturan hambatan geser *blower*. Semakin besar hambatan geser, tegangan listrik sebagai energi penggerak kipas angin *blower* menjadi semakin besar sehingga putaran makin cepat. Melalui kondisi ini, laju aliran udara dapat diverifikasi seiring dengan meningkatnya kapasitas udara *blower*.
  - c. Tabung *ventury* sebagai perangkat utama praktikum Persamaan Bernoulli mempunyai 8 lubang angin untuk pengukuran tekanan dan laju aliran udara. Dengan demikian, dalam 1 nilai kapasitas sumber aliran dapat dilakukan pengambilan data sebanyak 7x pengulangan dimana salah satu titiknya berdiameter tetap, yang lainnya berubah. Ditetapkan 3 kapasitas sumber aliran, sehingga terdapat 21 tipe data yang dikelola sebagai hasil pengukuran.
  - d. Terdapat pola aliran udara yang melebar dan juga menyempit sepanjang aliran, sesuai karakter dari tabung atau pipa ventury. Titik observasi dengan diameter sama namun ada dalam pola aliran melebar dan menyempit. Hal ini tampaknya berpengaruh terhadap nilai laju aliran dan tekanan di titik observasi.
  - e. Berdasarkan kondisi tabung *ventury* diatas, jarak titik observasi ke titik sumber aliran bervariasi. Kondisi ini dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh jarak titik sumber angin terhadap laju aliran dan tekanan pada suatu titik observasi.
  - f. Memuat konsep dasar untuk pengukuran tekanan berupa penerapan Persamaan Bernoulli pada fluida statis yang ada didalam manometer terbuka berisi air;

- g. Melibatkan 2 metode perhitungan untuk pengukuran laju aliran udara yaitu metode manual dan metode kuadrat terkecil.
- h. Memverifikasi hubungan antara diameter atau luas penampang pipa paralon dengan laju aliran, diameter atau luas penampang pipa paralon dengan tekanan, dan laju aliran dengan tekanan disepanjang pipa *ventury*.
- i. Desain *set-up* peralatan adalah seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.

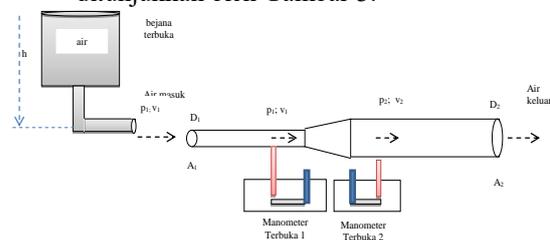


Gambar 2. Set-up peralatan praktikum fluida dinamis udara

2. Fluida Dinamis Air. Modul ini dirancang untuk memverifikasi aplikasi Persamaan Bernoulli dan Persamaan Kontinuitas untuk aliran fluida air dari bejana terbuka ke pipa paralon, dan juga aliran disepanjang 2 pipa paralon dengan diameter berbeda. Modul ini adalah hasil kreativitas peneliti tanpa memanfaatkan peralatan Laboratorium Fisika POLBAN, sebagai sampling untuk aliran fluida nyata. Adapun karakteristiknya antara lain:

- a. Struktur modul terdiri atas tujuan, dasar teori, alat, tugas pendahuluan, kondisi ruangan, langkah percobaan dan perhitungan, pertanyaan, simpulan, sumber kesalahan, dan daftar pustaka.
- b. Mempunyai sumber aliran dengan kapasitas yang dapat divariasikan, namun dalam riset ini hanya dipilih 1 nilai volume (1 ketinggian permukaan) saja, sebagaimana gejala yang dapat ditunjukkan oleh bejana terbuka;
- c. Dalam 1x kegiatan praktikum dilibatkan 3 pasang sambungan pipa paralon ( $\frac{3}{4}$  inci dengan  $\frac{1}{2}$  inci;  $\frac{3}{4}$  inci dengan 1 inci; dan  $\frac{3}{4}$  inci dengan 1,5 inci) sehingga diperoleh 4 titik observasi dengan diameter berbeda untuk tujuan pengukuran tekanan air dan laju aliran air;
- d. Jumlah data yang diambil dalam kegiatan ini meliputi 15 data, dalam 3 katagori antara lain: 5x pengulangan untuk pasangan  $\frac{3}{4}$  inci dengan  $\frac{1}{2}$  inci, 5x pengulangan untuk pasangan pipa  $\frac{3}{4}$  inci dengan 1 inci, dan 5x pengulangan untuk pasangan pipa  $\frac{3}{4}$  inci dengan 1,5 inci.
- e. Memuat implementasi Persamaan Bernoulli tidak hanya untuk fenomena fluida dinamis, namun juga penerapan Persamaan Bernoulli pada fluida statik;

- f. Memuat konsep dasar untuk pengukuran tekanan berupa penerapan Persamaan Bernoulli pada fluida statis yang ada didalam manometer terbuka yang berisi raksa;
- g. Mempunyai 3 titik referensi meliputi titik tepat di permukaan air dalam bejana terbuka, dan 2 titik tepat di sumbu sepanjang pipa paralon dengan diameter berbeda, untuk dasar pengukuran besaran-besaran fisika sehingga ada 3 variabel tekanan fluida dan 3 variabel laju aliran fluida.
- h. Memuat implementasi Dalil Torricelli untuk aliran air dari bejana bak terbuka ke pipa paralon.
- i. Melibatkan 2 metode perhitungan untuk pengukuran laju aliran air sehingga pada setiap titik observasi dihasilkan 2 nilai hasil perhitungan laju aliran. Keduanya sangat esensial dibahas oleh mahasiswa sekiranya nilainya berbeda.
- j. Memverifikasi hubungan antara diameter atau luas penampang pipa paralon dengan laju aliran, diameter atau luas penampang pipa paralon dengan tekanan, dan juga laju aliran dengan tekanan disepanjang pipa paralon.
- k. Semua pengukuran dalam sistem peralatan didasari atas perhitungan manual dengan melibatkan rumus-rumus fisika tanpa Metode Kuadrat Terkecil. Untuk perhitungan dapat dilakukan dengan berbantuan Program Excell.
- l. Desain *set-up* peralatan adalah seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Set up peralatan percobaan fluida dinamis air

### 3.6 Penyusunan Instrumen Kegiatan Validasi Produk Penelitian

Pedoman pelaksanaan kegiatan validasi produk penelitian merupakan sejumlah instrumen yang sangat diperlukan untuk memperoleh data signifikansi peningkatan hasil belajar mahasiswa, tanggapan dan kesulitan dari mahasiswa, serta tanggapan dosen implementor terhadap produk penelitian yang dikembangkan. Instrumennya meliputi:

- 1 Rencana Perkuliahan Teori (RPT). Instrumen ini digunakan sebagai pedoman perkuliahan fluida

dinamis kelas kontrol selaku kelas pembanding yang mengikuti pembelajaran tanpa berbasis model praktikum yang dikembangkan. Struktur RPT dan deskripsi tiap unit dijelaskan sbb:

- a. Deskripsi materi perkuliahan. Deskripsi materi perkuliahan ini adalah pendahuluan yang menjelaskan tentang metode analisa yang digunakan pada materi kuliah fluida dinamis, yaitu berupa pendekatan model-model ideal dengan menggunakan prinsip-prinsip umum, serta batasan-batasan jenis fluida yang dianalisa.
  - b. Ringkasan bahan kajian. Pada ringkasan bahan kajian dijelaskan uraian isi materi fluida dinamis sebagai peta konsep yang menjelaskan langkah-langkah dalam menurunkan Persamaan Kontinuitas serta Persamaan Bernoulli.
  - c. Referensi. Buku referensi sebagai rujukan yang dapat digunakan oleh mahasiswa untuk kegiatan penggunaan wawasan materi perkuliahan dan latihan soal.
  - d. Capaian pembelajaran. Capaian pembelajaran adalah kemampuan yang harus dimiliki mahasiswa setelah pembelajaran yang ditetapkan oleh jurusan untuk setiap mata kuliah yang diajarkan pada mahasiswa. Capaian pembelajaran mahasiswa untuk mata kuliah fisika terapan khususnya materi fluida dinamis adalah mahasiswa mampu menguasai konsep Debit Fluida, Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Bernoulli dengan menerapkannya pada bidang rekayasa yang diperlukan.
  - e. Metode pembelajaran. Metode pembelajaran berisi uraian tentang skenario pembelajaran, pembagian waktu, uraian tugas pengajar dan tugas mahasiswa serta beberapa pendekatan yang digunakan agar tercapai hasil belajar yang optimal.
2. Soal Pilihan Ganda (PG). Soal ini disusun untuk mengukur peningkatan hasil belajar mahasiswa pokok bahasan fluida dinamis, baik untuk kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Variasi soal PG disusun agar mampu menggali pemahaman mahasiswa sehingga dapat menjadi alat ukur efektif yang terkait dengan capaian pembelajaran mahasiswa, yaitu mampu menguasai konsep Debit Fluida, Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Bernoulli dengan menerapkannya pada bidang rekayasa yang diperlukan. Soal PG terbagi dalam 3 katagori, yaitu kelompok pertanyaan sub tema: Debit Fluida, Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Bernoulli.
3. Angket Tanggapan Mahasiswa. Pembuatan angket ini dimaksudkan untuk mengukur tanggapan mahasiswa kelas eksperimen terhadap

penggunaan model (modul) praktikum yang dikembangkan dan mengungkap pemahaman mahasiswa terhadap materi fluida dinamis. Angket digunakan pada tahap validasi model dan modul praktikum yang dikembangkan.

4. Angket Kesulitan Mahasiswa. Pembuatan angket ini dimaksudkan untuk mengetahui kesulitan-kesulitan mahasiswa kelas eksperimen selama menggunakan model (modul) praktikum yang dikembangkan. Angket ini berisi pertanyaan dengan jawaban uraian sesuai dengan kondisi yang dialami mahasiswa selama menggunakan model dan modul praktikum Persamaan Bernoulli yang dikembangkan.
5. Angket Tanggapan Dosen Pembimbing Praktikum. Pembuatan angket ini dimaksudkan untuk mengukur tanggapan dosen pembimbing praktikum terhadap model (modul) praktikum Persamaan Bernoulli yang dikembangkan. Instrumen digunakan pada tahap validasi produk penelitian yaitu ketika dosen pembimbing praktikum selaku implementor di lapangan memberi asesmen setelah menerapkan model praktikum di lapangan. Implementor dapat memberi tanggapan dan rekomendasi untuk perbaikan model (modul) praktikum yang dikembangkan agar menjadi lebih valid.

### 3.7 Ujicoba Model Praktikum “Persamaan Bernoulli”

Ujicoba model praktikum Persamaan Bernoulli oleh peneliti menunjukkan bahwa penerapan model di lapangan tidak ditemukan adanya kendala berarti. Artinya keterlaksanaannya atau konten kegiatan belajar mengajar didalamnya bisa dilaksanakan hampir 100%. Hal ini terkait dengan luasnya alokasi waktu ke-5 fase pembelajaran didalam model praktikum, untuk implementasi isi setiap fase kegiatan pembelajaran. Pada setiap fase disediakan waktu 2x50 menit sehingga alokasi waktu secara keseluruhan 10x50 menit. Dosen mempunyai keleluasaan tinggi dalam merealisasikan isi tiap fase pembelajaran, sesuai dengan target yang terkandung didalamnya. Tidak ada revisi terhadap isi model praktikum Persamaan Bernoulli yang dilakukan karena semua kegiatan sudah mengarah pada tujuan kegiatan.

### 3.8 Ujicoba Modul Praktikum “Persamaan Bernoulli”

Terhadap hasil studi tahap perancangan yaitu modul praktikum Persamaan Bernoulli selanjutnya diujicoba di Laboratorium Fisika POLBAN dan diperoleh data-data sbb:

1. Ujicoba Modul Praktikum Fluida Dinamis Udara Dalam ujicoba ini dilakukan, antara lain:

- pengukuran luas penampang atau diameter pipa dengan jangka sorong pada ke-8 titik observasi sepanjang tabung *ventury* dengan profil melebar dan menyempit.
- pengukuran perbedaan ketinggian permukaan air antara ke-2 lengan pada setiap manometer terbuka untuk 5 kapasitas aliran sumber angin berbeda.

Perhitungan besaran-besaran fisika didalam konsep fluida dinamis udara, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Untuk setiap kapasitas aliran sumber angin, laju aliran di titik observasi 4 dihitung dengan Metode Kuadrat Terkecil berbantuan program Excel berbasis Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Bernoulli. Sedangkan laju aliran di titik observasi yang lain dihitung melalui Persamaan Kontinuitas, juga berbantuan program Excel.
- Perhitungan tekanan udara dilakukan dengan menerapkan Persamaan Bernoulli pada fluida statis (air) yang ada pada kedua manometer terbuka.

Rekap hasil perhitungan untuk laju aliran dan tekanan udara, masing-masing ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Rekap hasil perhitungan laju aliran fluida dinamis udara

ΣUdara	Laju Aliran di titik.... (m/s)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
4%	3,12	5,16	8,67	13,06	7,78	5,16	3,76	2,80
21%	3,64	6,01	10,10	15,2	9,06	6,01	4,38	3,26
53%	5,56	9,20	15,46	23,3	13,87	9,20	6,70	4,99
82%	2,63	4,35	7,31	11,0	5,56	4,35	3,17	2,36
100%	6,53	10,80	18,15	27,3	16,29	10,30	7,87	5,86

Tabel 4. Rekap hasil perhitungan tekanan fluida dinamis udara

ΣUdara	Tekanan Udara di titik.... (Pascal)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
4%	92480,4	92480,4	92480,4	92274,6	92539,2	92539,2	92578,4	92578,4
21%	92480,4	92470,6	92411,8	92215,8	92549,0	92549,0	92529,4	92539,2
53%	92480,4	92470,6	92411,8	92215,8	92549,0	92549,0	92529,4	92539,2
82%	92480,4	92451,0	92392,2	91872,8	92411,8	92539,2	92588,2	92627,4
100%	92470,6	92402,0	92176,6	91500,4	92353,0	92529,4	92627,4	92647,0

Ke-2 rekap diatas menunjukkan bahwa ada suatu kecenderungan dimana jika diameter pipa *ventury* makin besar maka laju aliran udara di tempat tersebut makin kecil sedangkan tekanan udara ditempat tersebut makin besar. Hal ini sudah sesuai dengan konsep yang berlaku dalam Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Bernoulli.

Di sisi lain juga terungkap bahwa dalam pola aliran menyempit sepanjang pipa *ventury*, dimana titik observasi makin jauh dari sumber angin dan diameter makin kecil, maka laju aliran udara adalah makin besar. Dalam pola aliran melebar, dimana titik observasi lebih jauh lagi dibanding pola aliran menyempit dari titik sumber angin dan diameter makin besar, maka laju aliran udara adalah makin kecil. Namun demikian gradien atau kemiringan perubahan lebih landai pada pola aliran melebar. Hal serupa

terjadi pada tekanan udara sepanjang aliran pipa *ventury*.

*Umpan balik kegiatan ujicoba Modul Praktikum Fluida Dinamis Udara:*

Umpan balik terhadap hasil ujicoba diatas adalah laju aliran yang semula diukur di tengah-tengah pipa *ventury* dimana diameternya terkecil, selanjutnya dirubah menjadi pengukuran laju aliran udara masuk, yaitu titik observasi 8 dengan Metode Kuadrat Terkecil. Disisi lain juga ditetapkan 3 Σudara sebagai kapasitas aliran sumber angin yang terpilih untuk tujuan efektivitas waktu ( $\pm 50$  menit) untuk pengambilan data dan verifikasi kemampuan alat dalam membedakan laju aliran udara dengan sumber angin lebih besar. Hal-hal lain tidak dirubah karena gejala yang ditunjukkan tampak terverifikasi dengan baik oleh set-peralatan yang ada dalam modul ini.

- Ujicoba Modul Praktikum Fluida Dinamis Air. Dalam ujicoba ini dilakukan kegiatan antara lain:
  - pengukuran diameter dengan jangka sorong dan perhitungan luas penampang melintang pipa dari ke-4 pipa paralon yang digunakan dalam set-up percobaan fluida dinamis air.
  - pengukuran perbedaan ketinggian permukaan raksa antara ke-2 lengan pada setiap manometer terbuka, perhitungan tekanan, dan perhitungan laju aliran air untuk 5x pengulangan setiap pasangan pipa-paralon, meliputi pasangan pipa  $\frac{3}{4}$  inchi dengan  $\frac{1}{2}$  inchi, pipa  $\frac{3}{4}$  inchi dengan 1 inchi, dan pipa  $\frac{3}{4}$  inchi dengan 1,5 inchi.

Perhitungan besaran-besaran fisika yang ada dalam konsep fluida dinamis (air) dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut:

- Untuk pengukuran tekanan fluida dinamis air pada setiap titik observasi di sepanjang pipa paralon, digunakan aplikasi Persamaan Bernoulli terhadap fluida statis raksa yang tersimpan didalam manometer terbuka. kondisi I: kran atas open dan kran bawah stop dan kondisi II: kran atas dan bawah masing-masing open. Pada kedua kondisi ini sangat memungkinkan aplikasi Persamaan Bernoulli. Selain itu untuk kondisi I, pengukuran tekanan di sepanjang sumbu kedua pipa, dapat didekati penerapan Persamaan Bernoulli dalam fluida statis air dalam sistem dengan ketinggian permukaan tertentu. Idealnya tekanan dimasing-masing sumbu pipa adalah sama karena sistem memiliki ketinggian tertentu. Dengan demikian ada 3 tekanan hasil pengukuran, antara lain:  $p_{hitung1} = p_{hitung2}$ ,  $p_{ukur1}$  dan  $p_{ukur2}$ .
- Untuk pengukuran laju aliran fluida dinamis air pada setiap titik observasi di sepanjang

aliran pipa paralon, digunakan aplikasi Persamaan Bernoulli dan Persamaan Kontinuitas terhadap 3 tipe pasangan titik referensi. Sebagaimana yang dikandung dalam sistem fluida dinamis ini, ada 3 titik referensi, yaitu titik 0: pada bagian atas permukaan air; titik 1: posisi selang pada pipa paralon  $\frac{3}{4}$  inchi; dan titik 2: posisi selang pada pipa paralon  $\frac{1}{2}$  inchi atau 1 inchi atau 1,5 inchi. Tiga tipe pasangan titik referensi tersebut adalah A: antara 0 dengan 1; B: antara 0 dengan 2; dan C: antara 1 dengan 2. Melalui penerapan Persamaan Bernoulli plus Persamaan Kontinuitas maka diperoleh 2 tipe hasil perhitungan laju aliran baik untuk titik referensi 1 maupun titik referensi 2.

Rekap hasil perhitungan tekanan dan laju aliran ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Rekap hasil perhitungan tekanan ke-3 tipe pasangan pipa paralon

Tipe pasangan pipa paralon	Kondisi Keran/Fluida Air					
	Statis (Open-Stop)			Dinamis (Open-Open)		
	P1-ukur	P1-ukur	P2-ukur	P1-ukur	P2-ukur	P2-ukur
A	D-3/4-1/2 in	D-3/4in	D-1/2 in	D-3/4in	D-1/2 in	D-1/2 in
	98006,87 Pa	99830,4 Pa	98657,54 Pa	98524,26 Pa	95965,28 Pa	95965,28 Pa
B	D-3/4-1 in	D-3/4in	D-1 in	D-3/4in	D-1 in	D-1 in
	97977,22 Pa	100283,552 Pa	100123,616 Pa	94472,54 Pa	95485,47 Pa	95485,47 Pa
C	D-3/4-1,5 in	D-3/4in	D-1,5 in	D-3/4in	D-1,5 in	D-1,5 in
	97898,33 Pa	99670,46 Pa	99803,74 Pa	93592,9 Pa	94312,61 Pa	94312,61 Pa

Tabel 6. Rekap hasil perhitungan untuk laju aliran air pada setiap diameter pipa

Diameter	Kondisi Keran/Fluida Air					
	1/2"	3/4"	1,0"	1,5"	inchi	
V <sub>ref.0-x</sub>	2	taktentu	2,6	2,9	1,2	m/s
V <sub>ref.1-2</sub>	3,3	2,5	1,7	1,2	1	0,3 m/s

Tampak bahwa hasil perhitungan laju aliran menunjukkan semakin besar diameter atau luas penampang pipa maka laju aliran air makin kecil. Sedangkan untuk tekanan, menunjukkan kecenderungan bahwa diameter/luas penampang lebih besar memiliki tekanan lebih besar juga, baik untuk keadaan fluida statis maupun fluida dinamis.

### Umpan Balik Kegiatan Ujicoba Modul Praktikum Fluida Dinamis Air:

Ujicoba ini tidak menghasilkan revisi isi modul praktikum namun menghasilkan 2 rekomendasi yaitu (i) masih dipilih kapasitas sumber air tetap maka dapat juga dipilih kapasitas sumber air bervariasi dan (ii) masih dipilih keadaan kran *open-open* dengan mesin pompa air *off* maka dapat juga dipilih dengan mesin pompa air *on*.

## 3.9 Validasi Model (Modul) Praktikum "Persamaan Bernoulli"

### 3.9.1 Signifikansi Hasil Tes Kelas Eksperimen Terhadap Kelas Kontrol

Dalam tahap validasi ini dilakukan ujicoba terbatas dengan *pre-test post-test control group design* pada 15 mahasiswa kelas eksperimen dengan pembanding

sebanyak 16 mahasiswa kelas kontrol. Perolehan nilai *pre-test*, *post-test*, N-Gain dan laporan mahasiswa diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Data nilai Pre Test, Post Test, N-Gain, dan Laporan

Kelas Eksperimen	Nilai				Kelas Kontrol	Nilai		
	Pre Test	Post Test	N-Gain (%)	Laporan		Pre Test	Post Test	N-Gain (%)
E01	19,8	40	25	69	K01	13,2	33,3	23
E02	13,2	53,3	46	66	K02	6,7	53,3	50
E03	67	73,3	19	71	K03	26,4	46,7	28
E04	40	53,3	22	66	K04	73,3	80	25
E05	13,2	26,7	16	69	K05	33,3	33,3	0
E06	73,3	100	100	69	K06	26,4	33,3	9
E07	19,8	40	25	56	K07	19,8	60	50
E08	19,8	60	50	72	K08	60	66,7	17
E09	19,8	73,3	67	70	K09	33,3	40	10
E10	26,4	66,7	55	68	K10	33,3	53,3	30
E11	19,8	40	25	66	K11	26,4	33,3	9
E12	46,7	46,7	0	68	K12	46,7	80	62
E13	26,4	53,3	37	67	K13	26,4	60	46
E14	26,4	46,7	28	68	K14	40	53,3	22
E15	26,4	73,3	64	75	K15	80	80	00
					K16	26,4	40	18
Rerata:	30,5	56,4	38,5	68,0	Rerata:	35,7	52,9	25,0

Uji statistika meliputi uji normalitas, uji homogenitas, dan uji t diterapkan pada data primer nilai *pre-test* dan *post-test* ke-2 kelas untuk melihat signifikansi perbedaan hasil belajar sebelum dan setelah perlakuan bagi sampel penelitian. Rekap hasil uji statistika berturut-turut diperlihatkan pada Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Tabel 8. Rekap hasil uji normalitas data hasil belajar

No	Tipe Data	Hasil Uji Normalitas		Keterangan
		Z <sub>hitung</sub>	Z <sub>tabel</sub>	
1	Pre Test Kelas Kontrol	10,25	16,93	Normal
2	Pre Test Kelas Eksperimen	7,87	12,59	Normal
3	Post Test Kelas Kontrol	3,25	12,59	Normal
4	Post Test Kelas Eksperimen	3,67	14,07	Normal

Tabel 9. Rekap hasil uji homogenitas data hasil belajar

No	Tipe Data	Hasil Uji Normalitas		Keterangan
		F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>	
1	Pre Test Kelas Kontrol-Kelas Eksperimen	1,21	2,39	Homogen
2	Post Test Kelas Kontrol-Kelas Eksperimen	1,16	2,39	Homogen

Tabel 10. Rekap hasil uji T (Independent Samples Test)

No	Tipe Data	Hasil Uji T		Keterangan
		Taraf Signifikansi $\alpha$ Hitung SPSS	Taraf Signifikansi $\alpha$ Referensi	
1	Pre Test Kelas Kontrol-Kelas Eksperimen	0,46	0,05	H <sub>0</sub> diterima
2	Post Test Kelas Kontrol-Kelas Eksperimen	0,59	0,05	H <sub>1</sub> ditolak

Tabel 8 menunjukkan distribusi ke-4 tipe data bersifat normal. Tabel 9 menunjukkan distribusi data *pre-test* dan *post-test* ialah homogen. Tabel 10 menunjukkan bahwa pasangan data *pre-test* memenuhi hipotesa H<sub>0</sub>, artinya hasil tes ke-2 kelas sebelum KBM tidak berbeda secara signifikan.

Tabel 10 juga menunjukkan bahwa pasangan data *post-test* menolak hipotesa H<sub>1</sub>, artinya hasil tes kedua kelas setelah KBM (berbasis metode berbeda) tidak berbeda secara signifikan. Penerapan model kontekstual praktikum tidak memberi perbedaan hasil tes secara signifikan dibandingkan perkuliahan teori tanpa kegiatan praktikum. Namun demikian pada Tabel 8 ditunjukkan bahwa pengukuran *mean post-test*, dan N-Gain pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, padahal pengukuran *mean pre-test* kelas eksperimen lebih rendah dibanding kelas kontrol.

Hasil uji statistika diatas dapat dimaknai sebagai umpan balik implisit bagi perbaikan konten dan proses penerapan model (modul) praktikum Persamaan Bernoulli yang dikembangkan. Perbaikan juga dilandasi berdasarkan hasil pengamatan di lapangan dan penilaian atas kualitas laporan praktikum mahasiswa kelas eksperimen. Tabel 7 menunjukkan *mean* nilai laporan 68 skala 100, termasuk katagori cukup baik sesuai dengan standar penilaian yang berlaku di POLBAN.

### 3.9.2 Tanggapan dan Kesulitan Mahasiswa Kelas Eksperimen.

Melalui 10 butir pertanyaan kuesioner, seluruh responden memberi tanggapan, antara lain: 43,3% Sangat Setuju, 49,3% Setuju, dan 7,3% Biasa Saja. Tampak 92,6% responden memberikan tanggapan positif terhadap kualitas modul praktikum yang dihasilkan. Tanggapan ini, jika diukur dalam Skala Likert (0-4) tampak memberikan indeks 3,36. Dengan demikian penelitian telah menghasilkan produk dengan kualitas diatas katagori baik namun masih dibawah sangat baik. Rincian tanggapan mahasiswa diperlihatkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Rekap Hasil Angket Tanggapan Mahasiswa

No	Indikator kualitas modul praktikum yang dikembangkan	Σ Pilihan jawaban mahasiswa (%)		
		a. SS	b. S	c. BS
1	Tampilan modul praktikum fluida dinamis sistematis dan berurut sesuai dengan langkah-langkah percobaan	67	33	-
2	Tujuan praktikum diuraikan dengan jelas pada modul percobaan fluida dinamis	67	33	-
3	Dasar teori pada modul praktikum fluida dinamis menyajikan uraian singkat yang jelas sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai pada saat praktikum	20	73	7
4	Tertulis dalam modul alat-alat percobaan sehingga memudahkan identifikasi alat-alat saat percobaan dilaksanakan	60	40	-
5	Dengan mengerjakan tugas pendahuluan pada modul praktikum dapat menambah pemahaman tentang fluida dinamis	20	60	20
6	Langkah-langkah percobaan dapat dipahami sehingga dapat memandu saya dalam melaksanakan praktikum	33	54	13
7	Tabel isian data percobaan memudahkan pencatatan data percobaan sehingga memudahkan saat pengolahan data	60	33	7
8	Pertanyaan pada modul dapat mengeksplorasi pemahaman saya setelah pelaksanaan praktikum	46	47	7
9	Saya merasa tidak bosan mengikuti perkuliahan materi fluida dinamis karena disertai praktikum	27	60	13
10	Dengan adanya praktikum Fluida Dinamis, memberikan gambaran yang lebih jelas tentang persoalan-persoalan Fisika khususnya materi Fluida Dinamis	33	60	7

Keterangan: SS: Sangat Setuju, S: Setuju, dan BS: Biasa Saja

Berdasarkan Tabel 11 diatas, ada 4 hal yang menjadi perhatian peneliti antara lain: (i) bagian modul yang mayoritas mendapat tanggapan sangat setuju, yaitu pada aspek tampilan modul, tujuan praktikum, alat-alat, dan struktur tabel; (ii) bagian modul yang mayoritas mendapat tanggapan setuju, yaitu pada aspek dasar teori, tugas pendahuluan, langkah-langkah percobaan, dan pertanyaan; (iii) bagian modul yang mendapat tanggapan negatif berupa biasa saja dari responden, yaitu pada aspek dasar teori, tugas pendahuluan, langkah percobaan, tabel, dan pertanyaan.; dan (iv) persepsi positif mayoritas responden perihal keberadaan atau keikutsertaan praktikum dalam perkuliahan teori, yaitu pada aspek ketertarikan (tidak bosan) mahasiswa dan daya dukung dari kegiatan praktikum terhadap

pemecahan persoalan-persoalan fisika. Dari ke-4 hal diatas, yang perlu mendapat kajian adalah bagian modul praktikum yang “ada” mendapatkan tanggapan negatif dari responden. Hal tersebut dikaji kelemahannya dan selanjutnya diperbaiki sehingga produk yang dihasilkan menjadi lebih baik. Kuesioner perihal kesulitan mahasiswa dalam memanfaatkan modul praktikum yang dikembangkan, diperlihatkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekap Hasil Angket Kesulitan Mahasiswa

No	Konten Pertanyaan	Pendapat Mahasiswa
1	Memahami materi fluida dinamis:	7% Sangat Sulit, 47% Sulit, 33% Cukup, 13% Mudah, & 0% Sangat Mudah
2	Penjelasan materi pada modul praktikum	73% Baik, 14% Sangat Baik, 13% Cukup, 0% Kurang dan 0% Sangat Kurang
3	Petunjuk praktikum pada modul praktikum	53% Baik, 40% Sangat Baik, 7% Cukup, 0% Kurang dan 0% Sangat Kurang
4	Pengambilan data menggunakan alat percobaan	7% Sangat Mudah, 60% Mudah, 33% Cukup, 0% Sulit, dan 0% Sangat Sulit
5	Kesulitan-kesulitan dalam pelaksanaan praktikum persamaan Bernoulli	Pengukuran $\Delta h$ , Tugas pendahuluan, Pemahaman rumus FD, Perhitungan banyak, Penerapan dan pemahaman persamaan Bernoulli,

Pada Tabel 12 tampak bahwa walaupun materi fluida dinamis bagi mayoritas responden dipandang sulit, melalui penjelasan materi dan petunjuk praktikum (dalam modul) yang dianggap baik oleh mayoritas responden, maka pelaksanaan pengambilan data dianggap mudah oleh mayoritas responden. Namun demikian masih ada bagian-bagian modul praktikum yang dianggap sulit meliputi pengukuran perbedaan ketinggian ( $\Delta h$ ), tugas pendahuluan, pemahaman rumus fluida dinamis, perhitungan yang banyak, penerapan dan pemahaman persamaan Bernoulli. Aspek-aspek ini perlu mendapat kajian untuk diperbaiki.

### 3.9.3 Tanggapan dosen pembimbing dan observasi kegiatan.

Oleh karena kendala teknis, dosen implementor ujcoba terbatas model (modul) praktikum di lapangan tidak bisa memanfaatkan dosen diluar tim peneliti. Untuk menghindari adanya subyektivitas maka dalam bab ini tidak dibahas perihal tanggapan dosen pembimbing praktikum. Namun demikian yang perlu dibahas adalah hasil observasi tim peneliti selaku implementor model (modul) praktikum selama kegiatan ujcoba terbatas dilaksanakan.

KBM untuk kedua kelas dilaksanakan sesuai skenario dan tuntutan yang telah ditetapkan dalam metode masing-masing.. Model praktikum kontekstual untuk kelas eksperimen dan metode pembelajaran ceramah (teoritis) untuk kelas kontrol. Untuk mahasiswa kelas eksperimen tampak kemandirian setiap mahasiswa dalam berinkuiri sangat kurang. Kegiatan diskusi (kooperatif) antar anggota kelompok dalam tim juga tidak berlangsung sebagaimana mestinya. Dari 4 kelompok (terdiri atas 15 mahasiswa) tampak mengerucut menjadi 2

kelompok besar, sesuai dengan 2 judul modul yang dikerjakan (fluida dinamis udara dan fluida dinamis air). Dalam berdiskusi (mengerjakan modul praktikum) tampak setiap kelompok mempercayakan pada seorang mahasiswa yang dianggap paling pandai, mahasiswa lain hanya mengikuti pendapat atau menulis pekerjaan yang dilakukan oleh mahasiswa yang dianggap paling pandai tersebut. Kondisi ini tampaknya sangat mempengaruhi peningkatan penguasaan konsep fluida dinamis dari mahasiswa kelas eksperimen secara keseluruhan.

Prihal kualitas isi laporan yang dikumpulkan oleh mahasiswa kelas eksperimen, secara umum tampak mempunyai kekurangan sebagai berikut: (i) mayoritas isi laporan mahasiswa hampir sama; (ii) perhitungan-perhitungan oleh mahasiswa tidak lengkap; (iii) jawaban atas setiap pertanyaan yang ada didalam modul tampak tidak disajikan secara lengkap. Rincian hasil observasi laporan mahasiswa diperlihatkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Rekap hasil observasi laporan praktikum mahasiswa

No	Unit modul	Hasil observasi:
1	Tugas pendahuluan	Jawaban pertanyaan yang tidak lengkap! Verifikasi rumus tidak semua mahasiswa melakukan secara kuantitatif namun ada mahasiswa yang melakukan secara kualitatif No 4 dan 5 harusnya didukung data/nilai untuk dilakukan generalisasi Salah menafsirkan $\Delta h$ , yang seharusnya $L \sin 37^\circ$ Sketsa grafik dalam fluida dinamis udara memakai data eksperimen
2	Data pengamatan	Semua mahasiswa sudah melakukan pencatatan kondisi ruangan baik sebelum maupun setelah kegiatan eksperimen; Perhitungan-perhitungan dalam langkah-langkah percobaan tidak dilakukan pada kertas A4 terpisah, untuk dilampirkan dalam laporan.
3	Pertanyaan	Untuk FD-Udara: Tidak ditunjukkan cara perhitungan tekanan; Mayoritas mahasiswa juga tidak menunjukkan cara perhitungan laju aliran masuk memakai metode MKT; Cara perhitungan laju aliran pada 7 titik observasi tidak ditunjukkan, kecuali titik 8; Analisa laju aliran fluida pada kedua profil (melebar dan menyempit) dengan diameter sama tampak tidak dimunculkan. Untuk FD-Air: Perhitungan tekanan di titik observasi 1 dan 2 untuk setiap pasangan paralon tampak tidak ditunjukkan Perhitungan laju aliran memakai kedua metode yang dianjurkan tampak tidak ditunjukkan
4	Sumber kesalahan	Tidak dieksplor/dikaji secara mendalam berdasarkan proses, kondisi alat, cara pengukuran, dan landasan teori (asumsi) yang mendasari persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli yang digunakan dalam percobaan.
5	Simpulan	Simpulan belum 100% mengacu kepada tujuan percobaan
6	Daftar pustaka	Mayoritas mahasiswa tidak memakai referensi yang bereputasi, bahkan ada mahasiswa yang tidak memakai/mencantumkan referensi sama sekali

#### Umpun balik untuk modul fluida dinamis udara:

1. Isi modul mahasiswa mayoritas sama dan tidak menampilkan setiap perhitungan yang seharusnya dilakukan. Revisi dilakukan dengan menambah pernyataan untuk mengklarifikasi permintaan perhitungan yang bersangkutan.
2. Istilah ULM (Udara Luar Menekan) dan ULT (Udara Luar Tertekan) belum terklarifikasi dengan baik pada Tabel 3 halaman 5. Untuk itu perlu penjelasan tambahan pada bagian tugas pendahuluan.
3. Pernyataan pertanyaan dalam tugas pendahuluan nomor 5 belum dipahami dengan baik oleh

mahasiswa, untuk itu keterbacaannya perlu direvisi.

4. Pernyataan pertanyaan dari tugas pendahuluan nomor 7, ada mahasiswa hanya mengerjakan salah satu gambar saja. Untuk itu revisi dilakukan dengan menambah pernyataan sebagai bentuk penegasan agar dilakukan perhitungan untuk ke-2 gambar yang ada.
5. Pernyataan pertanyaan nomor 2 pada Bagian G. Pertanyaan prihal hubungan laju aliran masuk dengan kapasitas sumber berbeda, tampak jawaban oleh semua mahasiswa tidak relevan. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan dengan penambahan pernyataan untuk memberi penegasan konten yang dimaksud, sehingga jawaban mahasiswa adalah hal yang seharusnya dan terkait dengan konten pertanyaan yang dimaksud.
6. Pernyataan pertanyaan nomor 4 Bagian G. Pertanyaan tampak keterbacaannya belum dipahami oleh mahasiswa secara lengkap, khususnya prihal komparasi 2 kondisi titik pengukuran yang berdiameter sama namun berprofil berbeda yaitu melebar dan menyempit. Revisi yang dilakukan adalah dengan memberi penjelasan tambahan.

#### Umpun balik untuk modul fluida dinamis air:

1. Untuk bagian perhitungan tekanan dan laju aliran pada setiap titik observasi dan setiap pasangan pipa paralon, diberikan penegasan agar perhitungan dilakukan pada kertas A4 terpisah, untuk nantinya dilampirkan sebagai laporan.
2. Pada bagian F. Langkah Percobaan dan Perhitungan, langkah nomor 6 diberikan penjelasan tambahan sebagai bentuk penegasan agar  $h_{max}$  air setiap tipe pasangan pipa paralon dikondisikan pada ketinggian yang sama. Ini dimaksudkan untuk menghasilkan kondisi perhitungan yang sama, baik untuk tekanan maupun laju aliran fluida pada setiap titik referensi.
3. Pada Bagian B. Dasar Teori, diberikan penjelasan tambahan sebagai bentuk penegasan agar mahasiswa melakukan verifikasi atau penurunan rumus sebagai tugas pendahuluan nomor 11.
4. Pada Bagian D. Tugas Pendahuluan dilakukan perbaikan format dan penambahan 1 soal prihal cara melakukan perhitungan ketidakpastian suatu pengukuran berulang dalam eksperimen, dimana sebelumnya belum dimunculkan sebagai tugas pendahuluan dan didasari atas hasil observasi, dimana ada mahasiswa yang menanyakan perihal cara melakukan perhitungan ketidakpastian pengukuran berulang.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data, hasil temuan, dan pembahasan dapat dikemukakan beberapa kesimpulan penelitian, antara lain:

1. Model praktikum Persamaan Bernoulli yang mendukung pembelajaran pokok bahasan fluida dinamis dan memberi pengetahuan adaptif mahasiswa POLBAN terdiri atas 5 fase kegiatan a' 2x50 menit meliputi: (i) orientasi mahasiswa pada fenomena melalui pembelajaran teori oleh dosen di kelas, (ii) demonstrasi *set up* peralatan oleh dosen di laboratorium untuk memperkenalkan konsep dan kepentingan identifikasi hubungan antar besaran fisis, (iii) mahasiswa praktikum di laboratorium secara inkuiri dan kooperatif berbasis modul praktikum fluida dinamis, (iv) penjelasan fenomena oleh dosen berbasis pertanyaan-pertanyaan yang ada dalam modul praktikum fluida dinamis; dan (v) refleksi yang dipimpin oleh dosen setelah mahasiswa mengumpulkan laporan. Model ini selanjutnya dinamakan model praktikum kontekstual. Struktur modul praktikum fluida dinamis yang mendukung model praktikum Persamaan Bernoulli terdiri atas: (i) tujuan percobaan, (ii) dasar teori, (iii) alat percobaan, (iv) tugas pendahuluan, (v) kondisi ruangan, (vi) langkah percobaan dan perhitungan, (vii) pertanyaan, (viii) simpulan, (ix) sumber kesalahan, dan (x) daftar pustaka.
2. Model praktikum produk penelitian yang didukung dengan 2 modul dan 2 *set* peralatan praktikum fluida dinamis, mampu memverifikasi secara kuantitatif hubungan antara diameter atau luas penampang pipa, laju aliran, dan tekanan seperti yang berlaku dalam teori Persamaan Kontinuitas dan Persamaan Bernoulli, yaitu perubahan diameter pipa makin besar menyebabkan perubahan laju aliran makin kecil namun perubahan tekanan makin besar.
3. Pembelajaran pokok bahasan fluida dinamis dengan model praktikum penelitian memberi peningkatan penguasaan konsep lebih tinggi dibanding perkuliahan teori dengan ceramah di kelas, walaupun perbedaan hasil belajarnya belum signifikan pada taraf signifikansi 5%.
4. Tanggapan mayoritas mahasiswa terhadap model (modul) praktikum yang dikembangkan adalah "setuju" bahwa unit-unit yang terkandung dalam modul telah sesuai dengan tujuan dan telah berfungsi sebagaimana mestinya. Di sisi lain

juga mendapat tanggapan bahwa metode praktikum telah menimbulkan perilaku ketertarikan (tidak bosan) dan dapat membantu aktivitas mahasiswa dalam mencapai tujuan pembelajaran.

5. Secara keseluruhan walaupun mayoritas mahasiswa menganggap materi fluida dinamis tergolong sulit, tampak mayoritas mahasiswa menganggap bahwa modul praktikum telah mempunyai *supporting* dalam bidang: penjelasan materi fluida dinamis, petunjuk praktikum, dan pengolahan data. Kesulitan-kesulitan mahasiswa selama pembelajaran dengan model (modul) praktikum penelitian termasuk katagori spesifik, diantaranya: mengukur perbedaan ketinggian permukaan fluida dalam manometer terbuka, mengerjakan tugas pendahuluan, memahami rumus-rumus pokok bahasan fluida dinamis, melakukan perhitungan dengan intensitas tinggi, menerapkan dan memahami konsep Persamaan Bernoulli.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada: (i) Yth. Politeknik Negeri Bandung atas fasilitas pendanaan penelitian ini. (ii) Yth. Ketua Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Bandung dan Stafnya, yang telah memberikan dorongan dan kesempatan kepada peneliti untuk melaksanakan dan mengembangkan penelitian ini. (iii) Yth. Ketua Unit Pelayanan Mata Kuliah Umum Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan dorongan dan kesempatan kepada peneliti untuk melaksanakan dan mengembangkan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rasagama, I.G., dkk., 2016, Keterpakaian Konsep Hukum Bernoulli dan Desain Eksperimennya didalam Fisika Terapan Prodi Rekayasa Polban. Proceeding Seminar Nasional Fisika UNJ. Volume V Oktober 2016.
- [2] Borg, R.G., et.al., 1979, *Educational Research, An Introduction*, Fifth Edition, New York: Longman.
- [3] Daftar Seluruh Barang Milik Kekayaan Negara Laboratorium Fisika UP MKU. Ditanda-tangani di Bandung, 3-1-2017, Kepala.Lab. Fisika IPD UPMKU: Ratu Fenny Muldiani, S.Si., M.Si. NIP. 198108232006042003.
- [4] Alberta Learning, 2004, *Focus on Inquiry*, Canada: Alberta.