



**PENGEMBANGAN MODUL PRAKTIKUM VISKOSITAS  
BERBASIS PERANGKAT PEMODELAN DAN ANALISIS VIDEO  
TRACKER**

Skripsi  
disusun sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan  
Program Studi Pendidikan Fisika

Oleh

Muhammad Syaifurrozaq  
4201412109

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**



## PERNYATAAN

Dengan ini, saya

nama : Muhammad Syaifurrozaq

NIM : 4201412109

program studi : Pendidikan Fisika S1

menyatakan bahwa skripsi berjudul *Pengembangan Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker* ini benar-benar karya saya sendiri bukan jiplakan dari karya orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang atau pihak lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini, saya secara pribadi siap menanggung resiko/sanksi hukum yang dijatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini.

Semarang, 7 Juli 2019



Muhammad Syaifurrozaq

NIM 4201412109

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Pengembangan Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat  
Pemodelan dan Analisis Video Tracker

disusun oleh

Muhammad Syaifurrozaq

4201412109

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Unnes pada  
tanggal 10 Juli 2019



Panitia:  
Ketua,

Dr. Sudarmin M.Si.

NIP 196601231992031003

Ketua Penguji,

Dr. Masturi S.Pd., M.Si.

NIP 198103072006041002

Anggota Penguji/  
Pembimbing I,

Sugiyanto S.Pd., M.Si.

NIP 198111102003121001

Sekretaris,

Dr. Suharto Linuwih M.Si.

NIP 196807141996031005

Anggota Penguji/  
Pembimbing II,

Isa Akhlis S.Si., M.Si.

NIP 197001021999031002

## **MOTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTO**

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan

(QS. Al Insyirah: 6)

Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?

(QS. Ar-Rahman: 13)

### **PERSEMBAHAN**

Untuk Ayah, Ibu, Kakak, Adik, Bapak-Ibu

Guru, dan Sahabat-sahabat

## **PRAKATA**

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker”. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan ibu, yang selalu memberikan dukungan dan kasih sayang.
2. Dr. Sugianto M.Si. selaku Dekan FMIPA Unnes.
3. Dr. Suharto Linuwih M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unnes.
4. Sugiyanto S.Pd., M.Si. dan Isa Akhlis S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing saya dalam penyusunan skripsi ini.
5. Drs. Ngurah Made Darma Putra M.Si., Ph.D. dan Drs. Mosik M.S. yang telah memberikan penilaian terhadap modul praktikum viskositas berbasis video Tracker yang dikembangkan.
6. Mahasiswa Pendidikan Fisika Unnes angkatan 2015 sebagai asisten Laboran Laboratorium Fisika Dasar FMIPA Unnes yang bersedia menjadi responden.
7. Keluarga dan teman-teman yang selalu memberikan bantuan dan dukungan selama proses penulisan skripsi ini.

Semoga Allah membalas kebaikan mereka dan meringankan beban mereka seperti mereka meringankan beban penulis. Besar harapan penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Saya menyadari keterbatasan kemampuan yang dimiliki sehingga skripsi ini jauh dari sempurna. Kritik dan saran dari pembaca yang membangun akan penulis terima untuk perbaikan penulis dimasa mendatang.

Semarang, Juli 2019

Muhammad Syaifurrozaq

## ABSTRAK

Syaifurrozaq, Muhammad. 2019. *Pengembangan Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Sugiyanto, S.Pd., M.Si. dan Pembimbing Pendamping Isa Akhlis S.Si., M.Si.

Kata Kunci: Modul, Viskositas, Tracker.

Mahasiswa Pendidikan Fisika Unnes dalam melakukan praktikum viskositas masih menggunakan *stopwatch*. Dengan masih digunakannya *stopwatch* dalam praktikum viskositas, maka praktikum ini masih memiliki beberapa kekurangan, antara lain tidak dapat diketahui apakah bola yang jatuh sudah mencapai kecepatan terminal atau belum dan ketika praktikan menekan tombol *stopwatch* tidak mungkin tepat 100% karena terdapat kesalahan *user (human error)*. Sedangkan saat ini sudah dikembangkan aplikasi analisis video, salah satunya yang gratis adalah Tracker. Hal ini menjadi potensi dan peluang untuk digunakannya Tracker dalam praktikum viskositas. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker. Penelitian menggunakan metode R and D (*Research and Development*). Model pengembangan yang digunakan pada penelitian ini adalah model pengembangan instruksional sistem atau ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*). Hasil uji kelayakan modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker oleh pakar mendapat penilaian dengan persentase skor pada aspek kelayakan isi sebesar 87,5%, aspek kelayakan kebahasaan sebesar 85,38%, aspek kelayakan penyajian sebesar 87,14%, dan aspek kelayakan kegrafisan sebesar 90%, serta secara keseluruhan mendapatkan skor 87,11% dengan kriteria sangat layak. Tingkat akurasi praktikum viskositas menggunakan Tracker sebesar 92,42%, lebih besar jika dibandingkan dengan tingkat akurasi praktikum viskositas menggunakan *stopwatch* yang besarnya 91,47%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Tracker lebih akurat dibandingkan *stopwatch*. Tingkat ketelitian secara keseluruhan antara *stopwatch* dan Tracker hampir sama, yaitu 92,74% berbanding 92,7%, hanya berbeda 0,04%. Tanggapan responden mahasiswa terhadap modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker sangat baik dengan skor mencapai 90%. Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker yang dikembangkan layak digunakan sebagai buku panduan praktikum viskositas. Penggunaan Tracker dalam praktikum viskositas terbukti menghasilkan pengukuran yang lebih akurat jika dibandingkan dengan metode konvensional seperti *stopwatch*.

## ABSTRACT

Syaifurrozaq, Muhammad. 2019. *Development of a Viscosity Experiment Guidebook Using Tracker as a Video Analysis and Modeling Tool*. Final Project, Physics Department, Mathematics and Science Faculty, Semarang State University. First Advisor Sugiyanto, S.Pd., M.Sc. and second advisor Isa Akhlis S.Si., M.Sc.

Keywords: Module, Viscosity, Tracker.

Unnes Physics Education students in conducting viscosity experiment still use a stopwatch. With the stopwatch still being used in the viscosity experiment, this experiment still has several disadvantages, among others, it is not known whether the falling ball has reached terminal speed or not and when the practitioner presses the stopwatch button it cannot be 100% due to a human error. Whereas now a video analysis application has been developed, one of which is free is Tracker. This becomes a potential and opportunity for the use of Tracker in viscosity experiment. This study aims to produce a viscosity experiment guidebook using Tracker as a video analysis and modeling tool. The study used the R and D (Research and Development) method. The development model used in this study is the ADDIE system instructional development model (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). The results of the feasibility test of the viscosity experiment guidebook using Tracker as a video analysis and modeling tool by experts received an assessment with a percentage score on the aspect of content eligibility of 87.5%, language feasibility aspects of 85.38%, presentation feasibility aspects of 87.14%, and graphic feasibility aspects of 90 %, and overall got a score of 87.11% with very decent criteria. The level of accuracy of the viscosity experiment using Tracker is 92.42%, greater than the level of accuracy of the viscosity experiment using a stopwatch which is 91.47%. This shows that the use of Tracker is more accurate than a stopwatch. Overall level of accuracy between the stopwatch and Tracker is almost the same, which is 92.74% compared to 92.7%, only different from 0.04%. Student responses to viscosity experiment guidebook using Tracker as a video analysis and modeling tool were very good with scores reaching 90%. Based on the research that has been carried out, it can be concluded that the viscosity experiment guidebook using Tracker as a video analysis and modeling tool developed is feasible to use as a viscosity experiment guidebook. The use of Tracker in the viscosity experiment proved to produce more accurate measurements compared to conventional methods such as a stopwatch.

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN .....	iii
PENGESAHAN.....	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB</b>	
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Penegasan Istilah .....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Modul.....	7
2.2 Viskositas .....	15
2.3 Tracker .....	22
2.4 Simulasi Komputer dalam Pembelajaran Fisika.....	24
2.5 Kerangka Berpikir .....	27
III. METODOLOGI PENELITIAN .....	28
3.1 Jenis Penelitian .....	28
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	28
3.3 Subjek, Objek, dan Responden Penelitian .....	28

3.4	Prosedur Penelitian .....	29
3.5	Instrumen Penelitian .....	31
3.6	Metode Analisis Data.....	32
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Hasil Penelitian.....	35
4.2	Pembahasan .....	47
4.3	Keterbatasan Penelitian.....	55
V.	PENUTUP .....	56
5.1	Simpulan .....	56
5.2	Saran .....	56
	DAFTAR PUSTAKA .....	57
	LAMPIRAN .....	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	
2.1 Jenis-jenis gaya hambat dalam fluida.....	15
2.2 Aliran fluida pada pipa. ....	16
2.3 Aliran fluida antara dua plat seluas $A$ , dipisahkan oleh jarak $\Delta y$ dan bergerak relatif $v$ .....	18
2.4 Diagram Kesetimbangan antara $W$ , $FA$ dan $F_s$ .....	22
2.5 Membandingkan model (ungu) dengan grafik asli .....	23
2.6 Pembangun Model .....	23
2.7 Kerangka Berpikir .....	27
3.1 Skema Penelitian Model ADDIE.....	29
4.1 Desain garis-garis besar atau outline modul praktikum. ....	37
4.2 Desain halaman depan ( <i>cover</i> ) modul praktikum. ....	38
4.3. Sampul modul praktikum viskositas berbasis analisis video Tracker.....	39
4.4 Halaman materi modul praktikum viskositas berbasis analisis video Tracker. ....	40
4.5 Halaman langkah kerja dan analisa data. ....	41
4.6 Perbaikan gambar 1 pada modul praktikum viskositas berbasis analisis video Tracker.....	46
4.7 Soal evaluasi nomor 1 dan 2 pada modul praktikum viskositas berbasis analisis video Tracker .....	46
4.8 Soal evaluasi nomor 7, 8, dan 9 pada modul praktikum viskositas berbasis analisis video Tracker .....	47
4.9 Grafik hubungan antara $v_y$ dengan $t$ pada : .....	53

## DAFTAR TABEL

### Tabel

4.1 Rekap Hasil Penilaian Kelayakan Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker.....	42
4.2 Rekap Hasil Praktikum Viskositas Responden Mahasiswa. ....	43
4.3 Rekap Tanggapan Responden Mahasiswa Terhadap Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker .....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran

1. Lembar Validasi Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker .....	61
2. Rekap Skor Hasil Penilaian Pakar .....	65
3. Daftar Nama Responden Mahasiswa .....	69
4. Angket Tanggapan Responden Mahasiswa Terhadap Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker.....	70
5. Rekap Skor Tanggapan Responden Mahasiswa Terhadap Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker.....	72
6. Rekap Hasil Praktikum Viskositas Responden Mahasiswa .....	73
7. Dokumentasi.....	74

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembelajaran fisika membutuhkan pendekatan yang tidak hanya menuntun pemahaman siswa terhadap teori dan konsep, tetapi juga menuntun siswa melakukan pengamatan dan percobaan. Menurut Memes sebagaimana dikutip oleh Putri (2016), beberapa pendekatan yang dapat digunakan dalam pembelajaran sains (fisika), antara lain pendekatan keterampilan proses, pendekatan *discovery* atau inkuiri. Keterampilan proses sains merupakan keterampilan mendasar yang seharusnya dimiliki oleh setiap siswa. Keterampilan-keterampilan dasar tersebut meliputi keterampilan mengobservasi, menyusun dan membuat hipotesis, merencanakan penelitian dan menginterpretasi data. Pendekatan keterampilan proses dan inkuiri membutuhkan pengetahuan konsep siswa sebagai dasar untuk menuntun siswa menggali dan menemukan jawaban suatu fenomena.

Whittaker mendefinisikan belajar sebagai proses yang menimbulkan atau merubah perilaku melalui latihan atau pengalaman (Darsono *et al.*, 2000: 4). Jadi salah satu aspek yang mempengaruhi keberhasilan belajar adalah adanya pengalaman nyata, misalnya dalam ilmu fisika lebih dikenal dengan istilah praktikum. Selain dengan praktikum, harus ada media tertentu yang bisa digunakan agar proses belajar mengajar menjadi lebih berkesan pada memori peserta didik. Sedangkan praktikum fisika dasar yang dilakukan di Jurusan Fisika Unnes selama ini belum memanfaatkan teknologi terkini, misalnya pada praktikum penentuan koefisien viskositas suatu fluida.

Selama ini praktikum viskositas dilakukan menggunakan tabung viskosimeter dengan cara bola dijatuhkan ke dalam tabung viskosimeter yang berisi fluida dengan koefisien viskositas tertentu, kemudian waktu tempuh bola pada jarak tertentu diukur menggunakan *stopwatch*. Penggunaan metode tersebut menyebabkan praktikan tidak mendapatkan informasi posisi bola setiap saat dan kapan bola mencapai kecepatan terminalnya. Selain itu, pengukuran waktu tempuh bola menggunakan *stopwatch* sering kali menghasilkan kesalahan yang relatif besar

karena *human error*. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu media yang dapat mengukur dengan tingkat akurasi yang lebih baik dari *stopwatch* dalam pengamatan langsung gejala fisika.

Beberapa tahun terakhir ini teknologi informasi berkembang sangat pesat dalam semua aspek kehidupan manusia. Pendidikan merupakan salah satu aspek yang tidak lepas dari pemanfaatan teknologi informasi. Salah satu perkembangan teknologi informasi yang dapat membantu dalam pengamatan posisi sebuah benda yang bergerak adalah pengembangan perangkat lunak analisis video, yang dalam pembelajaran fisika telah cukup lama dikenal (Brown & Christian, 2011).

Penggunaan komputer sebagai alat bantu pembelajaran salah satunya disebabkan oleh ketiadaan sarana dan prasarana untuk pembelajaran fisika. Misalnya dalam kegiatan praktikum fisika yang seringkali terkendala oleh beberapa hal seperti keterbatasan waktu, ketersediaan bahan, keamanan, dan materi yang abstrak dapat dikembangkan suatu laboratorium virtual yang merupakan simulasi komputer sebagai pengganti praktikum fisika secara konvensional (Sofi'ah, Sugianto, & Sugiyanto, 2017). Selain itu komputer dapat pula dimanfaatkan sebagai multimedia pembelajaran berbentuk game komputer edukasi (educational computer game) yang dapat diterapkan sebagai suplemen pembelajaran (Purnomo, Sugiyanto, & Akhlis, 2011) dan virtual experiment (Yulianti, Khanafiyah, & Sugiyanto, 2012).

Perangkat lunak untuk analisis video yang dapat dimanfaatkan dalam pembelajaran fisika tersedia untuk program berbayar seperti VideoPoint dari PASCO, Measurement in Motion, Physics ToolKit, dan Vernier's Logger Pro. Sedangkan untuk aplikasi yang gratis seperti Tracker yang merupakan perangkat pemodelan dan analisis video berbasis Java yang dikembangkan Open Source Physics (OSP) sejak Oktober 2004. Analisis video telah banyak digunakan dalam berbagai macam pembelajaran fisika, seperti peningkatan kemampuan calon guru untuk memodelkan fenomena alam dan untuk mengamati persoalan “real world” dalam kehidupan nyata dengan VideoPoint (Bryan, 2004; Laws, 1998), pengamatan gerak pendulum dengan aplikasi analisis video berbasis MATLAB (Ukoba, Olunlade, & Shelby, 2011), alat bantu pedagogis untuk pembelajaran fisika yang

efektif dengan menggunakan software Tracker di sekolah menengah pertama di Singapura (Wee & Leong, 2015), pengamatan gerak harmonis sederhana dengan Tracker (Kinchin, 2016), dan pengamatan spektrum cahaya dengan Tracker (Rodrigues, Marques, & Simeão Carvalho, 2015).

Analisis video menggunakan program Tracker dalam proses pendidikan merupakan metode kreatif baru dalam pembelajaran fisika dan menjadikan pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam lebih menarik bagi siswa (Hockicko, Krišťák, & Němec, 2015). Analisis video menggunakan program Tracker memuat data ruang sekaligus data waktu dan merupakan jembatan penghubung antara pengamatan langsung gejala fisika dan penyajian abstraknya. Berdasarkan keuntungan tersebut, penggunaan analisis video dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang fisika, termasuk mekanika, elektromagnetika, optika, spektroskopi, bahkan termodinamika (Brown & Cox, 2009).

Pembelajaran dengan simulasi interaktif memiliki efek positif pada keyakinan siswa tentang fisika dan prestasi fisika (Bozkurt & Ilik, 2010). Pembelajaran fisika berbasis simulasi juga mampu meningkatkan penalaran abstrak siswa dan memberikan hasil pembelajaran yang lebih baik dalam percobaan fisika (Chang *et al.*, 2008). Perangkat lunak analisis video telah menjadi lebih efektif dan lebih tepat ketika digunakan untuk menganalisis data bergerak (Brown & Cox, 2009).

Penelitian tentang penerapan video Tracker untuk menentukan koefisien viskositas pun telah dilakukan oleh Marliani *et al.* (2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa diperoleh nilai koefisien viskositas fluida ( $\eta$ ) yang relatif konstan yaitu sebesar  $0,390\text{Ns/m}^2$ . Berdasarkan uraian di atas, peneliti ingin melakukan penelitian dengan judul “**Pengembangan Modul Praktikum Viskositas Berbasis Perangkat Pemodelan dan Analisis Video Tracker**”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang seperti tersebut di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana tingkat kelayakan modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker yang dihasilkan?
2. Bagaimana perbandingan tingkat akurasi dan ketelitian hasil praktikum viskositas antara responden mahasiswa yang menggunakan analisis video dengan Tracker dan mahasiswa yang praktikum dengan metode konvensional?
3. Bagaimana tanggapan responden mahasiswa terhadap modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker yang dikembangkan?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. menghasilkan modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker;
2. mengetahui tingkat kelayakan modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker yang dihasilkan;
3. mengetahui perbandingan tingkat akurasi dan ketelitian hasil praktikum viskositas antara responden mahasiswa yang menggunakan analisis video dengan Tracker dan responden mahasiswa yang praktikum dengan cara konvensional; dan
4. mengetahui tanggapan responden mahasiswa terhadap modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker yang dikembangkan.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Bagi peneliti  
Penelitian ini dapat digunakan peneliti lain untuk menambah wawasan dalam melakukan penelitian dan sebagai acuan untuk mengembangkan penelitian berikutnya.

2. Bagi mahasiswa praktikan

Produk modul yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan akurasi dan ketelitian hasil praktikum mahasiswa dan dengan analisis video menggunakan Tracker diharapkan mahasiswa mendapatkan informasi yang awalnya abstrak sehingga lebih memahami konsep viskositas.

3. Bagi Jurusan Fisika FMIPA Unnes

Dapat dijadikan sebagai alternatif baru untuk melakukan praktikum viskositas pada mata kuliah Eksperimen Fisika Dasar 1.

### **1.5 Batasan Masalah**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, terdapat berbagai masalah yang harus dihadapi. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Jurusan Fisika FMIPA Unnes dan modul praktikum yang dikembangkan dibatasi hanya pada praktikum viskositas.
2. Hasil yang dilihat pada penerapan modul praktikum viskositas berbasis perangkat pemodelan dan analisis video Tracker hanya tingkat akurasi dan ketelitian.

### **1.6 Penegasan Istilah**

Demi menghindari adanya penafsiran yang berbeda serta untuk mewujudkan kesatuan pandangan dan pengertian berhubungan dengan penelitian ini, maka perlu ditegaskan istilah-istilah sebagai berikut.

#### ***1.6.1 Pengembangan***

Dalam kamus bahasa Indonesia kata "pengembangan" berarti proses/cara, perbuatan mengembangkan. Seistilah, kata pengembangan menunjukkan pada suatu kegiatan menghasilkan suatu alat atau cara yang baru, dimana selama kegiatan tersebut penilaian dan penyempurnaan terhadap alat atau cara tersebut terus dilakukan.

### **1.6.2 Modul**

Menurut Depdiknas (2008: 3) modul merupakan bahan ajar cetak yang dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta pembelajaran.

### **1.6.3 Praktikum**

Menurut Hegarty-Hasel sebagaimana dikutip oleh Atusmiyati (2015) praktikum adalah suatu bentuk kerja praktek yang bertempat dalam lingkungan yang disesuaikan dengan tujuan agar siswa terlibat dalam pengalaman belajar yang terencana dan berinteraksi dengan peralatan untuk mengobservasi pemahaman fenomena.

### **1.6.4 Viskositas**

Viskositas adalah ukuran kekentalan suatu fluida yang menunjukkan besar kecilnya gesekan internal fluida (Tipler, 1998: 407). Praktikum viskositas yang dimaksud dalam penelitian ini merupakan salah satu praktikum pada mata kuliah Eksperimen Fisika Dasar 1, dimana pada praktikum ini bertujuan untuk mencari nilai koefisien viskositas fluida tertentu.

### **1.6.5 Tracker**

Tracker adalah software analisis video dan pemodelan gratis yang dibangun oleh Open Source Physics (OSP) dengan kerangka kerja menggunakan Java (Brown, 2009).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Modul**

##### **2.1.1 Pengertian Modul**

Menurut Depdiknas (2008: 3) modul merupakan bahan ajar cetak yang dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta pembelajaran. Penjelasan senada juga diungkapkan oleh Prastowo (2012: 106) bahwa modul adalah sebuah bahan ajar yang disusun secara sistematis dengan bahasa yang mudah dipahami oleh siswa sesuai tingkat pengetahuan dan usia mereka, agar mereka dapat belajar secara mandiri dengan bantuan atau bimbingan yang minimal dari pendidik. Sedangkan menurut Purwanto *et al.* (2007: 9). Modul adalah bahan ajar yang dirancang secara sistematis berdasarkan kurikulum tertentu dan dikemas dalam bentuk satuan pembelajaran terkecil yang memungkinkan untuk dipelajari secara mandiri dalam satuan waktu tertentu

Berdasarkan beberapa pendapat tersebut, dapat disimpulkan bahwa modul merupakan bahan ajar yang dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta pembelajaran yang berisi rangkaian kegiatan pembelajaran dalam suatu materi tertentu yang disusun secara sistematis, operasional, dan terarah untuk membantu siswa mencapai sejumlah tujuan yang dirumuskan secara khusus dan jelas.

##### **2.1.2 Karakteristik Modul**

Modul merupakan alat atau sarana pembelajaran yang berisi materi, metode, batasan-batasan, dan cara mengevaluasi yang dirancang secara sistematis dan menarik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya. Sebuah modul bisa dikatakan baik dan menarik apabila terdapat karakteristik sebagai berikut (Depdiknas, 2008: 3-5).

1. *Self Instructional* (Instruksional Mandiri), yaitu melalui modul tersebut seseorang atau peserta belajar mampu membelajarkan diri sendiri, tidak

tergantung pada pihak lain. Untuk memenuhi karakter *self instructional*, maka dalam modul harus:

- a. berisi tujuan yang dirumuskan dengan jelas;
  - b. berisi materi pembelajaran yang dikemas ke dalam unit-unit kecil/ spesifik sehingga memudahkan belajar secara tuntas;
  - c. menyediakan contoh dan ilustrasi yang mendukung kejelasan pemaparan materi pembelajaran;
  - d. menampilkan soal-soal latihan, tugas dan sejenisnya yang memungkinkan pengguna memberikan respon dan mengukur tingkat penguasaannya;
  - e. kontekstual yaitu materi-materi yang disajikan terkait dengan suasana atau konteks tugas dan lingkungan penggunaannya;
  - f. menggunakan bahasa yang sederhana dan komunikatif;
  - g. terdapat rangkuman materi pembelajaran;
  - h. terdapat instrumen penilaian/assessment, yang memungkinkan penggunaan diklat melakukan *self assessment*;
  - i. terdapat instrumen yang dapat digunakan penggunaannya mengukur atau mengevaluasi tingkat penguasaan materi;
  - j. terdapat umpan balik atas penilaian, sehingga penggunaannya mengetahui tingkat penguasaan materi; dan
  - k. tersedia informasi tentang rujukan/pengayaan/referensi yang mendukung materi pembelajaran dimaksud.
2. *Self Contained* (Materi Lengkap), yaitu seluruh materi pembelajaran dari satu unit kompetensi atau subkompetensi yang dipelajari terdapat di dalam satu modul secara utuh. Tujuan dari konsep ini adalah memberikan kesempatan pembelajar mempelajari materi pembelajaran yang tuntas, karena materi dikemas ke dalam satu kesatuan yang utuh. Jika harus dilakukan pembagian atau pemisahan materi dari satu unit kompetensi harus dilakukan dengan hati-hati dan memperhatikan keluasan kompetensi yang harus dikuasai.

3. *Stand Alone* (Berdiri Sendiri), yaitu modul yang dikembangkan tidak tergantung pada media lain atau tidak harus digunakan bersama-sama dengan media pembelajaran lain. Dengan menggunakan modul, pebelajar tidak tergantung dan harus menggunakan media yang lain untuk mempelajari dan atau mengerjakan tugas pada modul tersebut. Jika masih menggunakan dan bergantung pada media lain selain modul yang digunakan, maka media tersebut tidak dikategorikan sebagai media yang berdiri sendiri.
4. *Adaptive* (Adaptif), modul hendaknya memiliki daya adaptif yang tinggi terhadap perkembangan ilmu dan teknologi. Dikatakan adaptif jika modul dapat menyesuaikan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta fleksibel digunakan. Dengan memperhatikan percepatan perkembangan ilmu dan teknologi pengembangan modul multimedia hendaknya tetap “up to date”. Modul yang adaptif adalah jika isi materi pembelajaran dapat digunakan sampai dengan kurun waktu tertentu.
5. *User Friendly* (Ramah Pengguna), modul hendaknya bersahabat dengan pemakainya. Setiap instruksi dan paparan informasi yang tampil bersifat membantu dan bersahabat dengan pemakainya, termasuk kemudahan pemakai dalam merespon, mengakses sesuai dengan keinginan. Penggunaan bahasa yang sederhana, mudah dimengerti serta menggunakan istilah yang umum digunakan merupakan salah satu bentuk *user friendly*.

### **2.1.3 Prosedur Penulisan Modul**

Penulisan modul merupakan proses penyusunan materi pembelajaran yang dikemas secara sistematis sehingga siap dipelajari oleh pebelajar untuk mencapai kompetensi atau sub kompetensi. Penyusunan modul belajar mengacu pada kompetensi yang terdapat di dalam tujuan yang ditetapkan. Terkait dengan hal tersebut dilakukan langkah-langkah sebagai berikut (Depdiknas, 2008: 12-16).

## 1. Analisis Kebutuhan Modul

Analisis kebutuhan modul merupakan kegiatan menganalisis kompetensi/ tujuan untuk menentukan jumlah dan judul modul yang dibutuhkan untuk mencapai suatu kompetensi tersebut. Penetapan judul modul didasarkan pada kompetensi yang terdapat pada garis-garis besar program yang ditetapkan. Analisis kebutuhan modul bertujuan untuk mengidentifikasi dan menetapkan jumlah dan judul modul yang harus dikembangkan. Analisis kebutuhan modul dapat dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

- a. Menetapkan kompetensi yang terdapat di dalam garis-garis besar program pembelajaran yang akan disusun modulnya.
- b. Mengidentifikasi dan menentukan ruang lingkup unit kompetensi tersebut.
- c. Mengidentifikasi dan menentukan pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang dipersyaratkan.
- d. Menentukan judul modul yang akan ditulis.
- e. Kegiatan analisis kebutuhan modul dilaksanakan pada periode awal pengembangan modul.

## 2. Penyusunan Draf

Penyusunan draf modul merupakan proses penyusunan dan pengorganisasian materi pembelajaran dari suatu kompetensi atau subkompetensi menjadi satu kesatuan yang sistematis. Penyusunan draf modul bertujuan menyediakan draf suatu modul sesuai dengan kompetensi atau subkompetensi yang telah ditetapkan. Penulisan draf modul dapat dilaksanakan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

- a. Menetapkan judul modul.
- b. Menetapkan tujuan akhir yaitu kemampuan yang harus dicapai oleh peserta didik setelah selesai mempelajari satu modul.
- c. Menetapkan tujuan antara yaitu kemampuan spesifik yang menunjang tujuan akhir.
- d. Menetapkan garis-garis besar atau *outline* modul.
- e. mengembangkan materi pada garis-garis besar.

f. Memeriksa ulang draf yang telah dihasilkan.

Kegiatan penyusunan draf modul hendaknya menghasilkan draf modul yang sekurang-kurangnya mencakup:

- a. Judul modul, menggambarkan materi yang akan dituangkan di dalam modul.
- b. Kompetensi atau sub kompetensi yang akan dicapai setelah menyelesaikan mempelajari modul.
- c. Tujuan terdiri atas tujuan akhir dan tujuan antara yang akan dicapai peserta didik setelah mempelajari modul.
- d. Materi pelatihan yang berisi pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang harus dipelajari dan dikuasai oleh peserta didik.
- e. Prosedur atau kegiatan pelatihan yang harus diikuti oleh peserta didik untuk mempelajari modul.
- f. Soal-soal, latihan, dan atau tugas yang harus dikerjakan atau diselesaikan oleh peserta didik.
- g. Evaluasi atau penilaian yang berfungsi mengukur kemampuan peserta didik dalam menguasai modul.
- h. Kunci jawaban dari soal, latihan dan atau pengujian.

### 3. Uji Coba

Uji coba draf modul adalah kegiatan penggunaan modul pada peserta terbatas, untuk mengetahui keterlaksanaan dan manfaat modul dalam pembelajaran sebelum modul tersebut digunakan secara umum. Uji coba draf modul bertujuan untuk;

- a. mengetahui kemampuan dan kemudahan peserta dalam memahami dan menggunakan modul;
- b. mengetahui efisiensi waktu belajar dengan menggunakan modul; dan
- c. mengetahui efektifitas modul dalam membantu peserta mempelajari dan menguasai materi pembelajaran.

Untuk melakukan uji coba draf modul dapat diikuti langkah-langkah sebagai berikut.

- a. Menyiapkan dan menggandakan draf modul yang akan diuji cobakan sebanyak peserta yang akan diikuti dalam uji coba.

- b. Menyusun instrumen pendukung uji coba.
- c. Mendistribusikan draf modul dan instrumen pendukung uji coba kepada peserta uji coba.
- d. Menginformasikan kepada peserta uji coba tentang tujuan uji coba dan kegiatan yang harus dilakukan oleh peserta uji coba.
- e. Kumpulkan kembali draf modul dan instrumen uji coba.
- f. Memproses dan menyimpulkan hasil pengumpulan masukan yang dijarah melalui instrumen uji coba.

Dari hasil uji coba diharapkan diperoleh masukan sebagai bahan penyempurnaan draf modul yang diuji cobakan. Terdapat dua macam uji coba yaitu uji coba dalam kelompok kecil dan uji coba lapangan. Uji coba kelompok kecil adalah uji coba yang dilakukan hanya kepada 2 - 4 peserta didik, sedangkan uji coba lapangan adalah uji coba yang dilakukan kepada peserta dengan jumlah 20 – 30 peserta didik.

#### 4. Validasi

Validasi adalah proses permintaan persetujuan atau pengesahan terhadap kesesuaian modul dengan kebutuhan. Guna mendapatkan pengakuan kesesuaian tersebut, maka validasi perlu dilakukan dengan melibatkan pihak praktisi yang ahli sesuai dengan bidang-bidang terkait dalam modul. Validasi modul bertujuan untuk memperoleh pengakuan atau pengesahan kesesuaian modul dengan kebutuhan sehingga modul tersebut layak dan cocok digunakan dalam pembelajaran. Validasi modul meliputi: isi materi atau substansi modul; penggunaan bahasa; serta penggunaan metode instruksional.

Validasi dapat dimintakan dari beberapa pihak sesuai dengan keahliannya masing-masing antara lain:

- a. ahli substansi untuk isi atau materi modul,
- b. ahli bahasa untuk penggunaan Bahasa, atau
- c. ahli metode instruksional untuk penggunaan instruksional guna mendapatkan masukan yang komprehensif dan obyektif.

Validasi draf modul dapat mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

- a. Menyiapkan dan gandakan draf modul yang akan divalidasi sesuai dengan banyaknya validator yang terlibat.
- b. Menyusun instrumen pendukung validasi.
- c. Mendistribusikan draf modul dan instrumen validasi kepada peserta validator.
- d. Menginformasikan kepada validator tentang tujuan validasi dan kegiatan yang harus dilakukan oleh validator.
- e. Mengumpulkan kembali draf modul dan instrumen validasi.
- f. Memproses dan menyimpulkan hasil pengumpulan masukan yang dijarah melalui instrumen validasi.

Kegiatan validasi draf modul akan dihasilkan draf modul yang mendapat masukan dan persetujuan dari para validator, sesuai dengan bidangnya. Masukan tersebut digunakan sebagai bahan penyempurnaan modul.

## 5. Revisi

Revisi atau perbaikan merupakan proses penyempurnaan modul setelah memperoleh masukan dari kegiatan uji coba dan validasi. Kegiatan revisi draf modul bertujuan untuk melakukan finalisasi atau penyempurnaan akhir yang komprehensif terhadap modul, sehingga modul siap diproduksi sesuai dengan masukan yang diperoleh dari kegiatan sebelumnya, maka perbaikan modul harus mencakup aspek-aspek penting penyusunan modul di antaranya adalah;

- a. pengorganisasian materi pembelajaran,
- b. penggunaan metode instruksional,
- c. penggunaan bahasa, dan
- d. pengorganisasian tata tulis dan perwajahan.

Mengacu pada prinsip peningkatan mutu berkesinambungan, secara terus menerus modul dapat ditinjau ulang dan diperbaiki.

### **2.1.4 Kelayakan Modul**

Modul dapat dikatakan berkualitas dan layak dapat dinilai dari empat aspek, yaitu aspek-aspek yang didasarkan pada standar penilaian bahan ajar oleh Badan Standar

Nasional Pendidikan BSNP (2007), yang antara lain adalah aspek kelayakan isi, kelayakan bahasa, kelayakan penyajian dan kelayakan kegrafikan.

a. Aspek Kelayakan Isi

Aspek kelayakan isi mencakup:

- 1) Kesesuaian Uraian Materi dengan Standart Kompensi (SK) dan Kompetensi Dasar (KD)
- 2) Keakuratan Materi
- 3) Kemutakhiran Materi
- 4) Mendorong Keingintahuan

b. Aspek Kelayakan Bahasa

Aspek kelayakan bahasa mencakup:

- 1) Lugas
- 2) Komunikatif
- 3) Dialogis dan Interaktif
- 4) Keterbacaan
- 5) Kesesuaian dengan kaidah bahasa Indonesia yang baik dan benar
- 6) Logika berbahasa

c. Aspek Kelayakan Penyajian

Aspek kelayakan penyajian mencakup:

- 1) Teknik Penyajian
- 2) Pendukung Penyajian
- 3) Penyajian Pembelajaran
- 4) Koherensi dan Keruntutan Alur Pikir

d. Aspek Kelayakan Kegrifisan

Aspek kelayakan kegrafisan mencakup:

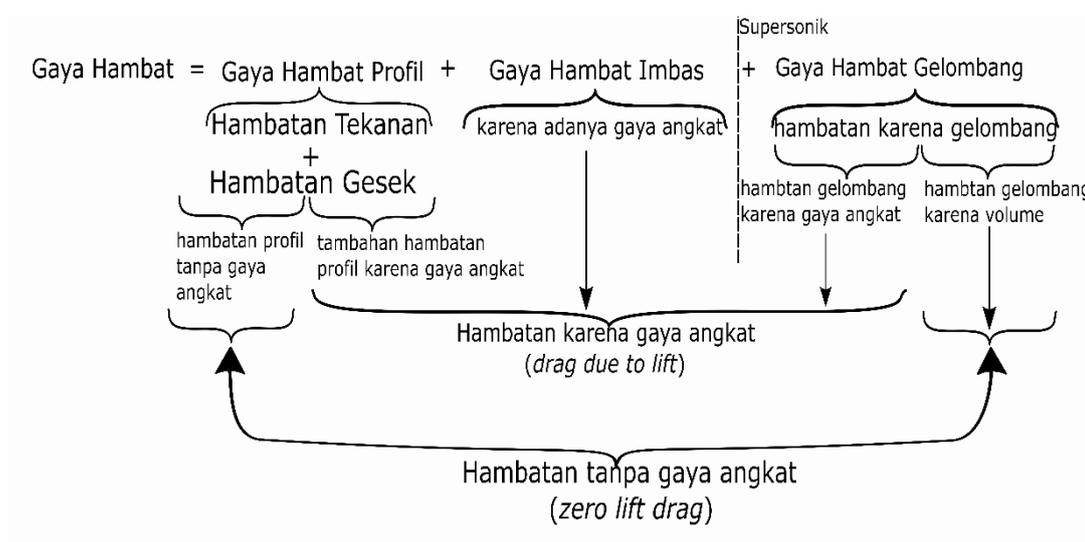
- 1) Ukuran Modul
- 2) Desain Sampul modul

- 3) Desain Isi Modul
- 4) Kualitas kertas
- 5) Kualitas cetakan
- 6) Kualitas jilidan.

## 2.2 Viskositas

### 2.2.1 Gaya Hambat Fluida

Dalam dinamika fluida, gaya hambat adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida. Terdapat beberapa jenis gaya hambat seperti terlihat pada Gambar 2.1 di bawah ini (Hendrickson *et al.*, 1997).



Gambar 2.1 Jenis-jenis gaya hambat dalam fluida.

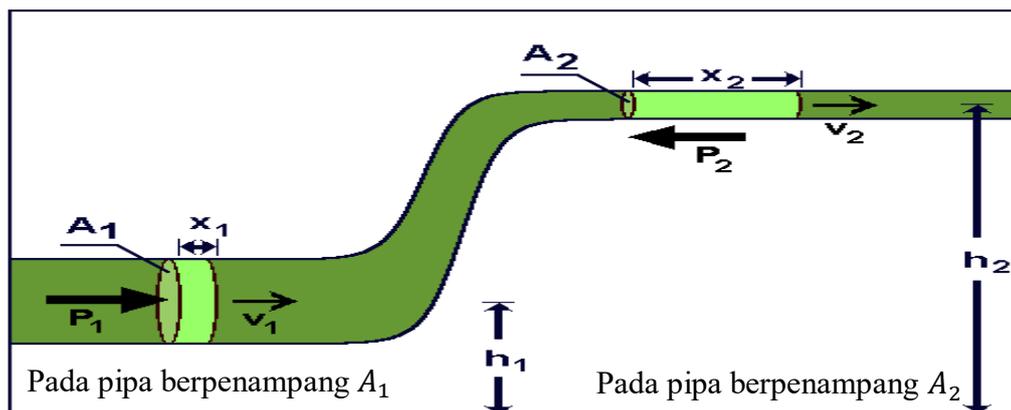
- Gaya hambat profil terdiri dari 2 jenis gaya hambat yaitu gaya hambat tekanan dan gaya hambat gesek.
  - Gaya hambat tekanan (*pressure drag* atau *form drag*) merupakan hambatan yang disebabkan oleh tekanan fluida berkaitan dengan bentuk benda.
  - Gaya hambat gesek (*skin friction drag* atau *viscous drag*) merupakan hambatan yang disebabkan oleh gesekan antara permukaan kulit benda dengan fluida. Hal ini dapat terjadi karena fluida memiliki sifat kental (*viscous*).

- Gaya hambat imbas (*induced drag* atau *lift drag*) merupakan hambatan yang dihasilkan dalam arah yang berlawanan dari gaya angkat.
- Gaya hambat gelombang (*wave drag*) merupakan hambatan yang diakibatkan oleh gelombang air atau gelombang kejut.

Hambatan yang bekerja dalam kasus *zero lift drag* atau gaya angkatnya bernilai nol, pada sebuah benda yang bergerak dalam fluida terdiri dari hambatan tekanan (*pressure drag*), hambatan gesek (*skin friction drag* atau *viscous drag*), dan hambatan gelombang (*wave drag*). Hambatan gelombang hanya terjadi jika terdapat gelombang atau fluida yang dilalui benda tersebut bergelombang, oleh sebab itu secara umum hambatan tersusun dari hambatan gesek yang bertindak sejajar dengan permukaan benda, ditambah hambatan tekanan yang bertindak dalam arah tegak lurus dengan permukaan benda.

### 2.2.2 Gaya Hambat Tekan

Prosedur standar untuk menentukan gaya hambat fluida yang diakibatkan oleh tekanan fluida adalah dengan menggunakan bentuk modifikasi dari Hukum Bernoulli untuk menemukan gaya hambat dari tekanan Bernoulli seperti terlihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Aliran fluida pada pipa.

Besar usaha untuk memindahkan fluida sejauh  $x_1$ , dirumuskan dengan  $W_1 = F_1 \cdot x_1 = P_1 \cdot A_1 \cdot x_1$ , dengan  $A_1 \cdot x_1 = V_1$  (*Volume*), sehingga  $W_1 = P_1 \cdot V_1$ . Sedangkan besar usaha untuk memindahkan fluida sejauh  $x_2$ , dirumuskan dengan

$W_2 = F_2 \cdot x_2 = P_2 \cdot A_2 \cdot x_2$ , dengan  $A_2 \cdot x_2 = V_2$  (*Volume*), sehingga  $W_2 = P_2 \cdot V_2$ .

Jadi, usaha total yang dilakukan fluida dari ujung kiri ke ujung kanan adalah :

$$W = P_1 \cdot V_1 + (-P_2 \cdot V_2), \text{ karena } V = \frac{m}{\rho} \text{ maka didapat } W = (P_1 - P_2) \frac{m}{\rho} \quad (2.1)$$

Perubahan energi mekanik saat fluida bergerak dari ujung kiri ke ujung kanan adalah :

$$\Delta E_M = [mg(h_2 - h_1)] + \left[ \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \right] \quad (2.2)$$

Karena usaha merupakan perubahan energi :  $W = \Delta E_M$  maka:

$$(P_1 - P_2) \frac{m}{\rho} = mg(h_2 - h_1) + \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \quad (2.3)$$

$$(P_1 - P_2) = \left[ mg(h_2 - h_1) + \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \right] \frac{\rho}{m}$$

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

$$P_1 - P_2 = \rho g h_2 - \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

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

$$P + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{tetap} \quad (2.4)$$

Besaran  $\frac{1}{2} \rho v^2$  disebut dengan tekanan dinamis (*dynamic pressure*) atau juga disebut dengan tekanan bernoulli yang merupakan tekanan fluida di depan benda yang bergerak (Vogel, 1994: 89). Besarnya gaya hambat benda berbentuk bola dalam aliran fluida, jika  $A$  adalah luas penampang (*cross sectional area*) objek dan  $\frac{1}{2} \rho v^2$

adalah Tekanan Bernoulli di depan obyek, maka didapatkan:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\frac{F_p}{A} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$F_p = \frac{1}{2} \rho v^2 A \quad (2.5)$$

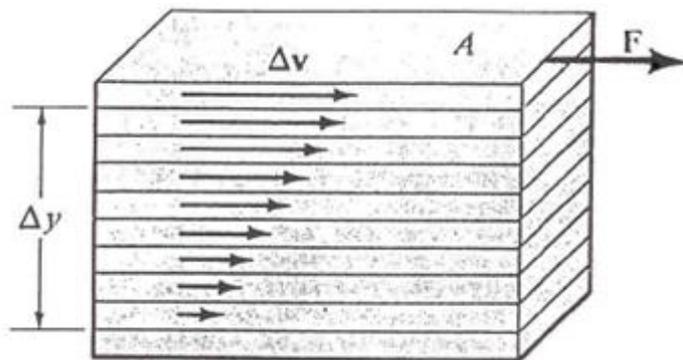
Persamaan (2.5) di atas tidak sepenuhnya tepat sesuai dengan eksperimen, maka perlu ditambahkan sebuah konstanta  $C_d$  (koefisien hambatan) (Vogel, 1994: 89), sehingga persamaan (2.5) di atas menjadi:

$$F_p = \frac{1}{2} C_d \rho v^2 A \quad (2.6)$$

### 2.2.3 Gaya Viskos

Lapisan fluida ideal bergerak dengan kecepatan yang sama dalam suatu pipa yang luas penampangnya serba sama (Tipler, 1998: 401). Sedangkan pada fluida yang mengandung kekentalan tertentu, kecepatan lapisan-lapisan fluida tidak seluruhnya sama. Hal ini dipengaruhi oleh adanya gaya gesekan yang diberikan oleh pipa pada lapisan fluida di sampingnya dan gaya gesekan yang diberikan oleh tiap lapisan fluida pada lapisan fluida tetangganya. Gaya-gaya tersebut disebut sebagai gaya viskos. Akibat dari gaya viskos tersebut kecepatan fluida tidak konstan disepanjang diameter pipa. Lapisan fluida yang memiliki kecepatan terbesar adalah lapisan pada pusat pipa, sedangkan lapisan fluida yang memiliki kecepatan paling kecil adalah di dekat tepi, di mana fluida bersinggungan dengan dinding pipa (Tipler, 1998: 407).

Koefisien viskositas fluida, dapat ditentukan dengan memodelkan fluida yang dibatasi dua plat sejajar, masing-masing dengan luas  $A$  dipisahkan oleh jarak  $\Delta y$  seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Aliran fluida antara dua plat seluas  $A$ , dipisahkan oleh jarak  $\Delta y$  dan bergerak relatif  $v$

Plat atas ditarik dengan kelajuan  $\Delta v$  oleh gaya  $F$  sedangkan plat bawah ditahan diam. Sebuah gaya dibutuhkan untuk menarik plat atas karena fluida disamping plat memberikan gaya gesekan viskos yang melawan gerakannya. Gaya  $F$  ternyata sebanding dengan  $v$  dan  $A$  serta berbanding terbalik dengan jarak pisah. Konstanta kesebandingan ini disebut koefisien viskositas  $\eta$  (Tipler, 1998: 408).

$$F_{Viskos} = \eta \frac{\Delta v A}{\Delta y} \quad (2.7)$$

$$F_{Viskos} = \tau A \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.7) di atas didapatkan koefisien kekentalan fluida atau viskositas fluida dengan notasi  $\eta$ , didefinisikan sebagai: perbandingan antara tegangan geser dengan laju perubahan geser.

$$\eta = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{laju perubahan geser}} = \frac{F/A}{\Delta v/\Delta y} = \text{N.s/m}^2 = \text{Pa.s} \quad (2.9)$$

#### 2.2.4 Bilangan Reynold

Pokok permasalahan dalam penelitian fluida dan aerodinamis pada masa lalu dan juga saat ini telah berurusan dengan fenomena yang melibatkan aksi gabungan gaya hambat tekanan searah garis normal dan gaya hambat viskous. Analisis dimensi mengatakan bahwa perilaku dinamis dari cairan yang berinteraksi dengan permukaan padat terkait dengan fungsi perbandingan tak berdimensi antara gaya hambat tekanan dan gaya viskous yang disebut dengan bilangan Reynold. Jadi, bilangan Reynold merupakan bilangan tak berdimensi yang didefinisikan sebagai perbandingan anantara gaya hambat tekanan dengan gaya viscous (Bershafer,1981). Analisis dimensi:

$$F_p = \frac{1}{2} C_d \rho v^2 A \quad F_{Viskos} = \eta \frac{\Delta v A}{\Delta y}$$

$$R_e = \frac{F_p}{F_{Viskos}} \quad (2.10)$$

$$R_e = \frac{\rho v^2 A}{\eta \Delta v A/\Delta y}$$

$$R_e = \frac{\rho v L}{\eta} \quad (2.11)$$

Di sini kita dapat mengidentifikasi  $\Delta v$ , perubahan kecepatan bergantung pada viskositas, dengan kecepatan relatif  $v$  antara objek dan fluida.  $\Delta y$  diganti dengan  $L$  menunjukkan panjang karakteristik dari objek yang tegak lurus terhadap arah aliran fluida. Bilangan Reynold adalah bilangan yang tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan sifat pokok aliran apakah laminar atau turbulen. Eksperimen

menunjukkan bahwa aliran bersifat laminar bila bilangan Reynold kurang dari 2000 dan bersifat turbulen bila bilangan Reynold lebih dari 3000. Bila nilai bilangan Reynold antara 2000-3000 maka alirannya akan bersifat transisi (Tipler, 1998: 409).

### 2.2.5 *Gaya Hambat Fluida pada Bilangan Reynold Tinggi*

Besarnya gaya hambat yang dialami sebuah objek yang bergerak melalui sebuah fluida pada kecepatan yang relatif besar (pada bilangan Reynold yang tinggi,  $R_e \gg 1$ ), sebanding dengan kuadrat dari kecepatan benda tersebut, yang juga disebut sebagai seretan kuadrat. Menilik persamaan (2.10) di atas dapat diketahui bahwa untuk bilangan Reynold yang tinggi ( $R_e \gg 1$ ), misal pada  $R_e = 1000$ , gaya hambat tekanan jauh lebih besar atau lebih dominan dibandingkan dengan gaya viskos. Oleh sebab itu, pada bilangan Reynold yang tinggi, gaya hambat yang dialami oleh benda yang bergerak dalam fluida hanya dipengaruhi oleh gaya hambat tekan (Owen, 2005), dengan demikian gaya hambat pada bilangan Reynold tinggi adalah

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho v^2 A \quad (2.12)$$

Terlihat persamaan (2.12) bahwa  $F$  tidak bergantung pada  $\eta$  dan sebanding dengan  $v^2$

### 2.2.6 *Gaya Hambat Fluida pada Bilangan Reynold Rendah*

Gaya hambat linear cocok untuk partikel atau objek berukuran kecil yang sedang bergerak melalui sebuah fluida pada kecepatan yang relatif pelan di mana tidak terdapat turbulen (contohnya bilangan Reynolds yang rendah,  $R_e \ll 1$ ). Gaya hambat dalam kasus ini, kira-kira sebanding dengan kecepatan, tapi arahnya berlawanan. Persamaan untuk gaya hambat linear (hambatan kekentalan) adalah:

$$F_d = -bv \quad (2.13)$$

dengan  $b$  adalah sebuah konstanta yang tergantung pada sifat-sifat fluida serta dimensi objek, dan

$v$  adalah kecepatan objek.

Persamaan (2.10) menunjukkan bahwa untuk bilangan Reynold yang rendah ( $R_e \ll 1$ ), gaya viskos jauh lebih besar atau lebih dominan dibandingkan

dengan gaya hambat tekanan. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa pada bilangan Reynold yang rendah gaya hambat yang dialami oleh benda yang bergerak dalam fluida hanya di pengaruhi oleh gaya viskos (Owen, 2005).

Khusus untuk kasus di mana objek berbentuk bola yang kecil bergerak perlahan-lahan melalui sebuah fluida kental (pada bilangan Reynolds yang kecil,  $Re \ll 1$ ), gaya gesek yang dialami benda itu dirumuskan oleh George Gabriel Stokes sebagai berikut:

$$F = -6\pi\eta r v \quad (2.14)$$

dengan  $F$  : Gaya gesekan yang bekerja pada bola

$\eta$  : Koefisien kekentalan fluida (viskositas)

$r$  : Jari- jari bola

$v$  : Kecepatan benda.

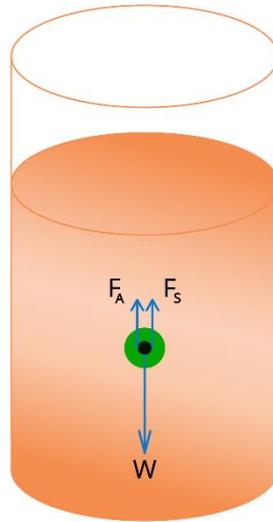
Persamaan (2.14) di atas dikenal sebagai hukum Stokes. Tanda minus menunjukkan arah gaya  $F$  berlawanan dengan arah kecepatan gerak bola. Pemakaian hukum Stokes memerlukan beberapa syarat yaitu:

- a. Ruang atau tempat Bergeraknya fluida tak terbatas (ukurannya cukup luas dibanding dengan ukuran bola)
- b. Tidak ada turbulensi dalam fluida
- c. Kecepatan  $v$  tidak besar sehingga aliran masih laminar.

Jika sebuah benda padat berbentuk bola mempunyai rapat massa  $\rho_b$ , dilepaskan tanpa kecepatan awal pada permukaan zat cair yang massa jenisnya  $\rho_f$  dimana ( $\rho_b > \rho_f$ ), mula-mula bola akan bergerak dipercepat, namun karena adanya gesekan dengan fluida, suatu ketika kecepatannya akan mencapai kecepatan maksimum atau kecepatan terminal ( $v_{maks}$ ), dan bola bergerak lurus beraturan. Keadaan ini diperoleh ketika terjadi keseimbangan antara tiga buah gaya yang bekerja pada bola yaitu:

1. gaya berat ( $W = mg = \rho_b V g = \rho_b \frac{4}{3} \pi r^3 g$ )
2. gaya apung Archimedes ( $F_A = \rho_f V g = \rho_f \frac{4}{3} \pi r^3 g$ )
3. gaya Stokes ( $F_s = 6\pi\eta r v_{maks}$ )

Keadaan keseimbangan tersebut digambarkan pada Gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Diagram Kesetimbangan antara  $W$ ,  $F_A$  dan  $F_S$ .

Pada saat bola bergerak dengan kecepatan tetap  $v$  berlaku persamaan (2.15):

$$\Sigma F = 0 \quad (2.15)$$

$$W - F_A - F_S = 0$$

$$W - F_A = F_S$$

$$F_S = W - F_A$$

$$6\pi\eta r v_{maks} = \rho_b \frac{4}{3}\pi r^3 g - \rho_f \frac{4}{3}\pi r^3 g$$

$$6\pi\eta r v_{maks} = \frac{4}{3}\pi r^3 g (\rho_b - \rho_f)$$

$$\eta = \frac{2gr^2(\rho_b - \rho_f)}{9 v_{maks}} \quad (2.16)$$

Satuan viskositas dalam SI adalah  $N \cdot s/m^2 = Pa \cdot s$ , sedangkan dalam cgs yang lebih sering digunakan adalah poise, menurut nama fisikawan Perancis Poiseuille. Adapun hubungannya adalah sebagai berikut :  $1 Pa \cdot s = 10 poise$ .

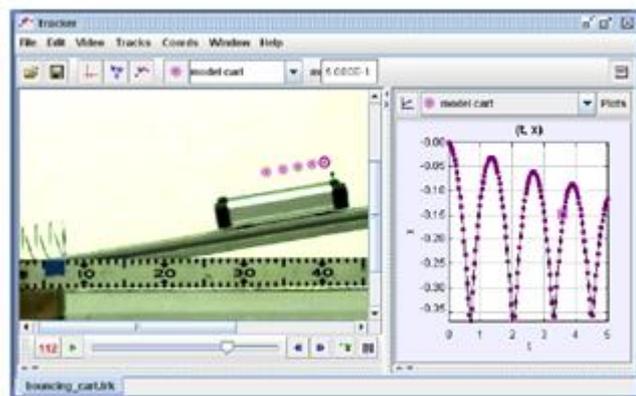
Untuk bilangan Reynold transisi (*intermediet*) penyelesaian gaya hambat yang dialami oleh benda yang bergerak dalam fluida lebih rumit (*complicated*) karena banyak faktor yang mempengaruhinya.

### 2.3 Tracker

Tracker adalah software video analisis dan pemodelan yang bersifat gratis yang dibangun oleh Open Source Physics (OSP) dengan kerangka kerja menggunakan

Java (Brown, 2009). Program Tracker yang dikembangkan oleh Open Source Physics Project mengandung kombinasi antara pemodelan fisika berbasis komputer dan analisis video, dengan suatu keistimewaan bahwa simulasi model digambarkan secara langsung dalam video dengan menggunakan basis waktu dan sistem koordinat yang sama, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dan 2.6.

Parameters	
Add Copy Cut Paste	
Name	Expression
m	0.5
g	9.8
theta	9.5*pi/180
k	0.0
ks	-358
mu	0.0075
Fn	m*g*cos(theta)
Initial Values	
Add Copy Cut Paste	
Name	Expression
t0	0.0
x0	0
y0	0.2
w0	-0.03
ly0	0
Force Functions	
Add Copy Cut Paste	
Name	Expression
fx	-m*g*sin(theta) + if(x>xs,-k*x,0) + k
fy	0
fk	if(x>0, mu*Fn, -mu*Fn)



Gambar 2.5. Membandingkan model (ungu) dengan grafik asli

Gambar 2.6. Pembangun Model

Fitur yang disediakan oleh Tracker termasuk pelacakan objek dengan posisi, kecepatan dan percepatan dan grafik, filter efek khusus, beberapa frame referensi, poin kalibrasi, profil garis untuk analisis spektrum dan pola gangguan, serta model partikel dinamis. Tracker mendefinisikan dua tipe dasar model partikel: (1) analisis dan (2) dinamis. Model partikel dinamis pada gilirannya mungkin Cartesian, polar atau sistem dua benda yang mengalami gaya internal dan eksternal. Semua model yang dibangun menggunakan Tracker "Model Builder", menyediakan kontrol untuk mendefinisikan dari berbagai parameter, kondisi awal, dan posisi maupun persamaan gaya (Brown & Cox, 2009).

## 2.4 Simulasi Komputer dalam Pembelajaran Fisika

Pembelajaran berbasis simulasi melibatkan pembelajaran yang dilakukan di lingkungan komputer, di mana pelajar secara bertahap menyimpulkan fitur dari model konsep sementara dia melanjutkan melalui simulasi, yang dapat menyebabkan perubahan konsep aslinya (Jong & Joolingen, 1998). Pemodelan dan Simulasi menerima peningkatan perhatian dari komunitas ilmu pendidikan sebagai komponen penting dari sebuah ilmu pendidikan temporer (Psycharis, 2011), baik karena mencerminkan sifat ilmu pengetahuan, serta karena kegiatan modeling dan simulasi dianggap berguna untuk konsep dan proses belajar. Menurut Landau (2006) fisika komputasi menyediakan pendidikan yang lebih luas, lebih seimbang, dan lebih fleksibel daripada fisika tradisional. Selain itu, menyajikan fisika dalam pemecahan masalah paradigma ilmiah adalah cara yang lebih efektif dan efisien untuk mengajar fisika dibandingkan dengan pendekatan tradisional.

Chonacky sebagaimana dikutip oleh Psycharis (2011) menyatakan bahwa pemodelan komputasi dan simulasi adalah dua metodologi yang paling sukses yang telah diterapkan untuk ilmu pengetahuan dan penelitian rekayasa. Dia juga menekankan, dalam pengantar simposium GIREP-2006 tentang pemodelan komputasi untuk masalah fisika, bahwa pendidikan merupakan salah satu tempat Komputasi dalam Sains dan Teknik. Menurut analisis Chang et al. (2008) dari penelitian sebelumnya mengungkapkan lima kategori dukungan belajar yang bermanfaat bagi pembelajaran berbasis simulasi adalah sebagai berikut:

- 1.) Memberikan latar belakang pengetahuan: kurangnya latar belakang pengetahuan dapat mengakibatkan ketidakmampuan untuk membuat hipotesis atau akurat menginterpretasikan informasi yang relevan.
- 2.) Membantu peserta didik untuk membuat hipotesis: salah satu tantangan utama yang dihadapi pelajar adalah membentuk hipotesis yang tepat ketika menghadapi masalah.
- 3.) Membantu peserta didik untuk melakukan eksperimen: peserta didik sering menunjukkan perilaku tidak efisien ketika melakukan eksperimen.
- 4.) Membantu peserta didik untuk menginterpretasikan data: setelah menyelesaikan percobaan, pelajar harus menafsirkan data yang dikumpulkan

dari eksperimen untuk memverifikasi hipotesisnya, memodifikasi hipotesis berdasarkan pada hasil, dan mencapai kesimpulan.

- 5.) Membantu peserta didik untuk mengatur proses pembelajaran: selama proses pembelajaran ilmiah, pelajar harus memonitor dirinya sendiri dan mengendalikan kemajuan belajar.

Penelitian yang dilakukan oleh Jimoyiannis & Komis (2001), menunjukkan bahwa siswa yang menggunakan simulasi komputer memiliki skor proyek jauh lebih tinggi. Simulasi komputer dapat digunakan sebagai alat instruksional alternatif, dalam rangka untuk membantu siswa menghadapi kendala kognitif mereka dan mengembangkan pemahaman fungsional fisika. Hasil penelitian senada juga diungkapkan oleh Zacharia & Olympiou (2011), di mana percobaan dengan memanipulasi fisik maupun virtual dalam pembelajaran fisika, sama efektifnya dalam meningkatkan pemahaman siswa pada topik panas dan suhu.

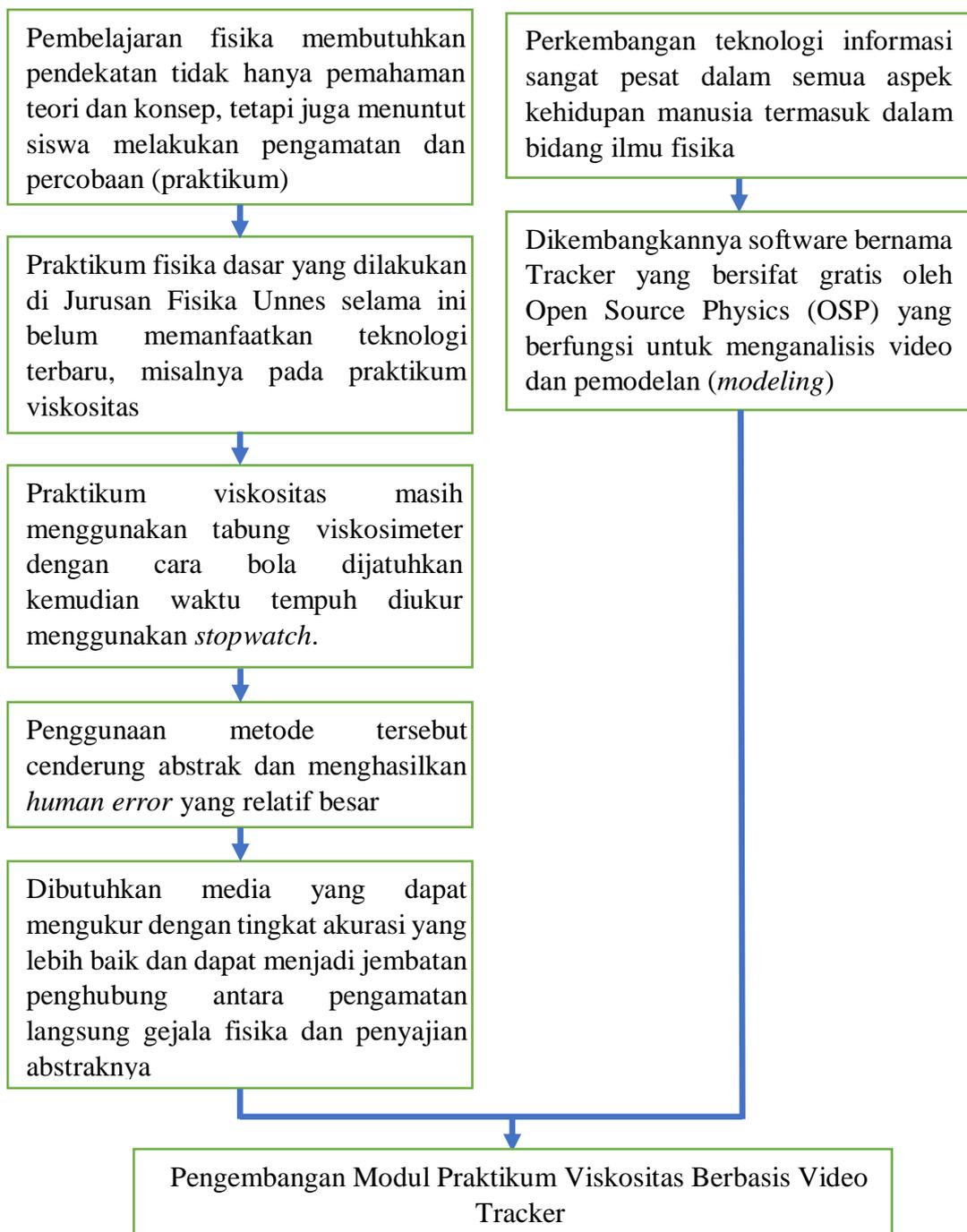
Baru-baru ini, pendekatan kontemporer eksperimen laboratorium sains berbasis inkuiri untuk belajar siswa adalah integrasi yang sebenarnya (*hands-on*) dan laboratorium eksperimen berbasis virtual (simulasi) komputer. Penggunaan kedua lingkungan laboratorium terkomputerisasi telah dilaporkan bahwa mereka dapat memberikan hasil pada proses perubahan konseptual dan membantu siswa untuk memperbaikinya, dan akurasi alternatif (bukan ilmiah) konsepsi mereka dan untuk memajukan konsepsi ilmiah mereka (Gunhaart & Srisawasdi, 2012). Hasil penelitian oleh Gunhaart dan Srisawasdi (2012) menunjukkan bahwa, integrasi yang sebenarnya (*hands-on*) dengan lingkungan laboratorium virtual (simulasi) terkomputerisasi efektif digunakan untuk membantu siswa belajar konsep fisika pada topik sifat-sifat gelombang bunyi. Hasil penelitian Sarabando *et al.* (2014) juga menunjukkan total peningkatan *pre-test* dan *post-test* lebih tinggi ketika siswa menggunakan simulasi komputer secara sendiri atau bersama-sama dengan eksperimen yang sebenarnya (*hands-on*) pada topik berat dan massa.

Baru-baru ini, teknologi video berkecepatan tinggi telah digunakan untuk mempelajari berbagai skenario mekanika (Heck & Uylings, 2009), karena harga peralatan kamera kecepatan tinggi telah terjangkau di tingkat konsumen, ditambah karena perangkat lunak analisis video telah menjadi lebih efektif dan lebih tepat

ketika digunakan untuk menganalisis data bergerak (Brown & Cox, 2009). Akibatnya, banyak fisikawan dan instruktur fisika memiliki mulai menggunakan teknik analisis video kecepatan tinggi untuk menunjukkan mekanik fenomena dan atau untuk melakukan eksperimen. Dengan menggunakan analisis video kecepatan tinggi, tingkat pemahaman siswa tentang hambatan membaik (Kaewsutthi & wattanakasiwich, 2011).

## 2.5 Kerangka Berpikir

Berdasarkan uraian latar belakang dan tinjauan pustaka, secara ringkas kerangka berpikir dari penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7. Kerangka Berpikir

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

1. Setelah melalui tahap uji kelayakan maka modul praktikum viskositas berbasis video Tracker yang dikembangkan, dinyatakan layak sebagai buku panduan praktikum viskositas dengan memperoleh nilai 87,11% yang termasuk dalam kriteria sangat layak.
2. Tingkat akurasi praktikum viskositas menggunakan Tracker lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan *stopwatch* yaitu 92,42% berbanding 91,47%. Untuk tingkat ketelitian secara keseluruhan antara *stopwatch* dan Tracker hampir sama, yaitu 92,74% berbanding 92,7%, hanya berbeda 0,04%.
3. Mahasiswa responden memberikan tanggapan yang sangat baik terhadap modul praktikum viskositas berbasis video Tracker yang dikembangkan dengan nilai persentase 90%.

#### **5.2 Saran**

1. Saat pelaksanaan praktikum viskositas sebaiknya menggunakan gliserin yang masih baru, warnanya bening, dan tidak terdapat gelembung udara di dalamnya.
2. Saat pelaksanaan praktikum viskositas sebaiknya menggunakan tabung kaca yang panjang.
3. Rekaman video pada praktikum viskositas, sebaiknya menggunakan kamera yang mampu merekam dengan *fps* tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atusmiyati, D. 2015. *Pengembangan Modul Praktikum Fisika Berbasis Pendidikan Karakter Pada Pokok Bahasan Suhu Dan Kalor Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Fisika Siswa Kelas X*. Skripsi.Semarang: Unnes.
- Bershader, D. 1981. 9.1. *Wind Tunnels and Free-Flight Facilities*. In *Methods in Experimental Physics*. 18: 756-785. Academic Press.
- Bershader, D. 1981. 9.3. *Low Reynolds Number Flows Methods in Experimental Physics*. In *Methods in Experimental Physics*. 18:756-785. Academic Press.
- Bozkurt, E. & A. Ilik,. 2010. The effect of computer simulations over students' beliefs on physics and physics success. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2(2): 4587-4591.
- Brown, D. 2008. *Video Modeling:Combining Dynamic Model Simulations with Traditional Video Analysis*. Disajikan dalam AAPT Summer Meeting 2008, Cabrillo College, Aptos USA.
- Brown, D. & Cox, A. 2009. *Innovative Uses of Video Analysis*.Phys. Teach.47, 145–150.
- Brown, D. 2009. *Video Modeling with Tracker*. Disajikan dalam AAPT Summer Meeting 2009, Cabrillo College, Aptos USA, 29 Juli.
- Brown, D. 2013. *Sharing Video Experiments with Tracker Digital Libraries*. Disajikan dalam AAPT Winter Meeting, AAPT 2013, New Orleans USA, 8 Januari.
- Brown, D. & W. Christian. 2011. *Simulating What You See: Combining Computer Modeling With Video Analysis*. Disajikan dalam MPTL16 - HSCI 2011, Ljublana Slovenia.
- Bryan, J. 2004. Video Analysis Software and the Investigation of the Conservation of Mechanical Energy. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 4(3), 284–298.
- BSNP. 2007. *Kegiatan Penilaian Buku Teks Pelajaran Pendidikan Dasar dan Menengah*. Buletin BNSP II (1) ISSN: 0126-4605.
- Chang, K.E., Chen, Y.L., Lin, H.Y. & Sung, Y.T. 2008. Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computer & education*. 51(4): 1486-1498.
- Darsono, M., A Sugandhi, Martensi, RK Sutadi & Nugroho. 2000. *Belajar dan Pembelajaran*. Semarang: IKIP Semarang Press.

- Daryanto. 2013. *Menyusun Modul (Bahan Ajar untuk Persiapan Guru dalam Mengajar)*. Yogyakarta: Penerbit Gava Media.
- Jong, T. D. & Van Joolingen, W. 1998. Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of educational research*. 68(2): 179-201.
- Departemen Pendidikan Nasional. 2008. *Penulisan Modul*. Jakarta: Direktorat Jendral Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga kependidikan.
- Fadholi, L., A. Harijanto, & A. D. Lesmono. 2018. Analisis Video Kejadian Fisika Dengan Software Tracker Sebagai Rancangan Bahan Ajar Momentum Dan Impuls Untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa SMA Kelas X. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. 7(3): 263-270.
- Gunhaart, A., & Srisawasdi, N. 2012. Effect of integrated compute-based laboratory environment on students' physics conceptual learning of sound wave properties. *Social and Behavioral Sciences*. 46: 5750-5755.
- Heck, A., & Uylings, P. 2009. In a hurry to work with high-speed video at school. *The Physics teacher*. 48(3): 176-181.
- Hendrickson, R., Grumman, D. Roman & D. Rajkovic. 1997. 5. *Drag: An Introduction*. Dragbusters.
- Hockicko, P., Krišt'ák, L., & Němec, M. 2015. Development of students' conceptual thinking by means of video analysis and interactive simulations at technical universities. *European Journal of Engineering Education*, 40(2), 145–166. doi:10.1080/03043797.2014.941337
- Jimoyiannis, A. & V. Komis. 2001. Computer simulation in physics teaching and learning: a case study on student's understanding of trajectory motion. *Computer & Education*. 36(2): 183-204.
- Kaewsutthi, C. & Wattanakasiwich, P. 2011. Student learning experiences from drag experiments using high-speed video analysis. In *Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education (formerly UniServe Science Conference)*.
- Kinchin, J. 2016. Using Tracker to prove the simple harmonic motion equation. *Physics Education*, 51(5), 53003. doi:10.1088/0031-9120/51/5/053003
- Landau, R. 2006. Computational Physics: A Better Model for Physics Education? *Computing in Science & Engineering*. 8(5): 22–30.
- Laws, P. 1998. Using digital video analysis in introductory mechanics projects. *The Physics Teacher*, 36(5), 282. doi:10.1119/1.880068
- Listiaji, P. 2015. *Pengembangan Aplikasi Mobile Learning Sebagai Penunjang Pembelajaran Fisika pada Materi Hukum Gravitasi Newton Untuk Siswa SMA*. Skripsi.Semarang: Unnes.

- Marliani, F., S. Wulandari, M. Fauziyah, & M. G. Nugraha. 2015. Penerapan Analisis Video Tracker dalam Pembelajaran Fisika SMA Untuk Menentukan Nilai Koefisien Viskositas Fluida. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2015 (SNIPS 2015)*. Bandung, 8 dan 9 Juni 2015.
- Muhafid, E. A. 2013. *Pengembangan Modul IPA Terpadu Berpendekatan Ketrampilan Proses pada Tema Bunyi di SMP kelas VIII*. Skripsi. Semarang: Unnes.
- Negoro, R. A. 2017. *Pengembangan Media Pembelajaran Fotonovela Berbantuan Audio Materi Bunyi untuk Siswa Tunarungu SMP LB/MTs LB*. Skripsi. Semarang: Unnes.
- Nugraha, E. A., Dwi Y., Siti Kh. 2013. Pembuatan Bahan Ajar Komik Sains Inkuiri Materi Benda Untuk Mengembangkan Karakter Siswa Kelas IV SD. *Unnes Physics Education Journal*. 2(1): 60-68.
- Nursuhud, P. I. 2016. *Pengembangan Perangkat Praktikum Listrik Dinamis Pada Mata Kuliah Eksperimen Fisika Materi Jembatan Wheatstone*. Skripsi. Semarang: Unnes.
- Owen, J.P. & Ryu, W.S., 2005. The effects of linear and quadratic drag on falling spheres: an undergraduate laboratory. *European journal of physics*. 26(6): 1085-1091.
- Prastowo, A. 2012. *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Jogjakarta: DIVA Press.
- Psycharis, S. 2011. The computational experiment and its effects on approach to learning and beliefs on physics. *Computers & Education*. 56(3): 547-555.
- Purnomo, T. H., Sugiyanto, S., & Akhlis, I. 2011. Educational Computer Game Materi Listrik Dinamis Sebagai Media Pembelajaran Fisika Untuk Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 7(1), 121–127. doi:10.15294/jpfi.v7i2.1084
- Purwanto, R. Aristo, & L. Suharto. 2007. *Pengembangan Modul*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional, Pusat Teknologi Informasi dan Komunikasi Pendidikan.
- Putri, E. R. S. 2016. *Kemampuan Kognitif Siswa SMP Berdasarkan Taksonomi Marzano Level Knowledge Utilization*. Skripsi. Semarang: Unnes.
- Ramli, M. H., Chan, K. T., & Yap, W. F. 2016. Study of simple pendulum using Tracker video analysis and high speed camera: an interactive approach to analyze oscillatory motion. *Solid State Science and Technology*. 24(2): 297-305.

- Rodrigues, M., Marques, M. B., & Simeão Carvalho, P. 2015. Measuring and teaching light spectrum using Tracker as a spectrometer. *Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2015*, 9793(1), 97931L. doi:10.1117/12.2223120
- Sarabando, C., Cravino, J.P. & Soares, A.A. 2014. Contribution of a computer simulation on students' learning of the physics concept of weight and mass. *Procedia Technology*. 13: 112-121.
- Sirisathitkul, C., P. Glawtanong, T. Eadkong, & Y. Sirisathitkul. 2013. Digital video analysis of falling objects in air and liquid using Tracker. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 35(1): 1-6.
- Sofi'ah, S., Sugianto, S., & Sugiyanto, S. 2017. Pengembangan Laboratorium Virtual Berbasis VRML (Virtual Reality Modelling Language) pada Materi Teori Kinetik Gas. *Unnes Physics Education Journal*, 6(1), 82–90.
- Sudijono, A. 2009. *Pengantar Statistik Pendidikan*. Jakarta: PT Rajagrafindo Persada.
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tipler, Paul A. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Ukoba, O. K., Olunlade, B. A., & Shelby, W. 2011. Model-Based Object Tracking of Moving Object: Double Pendulum. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 12(1), 170–176.
- Vogel. 1994. *Life in Moving Fluids*. New Jersey USA: Princeton University Press.
- Wantoro, K., D. N. Sudjito, & F. S. Rondonuwu. 2016. Pemanfaatan Kamera Smartphone dan Eyetracking Analysis pada Percobaan Kinematika di Atas Landasan Udara Dua Dimensi. *Unnes Science Education Journal*. 5(2): 1191-1197.
- Wee, L. K., & Leong, T. K. 2015. Video Analysis and Modeling Performance Task to promote becoming like scientists in classrooms. *American Journal of Educational Research*, 3(2), 197–207. doi:10.12691/education-3-2-13
- Zacharia, Z. C., & Olympiou, G. 2011. Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, 21(3), 317-331.