



## **Dampak Melatihkan Pengintegrasian Hukum Newton dalam Pembelajaran Prinsip Archimedes melalui Program Resitasi terhadap Pemahaman Konsep Mahasiswa**

**Irvany Nurita Pebriana<sup>1\*</sup>, Tsania Nur Diyana<sup>2</sup>, Sutopo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta. Jalan Colombo No. 1, Karangmalang, Yogyakarta 55281, Indonesia.

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Malang. Jalan Semarang 5, Malang, Indonesia.

\*Korespondensi Penulis. E-mail: [irvany.nurita@uny.ac.id](mailto:irvany.nurita@uny.ac.id)

### **Abstrak**

Telah dikembangkan program resitasi berbantuan komputer yang dapat digunakan untuk melatih mahasiswa mengintegrasikan hukum Newton dalam menyelesaikan persoalan terkait prinsip Archimedes. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui efektivitas program resitasi terhadap pemahaman konsep mahasiswa. Sesuai dengan tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan *mixed method* desain *embedded experimental model*. Instrumen tes berupa 8 soal pilihan ganda beralasan dengan 20 mahasiswa S1 Pendidikan Fisika Universitas Negeri Malang sebagai subyek penelitian. Hasilnya, program resitasi ini efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa secara signifikan terutama kemampuan menentukan besar dan arah gaya-gaya yang bekerja pada benda yang dicelupkan dalam fluida. Akan tetapi, program ini kurang efektif dalam meningkatkan kemampuan berikut, (1) menjelaskan pengaruh percepatan gravitasi terhadap banyaknya volume benda yang tercelup dalam fluida, (2) menentukan posisi benda yang tercelup dalam fluida setelah tercapai kesetimbangan, dan (3) menentukan besar gaya angkat yang dialami oleh benda identik yang dicelupkan dalam fluida yang berbeda.

**Kata Kunci:** resitasi, hukum Newton, prinsip Archimedes, pemahaman konsep

### ***The Impact of Practicing Integration of Newton's Law in Learning Archimedes Principles through the Recitation Program on Students' Conceptual Understanding***

#### **Abstract**

A computer-assisted recitation program has been developed for practicing students to integrate Newton's laws in solving problems related to the Archimedes principle. This study aims to determine the effectiveness of the recitation program in students' conceptual understanding. This study uses a mixed method embedded experimental model design. The test instrument was 8 multiple choice questions. The subjects were 20 undergraduate students of Physics Education, State University of Malang. As a result, this recitation program is significantly effective for increasing students' understanding of concepts, especially the ability to determine the magnitude and direction of the forces acting on objects immersed in fluid. However, this program is less effective in increasing the following abilities, (1) explaining the effect of gravitational acceleration on the volume of objects immersed in the fluid, (2) determining the position of objects immersed in the fluid after equilibrium is reached, and (3) determining the buoyant force experienced by an identical object immersed in a different fluid.

**Keywords:** Recitation, Newton's Law, Archimedes' Principle, Conceptual Understanding

**How to Cite:** Pebriana, I. N., Diyana, T. N., & Sutopo (2019). Dampak melatihkan pengintegrasian hukum Newton dalam pembelajaran prinsip Archimedes melalui program resitasi terhadap pemahaman konsep mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 7(2), 106-117. doi:<http://dx.doi.org/10.21831/jpms.v7i2.39720>

**Permalink/DOI: DOI:** <http://dx.doi.org/10.21831/jpms.v7i2.39720>

#### **PENDAHULUAN**

Pemahaman konsep merupakan salah satu kajian yang paling awal dan paling banyak diteliti

dalam penelitian pendidikan fisika. Sejak setengah abad yang lalu, peneliti pendidikan fisika semakin sadar bahwa banyak siswa yang mengalami kesulitan dalam memahami konsep-

konsep fundamental dalam fisika (Docktor & Mestre, 2014). Kesulitan pemahaman konsep bukan berarti siswa sama sekali tidak memiliki pengetahuan yang benar tetapi karena kegagalan siswa mengaktivasi pengetahuan yang relevan dengan masalah (Hammer et al., 2011). Pengetahuan yang tidak relevan tersebut belum tentu salah, bisa jadi pengetahuan tersebut benar untuk konteks yang lain (Andrea A, 2011; Hammer et al., 2011).

Salah satu bidang kajian fisika yang dekat dengan kehidupan namun banyak siswa yang mengalami kesulitan pemahaman adalah fluida. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa masih banyak siswa yang mengalami kesulitan pemahaman konsep-konsep fluida bahkan setelah mengikuti pembelajaran di kelas (Goszewski et al., 2013; Husain et al., 2018; Loverude et al., 2003; Prastiwi et al., 2018; Sofiuiddin et al., 2018; Wagner et al., 2009; Wagner et al., 2014; Widodo et al., 2017). Kesulitan tersebut antara lain siswa gagal mengenali gaya angkat adalah jumlah vektor seluruh gaya yang bekerja pada benda oleh fluida di sekelilingnya (Loverude et al., 2003), benda yang lebih masif mendapatkan gaya angkat yang lebih besar (Loverude et al., 2003), balok dengan massa sama tercelup pada kedalaman berbeda maka benda yang lebih dalam mendapat gaya angkat lebih besar (Loverude, 2009; Wagner et al., 2009; Wagner et al., 2014), kegagalan memprediksikan terapung-tenggelam berdasarkan berat benda tanpa memperhatikan volume benda (Loverude, 2009), cairan yang dipindahkan bergantung pada kedalaman benda yang tercelup besar (Wagner et al., 2014), dan volume cairan yang dipindahkan oleh benda identik yang dicelupkan dalam cairan berbeda adalah sama besar (Loverude, 2009; Wagner et al., 2009; Wagner et al., 2014).

Kesulitan pemahaman konsep tidak hanya dialami oleh siswa tetapi juga mahasiswa Pendidikan Fisika Universitas Negeri Malang dalam perkuliahan Fisika Dasar. Penyebab kesulitan pemahaman prinsip Archimedes adalah mahasiswa tidak mampu mengintegrasikan hukum Newton dalam menyelesaikan persoalan prinsip Archimedes, terutama dalam menentukan gaya yang bekerja pada benda dalam fluida. Beberapa peneliti telah mengintegrasikan hukum Newton dalam pembelajaran fluida (Loverude, 2009; Loverude et al., 2003). Akan tetapi, alokasi waktu perkuliahan untuk membelajarkan mekanika fluida relatif singkat. Hal ini mengakibatkan pembelajaran mekanika fluida

tidak tuntas. Jadi, diperlukan pendalaman materi di luar jam perkuliahan melalui resitasi.

Resitasi adalah pendalaman materi berupa pendalaman konseptual atau latihan *problem solving* pada masalah yang sesuai dengan konten yang telah diajarkan dalam pembelajaran di kelas, tetapi mahasiswa masih kesulitan (Docktor et al., 2012; Docktor & Mestre, 2014; Thacker et al., 2014)(Docktor & Mestre, 2014; Thacker et al., 2014). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian resitasi dapat meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa baik diberikan dalam bentuk tutorial maupun latihan soal-soal konseptual (Afwal et al., 2016; Bagus et al., 2016; Koenig et al., 2007; Ogilvie, 2009; Reyza et al., 2013; Ryan et al., 2016). Soal-soal latihan konseptual perlu diperbanyak dengan masalah dalam konteks yang beragam agar memiliki pengetahuan yang luas terkait dimana konsep tersebut dapat diterapkan (Heuvelen et al., 2001). Semakin sering siswa dihadapkan dengan masalah, diharapkan dapat mempermudah *recall* pengetahuan yang telah tersimpan dalam memori jangka panjang siswa.

Selain diberi latihan soal konseptual, siswa juga perlu diberi balikan untuk mengidentifikasi, mengoreksi, dan belajar dari kebenaran maupun kesalahannya. Pemberian balikan yang memberi informasi letak kebenaran maupun kesalahan siswa terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa (Docktor et al., 2012; Heckler & Mikula, 2016; Warren, 2010; Yerushalmi et al., 2012). Agar balikan efektif, maka harus diberikan sesegera mungkin (Gladding et al., 2015). Hal tersebut dapat diwujudkan jika menggunakan komputer. Beberapa peneliti telah mengembangkan program resitasi berbantuan komputer, diantaranya Afwal et al. (2016) untuk topik kinematika, Reyza et al. (2013) untuk topik dinamika partikel, dan Bagus et al. (2016) untuk topik gaya dan gerak. Hasilnya ditemukan pemahaman konsep mahasiswa meningkat dan mengalami perubahan konseptual ke arah yang lebih baik. Meskipun demikian, program tersebut memiliki kekurangan antara lain jumlah soal sedikit dan terdapat masalah yang mirip antara di dalam program dengan soal tes. Kelemahan program resitasi tersebut telah diperbaiki dan dikembangkan pada topik mekanika fluida. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui efektivitas melatih pengintegrasian hukum Newton dalam pembelajaran prinsip Archimedes melalui program resitasi dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa.

**METODE**

Penelitian ini bertujuan mengetahui perubahan pemahaman mahasiswa terkait prinsip Archimedes setelah menggunakan program resitasi. Penelitian ini menggunakan *mixed method* desain *embedded experimental model* dengan data kuantitatif sebagai data utama dan data kualitatif sebagai data pendukung (Creswell & Plano Clark, 2017). Pendekatan kuantitatif digunakan untuk melihat efektivitas program, sedangkan kualitatif digunakan untuk melihat perubahan pemahaman mahasiswa setelah menggunakan program resitasi. Subjek penelitian ini adalah 20 mahasiswa tahun pertama S1 Pendidikan Fisika Universitas Negeri Malang yang sedang menempuh mata kuliah Fisika Dasar II. Setelah selesai mempelajari mekanika fluida, mahasiswa diberikan *pretest* sebelum menerima program resitasi. *Pretest* berupa soal pilihan ganda beralasan sebanyak 8 soal. Pertanyaan soal tes tidak dimasukkan dalam program resitasi.

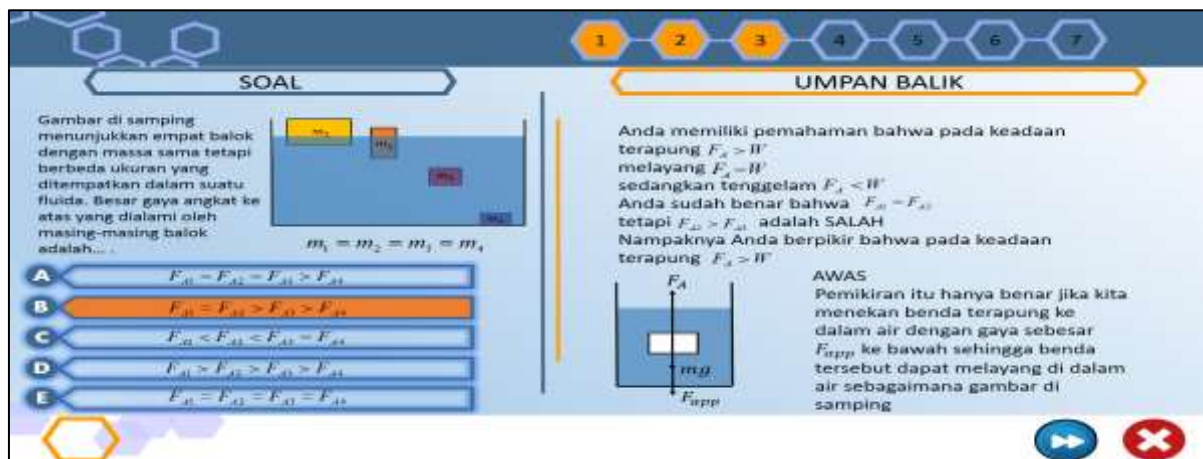
Kemampuan yang diukur pada tes pemahaman konsep mekanika fluida dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kemampuan yang diukur pada tes pemahaman prinsip Archimedes

Nomor soal	Kemampuan yang diukur
6, 7, 8, 9, 11	Menentukan besar gaya yang dialami benda dalam fluida sesuai prinsip Archimedes dan hukum Newton
10	Menganalisis massa jenis fluida menggunakan prinsip Archimedes dan hukum Newton
12, 13	Menganalisis ketinggian permukaan air akibat gaya angkat yang dialami benda dalam fluida dengan prinsip Archimedes dan hukum Newton

Sebelum digunakan, soal-soal ini divalidasi oleh dua dosen di jurusan fisika UM dan dinyatakan valid dan reliabel (*Cronbach's Alfa* = 0.542), tingkat kesukaran soal secara umum masuk kategori sedang (rentang skala  $0.16 < p < 0.79$ ), dan memiliki daya beda yang cukup (rata-rata  $D = 0.366$ ). Dengan demikian, instrumen soal ini layak digunakan untuk mengukur pemahaman konsep mahasiswa pada topik Prinsip Archimedes. Setelah pemberian *pretest*, mahasiswa diberikan program resitasi. Program resitasi ini memuat soal beserta balikkannya yang digunakan untuk membantu mahasiswa memperoleh pengetahuan baru maupun memperbaiki kesalahan konsep yang mungkin masih dimiliki mahasiswa setelah pembelajaran, sehingga diharapkan meningkatkan pemahaman konsep.

Program resitasi terdiri atas 8 soal beserta balikan. Durasi pengerjaan setiap paket  $\pm 100$  menit. Contoh program resitasi ketika mahasiswa menjawab salah ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 ketika menjawab benar. Setelah menyelesaikan program resitasi, mahasiswa diberikan *posttest* untuk mengetahui pemahaman konsep mahasiswa setelah menggunakan program resitasi. Soal *posttest* sama dengan soal *pretest*. Berdasarkan hasil *pretest* dan *posttest* akan diketahui pengaruh penggunaan program resitasi terhadap pemahaman konsep mahasiswa. Hal ini dapat diketahui melalui *d-effect size*, dan *N-gain*. Penjelasan lebih lanjut untuk memperkuat temuan diperoleh dari hasil wawancara dengan mahasiswa.



Gambar 1. Balikan pada Jawaban Salah



Gambar 2. Balikan pada jawaban benar

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dampak melatih pengintegrasian Hukum Newton dalam pembelajaran prinsip Archimedes melalui program resitasi terhadap pemahaman konsep mahasiswa ditinjau berdasarkan perbedaan skor *pretest*, *posttest*, *d-effect size*, dan *N-gain* dalam menyelesaikan 8 soal pilihan ganda beralasan. Statistik deskriptif skor *pretest* dan *posttest* mahasiswa ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data statistik deskriptif skor *pretest* dan *posttest* mahasiswa

Statistik	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
N	20	20
Minimum	0	1
Maksimum	5	8
Mean (SD)	2,35 (1,137)	3,85 (1,631)
Skewness	0.413	0,752

Hasil uji statistik deskriptif menunjukkan ada peningkatan skor rerata mahasiswa dari *pretest* ke *posttest*. Berikutnya dilakukan uji beda antarskor *pretest* dan *posttest* menggunakan uji t berpasangan. Hasilnya, diperoleh nilai  $t = -4.943$  dan  $p = 0.00$ . Hasil ini menunjukkan ada perbedaan skor *pretest* dan *posttest* yang signifikan, dengan rerata skor *posttest* ( $mean = 3,85$ ) lebih tinggi daripada skor *pretest* ( $mean = 2,35$ ). Selanjutnya, besar dampak program resitasi terhadap pemahaman konsep mahasiswa dikethahi dengan perhitungan *d-effect size* dan rereta nilai *N-gain* (Morgan, et al., 2004).

Hasil perhitungan nilai *d-effect size* diperoleh 1,08 yang berarti dalam kategori “tinggi sekali” (Morgan, et al., 2004). Lebih lanjut, rata-rata nilai *N-gain* adalah 0,10 atau berkategori “rendah” (Hake, 1998). Berdasarkan hasil ini maka dapat disimpulkan bahwa program resitasi memberi dampak yang kuat terhadap pemahaman konsep mahasiswa terkait prinsip Archimedes. Hasil penelitian serupa telah dilaporkan oleh Bagus et al. (2016) untuk topik gaya dan gerak, Afwa et al. (2016) untuk topik kinematika, dan Reyza et al. (2013) untuk topik dinamika partikel. Efektivitas program resitasi ditinjau dari dua hal. Pertama, kemampuan-kemampuan yang berhasil ditingkatkan setelah penggunaan program resitasi. Kedua, kemampuan-kemampuan yang belum meningkat setelah penggunaan program resitasi.

*Kemampuan yang Berhasil Ditingkatkan*

Kemampuan pemahaman yang berhasil ditingkatkan setelah penggunaan program resitasi dilihat berdasarkan soal-soal pada *pretest* dan *posttest* yang mencapai kategori *N-gain* tinggi dan medium atas ( $N-Gain > 0.45$ ). *N-Gain* Setiap Item Soal yang Digunakan dalam *Pretest* dan *Posttest* dapat dilihat pada Tabel 3. Pemahaman mahasiswa terkait besar dan arah gaya-gaya yang bekerja pada benda yang dicelupkan dalam fluida diases melalui soal nomor 6 dan nomor 8. Konteks soal nomor 6 adalah benda tenggelam ke dasar bak berisi air (lihat Gambar 3). Mahasiswa diminta menentukan besar gaya normal yang dialami benda.

Berbeda dengan soal nomor 6, konteks soal nomor 8 adalah benda digantung menggunakan neraca pegas dan dimasukkan ke dalam bejana berisi air (lihat Gambar 3). Mahasiswa diminta memilih pernyataan yang tepat yang sesuai soal. Pemahaman mahasiswa dalam menentukan besar gaya tegangan tali ketika benda di dalam air dan gaya angkat yang dialami benda dilihat berdasarkan alasan mahasiswa pada pilihan jawaban (a) dan (b). Terdapat satu soal yang mencapai *N-gain* tinggi dan medium atas ( $N-gain > 0.45$ ) yaitu soal nomor 6. Pada soal ini mahasiswa diminta menentukan besar dan arah gaya-gaya yang bekerja pada benda yang dicelupkan dalam fluida.

Tabel 3. *N-gain* setiap item soal yang digunakan dalam *pretest* dan *posttest*

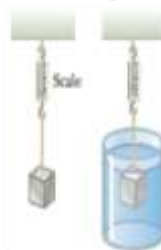
No. Soal	N-Gain	Kategori
6*	0.75	Tinggi
7	0.00	Rendah
8	0.30	Medium Bawah
9	0.26	Medium Bawah
10	0.00	Rendah
11	0.36	Medium Bawah
12	0.38	Medium Bawah
13	0.33	Medium Bawah

Kedua soal tersebut dapat diselesaikan dengan cara mengidentifikasi gaya yang bekerja pada benda. Ketika sekeping koin jatuh tenggelam ke dasar ember yang berisi air, maka sesuai prinsip Archimedes dan Hukum Newton, gaya-gaya yang bekerja pada koin tersebut adalah gaya berat (arah ke bawah), gaya normal (arah ke atas), dan gaya angkat oleh air (arah ke atas). Oleh karena koin diam, maka berlaku hukum I Newton, dan besar gaya normal adalah sebesar berat koin dikurangi gaya angkat oleh air. Pada soal nomor 8, gaya yang bekerja ketika benda di dalam air adalah gaya berat (arah ke bawah), gaya angkat (arah ke atas), dan gaya tegangan tali (arah ke atas). Besar gaya tegangan tali selalu merupakan besar skala yang ditunjuk neraca, yaitu 3,5N. Sesuai Hukum I Newton,  $F_A = W_{di\ udara} - T$  dan diperoleh  $F_A = 1,5\text{ N}$ .

Ketika *pretest*, sebanyak 12 mahasiswa (60%) memilih jawaban benar (jawaban D) pada soal nomor 1, sisanya memilih jawaban salah, 1 mahasiswa memilih A, 3 mahasiswa memilih B, 1 mahasiswa memilih C, dan 3 mahasiswa memilih E (lihat Tabel 4). Mahasiswa yang memilih jawaban A memiliki pemahaman benda yang tenggelam tidak memiliki gaya angkat ( $F_A = 0$ ). Mahasiswa yang memilih opsi B, C, dan E merencanakan gaya angkat-gaya normal.

6. Sekeping koin jatuh tenggelam ke dasar bak berisi air. Besarnya gaya normal yang diberikan dasar bak kepada koin tersebut adalah ...
- sama dengan berat koin
  - sama dengan gaya angkat air terhadap koin
  - berat koin ditambah gaya angkat oleh zat cair
  - Berat koin dikurangi gaya angkat oleh zat cair
  - Sama dengan berat air yang volumenya sama dengan volume koin

8. Perhatikan gambar di bawah ini!



Penunjukkan skala ketika benda di bawah udara dan di dalam air secara berurutan 5,0 N dan 3,5 N. Pernyataan berikut yang benar adalah (Gunakan  $g = 10\text{m/s}^2$ )...

- tegangan tali sebesar ketika benda di dalam air sebesar 1,5 N
- gaya Archimedes yang bekerja pada benda sebesar 3,5 N
- massa jenis benda pasti lebih besar daripada massa jenis air
- semua jawaban a, b, dan c benar
- benda tersebut tergolong benda yang melayang dalam air

Gambar 3. Soal Nomor 6 dan 8 yang Digunakan dalam *Pretest* dan *Posttest*

Tabel 4. *Crosstabulation* jawaban mahasiswa pada soal nomor 6

<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>			<i>Total Pretest</i>
	B	D*	Tidak Jelas	
A	0	1	0	1
B	1	2	0	3
C	0	1	0	1
D*	0	12	0	12
E	0	2	1	3
Total <i>Posttest</i>	1	18	1	20

\*jawaban benar

Pada nomor 3, ketika *pretest*, hanya 5 mahasiswa (25%) yang memilih jawaban E, artinya hanya 5 mahasiswa tersebut yang dapat menentukan besar gaya tegangan tali dan gaya angkat yang dialami benda dengan benar, meskipun sebetulnya mereka keliru menentukan keadaan benda dalam air (akan dibahas pada subbab selanjutnya). Mahasiswa yang memilih pilihan jawaban A, B, dan D ketika *pretest* telah dapat menggambarkan diagram benda bebas

dengan tepat, namun mereka merencanakan antara gaya tegangan tali dengan gaya angkat. Mereka berpikir bahwa besar skala yang ditunjuk oleh neraca ketika benda di dalam air adalah besar gaya angkat. Selain itu, 2 mahasiswa yang memilih jawaban D mengaktifasi pengetahuannya terkait adanya selisih berat benda di udara dan di dalam air ( $W_{udara} - W_{air}$ ). Temuan ini menunjukkan ada pemahaman yang tumpang tindih antara gaya tegangan tali dengan gaya angkat. Mahasiswa berpikir selisih berat benda di udara dan di air merupakan besar gaya tegangan tali, yang seharusnya dipahami sebagai gaya angkat. Distribusi jawaban mahasiswa selengkapnya ditunjukkan dalam Tabel 5.

Ketika *posttest*, terjadi peningkatan jumlah mahasiswa yang menjawab benar pada soal nomor 1, yaitu dari 13 mahasiswa menjadi 18 mahasiswa. Peningkatan tersebut berasal dari pergeseran jawaban 1 mahasiswa yang memilih A, 2 mahasiswa yang memilih B, 1 mahasiswa yang memilih C, dan 2 mahasiswa yang memilih E pada *pretest* menggeser jawabannya menjadi D pada *posttest*. Pergeseran jawaban mahasiswa selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Crosstabulation jawaban mahasiswa pada soal nomor 8

Pretest	Posttest					Total Pretest
	A	C*	D	E	Tidak Jelas	
A	1	1	0	2	1	5
B	2	1	0	2	0	5
D	0	2	1	1	1	5
E	1	2	1	1	0	5
Total Posttest	4	6	2	6	2	20

Hasil *posttest* soal nomor 3 menunjukkan bahwa 12 mahasiswa (60%), yang terdiri atas 6 mahasiswa yang memilih pilihan jawaban C dan 6 mahasiswa yang memilih pilihan jawaban E, dapat menggambarkan diagram benda bebas balok yang tercelup dalam air dan menentukan besar gaya tegang tali dan gaya angkat yang dialami benda dengan benar. Rangkuman perubahan pemahaman mahasiswa dapat dilihat pada Tabel 6. Temuan ini menunjukkan program dapat memperbaiki pemahaman yang salah, yaitu dari merencanakan gaya angkat dengan gaya normal atau gaya tegangan tali menjadi dapat menentukan gaya yang bekerja pada benda dengan tepat. Adanya peningkatan jumlah mahasiswa yang dapat menggambarkan diagram

benda bebas dan menentukan besar gaya yang dialami benda di dalam air disebabkan oleh balikan pada program resitasi selalu mengintegrasikan prinsip Archimedes dan hukum Newton. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian terdahulu yang melaporkan pembelajaran mekanika fluida yang diintegrasikan dengan hukum Newton dapat meningkatkan pemahaman konsep (Berek et al., 2016; Loverude et al., 2013).

*Kemampuan yang Belum Berhasil Ditingkatkan*

Pencapaian nilai *N-gain* ternormalisasi mahasiswa termasuk medium bawah (0.354). Hal ini ada kesulitan setelah menggunakan program resitasi. Butir soal yang persentase mahasiswa menjawab benar rendah pada *posttest* adalah butir nomor 2 (5%), nomor 3 (30%), dan nomor 4 (30%). Rangkuman kemampuan yang kurang meningkat pada *posttest* disajikan pada Tabel 7.

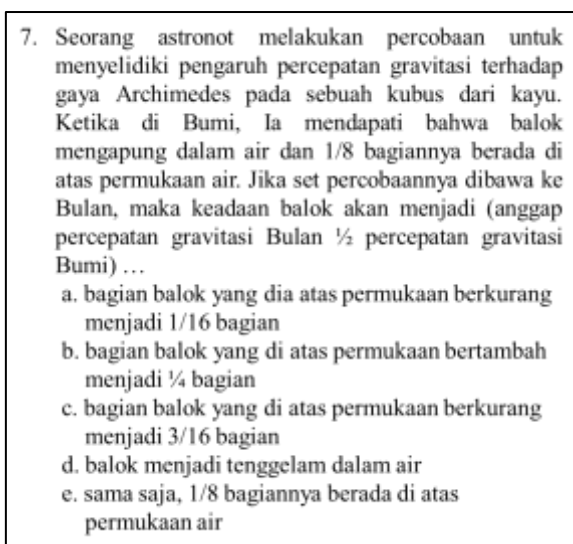
Tabel 6. Rangkuman perubahan pemahaman mahasiswa terkait besar dan arah gaya yang bekerja pada benda yang tercelup dalam fluida

Soal No.	Opsis	Pretest	
		Alasan	Total
6	A	Benda tenggelam tidak memiliki gaya angkat, sehingga	1 (5%)
	$N = W$		
	B, C, E	Besar gaya normal sama dengan berat volume air yang dipindahkan	5 (25%)
	D*	Menggambarkan diagram benda bebas dengan benar, kemudian menentukan besar gaya normal	12 (60%)
		Posttest	
		Alasan	Total
		Menggambarkan diagram benda bebas dengan benar, kemudian menentukan besar gaya normal	18 (90%)
		$F_A + N = W$ $N = W - F_A$	
Soal No.	Opsis	Pretest	
		Alasan	Total
8	A, B, D	Merencanakan gaya tegangan tali dengan gaya angkat yang dialami benda	9 (45%)
	C*, E*	Menggambarkan diagram benda bebas dengan benar, kemudian menentukan besar gaya tegangan tali dan gaya angkat benda	3 (15%)
		Posttest	
		Alasan	Total
		Menggambarkan diagram benda bebas dengan benar, kemudian menentukan besar gaya gaya tegangan tali dan gaya angkat benda	12 (60%)

Tabel 7. Kemampuan yang belum berhasil ditingkatkan

Nomor Soal	Persentase jawaban benar pada <i>posttest</i>	Kemampuan
2	5%	Menjelaskan pengaruh percepatan gravitasi terhadap banyaknya volume benda yang tercelup dalam fluida.
3	30%	Menentukan posisi benda yang tercelup dalam fluida setelah tercapai kesetimbangan.
4	30%	Menentukan besar gaya angkat yang dialami oleh benda identik yang dicelupkan dalam fluida yang berbeda.

*Pertama*, pemahaman mahasiswa terkait pengaruh percepatan gravitasi terhadap besar volume benda yang tercelup dalam fluida diungkap melalui soal nomor 7. Pada soal nomor 7, mahasiswa diminta menentukan perubahan volume benda yang tercelup ketika di Bumi kemudian dibawa ke Bulan. Soal yang dimaksud tersaji dalam Gambar 4.



Gambar 4. Soal nomor 7 yang digunakan dalam *pretest* dan *posttest*

Soal tersebut dapat diselesaikan dengan membandingkan gaya angkat yang dialami balok kayu di Bumi dan di Bulan menggunakan prinsip Archimedes dan Hukum I Newton. Oleh karena gaya angkat yang dialami balok, baik di Bumi

maupun di Bulan, sama dengan gaya beratnya maka volume balok yang tercelup sama besar. Hasil *pretest* menunjukkan hanya 1 mahasiswa (5%) yang menjawab pilihan jawaban benar E dengan memberikan alasan yang benar. Lainnya, sebanyak 2 mahasiswa (10%) memilih jawaban A, 12 mahasiswa (60%) memilih jawaban B, dan 5 mahasiswa (25%) tidak menjawab. Distribusi jawaban mahasiswa selengkapnya seperti dalam Tabel 8 berikut.

Tabel 8. *Crosstabulation* jawaban mahasiswa pada soal nomor 7

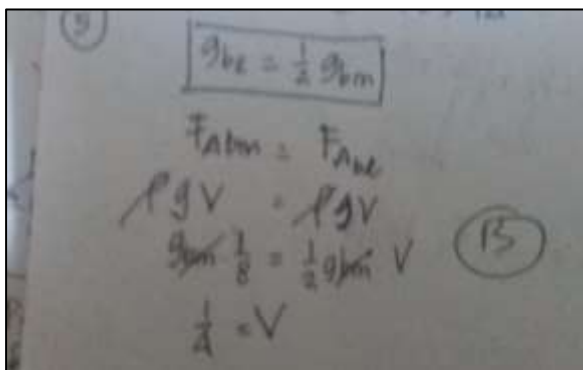
<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>				Total <i>Pretest</i>
	A	B	E*	Tidak Jelas	
A	0	1	0	1	2
B	2	9	0	1	12
E*	0	0	1	0	1
Tidak Jelas	1	1	0	3	5
Total	3	1	1	5	20
<i>Posttest</i>		1			

\*jawaban benar

Mahasiswa yang memilih pilihan jawaban A mengaktivasi pengetahuannya terkait  $F_{A-Bumi} = mg_{Bumi}$ . Oleh karena besar percepatan gravitasi di Bulan dalam soal dianggap  $\frac{1}{2}g_{Bumi}$  maka  $F_{A-Bulan} = \frac{1}{2}F_{A-Bumi} = \frac{1}{2}\rho_f g_{Bumi} \frac{1}{8}V_b = \frac{1}{16}$ . Mahasiswa yang memilih A menganggap bahwa  $\frac{1}{8}V_{benda}$  tercelup dalam air.

Memang benar  $F_{A-Bulan} = \frac{1}{2}F_{A-Bumi}$  tetapi yang ditanyakan dalam soal ini adalah perbandingan volume balok yang tercelup bukan perbandingan gaya angkat yang dialami balok.

Sebanyak 12 mahasiswa (60%) memilih pilihan jawaban B yaitu bagian balok yang tercelup akan bertambah menjadi  $\frac{1}{4}V_{benda}$ . Mahasiswa berpendapat bahwa gaya angkat yang dialami balok kayu di Bumi dan Bulan adalah sama besar. Selain itu, mahasiswa keliru dalam menentukan bagian balok yang tercelup meskipun telah disebutkan dalam soal bahwa  $\frac{1}{8}V_{benda}$  berada di atas permukaan air. Alasan mahasiswa dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil wawancara menunjukkan bahwa mahasiswa berpikir  $F_{A-Bulan} = F_{A-Bumi}$  karena baik di Bumi maupun di Bulan gaya-gaya yang bekerja pada balok sama, yaitu gaya berat dan gaya angkat. Mahasiswa tidak menyadari bahwa besar gaya berat balok di Bumi dan di Bulan berbeda sehingga  $F_{A-Bulan} \neq F_{A-Bumi}$ .



Gambar 5. Alasan mahasiswa yang memilih pilihan jawaban B pada soal nomor 7

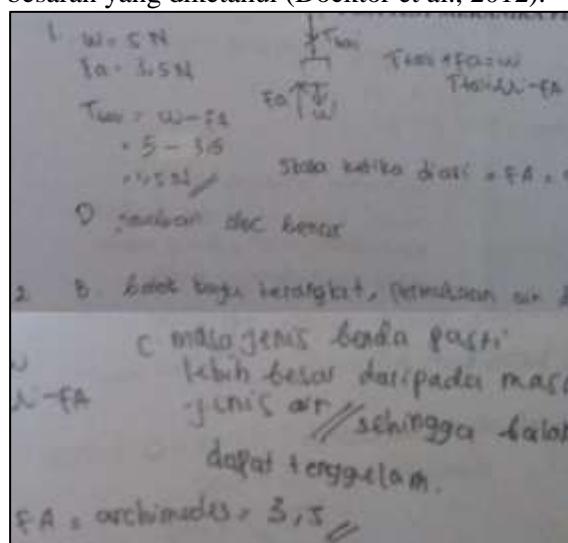
Ketika *posttest*, hanya ada 1 mahasiswa (5%) konsisten menjawab benar E. Terdapat 2 mahasiswa memilih B pada *pretest* menggeser jawabannya menjadi A pada *posttest*. Satu mahasiswa memilih jawaban A pada *pretest* mengubah jawabannya menjadi B pada *posttest*. Hal ini berarti mahasiswa tidak mengalami perubahan pemahaman. Hasil temuan tersebut menunjukkan mahasiswa menggunakan cara *plug and chug* dalam menyelesaikan masalah. Mahasiswa mendaftar besaran yang diketahui dan mencocokkannya dengan persamaan dalam prinsip Archimedes yang mungkin sesuai untuk menyelesaikan masalah. Cara ini adalah cara *novice* dalam menyelesaikan masalah. Begitu menemukan hasil yang cocok dengan pilihan jawaban, mahasiswa puas tanpa menganalisisnya secara kualitatif. Hal ini berarti pemahaman konsep mahasiswa terkait prinsip Archimedes perlu ditingkatkan.

Pemahaman mahasiswa terkait pengaruh massa jenis benda terhadap keadaan benda di dalam fluida digali melalui soal nomor 8. Pada soal nomor 8, mahasiswa diminta menentukan besar gaya yang bekerja pada benda di dalam air yang digantung pegas. Mahasiswa juga diminta menentukan apakah benda yang digantung termasuk benda yang tenggelam atau melayang. Soal dapat dilihat pada Gambar 3. Soal ini dapat diselesaikan dengan cara mengidentifikasi gaya yang bekerja pada benda ketika di udara dan di dalam air. Selanjutnya, dapat ditentukan besar gaya yang dialami benda sesuai dengan hukum I Newton. Selanjutnya, untuk memastikan benda termasuk melayang atau tenggelam dalam air dapat diketahui dari besar gaya tegangan talinya. Benda melayang tidak perlu ada gaya yang menahan/menggantungnya. Dengan kata lain gaya tegangan talinya sama dengan nol. Oleh karena gaya tegangan tali dalam soal tidak sama dengan nol, maka benda tersebut tergolong benda

tenggelam ( $\rho_{benda} > \rho_{air}$ ). Ketika *pretest*, tidak ada mahasiswa memilih pilihan jawaban benar C. Sebanyak 5 mahasiswa (25%) memilih pilihan jawaban A, 5 mahasiswa (25%) memilih pilihan jawaban B, 5 mahasiswa (5%) memilih pilihan jawaban D, dan 5 mahasiswa (25%) memilih pilihan jawaban E. Distribusi jawaban mahasiswa selengkapnya ditunjukkan dalam Tabel 5.

Mahasiswa yang memilih jawaban A, B, dan D ketika *pretest* telah dapat menggambarkan diagram benda bebas dengan tepat, namun mereka merancukan antara gaya tegangan tali dengan gaya angkat. Mahasiswa tidak memberikan alasan mengapa benda termasuk benda yang tenggelam. Ketika *posttest*, ada 6 mahasiswa (30%) memilih jawaban benar C dan 6 mahasiswa (30%) memilih E. Meskipun seluruh mahasiswa dapat menggambarkan diagram benda bebas balok dan menentukan besar gaya yang bekerja pada balok, namun mereka tidak dapat menentukan keadaan benda jika dilepaskan di dalam air. Akibatnya sebagian mahasiswa memilih jawaban C dan sebagian memilih E tanpa alasan (lihat Gambar 4.20).

Ketika dilakukan wawancara terhadap mahasiswa, mahasiswa yang memilih benda tenggelam berpendapat pengalaman belajar di kelas saat demonstrasi prinsip Archimedes selalu menggunakan benda yang tenggelam. Di lain pihak, mahasiswa yang memilih jawaban benda tergolong melayang karena pada gambar soal benda terlihat melayang. Temuan ini menunjukkan cara mahasiswa dalam menyelesaikan masalah termasuk dalam kategori *novice*. *Novice* mengenali masalah berdasarkan apa yang nampak seperti objek, konteks, atau besaran yang diketahui (Docktor et al., 2012).



Gambar 6. Alasan mahasiswa yang memilih pilihan jawaban C pada soal nomor 8



Ketiga, pemahaman mahasiswa terkait besar gaya angkat yang dialami oleh benda identik yang dimasukkan dalam fluida berbeda diases melalui soal nomor 9. Soal tersebut seperti tampak pada Gambar 7.

7. Keadaan sebuah benda yang dimasukkan ke dalam tiga macam zat cair yang berbeda ditunjukkan pada gambar berikut.

Perbandingan besarnya gaya angkat  $F_A$  oleh ketiga zat cair tersebut adalah ...

- $F_{A-1} > F_{A-2} > F_{A-3}$
- $F_{A-1} = F_{A-2} > F_{A-3}$
- $F_{A-1} = F_{A-2} < F_{A-3}$
- $F_{A-1} < F_{A-2} = F_{A-3}$
- $F_{A-1} = F_{A-2} = F_{A-3}$

Gambar 7. Soal nomor 9 yang digunakan dalam pretest dan posttest

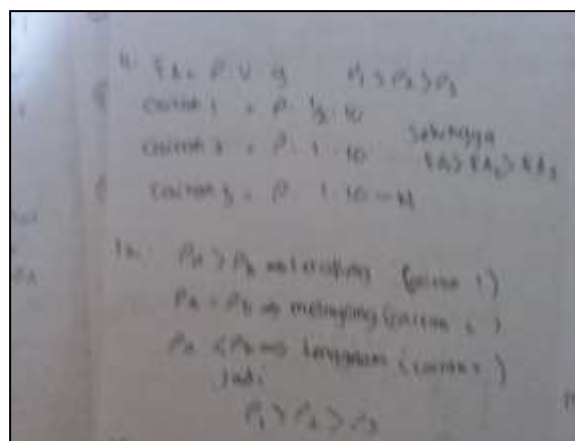
Untuk dapat membandingkan besar gaya angkat benda oleh ketiga zat cair, mahasiswa perlu mengidentifikasi gaya yang bekerja pada setiap keadaan benda sesuai hukum I Newton. Menurut hukum Newton, maka benda dalam cairan 1 dan 2 berlaku  $F_A = mg$ , dan benda dalam cairan 3 berlaku  $F_A + N = mg$  sehingga  $F_A < mg$ . Massa ketiga benda sama, maka  $F_{A-1} = F_{A-2} > F_{A-3}$ .

Hasil pretest menunjukkan hanya 1 mahasiswa (5%) yang memilih jawaban benar B. Mahasiswa ini berhasil menggambar diagram benda bebas dan membandingkan besar gaya angkat benda oleh fluida sesuai prinsip Archimedes dan hukum I Newton dengan tepat. 13 mahasiswa memilih jawaban A, 3 mahasiswa memilih jawaban D, 2 mahasiswa memilih jawaban E, dan 1 mahasiswa tidak menjawab. Distribusi jawaban mahasiswa dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Crosstabulation jawaban mahasiswa pada soal nomor 17

Pretest	Posttest				Tidak Jelas	Pretest Total
	A	B*	C	D		
A	5	4	1	1	2	13
B*	0	1	0	0	0	1
D	1	0	1	0	1	3
E	0	1	0	1	0	2
Tidak Jelas	0	0	0	0	1	1
Total Posttest	6	6	2	2	4	20

Sebanyak 9 mahasiswa yang memilih pilihan jawaban A memberi alasan bahwa semakin ke atas maka  $F_A$  semakin besar. Empat mahasiswa lain mengaktivasi pengetahuannya terkait perbandingan massa jenis benda dengan massa jenis cairan pada masing-masing kondisi, yaitu terapung jika  $\rho_{\text{benda}} < \rho_{\text{cairan}}$ , melayang jika  $\rho_{\text{benda}} = \rho_{\text{cairan}}$ , dan tenggelam jika  $\rho_{\text{benda}} > \rho_{\text{cairan}}$ . Jadi, mereka menyimpulkan perbandingan massa jenis ketiga cairan dalam soal adalah  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ . Selanjutnya mereka mengaktivasi pengetahuannya terkait  $F_A = \rho_f g V_f$  sehingga diperoleh  $F_{A-1} > F_{A-2} > F_{A-3}$ . Mahasiswa tidak menyadari bahwa benda yang dicelupkan adalah benda identik dan banyaknya volume benda yang tercelup berbeda-beda pada ketiga cairan dalam soal. Alasan jawaban mahasiswa yang memilih pilihan jawaban A dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Alasan mahasiswa yang memilih pilihan jawaban A pada soal nomor 9

Mahasiswa yang memilih pilihan jawaban D (3 mahasiswa/15%) juga mengaktivasi pengetahuannya terkait  $F_A = \rho_f g V_f$ . Oleh karena volume benda yang tercelup pada cairan 1 lebih kecil daripada dalam cairan lain, maka  $F_{A-1} < F_{A-2} = F_{A-3}$ . Besar gaya angkat benda memang dapat ditentukan berdasarkan banyaknya volume benda yang tercelup, semakin banyak volume benda yang tercelup maka semakin besar gaya angkatnya. Akan tetapi, hal tersebut hanya berlaku jika benda dimasukkan dalam cairan yang sama. Mahasiswa yang memilih pilihan jawaban E mengaktivasi pengetahuannya terkait  $F_A = mg$ . Oleh karena benda yang dicelupkan identika maka  $F_{A-1} = F_{A-2} = F_{A-3}$ . Mahasiswa tidak menyadari bahwa pengetahuan yang diaktivasinya hanya benar untuk benda yang terapung dan melayang.

Ketika *posttest*, jumlah mahasiswa yang memilih jawaban benar B meningkat menjadi 6 mahasiswa (30%). Sisanya, 5 mahasiswa (25%) konsisten memilih pilihan jawaban A, 2 mahasiswa (10%) memilih jawaban C, 2 mahasiswa (10%) memilih jawaban D, dan 4 mahasiswa (20%) tidak menjawab. Prinsip Archimedes telah dilatihkan dalam program resitasi Paket II sebanyak 8 soal. Satu dari 8 soal tersebut mirip dengan soal yang digunakan dalam *posttest*. Bedanya, soal dalam program resitasi meminta mahasiswa menganalisis gaya angkat yang dialami oleh benda-benda yang berbeda namun memiliki massa yang sama dan dicelupkan dalam fluida yang sama. Akan tetapi ketika mahasiswa diberikan soal dengan konteks benda identik yang dimasukkan dalam fluida berbeda mahasiswa masih mengalami kesulitan menerapkan prinsip Archimedes.

Berdasarkan temuan di atas, sebenarnya mahasiswa telah mengaktivasi pengetahuan yang benar hanya saja tidak cocok digunakan untuk menyelesaikan soal dalam konteks ini. Hal ini menunjukkan bahwa pengetahuan mahasiswa masih terpotong-potong sebagaimana kriteria struktur pengetahuan yang dimiliki *novice* (Docktor & Mestre, 2014; Hammer et al., 2004). Pemahaman semacam ini menyebabkan penyelesaian masalah terkait prinsip Archimedes tidak sesuai dengan konsep ilmiah. Berdasarkan pemaparan di atas, mahasiswa masih memiliki pemahaman yang salah yang belum berhasil diubah setelah menggunakan program resitasi. Pemahaman tersebut antara lain: (1) tidak dapat memahami pengaruh pemberian tambahan tekanan pada piston terhadap tekanan fluida, (2) besar volume benda yang tercelup dalam air akan berubah ketika percepatan gravitasi dirubah, (3) tidak dapat memastikan keadaan benda di dalam air, dan (4) semakin ke atas maka semakin besar gaya angkat yang dialami benda.

Pemahaman yang salah ini dikarenakan mahasiswa gagal mengaktivasi konsep yang benar untuk memecahkan masalah pada konteks masalah lain, sehingga mahasiswa menggunakan cara *plug and chug*. Hal ini telah menjadi karakter *novice* atau pemula yang berhasil menyelesaikan masalah yang telah dikenalnya namun gagal menyelesaikan masalah baru dalam konteks lain. *Novice* mengenali masalah dari permukaannya seperti konteks, objek, atau besaran yang diketahui (Docktor et al., 2012).

## SIMPULAN

Program resitasi berbantuan komputer yang dikembangkan efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa secara signifikan pada topik prinsip Archimedes. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan skor *pretest* ( $mean = 2,35$ ) ke skor *posttest* ( $mean = 3,85$ ), *N-gain* rata-rata mahasiswa 0,10 atau berkategori “rendah”, dan nilai *d-effect size* diperoleh 1,08 yang berarti dalam kategori “tinggi sekali”. Program resitasi efektif dalam meningkatkan kemampuan menentukan besar dan arah gaya-gaya yang bekerja pada benda yang dicelupkan dalam fluida. Akan tetapi, program resitasi kurang efektif dalam meningkatkan kemampuan berikut, (1) menjelaskan pengaruh percepatan gravitasi terhadap banyaknya volume benda yang tercelup dalam fluida, (2) menentukan posisi benda yang tercelup dalam fluida setelah tercapai kesetimbangan, dan (3) menentukan besar gaya angkat yang dialami benda identik yang dicelupkan dalam fluida yang berbeda. Hal ini disebabkan mahasiswa dalam menyelesaikan masalah masih bergantung pada konteks. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperbanyak jumlah soal latihan dari konteks yang lebih beragam agar mahasiswa memiliki wawasan yang lebih luas dalam menyelesaikan masalah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afwa, I. L., Latifah, E., Fisika, P., & Malang, P. N. (2016). *Deep Learning Question Untuk*. 2013, 434–447.
- Andrea A, D. (2011). Toward an Epistemology of Physics Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 2–3(September 2014).
- Bagus, I. J. R., Wartono, & Sutopo. (2016). Dampak Program Resitasi Terhadap Topik Hukum Iii Newton. *Pendidikan*, 1(2), 256–264.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2017). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* | SAGE Publications Ltd. In *SAGE Publications, Inc.*
- Docktor, J. L., & Mestre, J. P. (2014). Synthesis of discipline-based education research in physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(2).

- <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119>
- Docktor, J. L., Mestre, J. P., & Ross, B. H. (2012). Impact of a short intervention on novices' categorization criteria. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(2), 1–11. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020102>
- Gladding, G., Gutmann, B., Schroeder, N., & Stelzer, T. (2015). Clinical study of student learning using mastery style versus immediate feedback online activities. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.010114>
- Goszewski, M., Moyer, A., Bazan, Z., & Wagner, D. J. (2013). Exploring student difficulties with pressure in a fluid. *AIP Conference Proceedings*, 1513. <https://doi.org/10.1063/1.4789675>
- Hake, R. R. (1998). *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses*. May 1996, 64–74.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2011). (TL) Resources, framing and transfer. *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective*, 20(1).
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., Redish, E. F., Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2004). *Resources, framing, and transfer*. *Rec 0087519*, 1–26.
- Heckler, A. F., & Mikula, B. D. (2016). Factors affecting learning of vector math from computer-based practice: Feedback complexity and prior knowledge. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010134>
- Heuvelen, A. Van, Zou, X., Heuvelen, A. Van, & Zou, X. (2001). *Multiple representations of work – energy processes* *Multiple representations of work – energy processes*. 184. <https://doi.org/10.1119/1.1286662>
- Husain, M. S., Kendek, Y., & Fihrin, F. (2018). Analisis Tingkat Pemahaman Konsep Fluida Statis dan Penerapannya di Lingkungan Sekitar pada Siswa SMA Negeri 2 Palu. *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)*, 6(1). <https://doi.org/10.22487/j25805924.2018.v6.i1.10015>
- Koenig, K. M., Endorf, R. J., & Braun, G. A. (2007). Effectiveness of different tutorial recitation teaching methods and its implications for TA training. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.010104>
- Loverude, M. E. (2009). A research-based interactive lecture demonstration on sinking and floating. *American Journal of Physics*, 77(10). <https://doi.org/10.1119/1.3191688>
- Loverude, Michael E., Kautz, C. H., & Heron, P. R. L. (2003). Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. I. Research on student understanding. *American Journal of Physics*, 71(11). <https://doi.org/10.1119/1.1607335>
- Ogilvie, C. A. (2009). *Changes in students' problem-solving strategies in a course that includes context-rich, multifaceted problems*. 1–14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.020102>
- Prastiwi, V. D., Parno, P., & Wisodo, H. (2018). Identifikasi pemahaman konsep dan penalaran ilmiah siswa SMA pada materi fluida statis. *Momentum: Physics Education Journal*. <https://doi.org/10.21067/mpej.v1i1.2216>
- Reyza, M., Taqwa, A., & Hidayat, A. (2013). *Deskripsi Penggunaan Program Resitasi dalam Meningkatkan Kemampuan Membangun Free-Body Diagrams (FBDs)*. 5(1), 52–58.
- Ryan, Q. X., Frodermann, E., Heller, K., Hsu, L., & Mason, A. (2016). Computer problem-

- solving coaches for introductory physics: Design and usability studies. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 1–17.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010105>
- Sofiuddin, M. B., Kusairi, S., & Sutopo. (2018). Analisis Penguasaan Konsep Siswa SMA Pada Materi Fluida Statis. *Jurnal Pendidikan - Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 3(2012).
- Thacker, B., Dulli, H., Pattillo, D., & West, K. (2014). Lessons from a large-scale assessment: Results from conceptual inventories. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(2), 1–13.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020104>
- Wagner, D. J., Cohen, S., & Moyer, A. (2009). Addressing student difficulties with buoyancy. *AIP Conference Proceedings*, 1179. <https://doi.org/10.1063/1.3266739>
- Wagner, Doris J., Carbone, E., & Lindow, A. (2014). *Exploring Student Difficulties with Buoyancy*.  
<https://doi.org/10.1119/perc.2013.pr.077>
- Warren, A. R. (2010). Impact of teaching students to use evaluation strategies. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 1–12.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020103>
- Widodo, L., Yuliati, L., & Parno. (2017). Eksplorasi Penguasaan Konsep Awal Siswa pada Materi Fluida Statis. *Pros. Seminar Pend. IPA Pascasarjana UM*, 2.
- Yerushalmi, E., Cohen, E., Mason, A., & Singh, C. (2012). What do students do when asked to diagnose their mistakes? Does it help them? I. An atypical quiz context. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(2), 1–12.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020109>