



**ANALISIS VIDEO KEJADIAN FISIKA DENGAN *SOFTWARE TRACKER* SEBAGAI RANCANGAN BAHAN AJAR
MOMENTUM DAN IMPULS UNTUK
MENINGKATKAN KEMAMPUAN
BERFIKIR KRITIS SISWA
SMA KELAS X**

SKRIPSI

Oleh
Lukman Fadholi
NIM. 140210102047

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS VIDEO KEJADIAN FISIKA DENGAN *SOFTWARE TRACKER* SEBAGAI RANCANGAN BAHAN AJAR
MOMENTUM DAN IMPULS UNTUK
MENINGKATKAN KEMAMPUAN
BERFIKIR KRITIS SISWA
SMA KELAS X**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1) dan mencapai gelar sarjana

Oleh

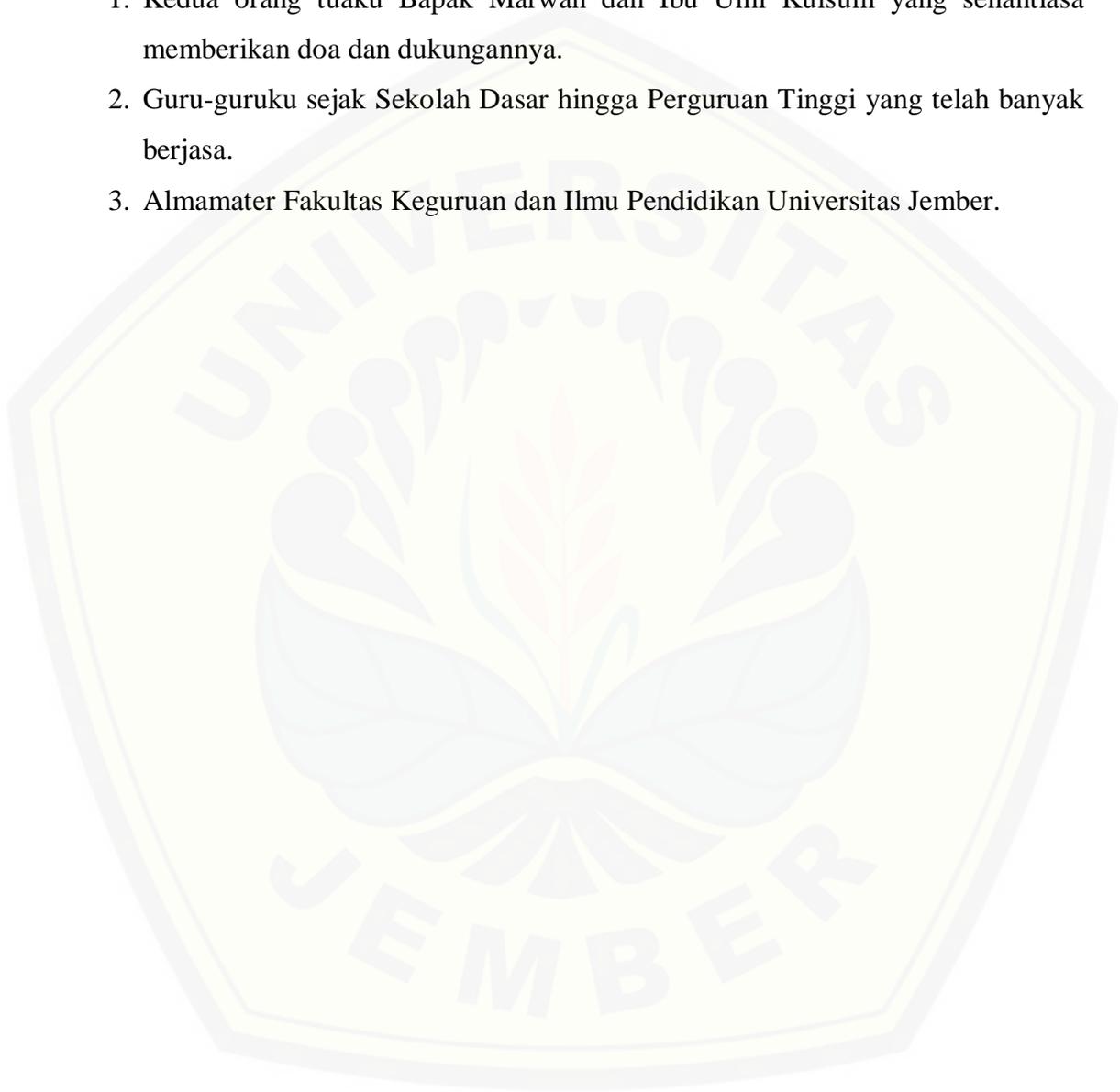
**Lukman Fadholi
NIM. 140210102047**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

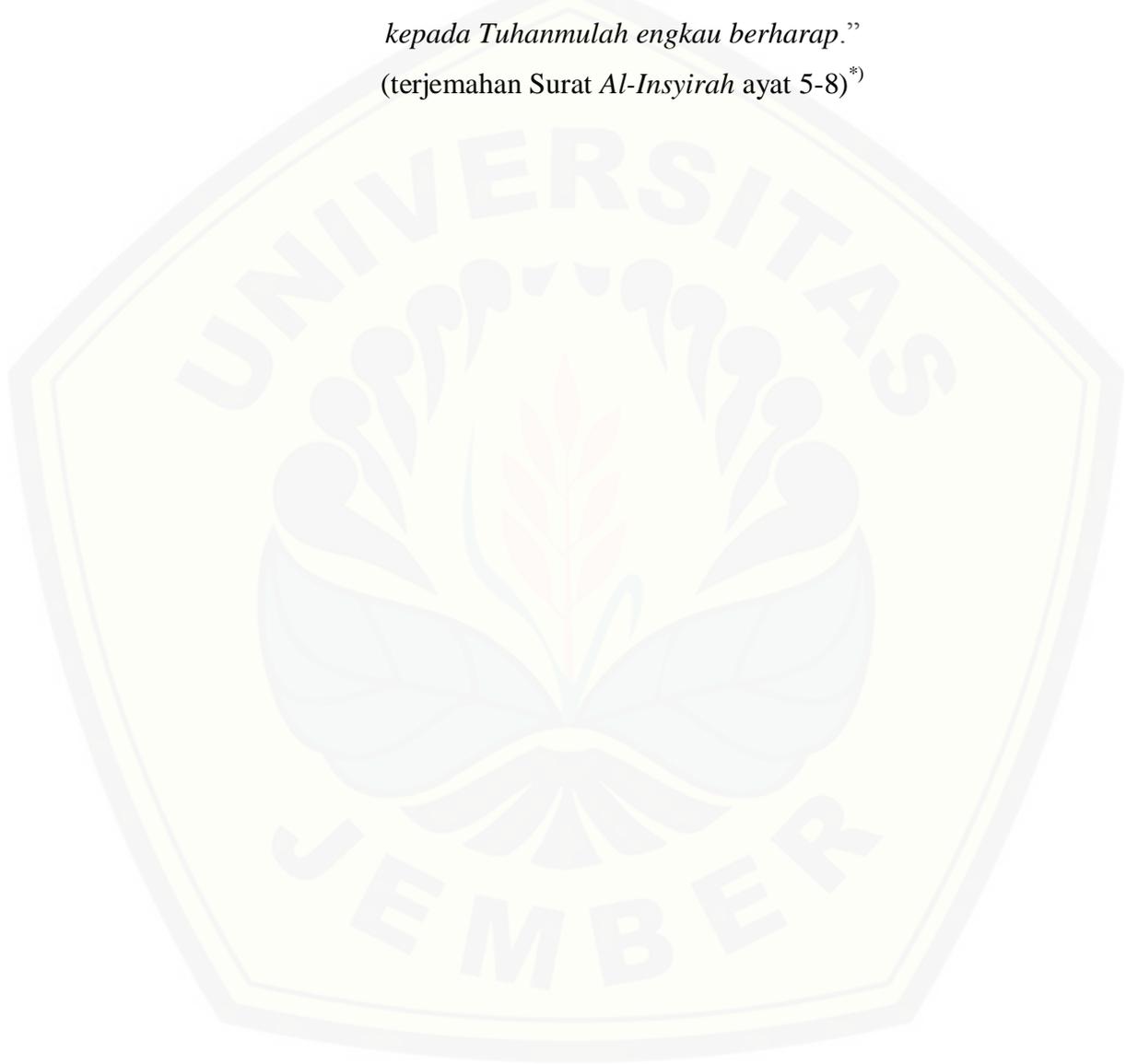
1. Kedua orang tuaku Bapak Marwan dan Ibu Umi Kulsum yang senantiasa memberikan doa dan dukungannya.
2. Guru-guruku sejak Sekolah Dasar hingga Perguruan Tinggi yang telah banyak berjasa.
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.



MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain) dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(terjemahan Surat *Al-Insyirah* ayat 5-8)^{*)}



^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lukman Fadholi

NIM : 140210102047

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Video Kejadian Fisika dengan *Software Tracker* Sebagai Rancangan Bahan Ajar Momentum dan Impuls untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa SMA Kelas X” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2018

Lukman Fadholi
NIM 140210102047

SKRIPSI

**ANALISIS VIDEO KEJADIAN FISIKA DENGAN *SOFTWARE TRACKER* SEBAGAI RANCANGAN BAHAN AJAR
MOMENTUM DAN IMPULS UNTUK
MENINGKATKAN KEMAMPUAN
BERFIKIR KRITIS SISWA
SMA KELAS X**

Oleh

**Lukman Fadholi
NIM. 140210102047**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Alex Harijanto, M.Si
Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Video Kejadian Fisika dengan *Software Tracker* Sebagai Rancangan Bahan Ajar Momentum dan Impuls untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa SMA Kelas X” karya Lukman Fadholi telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Alex Harijanto, M.Si

Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si

NIP 19641117 199103 1 001

NIP 19641230 199302 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Sudarti, M.Kes

Dr. Sri Astutik, M.Si

NIP 19620123 198802 2 001

NIP 19670610 199203 2 002

Mengesahkan,

Dekan,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph. D.

NIP 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

Analisis Video Kejadian Fisika dengan *Software Tracker* Sebagai Rancangan Bahan Ajar Momentum dan Impuls untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa SMA Kelas X; Lukman Fadholi; 140210102047; 61 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Bahan ajar cetak konvensional, hanya memuat definisi dari konsep, kumpulan rumus-rumus, contoh soal, dan latihan soal. Materi yang disajikan masih banyak yang bersifat abstrak, sehingga siswa kurang mampu menganalisisnya, materi yang disajikan masih jarang dikaitkan dengan kejadian aktual didunia nyata. Berdasarkan hasil wawancara dengan guru fisika di SMAN Arjasa, SMAN 4 Jember, dan SMAN Pakusari, bahan ajar pada materi momentum dan impuls belum menyajikan kegiatan proses atau prosedur penggalan konsep dengan memanfaatkan kejadian kontekstual, sehingga siswa kurang mampu menganalisis konsep momentum dan impuls berdasarkan kejadian didunia nyata. Kekurangan ini, dapat memungkinkan kurang dimaksimalkannya kegiatan latihan berfikir kritis siswa, kemampuan berfikir kritis siswa pada materi momentum dan impuls selalu diupayakan oleh guru, namun penuangan indikator kemampuan berfikir kritis belum dikemas pada suatu bahan ajar tertentu. Melihat bahwa kejadian tumbukan dapat ditemui di dunia nyata dan terdapat *software tracker* yang dapat digunakan untuk membantu kegiatan analisis video kejadian fisika, serta dibutuhkannya suatu bahan ajar yang dapat melatih kemampuan berfikir siswa, maka peneliti membuat penelitian yang bertujuan: 1) Menganalisis video kejadian fisika materi momentum dan impuls dengan menggunakan *software tracker*. 2) Merancang bahan ajar materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa SMA kelas X berdasarkan hasil analisis video kejadian fisika dengan menggunakan *software tracker*.

Jenis penelitian ini adalah penelitian analisis deskriptif, dengan alur penelitian: 1) Pengambilan video. 2) Analisis video. 3) Analisis data 4) Menyusun rancangan bahan ajar untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa SMA

kelas X berdasarkan hasil analisis data. 5) Membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan.

Berdasarkan hasil analisis data, dihasilkan bahwa video pertama merupakan jenis tumbukan lenting sempurna, video kedua merupakan jenis tumbukan lenting sebagian, video ketiga merupakan jenis tumbukan tidak lenting sama sekali, video keempat merupakan jenis tumbukan lenting sempurna dan video kelima merupakan jenis tumbukan lenting sempurna. Jenis tumbukan ini didasarkan pada tinjauan keberlakuan hukum kekekalan momentum, kekekalan energi kinetik dan nilai koefisien restitusi. Sedangkan besar impuls didapatkan hasil yang sesuai dengan konsep impuls benda A terhadap B harus sama dengan impuls benda B terhadap A ($\vec{I}_{AB} = \vec{I}_{BA}$), karena kedua benda bertumbukan.

Berdasarkan hasil analisis 5 video kejadian fisika, dapat disusun suatu rancangan bahan ajar berupa lembar kerja siswa materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa yang terdiri dengan judul “Lembar Kerja Siswa Materi Momentum dan Impuls, kompetensi dasar berdasarkan kurikulum 2013 revisi 2016, petunjuk belajar, tujuan pembelajaran, materi momentum dan impuls secara padat dan ringkas, penugasan berupa analisis video tumbukan 1 dimensi dengan menggunakan *software tracker*, dan pertanyaan berfikir kritis interpretasi, analisis, evaluasi dan inferensi dari hasil analisis video kejadian fisika dengan *software tracker* yang telah dilakukan peneliti.

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa 5 video kejadian tumbukan yang dianalisis peneliti dengan menggunakan bantuan *software tracker*, menghasilkan nilai yang sesuai dengan teori momentum dan impuls. Pada video keempat dan kelima, terdapat sangat sedikit selisih perbedaan nilai pada tinjauan hukum kekekalan momentum dan kekekalan energi kinetik, sehingga perbedaan ini dapat diabaikan. Penuangan indikator berfikir kritis, terdapat pada bagian pertanyaan yang berasal dari hasil analisis video kejadian fisika yaitu 2 video tumbukan 1 dimensi untuk membuat pertanyaan berfikir kritis interpretasi dan analisis, video tumbukan 2 dimensi bola billiard untuk berfikir kritis evaluasi dan video tumbukan 2 dimensi keping hoki untuk berfikir kritis inferensi. 1 video tumbukan 1 dimensi yang lain dimuat dalam bagian penugasan.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Video Kejadian Fisika dengan *Software Tracker* Sebagai Rancangan Bahan Ajar Momentum dan Impuls untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa SMA Kelas X”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ketua Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;

Drs. Alex Harijanto, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama, Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota, Dr. Sudarti, M.Kes. selaku Dosen Penguji Utama, dan Dr. Sri Astutik, M.Si. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;

4. Pihak SMAN Arjasa, SMAN 4 Jember, dan SMAN Pakusari yang telah membantu memberikan informasi untuk kepentingan penelitian ini;
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DATAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DATAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Video Kejadian Fisika	6
2.2 Analisis Video Kejadian Fisika	8
2.3 <i>Software Tracker</i>	9
2.4 Bahan Ajar	10
2.5 Kemampuan Berfikir Kritis	13
2.6 Momentum dan Impuls	16
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Jenis Penelitian	25
3.2 Tempat dan Waktu Uji Pengembangan	25

3.3 Definisi Operasional Variable.....	25
3.4 Alur Penelitian	26
3.5 Teknik Pengambilan Data.....	27
3.6 Teknik Analisis Data	30
3.7 Rancangan Bahan Ajar	31
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Hasil Penelitian	32
4.2 Pembahasan	50
BAB 5. PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

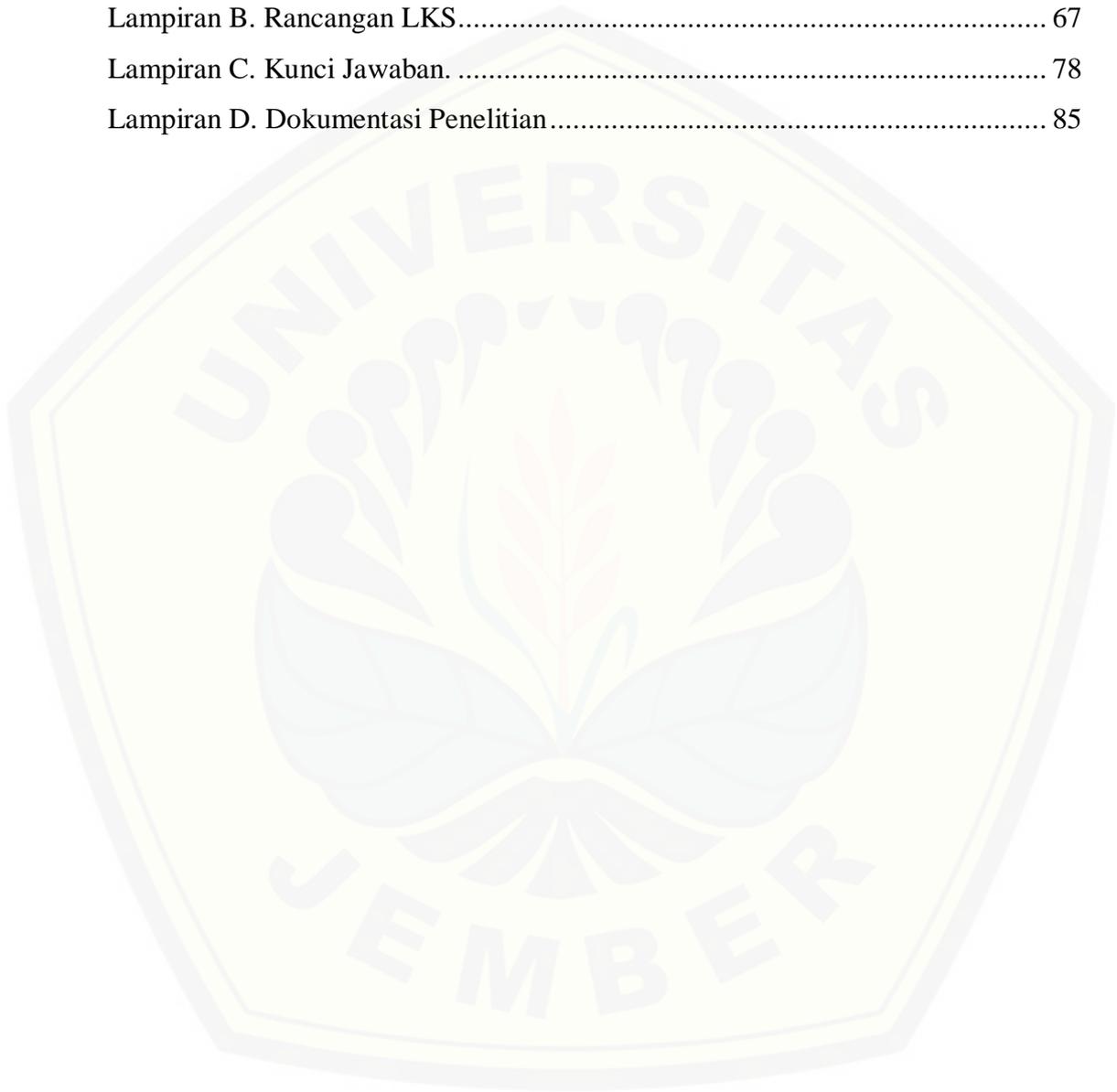
	Halaman
Tabel 2.1 Aspek Berfikir Kritis	13
Tabel 2.2 Pertanyaan-Pertanyaan yang Dapat Memacu Kemampuan Berfikir Kritis	14
Tabel 3.1 Analisis data.....	30
Tabel 4.1 Data pengukuran massa dan panjang kalibrasi	33
Tabel 4.2 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan	33
Tabel 4.3 Data pengukuran massa dan panjang kalibrasi	35
Tabel 4.4 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan	36
Tabel 4.5 Data pengukuran massa dan panjang kalibrasi	38
Tabel 4.6 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan	39
Tabel 4.7 Data pengukuran massa dan panjang kalibrasi	41
Tabel 4.8 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan	42
Tabel 4.9 Data pengukuran massa dan panjang kalibrasi	45
Tabel 4.10 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tumbukan 1 dimensi	18
Gambar 2.2 Tumbukan 2 dimensi	18
Gambar 2.3 Tumbukan tidak lenting	21
Gambar 2.4 Proses Tumbukan 2 dimensi	21
Gambar 3.1 Bagan alur Penelitian	31
Gambar 3.2 Peta konsep rancangan penyusunan LKS	28
Gambar 4.1 Video kejadian fisika tumbukan lenting sempurna satu dimensi	32
Gambar 4.2 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan.....	33
Gambar 4.3 Vide kejadian fisika tumbukan lenting sebagian satu dimensi.....	35
Gambar 4.4 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan.....	36
Gambar 4.5 Video kejadian fisika tumbukan tidak lenting satu dimensi	38
Gambar 4.6 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan.....	39
Gambar 4.7 Video kejadian fisika tumbukan bola billiard dengan pembatas	41
Gambar 4.8 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan.....	42
Gambar 4.9 Sketsa video tumbukan bola billiard dengan tembok	42
Gambar 4.10 Proyeksi momentum	44
Gambar 4.11 Video kejadian fisika tumbukan 2 dimensi keping hoki	45
Gambar 4.12 Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan.....	46
Gambar 4.13 Sketsa video tumbukan keping hoky	46
Gambar 4.14 Proyeksi momentum	48

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Matriks Penelitian	66
Lampiran B. Rancangan LKS.....	67
Lampiran C. Kunci Jawaban.	78
Lampiran D. Dokumentasi Penelitian.....	85



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fisika merupakan cabang dari ilmu pengetahuan alam (sains) yang mempelajari tentang alam dan gejalaanya. Fisika terbentuk melalui proses ilmiah yang meliputi kegiatan observasi, membuat hipotesis, melakukan eksperimen, evaluasi data berdasarkan sikap ilmiah, dan hasilnya dapat berbentuk produk ilmiah berupa konsep, hukum, dan teori yang berlaku secara universal (Trianto, 2010). Berdasarkan hal tersebut, pembelajaran fisika menuntut adanya kegiatan pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada hasil (produk), tetapi juga proses.

Pembelajaran fisika sebagai proses dan produk, memerlukan adanya fasilitas. Fasilitas ini pada umumnya meliputi sumber belajar, sarana dan prasarana penunjang, serta pemanfaatan teknologi. Menurut Farreira (dalam Catarina, 2015) melalui pemanfaatan teknologi proses pembelajaran menjadi hemat waktu, hemat biaya, bebas hambatan geografis, ekonomis, meningkatkan kualitas eksperimen, meningkatkan efektifitas pembelajaran dan meningkatkan keamanan.

Salah satu sumber belajar fisika, dapat diperoleh melalui peristiwa fisika dalam kehidupan sehari-hari maupun peristiwa fisika yang dikondisikan keadaannya agar diperoleh keadaan yang ideal untuk keperluan penelitian atau pembelajaran. Peristiwa fisika tersebut jika ditampilkan dalam bentuk video, maka video tersebut disebut sebagai video kejadian fisika. Menurut Prastowo (2011) ada beberapa manfaat penggunaan media video dalam pembelajaran, yaitu; (1) Memberikan pengalaman yang tak terduga kepada siswa; (2) Memperlihatkan kepada siswa secara nyata sesuatu yang pada awalnya tidak mungkin bisa dilihat; (3) Menganalisis perubahan peristiwa dalam periode waktu tertentu; (4) Memberikan pengalaman kepada siswa untuk merasakan suatu keadaan tertentu; (5) Menampilkan presentasi studi kasus tentang kehidupan sebenarnya yang dapat memicu diskusi peserta didik. Berdasarkan keterangan diatas, pembelajaran fisika

dengan memanfaatkan video kejadian fisika memungkinkan peneliti atau siswa untuk menggali konsep fisika melalui kegiatan analisis.

Penggalian konsep fisika melalui kegiatan analisis, dapat dilakukan dengan bantuan teknologi, misalnya *software*. Salah satu *software* berbasis analisis video kejadian fisika yang dapat digunakan adalah *Tracker*. *software Tracker* dapat didownload secara gratis pada halaman <http://physlets.org/tracker/> yang merupakan website resmi penyedia *software tracker*. *Sotware tracker* dapat digunakan untuk menganalisis video kejadian fisika khususnya yang menyangkut tentang gerak. *Sotware tracker* dalam beberapa penelitian dimanfaatkan diantaranya untuk membuktikan persamaan gerak harmonis sederhana, gerak jatuh bebas, gerak parabola dan lain-lain. Hal ini membuktikan bahwa *software tracker* sangat baik digunakan untuk membbatu menganalisis video kejadian fisika.

Hasil dari kegiatan analisis video kejadian fisika yang telah dilakukan oleh peneliti, dapat dikembangkan untuk dijadikan suatu rancangan bahan ajar tertentu untuk siswa. Melihat bahwa video yang digunakan adalah video kontekstual, maka bahan ajar ini merupakan bahan ajar kontekstual. Menurut Oktaviani dkk. (2017), penggunaan bahan ajar kontekstual dapat meningkatkan penguasaan konsep.

Penyusunan bahan ajar, dapat dirancang dan diarahkan pada suatu keterampilan tertentu. Salah satu keterampilan siswa yang dapat dikembangkan dalam mempelajari fisika adalah keterampilan berfikir kritis. Menurut Johnson (dalam Rofiah dkk., 2013), keterampilan berfikir kritis merupakan sebuah proses terorganisasi yang memungkinkan siswa untuk mengevaluasi bukti, asumsi, dan logika yang mendasari pemikiran orang lain. Keterampilan ini diperlukan untuk mempersiapkan siswa agar dapat memecahkan masalah dengan sikap dan alasan yang ilmiah.

Pengembangan kemampuan berfikir kritis siswa, dapat dilakukan salah satunya dengan cara menggunakan media pembelajaran berupa bahan ajar yang mendukung atau berorientasi pada kegiatan siswa untuk mengembangkan kemampuan berfikir kritisnya. Menurut Wahyuni (2011), keterampilan befikir

kritis tidak dapat berkembang dengan sendirinya seiring dengan perkembangan fisik, namun keterampilan berfikir kritis harus dilatih melalui pemberian stimulus yang menuntut seseorang untuk berfikir kritis. Kemampuan berfikir kritis dapat menopang prestasi belajar, peserta didik yang memiliki kemampuan berfikir kritis akan memiliki kemampuan untuk memecahkan masalah dengan baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Jaya (2012), menyatakan bahwa bahan ajar cetak konvensional, hanya memuat definisi dari konsep, kumpulan rumus-rumus, contoh soal, dan latihan soal. Materi yang disajikan dalam bahan ajar masih banyak yang bersifat abstrak, sehingga siswa kurang mampu menganalisisnya. Selain itu, materi yang disajikan dalam bahan ajar, masih jarang dikaitkan dengan pengamatan kejadian aktual di dunia nyata. Hal tersebut didukung dengan fakta lapangan bahwa dalam pembelajaran fisika melalui proses atau prosedur penggalian konsep secara langsung dengan memanfaatkan kejadian kontekstual masih sangat jarang diterapkan di sekolah menengah, penyajian pembelajaran fisika masih bersifat teoritis (Sutarto dan Indrwati, 2010). Berdasarkan hal di atas, maka dapat diasumsikan bahwa kemampuan berfikir kritis siswa masih kurang dilatih dengan baik dalam pembelajaran. Salah satu materi yang masih disajikan secara teoritis sehingga siswa kurang mampu menganalisisnya adalah materi momentum dan impuls.

Berdasarkan hasil wawancara dengan guru fisika di SMAN Arjasa, SMAN 4 Jember, dan SMAN Pakusari, bahan ajar pada materi momentum dan impuls belum menyajikan kegiatan proses atau prosedur penggalian konsep dengan memanfaatkan kejadian kontekstual, sehingga siswa kurang mampu menganalisis konsep momentum dan impuls berdasarkan kejadian momentum dan impuls di dunia nyata. Kekurangan ini, dapat memungkinkan kurang dimaksimalkannya kegiatan latihan berfikir kritis siswa, misalnya kegiatan interpretasi, analisis, inferensi, dan lainnya.

Berdasarkan hasil wawancara di SMAN Arjasa, SMAN 4 Jember, dan SMAN Pakusari, kemampuan berfikir kritis siswa pada materi momentum dan impuls selalu diupayakan oleh guru, namun penuangan indikator kemampuan berfikir kritis belum dikemas pada suatu bahan ajar tertentu. Melihat hal ini,

peneliti hendak melakukan analisis video kejadian fisika untuk merancang bahan ajar momentum dan impuls. Rancangan bahan ajar ini, berorientasi untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa, sehingga didalamnya memuat indikator berfikir kritis .

Kegiatan analisis video kejadian fisika pada materi momentum dan impuls dapat menggunakan bantuan *software tracker*. Hal ini karena materi momentum dan impuls adalah materi yang berkaitan dengan gerak. Momentum adalah ukuran kesukaran untuk mengubah keadaan gerak suatu benda, sedangkan impuls adalah besarnya perubahan momentum yang disebabkan oleh gaya yang terjadi pada waktu singkat. Kejadian kontekstual yang terkait materi momentum dan impuls dapat berupa peristiwa bertemunya dua buah benda, misalnya pada permainan mobil-mobilan yang bertabrakan, permainan bola billiard, permainan hoki, dan lainnya, kejadian tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan bantuan *software tracker*.

Berdasarkan hal-hal diatas, maka peneliti hendak melakukan penelitian analisis video kejadian fisika dengan menggunakan *software tracker* pada materi momentum dan impuls sebagai rancangan bahan ajar. Mengingat bahwa bahan ajar dapat diarahkan pada suatu keterampilan tertentu dan melihat bahwa keterampilan berfikir kritis sangat diperlukan oleh siswa, maka penulis hendak melakukan penelitian yang berjudul **“Analisis Video Kejadian Fisika dengan *Software Tracker* sebagai Rancangan Bahan Ajar Momentum dan Impuls untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa SMA Kelas X”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimanakah hasil dari analisis video kejadian fisika materi momentum dan impuls dengan menggunakan *software tracker*?
- b. Bagaimanakah rancangan bahan ajar materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa SMA berdasarkan hasil analisis video kejadian fisika dengan menggunakan *software tracker*?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis video kejadian fisika materi momentum dan impuls dengan menggunakan *software tracker*.
- b. Merancang bahan ajar materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa SMA kelas X berdasarkan hasil analisis video kejadian fisika dengan menggunakan *software tracker*.

1.4 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak antara lain:

- a. Bagi peneliti selanjutnya, dapat dijadikan acuan dalam mengembangkan bahan ajar fisika di SMA berdasarkan hasil analisis video kejadian fisika dengan bantuan *software tracker*.
- b. Bagi guru, hasil dari penelitian ini dapat dijadikan wacana dalam pembelajaran fisika di kelas.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Video Kejadian Fisika

Video adalah media digital yang menampilkan susunan atau urutan gambar-gambar dan memberikan ilusi, gambaran, serta fantasi pada gambar yang bergerak, video dapat dikatakan sebagai gabungan gambar-gambar mati yang dapat dilihat secara berurutan dalam suatu waktu dengan kecepatan tertentu, Agne dan Kellmer (dalam Munir, 2012). Menurut Daryanto (2013), Video merupakan sumber belajar non cetak yang kaya informasi dan dapat menyajikan gambar bergerak, video merupakan dimensi baru terhadap pembelajaran karena karakteristik teknologi video dapat menyajikan gambar bergerak disamping keterangan yang menyertainya. Apabila video berisikan suatu tayangan kejadian tentang peristiwa fisis maka video tersebut disebut sebagai video kejadian fisika.

Video kejadian fisika dapat dimanfaatkan sebagai bahan penelitian. Penelitian yang dilakukan Priono dan Suharno (2014) misalnya, yaitu memanfaatkan video kejadian fisika berupa balok yang meluncur dipermukaan bidang miring, video ini dimanfaatkan Priono dan Suharno sebagai salah satu bahan dalam penelitiannya untuk mengkaji koefisien gesek dengan menerapkan metode *tracking*. Penelitian lain dilakukan Kinchin (2016), yaitu memanfaatkan video kejadian fisika berupa suatu gerak bola yang digantung dengan tali, video ini dimanfaatkan Kinchin sebagai salah satu bahan dalam penelitiannya untuk membuktikan persamaan gerak harmonik sederhana dengan menggunakan bantuan *software tracker*.

Video tidak hanya dapat dimanfaatkan sebagai bahan penelitian, namun dapat dijadikan suatu medium yang efektif untuk membantu proses pembelajaran. Penelitian yang dilakukan Wardhany (2013) menyebutkan bahwa dengan menggunakan media video kejadian fisika, hasil belajar siswa mengalami perbedaan yang signifikan antara hasil belajar siswa sebelum dan setelah menggunakan media video kejadian fisika. Selain itu, aktivitas belajar siswa setelah menggunakan media video kejadian fisika lebih tinggi dari pada sebelum menggunakan media video kejadian fisika. Maka dapat disimpulkan bahwa

dengan menggunakan media video kejadian fisika dalam pembelajaran dapat meningkatkan hasil belajar maupun aktivitas siswa.

Rebert Hetersebutch dalam (Benny dan Katrin, 2010) mengemukakan beberapa kelebihan penggunaan media video dalam mengkomunikasikan informasi, diantaranya:

- a. Video dapat menampilkan gambar bergerak dan dapat memperlihatkan informasi yang mengandung unsur gerak.
- b. Video dapat menampilkan proses berlangsungnya objek yang diamati secara bertahap. Gerakan-gerakan secara bertahap ini dapat ditayangkan secara efektif melalui video.
- c. Video dapat menampilkan objek yang berbahaya jika langsung diamati oleh peneliti, maka penampilan objek dalam video dapat diobservasi secara aman.
- d. Video dapat digunakan untuk mempelajari suatu keterampilan atau kecakapan tertentu
- e. Video dapat digunakan sebagai media apersepsi
- f. Video dapat memberikan pengalaman yang sama terhadap siswa yang berada ditempat berbeda.

Langkah-langkah pemanfaatan video dalam merancang pembelajaran yaitu:

- a. Mengidentifikasi materi dan video yang ada serta peralatan yang dibutuhkan.
- b. Merancang topik-topik yang akan dituangkan dalam pembelajaran.
- c. Menyusun rancangan pembelajaran sebagai tindak lanjut dari pemanfaatan video. Seperti menentukan format dikusi, penelitian, format laporan, dan sebagainya (Warsita, 2008).

Mengingat banyaknya peristiwa dikehidupan nyata yang merupakan pengaplikasian fisika, maka kejadian fisika tersebut dapat dikemas dalam bentuk video. Video ini dapat dijadikan pembelajaran kontekstual melalui penayangan video kejadian fisika di dunia nyata. Menurut Yuliono (2014), penggunaan video dalam pembelajaran fisika dapat menggambarkan kejadian fisika secara real sehingga mudah difahami. Oleh sebab itu peneliti dalam penelitian ini, hendak memanfaatkan video kejadian fisika dari suatu peristiwa nyata yang terjadi.

2.2 Analisis Video Kejadian Fisika

Kegiatan analisis merupakan kegiatan menguraikan sebuah struktur kedalam komponen-komponen yang lebih terperinci untuk mengetahui pengorganisasian struktur tersebut. Kegiatan analisis bertujuan untuk memahami konsep dengan cara menguraikan atau memerinci suatu struktur. Kegiatan analisis dapat meliputi kegiatan mengidentifikasi langkah-langkah logis dalam proses berfikir untuk sampai pada sudut kesimpulan. Kegiatan operasional analisis dapat berupa: menguraikan, menggambarkan, merinci, menginterpretasi data, menjelaskan hubungan sebab-akibat, mendiagnosa pernyataan keterkaitan sebab dan akibat, mengklasifikasikan serangkaian informasi kedalam bagian-bagian yang terpisah, serta menyimpulkan informasi yang didapatkan (Harjasujana, 1987).

Analisis video kejadian fisika merupakan kegiatan analisis yang dilakukan pada suatu video kejadian fisika untuk memahami konsep yang terdapat pada video kejadian fisika tersebut. Beberapa contoh peneliti yang melakukan penelitian tentang analisis video kejadian fisika diantaranya: Kinchin (2016) menganalisis video gerak harmonis, Priono dan Suharno (2014) menganalisis video luncuran balok pada bidang miring, Sirisathikul (2013) menganalisis video bola yang dijatukan, dan Chanpichai dan Wattanakasiwich (2010) menganalisis video pada permainan basket. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa analisis video kejadian fisika, berguna untuk membuktikan konsep yang terdapat pada video kejadian fisika terhadap teori yang ada.

Kegiatan analisis video kejadian fisika oleh beberapa peneliti yang disebut diatas, mereka menggunakan suatu alat pembantu untuk mempermudah dalam kegiatan analisisnya, yaitu dengan menggunakan bantuan *software tracker*. Kegiatan analisis video kejadian fisika yang telah dilakukan dengan bantuan *software Tracker* dinilai berhasil untuk membantu peneliti dalam menganalisis video kejadian fisika yang diteliti. Berdasarkan keterangan diatas, dapat disimpulkan bahwa dengan menganalisis video kejadian fisika dengan bantuan *software* tertentu yang sesuai, peneliti dapat menemukan suatu konsep dari video kejadian fisika yang dianalisis sesuai dengan teori yang ada.

2.3 Software Tracker

Software tracker merupakan *software* yang dapat digunakan dalam penelitian dan pendidikan. *Software* ini dapat didownload secara gratis. *Software* ini dapat membaca kedudukan objek yang bergerak dari video yang diinput kedalam *software* tersebut. *Software* ini juga dapat digunakan untuk memperoleh data kecepatan dan percepatan disetiap kedudukan atau disetiap segmen demi segmen video. *Software tracker* memiliki fasilitas Pengkalibrasian, sehingga hasil ukur yang diperoleh akan sangat mendekati kenyataan (Ristanto, 2012). Mempelajari suatu fenomena dengan *software* ini akan menjadi mudah, karena dapat dilakukan dirumah dan hanya memerlukan peralatan yang sederhana, hal ini karena *software tracker* menyediakan pengukuran yang diperlukan. (Rodrigues dan Simeao, 2013).

Software tracker memiliki akurasi tinggi dan dapat digunakan untuk kegiatan belajar dan mengajar pada beberapa topik dalam fisika. Topik yang paling sesuai untuk *software* ini adalah yang berkaitan dengan kinematika dan fenomena gerak secara umum (Habibullah dan Madlazim, 2014). Fitiyanto dan Sucahyo (2016) dalam penelitiannya menyatakan bahwa berdasarkan hasil validasi dapat disimpulkan bahwa *software tracker* layak digunakan dengan predikat sangat baik untuk menganalisis video kinematika gerak.

Teknik analisis video melalui bantuan *software tracker* telah berhasil digunakan untuk menganalisis konsep fisika, misalnya penelitian yang dilakukan oleh Bryan (2010) tentang hukum kekekalan energi dengan judul “*Investigation the Conservation of Mechanical Energy Using Video Analysis*”, Eadkhong *et al* (2012) tentang dinamika rotasi dengan judul “*Rotational Dynamics with Tracker*”, dan Kinchin (2016) tentang persamaan gerak harmonis dengan judul “*Using Tracker to Prove the Simple Harmonic Motion Equation*”. Sedangkan dalam pembelajaran misalnya Habibullah dan Madlazim (2014), yaitu tentang konsep gerak jatuh bebas dengan judul “Penerapan Metode Analisis Video *Software Tracker* dalam Pembelajaran Fisika Konsep Gerak Jatuh Bebas untuk Meningkatkan Kemampuan Proses Siswa Kelas X SMAN 1 Sooko Mojokerto”

Berdasarkan keterangan diatas, dapat disimpulkan bahwa video kejadian fisika khususnya fenomena gerak, dapat dianalisis dengan sangat baik dengan bantuan *software tracker*. *Software tracker* dapat digunakan sebagai pembantu kegiatan analisis untuk kepentingan penelitian maupun pembelajaran. Peneliti dalam hal ini, menggunakan *software tracker* untuk menganalisis konsep fisika tentang momentum dan impuls.

2.4 Bahan Ajar

2.4.1 Bahan Ajar

Bahan ajar adalah seperangkat materi yang disusun secara sistematis yang memungkinkan kondisi siswa untuk belajar (Depdiknas, 2008). Menurut Gagne dkk (dalam Harijanto, 2007), bahan ajar memiliki arti penting yaitu membantu belajar secara perorangan, memberikan keleluasaan penyiapan pembelajaran jangka pendek maupun panjang. Rancangan bahan ajar yang sistematis memberikan pengaruh yang besar bagi perkembangan perorangan, mempermudah pengelolaan proses belajar mengajar secara sistematis, dan memudahkan belajar.

Bahan ajar dibagi menjadi dua yaitu bahan ajar cetak dan non cetak. Bahan ajar cetak merupakan bahan ajar yang disiapkan dalam kertas, bahan ajar cetak dapat berupa handout, buku, modul, lembar kerja siswa, brosur, leaflet, wallchart, dan gambar. Sedangkan bahan ajar non cetak misanya kaset, video dan CD interaktif (Prastowo, 2011).

Menurut Johnson (dalam Rofiah dkk., 2013), bahan ajar dapat diarahkan pada suatu keterampilan tertentu. Salah satu keterampilan siswa yang dapat dikembangkan dalam mempelajari fisika adalah keterampilan berfikir kritis. Oleh sebab itu, terdapat beberapa penelitian pengembangan bahan ajar yang berorientasi pada keterampilan berfikir kritis, misalnya yang dilakukan oleh Srimulyani (2017), yaitu dengan mengembangkan LKS berbasis inkuiri terbimbing untuk menumbuhkan kemampuan kemampuan berfikir kritis dan *self efficacy*, dan Setyarini (2017), yaitu mengembangkan LKS berbasis *scaffolding* pada pelajaran IPA (fisika) SMP untuk melatih kemampuan berfikir kritis.

2.4.2. Lembar Kerja Siswa

Salah satu bentuk dari bahan ajar cetak adalah lembar kerja siswa. Menurut Majid (2005), lembar kerja siswa adalah lembaran-lembaran yang berisi tugas yang harus dikerjakan oleh siswa. Sedangkan menurut Trianto (2010), lembar kerja siswa merupakan lembaran-lembaran yang berisi pedoman bagi siswa untuk melakukan kegiatan terprogram. Menurut Widjajanti (2008), lembar kerja siswa dapat dikembangkan dan dirancang sesuai dengan dengan kondisi dan situasi pembelajaran yang diinginkan guru. LKS dapat digunakan secara bersamaan atau terintegrasi dengan suatu sumber belajar atau media pembelajaran lainnya.

Tujuan penyusunan LKS menurut Prastowo (2011) diantaranya yaitu menyajikan bahan ajar yang memudahkan siswa berinteraksi dengan materi yang diberikan, menyajikan tugas-tugas yang dapat melatih kemampuan siswa dalam menguasai materi, melatih kemandirian siswa serta memudahkan guru dalam memberikan tugas kepada siswa. Sedangkan fungsi dari penggunaan LKS diantaranya adalah: LKS berperan sebagai bahan ajar yang dapat mengaktifkan siswa dan meminimalkan peran guru, LKS sebagai bahan ajar yang memuat materi secara ringkas, namun terdapat banyak tugas untuk siswa agar berlatih, LKS sebagai bahan ajar yang mempermudah siswa untuk memahami materi dan LKS sebagai bahan ajar untuk mempermudah guru dalam pengajaran (Prastowo (2011). Dengan demikian, LKS dapat disusun dan digunakan sebagai alternatif yang baik untuk melatih kemampuan berfikir kritis siswa.

Menurut prastowo (2011), terdapat 6 unsur pokok dalam LKS sebagai berikut:

- a. Judul, berupa beberapa frase yang mencerminkan garis besar materi yang termuat dalam LKS.
- b. Petunjuk belajar, berupa penjelasan tentang bagaimana mempelajari materi yang diajarkan dalam LKS.
- c. Kompetensi dasar, berupa kompetensi yang harus dicapai siswa
- d. Informasi pendukung, berupa informasi tambahan yang digunakan untuk mempelajari materi.

- e. Tugas/langkah kerja, berupa prosedur yang harus dilakukan siswa dalam mempelajari materi. Tugas yang diberikan siswa dapat berupa tugas teori ataupun praktek. Pada penugasan praktek ini dimungkinkan untuk dilakukan penilaian kinerja, Menurut Lesmono (2014), pembelajaran IPA berkaitan erat dengan kegiatan melaksanakan tugas, misalnya berupa tugas observasi, pengukuran, praktikum, analisis data, dan sebagainya. Keterampilan dalam melaksanakan tugas, dapat dinilai melalui penilaian kinerja (*performance assessment*). Langkah kerja dalam LKS, dapat berupa prosedur atau petunjuk dalam melaksanakan kegiatan praktikum yang diwujudkan dalam bentuk petunjuk praktikum. Menurut Lesmono (2012), petunjuk praktikum merupakan pedoman bagi siswa untuk melaksanakan pengujian secara nyata sesuatu yang diperoleh dari teori.
- f. Penilaian, berupa sejumlah pertanyaan yang digunakan untuk mengetahui tingkat penguasaan materi siswa.

Ibrahim dalam Trianto (2010), menyebutkan bahwa pembuatan LKS harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu:

- a. Persyaratan didaktik, lembar kerja siswa yang dibuat harus didasarkan pada asas-asas pembelajaran efektif, misalnya memberi proses untuk menemukan konsep atau petunjuk mencari tahu. LKS disusun sedemikian rupa sehingga LKS dapat bersifat universal, yaitu dapat digunakan dengan baik oleh siswa yang memiliki tingkat kecerdasan berbeda-beda. LKS hendaknya disusun dengan mempertimbangkan perkembangan komunikasi sosial, emosional, moral, dan estetika
- b. Persyaratan konstruksi, lembar kerja siswa yang dibuat harus menggunakan bahasa yang mudah untuk difahami, menggunakan kalimat sederhana dan jelas.
- c. Persyaratan teknis, pembuatan lembar kerja siswa harus memuat tulisan, gambar, dan tampilan.

Menurut prastowo (2011), dalam penyusunan materi LKS, harus memperhatikan hal-hal berikut:

- a. Materi LKS harus mengacu pada kompetensi dasar.

- b. Materi LKS dapat diambil dari berbagai referensi, misalnya: buku, majalah, internet, dan jurnal.
- c. LKS disertai dengan referensi yang digunakan agar siswa dapat mengembangkan kemampuannya lebih dalam tentang materi.
- d. Tugas harus ditulis dengan jelas sehingga tidak menimbulkan kebingungan atau pertanyaan-pertanyaan dari siswa.

Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa LKS merupakan bahan ajar cetak yang dapat diintegrasikan dengan sumber belajar yang lain. LKS memuat materi dan tugas-tugas yang bersifat teoritis dan praktis untuk latihan siswa. LKS dapat disusun untuk mengembangkan kemampuan keterampilan berfikir kritis siswa.

2.5 Kemampuan Berfikir Kritis

Kemampuan berfikir kritis dapat diukur dengan tes atau instrument yang dikembangkan melalui indikator berfikir kritis. Instrument berfikir kritis dapat bertujuan untuk mengukur satu atau lebih aspek dalam berfikir kritis (Ennis, 2011). Pembelajaran fisika akan lebih berkualitas jika mampu memenuhi kriteria berfikir kritis, hal ini karena berfikir kritis merupakan salah satu jenis dari kegiatan berfikir tingkat tinggi. Pada penelitian ini menggunakan indikator berfikir kritis yang dikemukakan oleh facione sebagai berikut:

Tabel 2.1. Aspek Berfikir Kritis Menurut Facione (2015)

Keterampilan	Deskripsi	Sub Keterampilan
Interpretasi	Kemampuan untuk memahami dan mengekspresikan makna dari pengalaman, situasi, data, peristiwa, penilaian, kaidah-kaidah, aturan, prosedur dan kriteria	- Mengelompokkan - <i>Decoding</i> - <i>significance</i>
Analisis	Kemampuan untuk mengidentifikasi hubungan inferensial antara pernyataan, pertanyaan, konsep, deskripsi, atau bentuk lain dari representasi untuk mengungkapkan keyakinan, penilaian, pengalaman, alasan, informasi dan opini.	- Klarifikasi makna - Menguji ide-ide - Mengenali argumen - Mengenali alasan dan pernyataan
Evaluasi	Kemampuan untuk menilai kredibilitas pernyataan atau representasi lain tentang persepsi seseorang, pengalaman, situasi, penilaian, keyakinan, pendapat dan untuk	- Menilai kredibilitas pernyataan - Menilai kualitas argumen melalui

Inferensi	menilai kelogisan hubungan inferensial antara pernyataan, deskripsi, pertanyaan, atau bentuk-bentuk lain dari representasi Kemampuan untuk mengidentifikasi dan menentukan elemen yang diperlukan untuk menarik kesimpulan yang logis, membentuk dugaan dan hipotesis, mempertimbangkan informasi yang relevan dan menentukan konsekuensi dari laporan data, prinsip, bukti, penilaian atau bentuk-bentuk representasi	penalaran induktif dan deduktif - Menanyakan bukti - Membuat kesimpulan - Menggunakan penalaran induktif dan deduktif
Eksplanasi	Kemampuan untuk menjelaskan secara meyakinkan dan koheren tentang hasil penalaran. Gambaran yang dijelaskan harus terlihat penuh dan melalui proses penalaran berdasarkan bukti konseptual, pertimbangan metodologis, kriteria, dan konteks, serta menyajikan penalaran dalam bentuk argumen yang meyakinkan.	- Menyatakan hasil - Menilai prosedur - Menyajikan argumen
<i>Self-regulation</i>	Kesadaran diri untuk melihat kegiatan kognitif seseorang, elemen yang digunakan dan hasilnya, khususnya dengan menerapkan keterampilan analisis, dan evaluasi untuk menilai kesimpulan dengan maksud untuk mempertanyakan, mengkonfirmasi, memvalidasi atau mengoreksi penalaran	- Monitoring diri - Menilai diri sendiri

(Facione, 2015)

Peningkatan kemampuan berfikir kritis dapat dipacu melalui pemberian kegiatan atau pertanyaan-pertanyaan berdasarkan indikator berfikir kritis. Kegiatan atau Pertanyaan yang diberikan pada siswa, memuat kegiatan atau pertanyaan-pertanyaan yang membuat siswa dapat menggunakan kemampuan berfikir kritisnya. Pertanyaan-pertanyaan yang dapat memacu kemampuan berfikir kritis menurut Facione (2015) adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Pertanyaan-Pertanyaan yang Dapat Memacu Kemampuan Berfikir Kritis

Pertanyaan yang Dapat Memacu Kemampuan Berfikir Kritis	
Interpretasi	<ol style="list-style-type: none"> Apakah arti dalam hal ini? Apa yang terjadi? Bagaimanakah yang harus kita fahami? Apakah cara yang terbaik untuk mengklasifikasikan hal ini? Bagaimana kita dapat memakai hal ini?
Analisis	<ol style="list-style-type: none"> Ceritakan kembali alasan-alasan yang mendasari pernyataan tersebut? Apakah kesimpulan dari hal ini?

	<ul style="list-style-type: none"> c. Apakah yang harus kita lakukan terhadap kesimpulan tersebut? d. Apakah dasar anda mengatakan hal itu?
Evaluasi	<ul style="list-style-type: none"> a. Apakah pernyataan tersebut terpercaya? b. Apakah pendapat tersebut kuat? c. Apakah kita percaya dengan pendapat orang lain? d. Apakah kita memiliki fakta-fakta yang benar? e. Apakah temuan-temuan atau hasil khusus dari penelitian ini?
Inferensi	<ul style="list-style-type: none"> a. Berdasarkan yang telah kita ketahui, buatlah deskripsi terhadap hal ini? b. Apakah yang tersirat dari inti pernyataan ini? c. Jika kita meninggalkan atau menerima asumsi itu, apakah hal ini berubah? d. Informasi tambahan apa yang kita perlukan untuk menegatifkan pertanyaan ini? e. Jika kita percaya hal ini, apa yang tersirat dari mereka bagi kita untuk maju? f. Apa konsekuensi dari melakukan hal-hal dengan cara itu? g. Adakah beberapa alternatif yang belum kita teliti?? Mari pertimbangkan setiap pilihan dan mengetahui kemana hal ini membawa kita?
Eksplanasi	<ul style="list-style-type: none"> a. Bagaimanakah anda melakukan analisis itu? b. Bagaimanakah anda menjelaskan tentang hubungan itu? c. Bagaimanakah anda menjelaskan mengapa keputusan itu dibuat? d. Apakah kita percaya terhadap kesimpulan kita, dengan apa yang kita ketahui sekarang? e. Bagaimana dasar anda terhadap kesimpulan ini
<i>Self-Regulation</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Saya menemukan beberapa dari keputusan kita sedikit membingungkan, dapatkah kita merevisi apa yang kita maksud dengan ha-hal tertentu sebelum membuat keputusan-keputusan itu? b. Apakah bukti kuat? c. Apakah metodologi kita tepat, apakah kita tetap mengikutinya? d. Sebelum kita lakukan, apakah kita melupakan sesuatu? e. Apakah ada suatu cara bagi kita untuk mencocokkan dua kesimpulan yang tampaknya bertentangan ini? f. Kedudukan kita pada masalah ini masih terlalu samar, dapatkah kita memperjelasnya?

(Facione, 2015)

Pada beberapa penelitian sebelumnya, terdapat peneliti yang mengambil 4 indikator dari 6 indikator berfikir kritis Facione dalam penelitiannya. Misalnya penelitian yang dilakukan oleh Karim dan Normaya (2015) dan Wahyuni (2015) menggunakan 4 indikator berfikir kritis Facione yaitu interpretasi, analisis, evaluasi dan inferensi. Berdasarkan hal tersebut, maka peneliti dalam penelitian ini akan menyusun rancangan bahan ajar untuk meningkatkan kemampuan

berfikir kritis siswa. Indikator berfikir kritis yang digunakan adalah indikator berfikir kritis Facione (2015) yaitu interpretasi, analisis, evaluasi dan inferensi.

2.6 Momentum dan Impuls

Momentum adalah ukuran kesukaran untuk mengubah keadaan gerak suatu benda. Setiap benda yang bergerak pasti memiliki momentum. Besar momentum tergantung pada besar massa dan kecepatan. Secara matematis dirumuskan:

$$\vec{p} = m \vec{v} \quad (2.1)$$

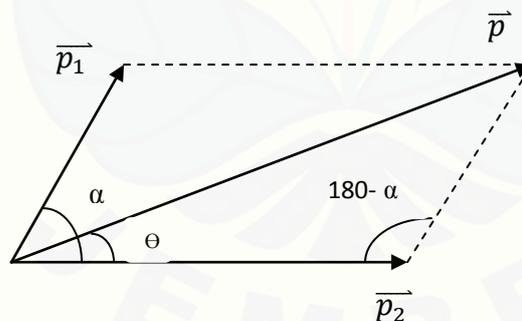
Keterangan:

\vec{p} = Momentum ($Kg \cdot m/s$)

\vec{v} = kecepatan (m/s)

m = massa benda (Kg)

Momentum adalah besaran vektor dengan arahnya adalah arah vektor kecepatan, karena jika diperhatikan massa adalah besaran skalar dan kecepatan adalah besaran vektor, berarti momentum merupakan besaran vektor. Misalnya, apabila ada dua buah vektor momentum \vec{p}_1 dan \vec{p}_2 membentuk sudut α , maka kedua vektor momentum tersebut harus dijumlahkan secara vektor seperti gambar dibawah:



Besar vektor resultan momentum secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\vec{p} = \sqrt{\vec{p}_1^2 + \vec{p}_2^2 + 2\vec{p}_1 \vec{p}_2 \cos \alpha}$$

Sedangkan arah vektor resultan momentum secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\vec{p}}{\sin (180 - \theta)} = \frac{\vec{p}_1}{\sin \alpha}$$

$$\sin \alpha = \frac{\overline{p_1}}{\overline{p}} \sin (180 - \theta)$$

Impuls (I) adalah besarnya perubahan momentum yang disebabkan oleh gaya yang terjadi pada waktu singkat. Impuls termasuk besaran vektor yang arahnya sama dengan arah gaya. Impuls menyebabkan terjadinya perubahan momentum dengan besar dan arahnya sama dengan besar dan arah impuls. Momentum dan impuls dalam pembelajaran di sekolah, merupakan pembahasan yang dijadikan satu kesatuan karena momentum dan impuls memiliki satuan yang sama. Momentum dan impuls memiliki satuan internasional yang sama atau dimensi yang sama yaitu $[M][L][T]^{-1}$.

Menurut Surya (2009), Melakukan pengukuran impuls secara langsung adalah sangat sulit. Untuk mengukur impuls pada kejadian bola kasti yang menumbuk tembok, perlu mengukur gaya rata-rata yang diberikan bola pada tembok dan lamanya waktu kontak bola dengan tembok. Hal ini sulit dilakukan karena gaya yang bekerja pada tembok sangat bervariasi, selain itu lama waktu kontak bola dengan tembok terlalu singkat. Meskipun demikian, terdapat cara lain yang dapat mempermudah pengukuran impuls, yaitu dengan bantuan momentum seperti yang akan dijelaskan dibawah.

Jika sebuah benda bermassa m didorong dengan gaya sebesar F yang berlangsung dalam selang waktu Δt maka akan mengubah kecepatan benda dari $\overline{v_1}$ menjadi $\overline{v_2}$, menurut hukum II Newton:

$$\vec{F} = m \vec{a} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \frac{\overline{v_2} - \overline{v_1}}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Selanjutnya Δt dikalikan dengan gaya (F) sehingga diperoleh hubungan:

$$\begin{aligned} \vec{F} \Delta t &= m \overline{v_2} - m \overline{v_1} \\ \vec{F} \Delta t &= m (\overline{v_2} - \overline{v_1}) \\ I &= \overline{p_2} - \overline{p_1} \\ I &= \Delta \vec{p} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan diatas, impuls dapat dihitung hanya dengan mengukur perubahan momentum benda yang mengalami impuls karena impuls sama dengan perubahan momentum benda.

a. Hukum Kekekalan Momentum

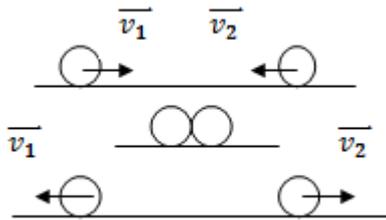
Peristiwa tumbukan antara dua buah benda yang tidak melibatkan gaya luar (gaya gesekan) berlaku hukum kekekalan momentum yang berbunyi “jumlah momentum benda sebelum dan sesudah bertumbukan selalu sama “ (Tipler, 1998). Pada saat bertumbukan keadaan benda A dan benda B akan menempel selama Δt . Berdasarkan hukum III Newton yaitu $F_{aksi} = F_{reaksi}$.

$$\begin{aligned}
 F_{AB} &= -F_{BA} \\
 F_{AB} \Delta t &= -F_{BA} \Delta t \\
 m_A \vec{v}'_A - m_A \vec{v}_A &= - (m_B \vec{v}'_B - m_B \vec{v}_B) \\
 m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B &= m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B \\
 \vec{p}'_A + \vec{p}'_B &= \vec{p}_A + \vec{p}_B \\
 \Sigma \vec{p}' &= \Sigma \vec{p}
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

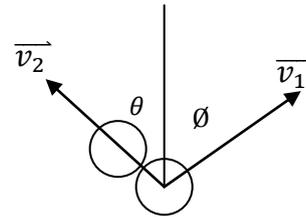
b. Macam-macam Tumbukan

Peristiwa tumbukan dua buah benda berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi. Berdasarkan ada atau tidaknya sudut yang terbentuk saat benda bertumbukan, tumbukan dibagi menjadi dua yaitu tumbukan 1 dimensi dan tumbukan 2 dimensi. Tumbukan 1 dimensi adalah tumbukan yang terjadi pada arah satu dimensi, sedangkan tumbukan 2 dimensi adalah tumbukan yang menghasikan gerak pada arah dua dimensi dan akan menghasikan sudut antara 0° sampai 180° (Luder, 2017).

Pada kasus tumbukan 2 dimensi, harus dipertimbangkan momentum sebagai besaran vektor untuk mengetahui keberlakuan hukum kekekalan momentum, sehingga kita memperhatikan proyeksi pada arah sumbu x dan y . Kecepatan dalam kasus tumbukan juga merupakan besaran vektor, maka dalam menghitung nilai koefisien restitusi juga memperhatikan proyeksi pada arah sumbu x dan y . Perbedaan antara tumbukan 1 dimensi dan 2 dimensi dapat digambarkan seperti dibawah ini.



Gambar 2.1 Tumbukan 1 dimensi dimensi



Gambar 2.2 Tumbukan 2 dimensi

Pada tinjauan tumbukan 1 dimensi, jika gaya luar tidak terjadi, maka berlaku hukum kekekalan momentum. Berdasarkan hukum kekekalan momentum diperoleh:

$$m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B = m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B$$

$$m_A (\vec{v}_A - \vec{v}'_A) = -m_B (\vec{v}_B - \vec{v}'_B) \tag{2.5}$$

Pada peristiwa tumbukan akan selalu terpenuhi $E_k \geq E_{k'}$. yaitu energi kinetik sebelum tumbukan selalu lebih besar atau sama dengan energi kinetik setelah tumbukan. Maka secara matematis dapat ditulis:

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 \geq \frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2$$

$$m_A (v_A^2 - v_A'^2) \geq -m_B (v_B^2 - v_B'^2) \tag{2.6}$$

Jika persamaan (5) dibagi dengan persamaan (3) diperoleh:

$$\frac{m_A (v_A^2 - v_A'^2)}{m_A (v_A - v_A')} \geq -\frac{m_B (v_B^2 - v_B'^2)}{m_B (v_B - v_B')}$$

$$v_A + v_A' \geq v_B + v_B'$$

$$v_A - v_B \geq -(v_A' - v_B')$$

$$e \leq \frac{-(v_A' - v_B')}{v_A - v_B} \tag{2.7}$$

Persamaan diatas disebut koefisien restitusi (e), yaitu Perbandingan perubahan kecepatan benda sesudah bertumbukan dan sebelum bertumbukan. koefisien resitusi tidak memiliki satuan dan nilainya dari 0 s/d 1. Harga v yang dimasukkan pada persamaan diatas harus memperhatikan arah v (Abdullah, 2016).

Kejadian tumbukan pada suatu benda, memiliki sifat kelentingan atau elastisitas tertentu. Hal ini akan mempengaruhi energi kinetik benda setelah

bertumbukan. Jika terjadi perubahan energi kinetik, maka artinya sebagian energi kinetik berubah menjadi energi panas atau bunyi saat peristiwa tumbukan terjadi. Berdasarkan hal tersebut, terdapat 3 macam tumbukan yaitu:

1) Tumbukan Lenting Sempurna

Pada peristiwa tumbukan ini tidak terdapat perubahan energi, maka berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik, sama seperti contoh tinjauan tumbukan 1 dimensi yang telah dijelaskan diatas, hanya saja nilai koefisien restitusi $e = 1$. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$m_A \overrightarrow{v'_A} + m_B \overrightarrow{v'_B} = m_A \overrightarrow{v_A} + m_B \overrightarrow{v_B}, \text{ dan}$$

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v'_A{}^2 + \frac{1}{2} m_B v'_B{}^2$$

Nilai koefisien restitusi pada tumbukan lenting sempurna berlaku:

$$\begin{aligned} v_A - v_B &= -(v'_A - v'_B) \\ \frac{-(v'_A - v'_B)}{v_A - v_B} &= 1 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Pada sejumlah kejadian tumbukan, setidaknya ada sejumlah energi kinetik yang hilang. Dengan demikian sebenarnya tumbukan tersebut tidak elastis. Berdasarkan hal tersebut, kita dapat *mengaproksimasikan* tumbukan tersebut adalah elastis dengan memilih untuk mengabaikan sejumlah kecil energi kinetik yang hilang (Halliday *et al.*, 2010).

2) Tumbukan Lenting Sebagian

Pada peristiwa tumbukan ini dengan terdapat perubahan energi kinetik, maka $E_k \neq E'_k$. Energi kinetik benda berkurang selama tumbukan sehingga hukum kekekalan energi kinetik tidak berlaku. Energi kinetik yang hilang saat terjadi tumbukan secara matematis dapat ditulis:

$$\Delta E_k = \left(\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_A v'_A{}^2 + \frac{1}{2} m_B v'_B{}^2 \right) \quad (2.9)$$

Pada peristiwa tumbukan ini, memberikan arti bahwa kecepatan benda sebelum bertumbukan lebih besar dari pada kecepatan benda setelah bertumbukan, sehingga koefisien restitusi berkisar ($0 < e < 1$).

3) Tumbukan tidak lenting

Tumbukan tidak lenting dengan nilai $e = 0$. Setelah tumbukan, kedua buah benda menyatu dan bergerak bersama-sama dengan kecepatan dan arah yang sama, dalam tumbukan ini tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik (Giancoli, 2001). Tumbukan ini dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2.3 Tumbukan tidak lenting

$$e = \frac{-(v'_A - v'_B)}{v_A - v_B}, \text{ karena } v_A = v_B$$

$$0 = -(v'_A - v'_B)$$

$$v'_A = v'_B$$

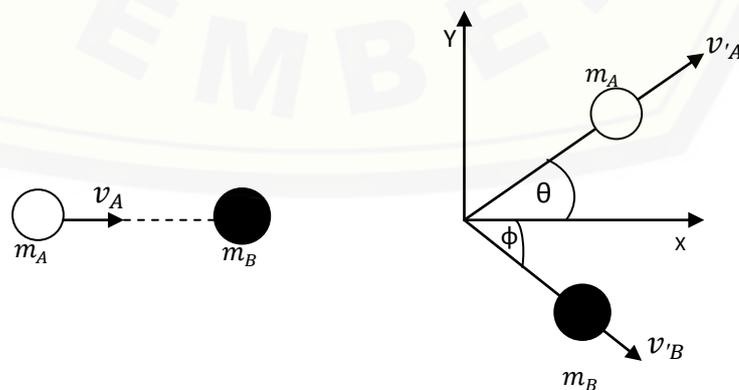
Energi kinetik yang hilang saat terjadi tumbukan secara matematis dapat ditulis:

$$\Delta E_k = \left(\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_A v'_A{}^2 + \frac{1}{2} m_B v'_B{}^2 \right), \quad (2.10)$$

$$\text{dengan } v'_A = v'_B$$

c. Tumbukan 2 Dimensi

Dalam penyelesaian persoalan tumbukan 2 dimensi dapat menggunakan persamaan-persamaan tumbukan 1 dimensi dengan memproyeksikan kecepatan-kecepatan benda pada pada garis satu dimensi atau tegak lurus garis satu dimensi. Misalnya suatu benda yang bertumbukan seperti yang digambarkan diawah ini:



Gambar 2.4 Proses Tumbukan 2 dimensi

Pada peristiwa tumbukan antara dua benda berlaku hukum kekekalan momentum:

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B$$

Karena kecepatan awal benda B adalah 0 maka:

$$m_A \vec{v}_A = m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B \quad (2.11)$$

Setelah bertumbukan, benda A terpental dengan sudut θ terhadap sumbu x , sedangkan benda B terpental dengan sudut \emptyset terhadap sumbu x . Hukum kekekalan momentum kedua benda tersebut diuraikan dalam komponen sumbu x , maka:

$$m_A \vec{v}_A = m_A \vec{v}'_A \cos \theta + m_B \vec{v}'_B \cos \emptyset \quad (2.12)$$

dan pada sumbu y yaitu:

$$m_A \vec{v}'_A \sin \theta = +m_B \vec{v}'_B \sin \emptyset \quad (2.13)$$

Dengan mengkuadratkan persamaan (2.12), maka menjadi:

$$m_A^2 v_A^2 - 2m_A^2 v_A v'_A \cos \theta + m_A^2 v'^2_A \cos^2 \theta = m_B^2 v'^2_B \cos^2 \emptyset \quad (2.14)$$

Sedangkan kuadrat dari persamaan (2.13) yaitu:

$$m_A^2 v'^2_A \sin^2 \theta = m_B^2 v'^2_B \sin^2 \emptyset \quad (2.15)$$

Setelah itu persamaan (2.14) dan persamaan (2.15) dijumlahkan menjadi:

$$m_A^2 v_A^2 - 2m_A^2 v_A v'_A \cos \theta + m_A^2 v'^2_A (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = m_B^2 v'^2_B (\cos^2 \emptyset + \sin^2 \emptyset) \quad (2.16)$$

Persamaan (2.16) dapat disederhanakan menjadi:

$$m_A^2 v_A^2 - 2m_A^2 v_A v'_A \cos \theta + m_A^2 v'^2_A = m_B^2 v'^2_B \quad (2.17)$$

Jika persamaan (2.17) dibagi dengan m_A^2 maka menghasilkan:

$$v_A^2 - 2v_A v'_A \cos \theta + v'^2_A = \frac{m_B^2}{m_A^2} v'^2_B \quad (2.18)$$

Pada tumbukan elastik berlaku hukum kekekalan energi kinetik, yaitu:

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_A v'^2_A + \frac{1}{2} m_B v'^2_B \quad (2.19)$$

Dari persamaan (2.19) maka dihasilkan:

$$v'^2_B = \frac{m_A}{m_B} (v_A^2 - v'^2_A) \quad (2.20)$$

Jika persamaan (2.20) disubstitusikan ke persamaan (2.18), sehingga didapatkan

persamaan kuadrat dalam bentuk $\frac{v'_A}{v_A}$ yaitu:

$$\left(\frac{m_A + m_B}{m_A}\right)\left(\frac{v'_A}{v_A}\right)^2 - 2 \cos \theta \left(\frac{v'_A}{v_A}\right) + \left(\frac{m_A - m_B}{m_A}\right) = 0 \quad (2.21)$$

Akar-akar persamaan (2.21) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus ABC, dan diperoleh solusi yaitu:

$$\left(\frac{v'_A}{v_A}\right) = \left(\frac{m_A}{m_A + m_B}\right) \left[\cos \theta \pm \sqrt{\cos^2 \theta - \left(\frac{m_A^2 - m_B^2}{m_A^2}\right)} \right] \quad (2.22)$$

Berdasarkan persamaan (2.22), dapat ditinjau beberapa kasus, yaitu pada saat $m_A > m_B$, $m_A = m_B$, dan $m_A < m_B$ dengan keterangan sebagai berikut:

1) Pada saat $m_A > m_B$

Pada saat $m_A > m_B$, v'_A bernilai real dan besaran yang terdapat di dalam tanda akar harus bernilai positif, yaitu:

$$\cos^2 \theta \geq \frac{m_A^2 - m_B^2}{m_A^2} \quad (2.23)$$

Besaran yang terdapat dalam tanda akar bernilai 0 (minimum), misalnya untuk $\theta = \theta_m$, maka menurut persamaan (2.23) menjadi:

$$\cos^2 \theta_m = \frac{m_A^2 - m_B^2}{m_A^2} = 1 - \left(\frac{m_B}{m_A}\right)^2, 0 \leq \theta_m \leq \frac{\pi}{2} \quad (2.24)$$

Dengan menggunakan identitas $\cos^2 \theta_m + \sin^2 \theta_m = 1$, diperoleh:

$$\sin \theta_m = \frac{m_B}{m_A} \quad (2.25)$$

Sudut hambur θ harus lebih kecil dari θ_m , karena jika $\theta > \theta_m$ dan $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$, besaran yang terdapat dalam tanda akar akan bernilai negatif. Jadi θ_m merepresentasikan sudut maksimum θ_{maks} :

$$\theta \leq \theta_{maks} \text{ dan } 0 \leq \theta_{maks} \leq \frac{\pi}{2} \quad (2.26)$$

2) Pada saat $m_A = m_B$

Pada saat $m_A = m_B$, apabila persamaan (2.12) dikalikan dengan $\cos \theta$ dan persamaan (2.19) dikalikan dengan $\sin \theta$ dan kemudian dijumlahkan, diperoleh:

$$v_A \cos \theta = v'_A + v'_B \cos (\theta + \emptyset) \quad (2.27)$$

Karena $m_A = m_B$, berdasarkan persamaan (2.21) maka diperoleh:

$$v'_A = v_A \cos \theta \quad (2.28)$$

Kemudian dari persamaan (2.25) dan (2.24) diperoleh:

$$\cos (\theta + \emptyset) = 0 \text{ atau } (\theta + \emptyset) = \frac{\pi}{2} \quad (2.29)$$

3) Pada saat $m_A < m_B$

Pada saat $m_A < m_B$ nilai sudut hambur berharga 0 sampai π . Pada peristiwa θ lebih besar dari $\frac{\pi}{2}$, dinamakan *back-scattering* (Supeno, 2010).



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian analisis deskriptif. Metode analisis deskriptif adalah suatu metode yang digunakan untuk mendeskripsikan atau memberi gambaran terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul sebagaimana adanya dengan melakukan analisis dan membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Penelitian ini berupa analisis terhadap video kejadian fisika yang terkait dengan materi momentum dan impuls.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Terdapat 5 video kejadian fisika yang dianalisis oleh peneliti. Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan dilaboratorium fisika. Waktu pelaksanaan penelitian ini adalah pada semester genap tahun ajaran 2017/2018.

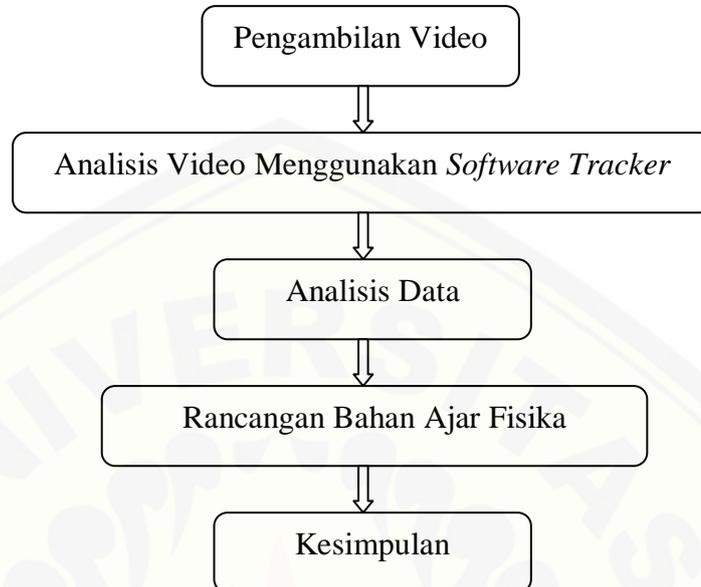
3.3 Definisi Operasional Variable

Untuk menghindari kesalahan dalam mendefinisikan variable dalam penelitian ini, maka terdapat beberapa istilah yang perlu didefinisikan:

- a. Analisis video kejadian fisika dengan *software tracker* adalah kegiatan menganalisis video kejadian fisika yang berkaitan dengan materi momentum dan impuls dengan memanfaatkan bantuan *software tracker* dalam penganalisisannya.
- b. Rancangan bahan ajar momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa SMA kelas X adalah sebuah rancangan bahan ajar materi momentum dan impuls yang pada beberapa bagiannya didasarkan pada hasil analisis video kejadian fisika yang telah dianalisis peneliti, LKS ini mewadahi indikator berfikir kritis yang dikemukakan oleh Facione 2015. Indikator berfikir kritis yang akan dimuat dalam rancangan bahan ajar ini yaitu interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi.

3.4 Alur Penelitian

Penelitian ini memiliki alur penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.1 Bagan alur Penelitian

Keterangan tiap tahap alur penelitian diatas adalah sebagai berikut:

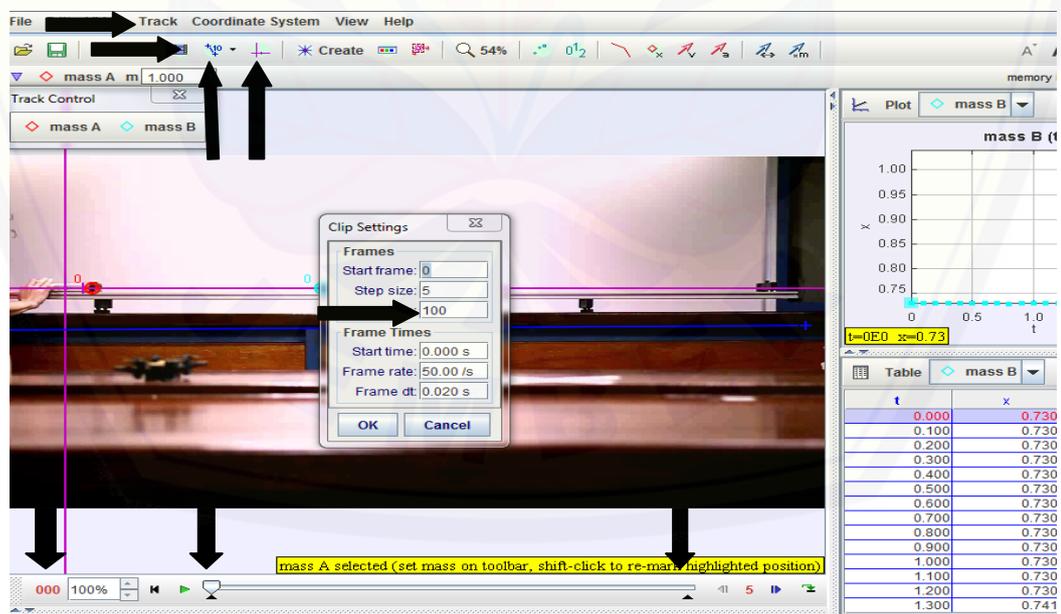
- a. Pengambilan video, pada tahap ini dilakukan pengambilan video kejadian fisika yang terkait materi momentum dan impuls. Video yang akan digunakan harus sudah tercatat nilai massa objek dan panjang salah satu peralatan yang termuat dalam video sesuai panjang peristiwa nyatanya. Nilai panjang ini diperlukan untuk kepentingan pengkalibrasian video dengan peristiwa dalam dunia nyata.
- b. Analisis video menggunakan *software tracker*, pada tahap ini dilakukan analisis peristiwa yang terjadi pada video dan nilai kecepatan sesaat sebelum bertumbukan dan nilai sesaat setelah bertumbukan dengan menggunakan *software tracker*.
- c. Analisis data, pada tahap ini dilakukan analisis data yang telah diperoleh dan dilakukan pembahasan hasil kemudian dibandingkan dengan teori.
- d. Rancangan bahan ajar, pada tahap ini dilakukan perancangan bahan ajar untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa SMA kelas X sesuai hasil analisis data.

- e. Kesimpulan, yaitu membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan.

3.5 Teknik Pengambilan Data

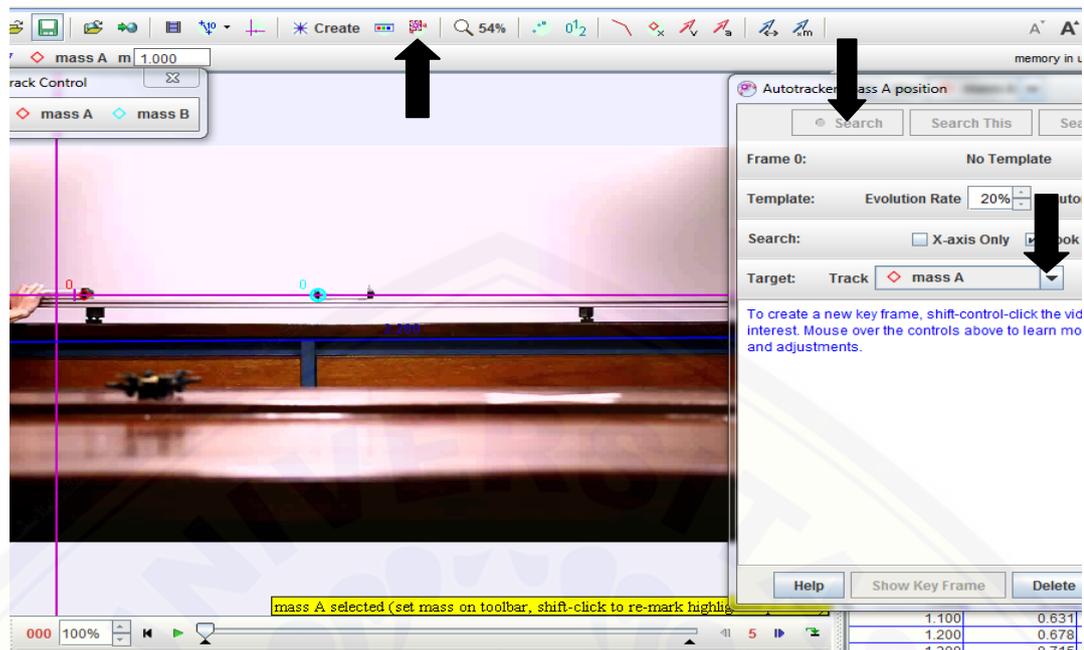
Teknik pengambilan data pada video kejadian fisika terbagi menjadi dua yaitu data yang diperoleh sebelum menggunakan *software tracker* dan data yang diperoleh saat menggunakan *software tracker*. Data yang diperoleh sebelum menggunakan *software tracker* adalah massa objek, panjang alat yang digunakan untuk pengkalibrasian dan besar sudut. Massa objek, panjang alat yang digunakan untuk pengkalibrasian dan besar sudut sudah harus sudah diketahui terlebih dahulu oleh peneliti sebelum menggunakan *software tracker*. Sedangkan data yang diperoleh saat menggunakan *software tracker* adalah besar kecepatan. Langkah-langkah dalam menggunakan *software tracker* adalah sebagai berikut:

1. Menjalankan *Software tracker* yang telah terinstal. Layar akan terlihat seperti gambar dibawah ini. Untuk langkah 2 – 10 dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



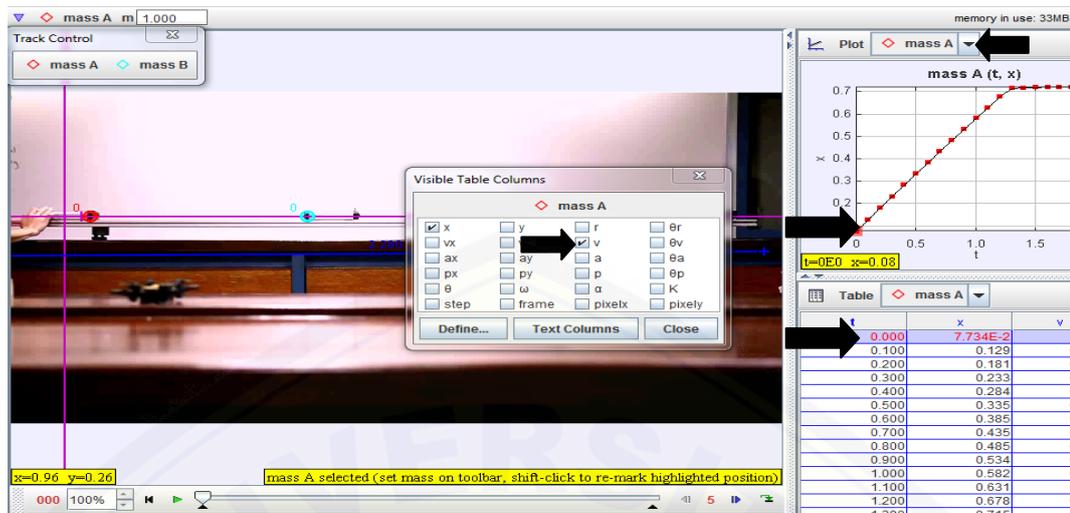
2. Mengupload video ke-1 pada *Software tracker* dengan cara klik "file" → "open file", kemudian mencari video ke-1 yang akan digunakan.

3. Menyesuaikan video pada saat objek pertama kali bergerak dengan menggunakan *horizontal scroll bar* bagian kiri, kemudian mencatat angka *frame* yang terdapat pada bagian kiri bawah.
4. Mengklik *icon "clip setting"* pada *toolbar*. Mengisikan angka *frame* yang terbaca dibawah tadi pada menu "*start frame*", kemudian klik *enter*.
5. Menyesuaikan keperluan akhir video yang akan dianalisis dengan mengatur kembali pada bagian *horizontal scroll bar* bagian kanan dan mencatat angka *frame* akhir yang terdapat pada bagian kiri bawah
6. Mengklik *icon "clip setting"* pada *toolbar*. Isikan angka *frame* yang terbaca dibawah tadi pada menu "*end frame*", kemudian klik *enter*.
7. Menyesuaikan rentang pergerakan video yang akan dianalisis. Klik *icon "clip setting"* pada *toolbar*, kemudian mengatur angka pada "*step size*".
8. Melakukan kalibrasi video dengan kondisi nyata video dengan cara klik *icon "show, hide or create calibration tools"* → "*calibration stick*", kemudian menyesuaikan panjang kalibrasi dan mengubah nilai panjang kalibrasi sesuai dengan panjang media pada video.
9. Mengatur koordinat gerak objek pada video dengan cara klik *icon "show or hide the coordinate axes"*, kemudian menyesuaikan letaknya dengan objek pada titik asal (awal objek bergerak).
10. Merekam jejak objek dengan klik "*track*" → "*new*" → "*point mass*", untuk merekam jejak objek ke dua dapat dilakukan dengan cara yang sama.
11. Untuk menandai gerak objek secara otomatis, dengan mengklik "*autotrack*" pada *tool bar*, maka akan terlihat tampilan seperti dibawah ini.



Kemudian mengklik *shift + control* dan memposisikan penanda/kursor pada titik massa/objek, kemudian klik. Jika penggunaan *autotrack* pada objek sulit dilakukan, penandaan dapat dilakukan secara manual dengan menekan *shift* dan klik pada titik massa/objek, kemudian dengan tanpa melepas *shift*, klik kembali pada titik massa objek pada *frame* berikutnya hingga akhir.

12. Untuk mendapatkan nilai kecepatan gerak objek, dengan klik "table" pada *table view* (sebelah kanan layar) dan menambahkan tabel kecepatan pada benda A dan Benda B
13. Menganalisis kecepatan gerak benda sesaat sebelum dan setelah tumbukan dari benda A dan benda B, kemudian mencatat nilai kecepatannya pada tabel hasil data.



14. Mengulangi langkah diatas untuk video selanjutnya.

3.6 Teknik Analisis Data

Apabila data sebelum menggunakan *software tracker* dan data yang diperoleh saat menggunakan *software tracker* sudah diperoleh, maka data-data tersebut dimasukkan dalam tabel analisis data sebagai berikut:

Tabel 3.1 Analisis data

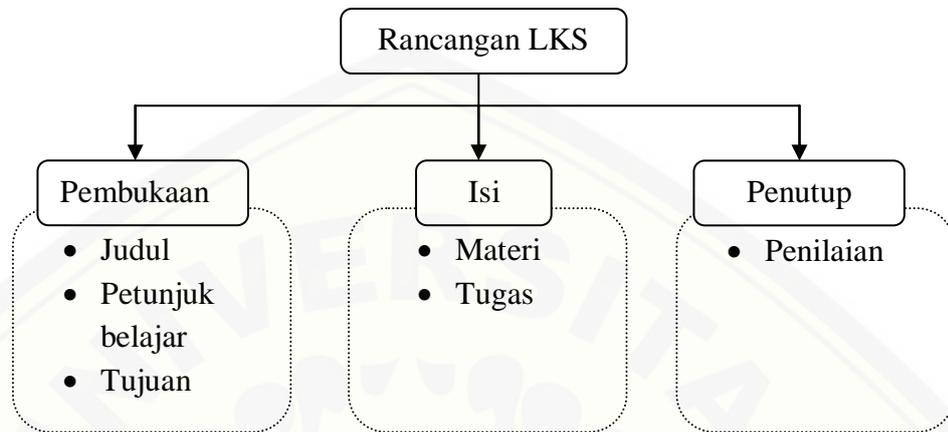
Benda	Keadaan	$\vec{v} (m/s)$	$m(Kg)$	$\vec{p}(Kg \cdot m/s)$	$E_k = \frac{1}{2} m_A \vec{v}_A^2$
Benda A	Sebelum				
Benda A	Setelah				
Benda B	Sebelum				
Benda B	Setelah				

$\Sigma \vec{P} = \vec{P}_A + \vec{P}_B$	$\Sigma \vec{P}' = \vec{P}'_A + \vec{P}'_B$	$\Sigma E_k = E_{kA} + E_{kB}$	$\Sigma E_{k'} = E_{k'A} + E_{k'B}$

Data tersebut kemudian dianalisis dan dibahas berdasarkan teori dan hasilnya digunakan peneliti untuk membuat rancangan bahan ajar materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa SMA kelas X.

3.7 Rancangan Bahan Ajar

Rancangan bahan ajar yang akan digunakan peneliti adalah berupa lembar kerja siswa dengan peta konsep rancangan sebagai berikut:



Gambar 3.2 Peta konsep rancangan penyusunan LKS

Keterampilan berfikir kritis, dapat ditempatkan pada bagian tugas dan penilaian. Pada bagian ini, siswa dapat melakukan kegiatan yang menuntut siswa untuk berfikir kritis. Melalui latihan ini diharapkan kemampuan berfikir kritis siswa meningkat.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari analisis video kejadian fisika dengan *software tracker* sebagai rancangan lembar kerja siswa materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil dari analisis video kejadian fisika dengan *software tracker* pada 3 video tumbukan 1 dimensi dan 2 video tumbukan 2 dimensi, didapatkan bahwa terbukti terdapat 3 jenis tumbukan yaitu tumbukan lenting sempurna, lenting sebagian, dan tidak lenting sama sekali. Ketiga jenis tumbukan tersebut terbukti berdasarkan tinjauan keberlakuan hukum kekekalan momentum, hukum kekekalan energi kinetik, dan nilai koefisien restitusi. Besar impuls pada 5 peristiwa tumbukan ini, juga dapat dihasilkan nilai yang sesuai dengan berlakunya $\vec{I}_{AB} = \vec{I}_{BA}$. Pada video keempat dan kelima, terdapat sangat sedikit selisih perbedaan nilai pada tinjauan hukum kekekalan momentum dan kekekalan energi kinetik, sehingga perbedaan ini dapat diabaikan. Maka dapat disimpulkan bahwa analisis video kejadian fisika tumbukan dengan *software tracker*, berhasil dilakukan dan mendapatkan hasil yang sesuai dengan teori.
- b. Rancangan bahan ajar yang disusun merupakan rancangan lembar kerja siswa materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa yang terdiri dari judul, kompetensi dasar, petunjuk belajar, tujuan pembelajaran, materi, penugasan, dan pertanyaan. Pertanyaan ini merupakan pertanyaan kontekstual hasil dari analisis video kejadian fisika dengan *software tracker* yang telah dilakukan peneliti. Penugasan indikator berfikir kritis, terdapat yang terdapat pada bagian pertanyaan yaitu 2 video tumbukan 1 dimensi untuk membuat pertanyaan berfikir kritis interpretasi dan analisis, video tumbukan 2 dimensi bola billiard untuk berfikir kritis evaluasi dan video tumbukan 2 dimensi keping hoki untuk berfikir kritis inferensi. 1 video tumbukan 1 dimensi yang lain dimuat dalam bagian penugasan.

5.2 Saran

Pada penelitian ini menghasilkan produk berupa rancangan lembar kerja siswa materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa. Saran yang dapat diberikan oleh peneliti diantaranya:

- a. Analisis video tumbukan dengan menggunakan *software tracker* menghasilkan nilai yang sesuai dengan teori, sehingga *software tracker* ini dapat digunakan untuk kegiatan analisis pada video kejadian fisika lainnya yang berkaitan dengan gerak.
- b. Rancangan lembar kerja siswa untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa berdasarkan hasil analisis video tumbukan yang telah disusun peneliti, dapat digunakan untuk kegiatan pembelajaran dikelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar I*. Bandung: ITB
- Benny dan Y. Katrin. 2010. *Media Teknologi*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Bryan, J. A. 2010. Investigation the Conservation of Mechanical Energy Using Video Analysis. *IOP Publishing Journal Physics Education*. Vol 45(1): 50-57.
- Catarina. 2015. Penggunaan virtual lab untuk meningkatkan keterampilan mahasiswa pendidikan biologi dalam menggunakan alat-alat mikrobiologi. *Jurnal kependidikan widya dharma*. vol. 27(2): 160-174.
- Chanpichai, N., P. Wattanakasiwich. 2010. Teaching Physics with Basketball. *International Conference on Physics Education*. 2009. *American Institute of Physics*: 212-216.
- Daryanto. 2013. *Media Pembelajaran*. Yogyakarta: Gava Media.
- Departemen Pendidikan Nasional. 2008. *Panduan Pengembangan Bahan Ajar*. Jakarta. BSNP.
- Eadhkong, T., R. Rajsadorn, P. Jannual, and S. Danworaphong. 2012. Rotational dynamics with tracker. *European Journal of Physics*. 33: 615-622.
- Ennis, R. H. 2011. The Nature of Critical Thinking: An Outline of Critical Thinking Dispositions and Abilities. http://faculty.education.illinois.edu/rhennis/documents/TheNatureofCriticalThinking_51711_000.pdf [diakses tanggal 29 Desember 2017].
- Facione, P. A. 2015. Critical Thinking: What It Is and Why It Count. <http://www.insightassessment.com/content/download/1176/7580/file/what&why.pdf>. [diakses pada 29 September 2017].
- Fitrianto, I., I. Sucahyo. 2016. Penerapan *Software Tracker Video Analyzer* pada Praktikum Kinematika Gerak. *Journal Inovasi Pendidikan Fisika*. Vol. 5(3): 92-97.
- Giancoli, D. C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Habibullah, M., dan Madlazim. 2014. Penerapan Metode Analisis Video *Software Tracker* dalam Pembelajaran Fisika Konsep Gerak Jatuh Bebas untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Siswa Kelas X SMAN 1 Sooko Mojokerto. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 4(1): 15-22.

- Halliday, D., R. Resnick, dan J. Walker. 2010. *Fisika Dasar Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Harijanto, Mohammad. 2007. Pengembangan Bahan Ajar untuk Peningkatan Kualitas Pembelajaran Program Pendidikan Pembelajaran Sekolah Dasar. *Didaktika*. Vol. 2(1): 216-226.
- Harjasujana. 1987. *Proses Belajar Mengajar Membaca*. Bandung: Yayasan BHF.
- Jaya, S.P. 2012. Pengembangan Modul Fisika Kontekstual untuk Meningkatkan Hasil Belajar Fisika Peserta Didik Kelas X Semester 2 di SMK Negeri 3 Singaraja. *Tesis*. Bali: Program Pasca Sarjana Universitas Pendidikan Ganesha.
- Karim dan Normaya. 2015. Kemampuan Berfikir Kritis Siswa dalam Pembelajaran Matematika dengan Menggunakan Model Jucama di SMA. *Jurnal Pendidikan Matematika*. Vol. 3(1): 92-104.
- Kinchin, John. 2016. Using Tracker to Prove the Simple Harmonic Motion Equation. *IOP Publishing Physics Education*. 51: 1-2.
- Lesmono, A.D. 2014. Pengembangan *Performance Assessment* Berbasis WEB pada Mata Kuliah IPA Terpadu untuk Meningkatkan Keterampilan Berfikir Kritis Mahasiswa Fisika. *Laporan Hasil Penelitian Hibah Khusus Bagi Peneliti Muda atau Pemula*. Jember: Universitas Jember.
- Lesmono, A.D., S. Wahyuni, dan Fitria. 2013. Pengembangan Petunjuk Praktikum Fisika Berbasis Laboratorium Virtual Pada Pembelajaran Fisika Di SMA/MTs. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. Vol. 1(3): 272-277.
- Luders, K. 2017. *Pohl's Introducing to Physics*. Switzerland: Springer Nature.
- Majid, A. 2005. *Perencanaan Pembelajaran*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Mundilarto. 2012. *Kapita Selekta Pendidikan Fisika*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Munir. 2012. *Multimedia, Konsep dan Aplikasi dalam Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Oktaviani, W., Gunawan, dan Sutrio. 2017. Pengembangan Bahan Ajar Fisika Kontekstual untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*. 3(1):1-7.
- Prastowo, A. 2011. *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Yogyakarta: Diva Press.

- Priono, J., dan Suharno. 2014. Penerapan Metode Tracking pada Pengukuran Koefisien Gesek Kinetik Luncuran. *Prosiding Pertemuan Ilmiah VIII HFI Jateng & DIY. 26 April 2014*: 50-53.
- Ristanto, S. 2012. Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Berbasis Perekaman Video di MA Wahid Hasyim. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*. Vol. 3 (1): 1-8.
- Rodrigues and Simeao. 2013. Teaching Physics with Angry Bird: Exploring the Kinematics and Dynamics of the Game. *IOP Publishing Physics Education*. 48 (4): 431.
- Rofiah, E., N. S. Aminah, dan E. Y. Ekawati. 2013. Penyusunan Instrument Tes Kemampuan Berfikir Kritis Tingkat Tinggi Fisika Pada Siswa SMP. *Jurnal Pendidikan Fisika*. Vol. 1 (2): 17-22.
- Setyarini, D. A. 2017. Pengembangan Lembar Kerja Siswa Berbasis *Scaffolding* pada Mata Pelajaran IPA (Fisika) SMP untuk Melatihkan Kemampuan Berfikir Kritis. *Skripsi*. Jember: Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Jember.
- Sirisathikul, C., P. Glawtanong, dan T. Eadkhong. 2013. Digital video Analysis of Falling Objects in Air and Liquid Using Tracker. *Revista Brasileira de Ensino de Fisica*. Vol. 35(1).
- Srimulyani. 2017. Pengembangan Lembar Kerja Siswa Berbasis Inkuiri Terbimbing untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis dan Self Efficacy Siswa. *Tesis*. Bandar Lampung: Program Pasca Sarjana Magister Perguruan IPA FKIP Universitas Lampung.
- Supeno. 2010. *Mekanika*. Jember: Universitas Jember.
- Surya, Y. *Mekanika dan Fluida*. Tangerang: Kandel.
- Sutarto dan Indrawati. 2010. *Media Pembelajaran Fisika*. Jember: Universitas Jember.
- Suyono. 2014. *Belajar dan Pembelajaran*. Bandung: Rosda Karya.
- Tipler, P.A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Trianto, 2010. *mendesain model pembelaran inovatif – progresif. Konsep landasan dan implementasinya pada kurikulum tingkat satuan pendidikan (KTSP)*. Jakarta: Kencana Prenada Media Group.

- Wahyuni, S. 2011. Mengembangkan Kemampuan berfikir Kritis Siswa Melalui Pembelajaran IPA berbasis Problem Based Learning. <http://repository.ut.ac.id/2491/1/fmipa201146.pdf>. [diakses pada 12 April 2018].
- Wahyuni, S. 2015. Pengembangan Perangkat Pembelajaran IPA Berbasis Kearifan Lokal Untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika*. Vol. 11(1): 1-7.
- Wardhany, Retno. 2014. Media Video Kejadian Fisika dalam Pembelajaran Fisika. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. Vol. 4(2): 275-361.
- Warsita, Bambang. 2008. *Teknologi Pembelajaran: Landasan & Aplikasi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Widjajanti. 2008. *Teknik-teknik Penyusunan Soal Tes*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Yuliono, S. N., Sarwanto, dan D. Wayuningsih. 2014. Video Pembelajaran Berbasis Masalah Pada Materi Kalor untuk Siswa Kelas VII. *Jurnal Pendidikan Fisika*. Vol. 2(1): 21-25.

LAMPIRAN A. MATRIK PENELITIAN

MATRIKS PENELITIAN

NAMA : Lukman Fadholi
 NIM : 140210102047
 RG : 4

Judul	Tujuan Penelitian	Jenis Penelitian	Sumber Data	Teknik Pengambilan Data	Analisis Data	Alur Penelitian
Analisis Video Kejadian Fisika dengan <i>Software Tracker</i> sebagai Rancangan Bahan Ajar Momentum dan Impuls untuk Meningkatkan Kemampuan Berfikir Kritis Siswa SMA Kelas X	<ol style="list-style-type: none"> Menganalisis video kejadian fisika materi momentum dan impuls dengan menggunakan <i>software tracker</i>. Merancang bahan ajar materi momentum dan impuls untuk meningkatkan kemampuan berfikir kritis siswa SMA kelas X berdasarkan hasil analisis video kejadian fisika dengan menggunakan <i>software tracker</i>. 	Deskriptif Analisis	<ol style="list-style-type: none"> Guru fisika Video tumbukan <i>Software Tracker</i> Jurnal Buku literatur terkait 	<ol style="list-style-type: none"> Wawancara Pengambilan video Analisis video dengan <i>Software Tracker</i> 	Data pengambilan video dan hasil data analisis video dengan <i>Software Tracker</i> dianalisis untuk mendapatkan konsep momentum dan impuls yang terjadi	<ol style="list-style-type: none"> Pengambilan video Analisis video menggunakan <i>tracker</i> Analisis data Merancang bahan ajar Kesimpulan

Menyetujui,

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Drs. Alex Harijanto, M.Si
 NIP 19641117 199103 1 001

Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si
 NIP 19641230 199302 1 001

LAMPIRAN B. RANCANGAN LEMBAR KERJA SISWA
RANCANGAN LEMBAR KERJA SISWA

A. Judul

Lembar Kerja Siswa Materi Momentum dan Impuls

B. Kompetensi Dasar

- 3.10 Menerapkan konsep momentum dan impuls, serta hukum kekekalan momentum dalam kehidupan sehari-hari.
- 4.10 Menyajikan hasil pengujian hukum kekekalan momentum, misalnya bola jatuh bebas ke lantai dan roket sederhana.

C. Petunjuk Belajar

LKS ini disusun dengan uraian materi yang ringkas namun padat, terdapat penugasan yang harus dilakukan siswa untuk memahami konsep momentum dan impuls dalam kejadian nyata dan disertai dengan sejumlah pertanyaan kontekstual. LKS ini, disusun agar siswa menggunakan kemampuan berfikir kritis dalam menyelesaikan penugasan maupun pertanyaan yang terdapat di dalam LKS.

D. Tujuan Pembelajaran

1. Siswa dapat menjelaskan pengertian momentum dan impuls.
2. Siswa dapat menerapkan hukum kekekalan momentum untuk menyelesaikan persoalan tumbukan 1 dimensi maupun 2 dimensi.
3. Siswa dapat menentukan nilai koefisien restitusi pada suatu persoalan tumbukan 1 dimensi maupun 2 dimensi.
4. Siswa dapat menentukan jenis tumbukan pada suatu persoalan tumbukan 1 dimensi maupun 2 dimensi.
5. Siswa dapat menerapkan konsep impuls untuk menyelesaikan persoalan tumbukan 1 dimensi maupun 2 dimensi.

E. Materi

1. Momentum

Momentum adalah ukuran kesukaran untuk mengubah keadaan gerak suatu benda. Setiap benda yang bergerak pasti memiliki momentum. Besar momentum tergantung pada besar massa dan kecepatan. Momentum adalah besaran vektor dengan arahnya adalah arah vektor kecepatan, karena jika diperhatikan massa adalah besaran skalar dan kecepatan adalah besaran vektor, berarti momentum merupakan besaran vektor. Secara matematis momentum dirumuskan:

$$\vec{p} = m \vec{v} \quad (1)$$

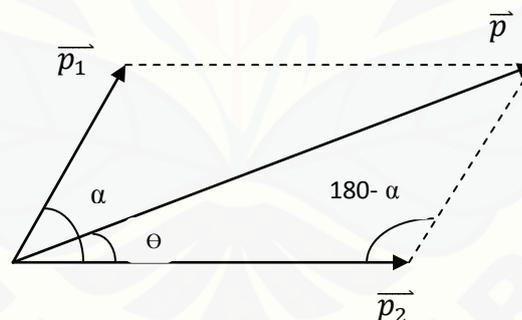
Keterangan:

\vec{p} = Momentum ($Kg.m/s$)

\vec{v} = kecepatan (m/s)

m = massa benda (Kg)

Perhitungan momentum sebagai besaran vektor dapat dimisalkan, apabila ada dua buah vektor momentum \vec{p}_1 dan \vec{p}_2 membentuk sudut α , maka kedua vektor momentum tersebut harus dijumlahkan secara vektor seperti gambar dibawah:



Besar vektor resultan momentum secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\vec{p} = \sqrt{\vec{p}_1^2 + \vec{p}_2^2 + 2\vec{p}_1 \vec{p}_2 \cos \alpha}$$

2. Impuls

Impuls (I) adalah besarnya perubahan momentum yang disebabkan oleh gaya yang terjadi pada waktu singkat. Impuls termasuk besaran vektor yang arahnya sama dengan arah gaya. Impuls menyebabkan terjadinya perubahan momentum dengan besar dan arahnya sama dengan besar dan arah impuls.

Momentum dan impuls memiliki satuan internasional yang sama atau dimensi yang sama yaitu $[M][L][T]^{-1}$.

Pengukuran impuls secara langsung adalah sangat sulit. Pengukur impuls pada kejadian bola billiard yang menumbuk papan pembatas misalnya, perlu mengukur gaya rata-rata yang diberikan bola pada tembok dan lamanya waktu kontak bola billiard dengan tembok. Pengukuran ini sulit dilakukan karena gaya yang bekerja pada tembok sangat bervariasi, selain itu lama waktu kontak bola billiard dengan tembok terlalu singkat. Meskipun demikian, terdapat cara lain yang dapat mempermudah pengukuran impuls, yaitu dengan bantuan perubahan momentum seperti yang akan dijelaskan dibawah ini.

Jika sebuah benda bermassa m didorong dengan gaya sebesar F yang berlangsung dalam selang waktu Δt maka akan mengubah kecepatan benda dari \vec{v}_1 menjadi \vec{v}_2 , menurut hukum II Newton:

$$\vec{F} = m \vec{a} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \quad (2)$$

Selanjutnya Δt dikalikan dengan gaya (F) sehingga diperoleh hubungan:

$$\begin{aligned} \vec{F} \Delta t &= m \vec{v}_2 - m \vec{v}_1 \\ \vec{F} \Delta t &= m (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) \\ I &= \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \\ I &= \Delta \vec{p} \end{aligned} \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan diatas, impuls dapat dihitung hanya dengan mengukur perubahan momentum benda yang mengalami impuls karena impuls sama dengan perubahan momentum benda.

3. Tumbukan

Pada peristiwa tumbukan antara dua buah benda yang tidak melibatkan gaya luar (gaya gesekan), berlaku hukum kekekalan momentum yang berbunyi “jumlah momentum benda sebelum dan sesudah bertumbukan selalu sama“. Pada saat bertumbukan keadaan benda A dan benda B akan menempel selama Δt . Berdasarkan hukum III Newton yaitu $F_{aksi} = F_{reaksi}$.

$$\begin{aligned} F_{AB} &= -F_{BA} \\ F_{AB} \Delta t &= -F_{BA} \Delta t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m_A \overrightarrow{v'_A} - m_A \overrightarrow{v_A} &= - (m_B \overrightarrow{v'_B} - m_B \overrightarrow{v_B}) \\
m_A \overrightarrow{v'_A} + m_B \overrightarrow{v'_B} &= m_A \overrightarrow{v_A} + m_B \overrightarrow{v_B} \\
\overrightarrow{p'_A} + \overrightarrow{p'_B} &= \overrightarrow{p_A} + \overrightarrow{p_B} \\
\Sigma \overrightarrow{p'} &= \Sigma \overrightarrow{p} \quad (4)
\end{aligned}$$

Pada uraian materi tumbukan ini, berdasarkan ada atau tidaknya sudut yang terbentuk saat benda bertumbukan, tumbukan dibagi menjadi dua yaitu tumbukan 1 dimensi dan tumbukan 2 dimensi. Tumbukan 1 dimensi adalah tumbukan yang terjadi pada arah satu dimensi, sedangkan tumbukan 2 dimensi adalah tumbukan yang menghasikan gerak pada arah dua dimensi atau menghasikan sudut.

4. Koefisien restitusi

Koefisien restitusi (e) merupakan perbandingan perubahan kecepatan benda sesudah bertumbukan dengan kecepatan benda sebelum bertumbukan. koefisien restitusi tidak memiliki satuan dan nilainya dari 0 s/d 1. Dibawah akan dijelaskan penurunan rumus koefisien restitusi (e),

Berdasarkan hukum kekekalan momentum diperoleh:

$$\begin{aligned}
m_A \overrightarrow{v'_A} + m_B \overrightarrow{v'_B} &= m_A \overrightarrow{v_A} + m_B \overrightarrow{v_B} \\
m_A (\overrightarrow{v_A} - \overrightarrow{v'_A}) &= - m_B (\overrightarrow{v_B} - \overrightarrow{v'_B}) \quad (5)
\end{aligned}$$

Pada peristiwa tumbukan akan selalu terpenuhi $E_k \geq E_{k'}$. yaitu energi kinetik sebelum tumbukan selalu lebih besar atau sama dengan energi kinetic setelah tumbukan. Maka secara matematis dapat ditulis:

$$\begin{aligned}
\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 &\geq \frac{1}{2} m_A v'_A{}^2 + \frac{1}{2} m_B v'_B{}^2 \\
m_A (v_A^2 - v'_A{}^2) &\geq - m_B (v_B^2 - v'_B{}^2) \quad (6)
\end{aligned}$$

Jika persamaan (5) dibagi dengan persamaan (3) diperoleh:

$$\begin{aligned}
\frac{m_A (v_A^2 - v'_A{}^2)}{m_A (v_A - v'_A)} &\geq - \frac{m_B (v_B^2 - v'_B{}^2)}{m_B (v_B - v'_B)} \\
v_A + v'_A &\geq v_B + v'_B \\
v_A - v_B &\geq -(v'_A - v'_B) \\
e &\leq \frac{-(v'_A - v'_B)}{v_A - v_B} \quad (7)
\end{aligned}$$

5. Jenis-jenis tumbukan

Kejadian tumbukan pada suatu benda, memiliki sifat kelentingan atau elastisitas tertentu yang akan mempengaruhi energi kinetik benda yang bertumbukan. Jika terjadi perubahan energi kinetik, maka artinya sebagian energi kinetik berubah menjadi energi panas atau benyi saat peristiwa tumbukan terjadi. terdapat 3 macam tumbukan yaitu:

- a) Tumbukan lenting sempurna, merupakan peristiwa tumbukan yang tidak mengalami perubahan energi. Berdasarkan hal tersebut, maka pada tumbukan ini, selain berlaku hukum kekekalan momentum juga berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Pada tumbukan ini, nilai koefisien restitusi $e = 1$.
- b) Tumbukan lenting sebagian, merupakan peristiwa tumbukan yang mengalami perubahan energi kinetik, maka $E_k \neq E_k'$. Energi kinetik benda berkurang selama tumbukan sehingga hukum kekekalan energi kinetik tidak berlaku. Pada peristiwa tumbukan ini, memberikan arti bahwa kecepatan benda sebelum bertumbukan lebih besar dari pada kecepatan benda setelah bertumbukan, sehingga koefisien restitusi berkisar ($0 < e < 1$).
- c) Tumbukan tidak lenting, merupakan peristiwa tumbukan yang mengakibatkan kedua buah benda menyatu dan bergerak bersama-sama dengan kecepatan dan arah yang sama setelah bertumbukan. Dalam tumbukan ini tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Tumbukan tidak lenting memiliki nilai koefisien restitusi $e = 0$.

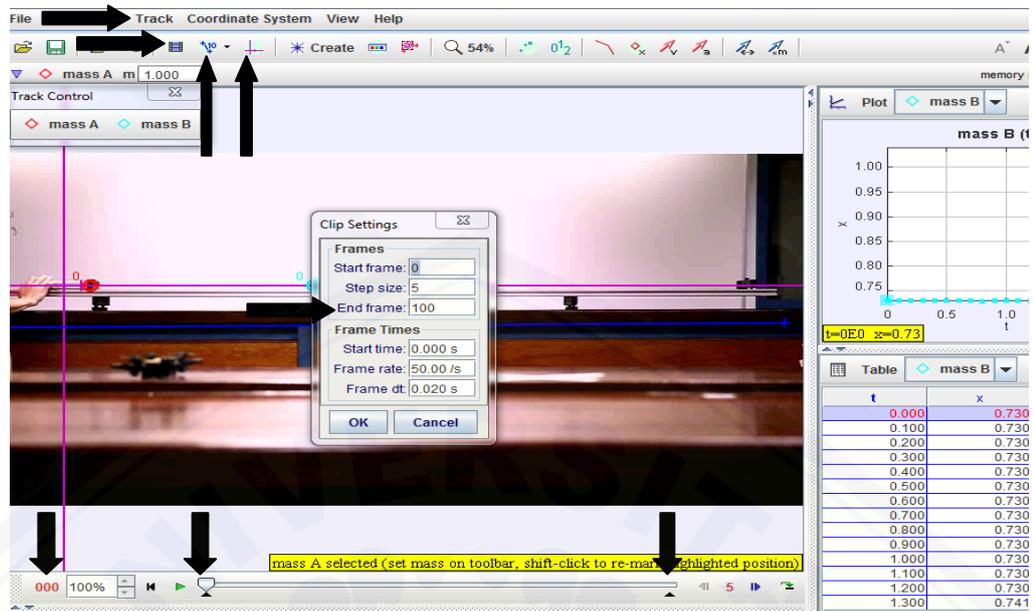
F. Penugasan

a. Tujuan:

Melakukan pengujian konsep momentum impuls pada suatu peristiwa tumbukan.

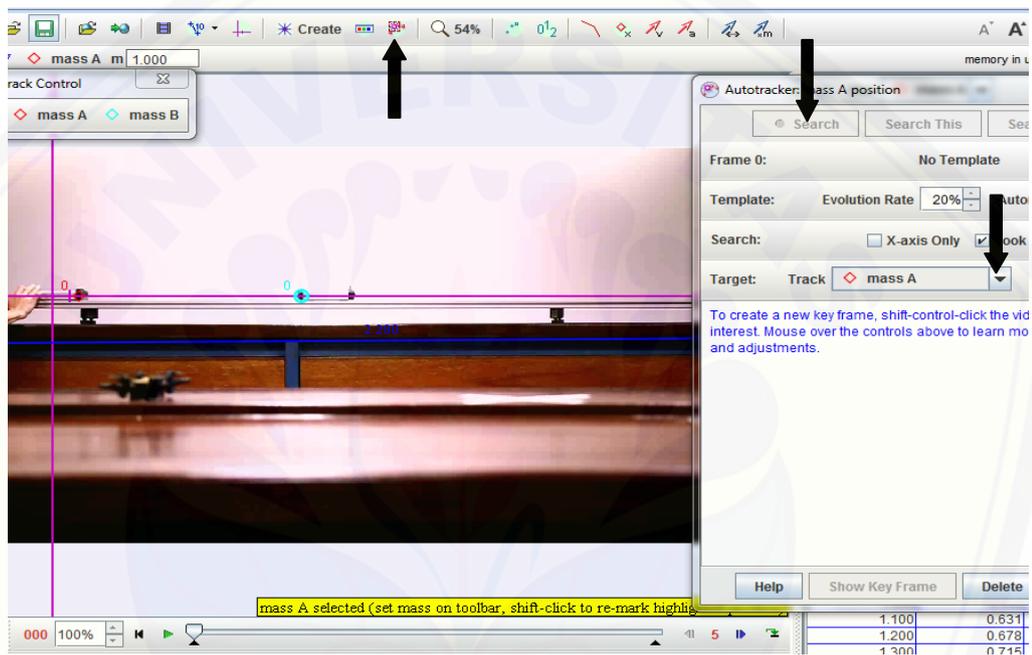
b. Prosedur Praktikum:

1. Jalankan *Software tracker* yang telah terinstal. Layar akan terlihat seperti gambar dibawah ini. Untuk langkah 2 – 10 Perhatikan gambar dibawah ini:



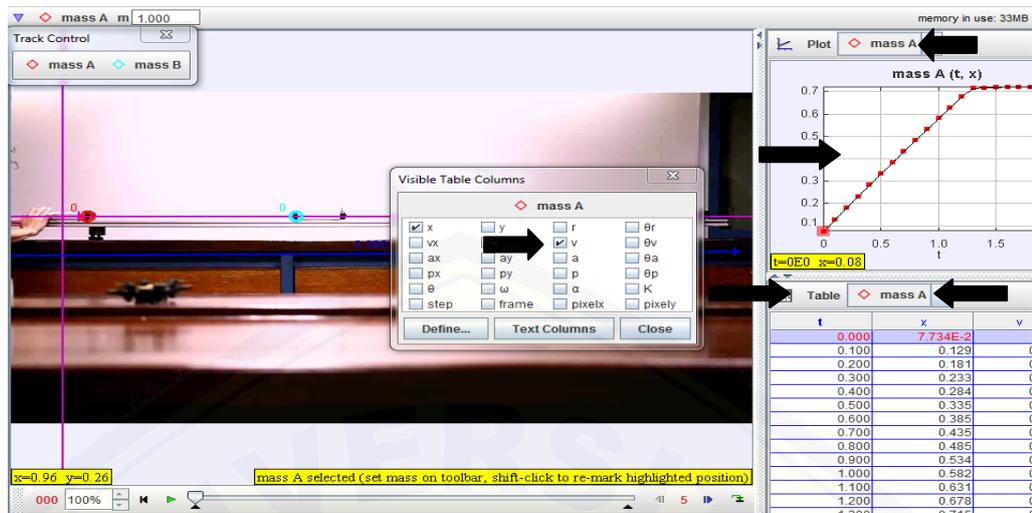
2. Upload video tumbukan 2 yang memiliki massa benda A 1 kg dan benda B 0,5 kg yang telah disediakan, pada *Software tracker* dengan cara klik "*file*" → "*open file*", kemudian carilah video ke-1 yang akan digunakan.
3. Sesuaikan video pada saat objek pertama kali bergerak dengan menggunakan *horizontal scroll bar* bagian kiri, catat angka *frame* yang terdapat pada bagian kiri bawah.
4. Klik icon "*clip setting*" pada *toolbar*. Isikan angka *frame* yang terbaca dibawah tadi pada menu "*start frame*", kemudian klik *enter*.
5. Sesuaikan keperluan akhir video yang akan dianalisis dengan mengatur kembali pada bagian *horizontal scroll bar* bagian kanan dan catat angka *frame* akhir yang terdapat pada bagian kiri bawah
6. Klik icon "*clip setting*" pada *toolbar*. Isikan angka *frame* yang terbaca dibawah tadi pada menu "*end frame*", kemudian klik *enter*.
7. Sesuaikan rentang pergerakan video yang akan dianalisis. Klik icon "*clip setting*" pada *toolbar*, kemudian atur angka pada "*step size*".
8. Lakukan kalibrasi video dengan kondisi nyata video dengan cara klik icon "*show, hide or create calibration tools*" → "*calibration stick*". Sesuaikan panjang kalibrasi dan ubah nilai panjang kalibrasi sesuai dengan panjang media pada video yaitu jarak dasar lintasan sepanjang 2,28 meter.

9. Atur koordinat gerak objek pada video dengan cara klik icon “*show or hide the coordinate axes*”, kemudian sesuaikan letaknya dengan objek pada titik asal (awal objek bergerak).
10. Rekam jejak objek dengan klik “*track*” → “*new*” → “*point mass*”, untuk merekam jejak objek ke dua lakukan hal yang sama.
11. Untuk menandai gerak objek secara otomatis, klik “*autotrack*” pada *tool bar*, maka akan terlihat tampilan seperti dibawah ini,



Kemudian klik *shift* + *control* dan posisikan penanda/kursor pada titik massa/objek, kemudian klik. Jika penggunaan *autotrack* pada objek sulit dilakukan, penandaan dapat dilakukan secara manual dengan tekan *shift* dan klik pada titik massa/objek, kemudian dengan tanpa melepas *shift*, klik kembali pada titik massa objek pada *frame* berikutnya hingga akhir.

12. Dapatkan nilai kecepatan gerak objek dengan klik “*table*” pada *table view* (sebelah kanan layar) dan tambahkan tabel kecepatan pada benda A dan Benda B.



13. Analisislah kecepatan gerak benda sesaat sebelum dan setelah tumbukan dari benda A dan benda B, kemudian catat nilai kecepatannya pada tabel hasil data berikut:

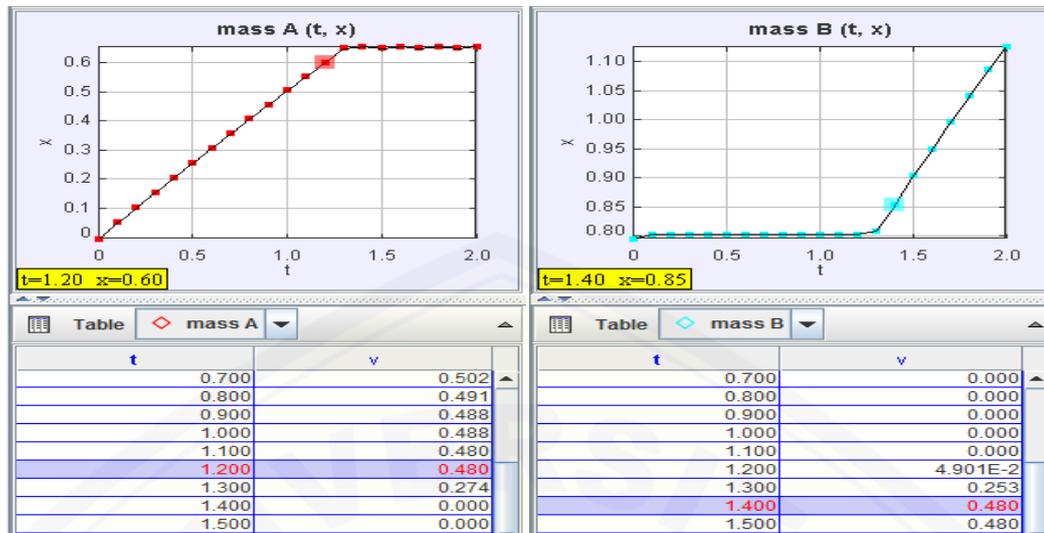
Benda ke:	Kadaan	\vec{v} (m/s)
Benda A	Sebelum	
Benda A	Setelah	
Benda B	Sebelum	
Benda B	Setelah	

14. Lakukan analisis data untuk menentukan:
- Keberlakuan hukum kekekalan momentum
 - Keberlakuan hukum kekekalan energi kinetik
 - Nilai koefisien restitusi
 - Jenis tumbukan
 - Besar impuls

E. Pertanyaan

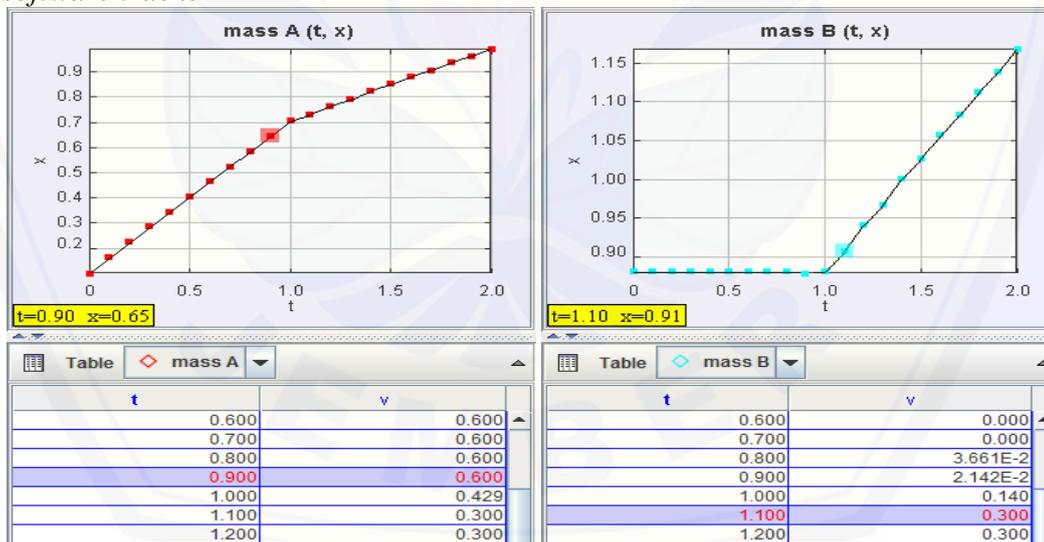
1. Jenis pertanyaan interpretasi

- Berikut ini, disajikan data hasil pengolahan video kejadian fisika menggunakan *software tracker*



Massa benda A dan benda B bernilai sama. Kecepatan sesaat sebelum tumbukan terjadi pada detik ke 1,1 sekon, dan kecepatan sesaat setelah tumbukan pada detik ke 1,4. Berdasarkan data ini, apakah arti yang terjadi dengan energi kinetik pada peristiwa tumbukan ini ?.

b. Berikut ini, disajikan data hasil pengolahan video kejadian fisika menggunakan *software tracker*



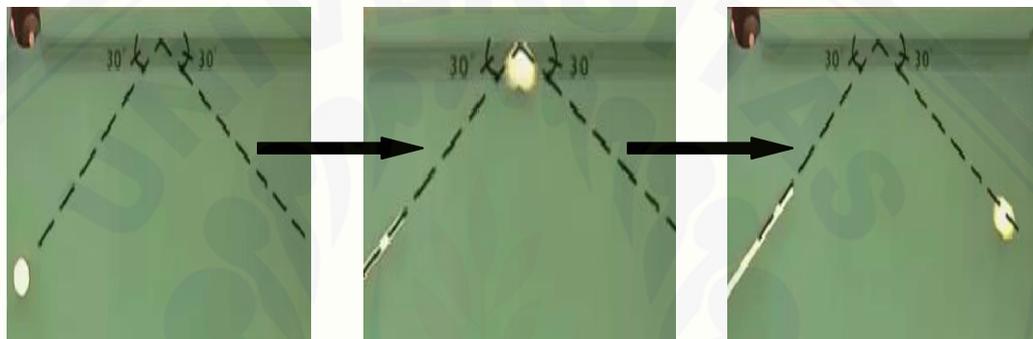
Massa benda A dan benda B bernilai sama. Kecepatan sesaat sebelum tumbukan terjadi pada detik ke 0,9, dan kecepatan sesaat setelah tumbukan pada detik ke 1,1. Berdasarkan data ini, apakah arti yang terjadi dengan energi kinetik pada peristiwa tumbukan ini ?.

2. Jenis pertanyaan Analisis

Berdasarkan data yang terdapat pada pertanyaan 1, termasuk jenis tumbukan apakah yang terjadi pada 2 peristiwa tumbukan tersebut?. Jelaskan dasar anda mengatakan hal tersebut!

3. Jenis pertanyaan evaluasi

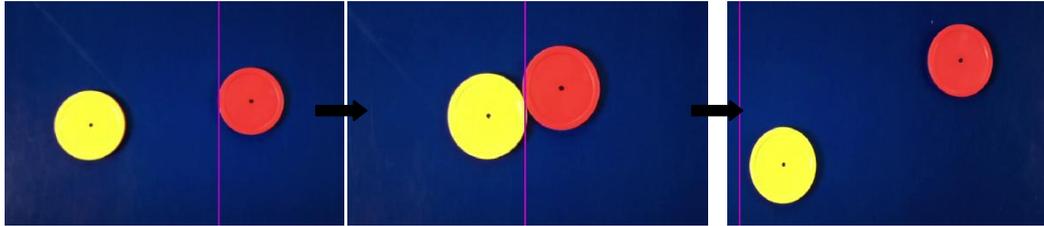
Seseorang melakukan analisis video kejadian tumbukan antara bola billiard dengan pembatas papan billiard dengan menggunakan *software tracker* seperti nampak pada gambar berikut:



Dan menghasilkan data kecepatan bola billiard sesaat sebelum menumbuk pembatas sebesar 0.946 m/s dan kecepatan bola billiard sesaat setelah menumbuk pembatas sebesar 0.940 m/s. Orang tersebut mengatakan bahwa pada peristiwa tumbukan ini, terjadi tumbukan lenting sempurna dengan menghitung nilai koefisien restitusi pada arah sumbu y (arah tegak lurus dengan pembata) saja. Menurut anda, Apakah pernyataan orang tersebut dapat dibenarkan? Jelaskan berdasarkan fakta-fakta yang anda miliki! Anda dapat mengabaikan perbedaan/selisih nilai yang sangat kecil untuk keperluan pengambilan kesimpulan.

4. Jenis pertanyaan inferensi

Berikut disajikan gambar dari video kejadian tumbukan 2 keping hoki dengan Massa hoki A (kuning) sebesar 0,0288 dan hoki B (merah) sebesar 0,0269. Setelah bertumbukan, hoki A membentuk sudut dari garis normal sebesar $63,4^\circ$ dan hoki B membentuk sudut dari garis normal sebesar $18,4^\circ$.



Video ini telah dianalisis menggunakan *software tracker* dan menghasilkan data dalam tabel berikut:

Benda	Keadaan	Kecepatan \vec{v} (m/s)
Benda A	Sebelum tumbukan	0.470
Benda A	Setelah tumbukan	0.151
Benda B	Sebelum tumbukan	0
Benda B	Setelah tumbukan	0.453

- Buktikanlah, termasuk jenis tumbukan apakah yang terjadi pada peristiwa tumbukan ini berdasarkan kajian anda terhadap keberlakuan hukum kekekalan momentum, hukum kekekalan energi dan nilai koefisien restitusi!
- Buktikanlah secara matematis, bahwa besar impuls hoki A terhadap hoki B dan hoki B terhadap hoki A adalah sama ($\vec{I}_{AB} = \vec{I}_{BA}$), karena kedua hoki inilah yang bertumbukan!

Anda dapat mengabaikan perbedaan/selisih nilai yang sangat kecil untuk keperluan pengambilan kesimpulan.

LAMPIRAN C. KUNCI JAWABAN

KUNCI JAWABAN

A. Jawaban Penugasan

Data kecepatan objek sesaat sebelum dan setelah tumbukan

Benda	Keadaan	Kecepatan \vec{v} (m/s)
Benda A	Sebelum tumbukan	0.663
Benda A	Setelah tumbukan	0.271
Benda B	Sebelum tumbukan	0
Benda B	Setelah tumbukan	0.783

1. Pembuktian hukum kekekalan momentum pada video kejadian fisika ini dapat dituliskan:

$$\Sigma \vec{p}' = \Sigma \vec{p}$$

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B ;$$

$$1 \times 0.663 + 0 = 1 \times 0.271 + 0.5 \times 0.783$$

$$0.663 = 0.271 + 0.392$$

$$0.663 \text{ kg m/s} = 0.663 \text{ kg m/s}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat dilihat besar momentum total sebelum dan setelah tumbukan bernilai sama, yaitu 0.663 kg m/s . Nilai ini membuktikan berlakunya hukum kekekalan momentum. Berdasarkan uraian tersebut, maka dapat disimpulkan pada video kejadian fisika tumbukan ini, berlaku hukum kekekalan momentum.

2. Pembuktian keberlakuan energi kinetik pada video kejadian fisika ini dapat ditinjau sebagai berikut:

$$\Sigma E_K = \Sigma E_{K'}$$

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v'_A{}^2 + \frac{1}{2} m_B v'_B{}^2$$

$$\frac{1}{2} \times 1 \times 0,663^2 + 0 = \frac{1}{2} \times 1 \times 0.271^2 + \frac{1}{2} \times 0.5 \times 0.783^2$$

$$0,220 = 0,0368 + 0,153$$

$$0,220 \text{ joule} = 0,190 \text{ joule}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat dilihat besar energi kinetik total sebelum dan setelah tumbukan berkurang sebesar 0.038 *joule* atau berkurang sebesar 13,4 %. Hal ini menandakan bahwa saat tumbukan terjadi, terdapat perubahan energi kinetik menjadi energi panas atau energi bunyi. Maka dapat dinyatakan pada video kejadian fisika ini tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik.

3. Bukti perhitungan nilai koefisien restitusi pada video ini:

$$e = \frac{-(v'_A - v'_B)}{v_A - v_B}$$

$$e = \frac{-(0,271 - 0,783)}{0,663 - 0}$$

$$e = \frac{-(-0.512)}{0,663}$$

$$e = 0,772$$

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien restitusi di atas, diperoleh nilai koefisien restitusi sebesar 0.772 atau diantara 1 sd 0. Pada video ini juga tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Berdasarkan uraian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa jenis dari video kejadian fisika ini merupakan tumbukan lenting sebagian dan sesuai dengan teori.

4. Tinjauan besar Secara impuls secara matematis yaitu:

$F_{AB} \Delta t = -F_{BA} \Delta t$, karena $\vec{F} \Delta t = I = \Delta \vec{p}$, maka

$$\vec{I}_{AB} = -\vec{I}_{BA}$$

$$m_A \vec{v}'_A - m_A \vec{v}_A = - (m_B \vec{v}'_B - m_B \vec{v}_B)$$

$$(1 \times 0.271) - (1 \times 0.663) = -((0.5 \times 0.783) - 0)$$

$$0.271 - 0.663 = - 0.392$$

$$- 0,392 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} = - 0.392 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berdasarkan nilai diatas, besar impuls dapat dinyatakan $\vec{I}_{AB} = -\vec{I}_{BA}$ karena Tanda negatif pada I_{AB} menandakan bahwa setelah benda A menumbuk benda B, benda A tidak terpantul kebelakang. Berdasarkan uraian tersebut, maka

dapat disimpulkan bahwa besar impuls pada peristiwa tumbukan ini berkisar $0,392 \text{ kg m/s}$.

B. Jawaban Pertanyaan

1. a. Pada video kejadian fisika ini, terlihat bahwa setelah benda A menumbuk benda B yang diam, benda A langsung berhenti dan benda B bergerak. Hal ini mengindikasikan bahwa energi kinetik dari benda A seluruhnya dipindahkan pada benda B. Tidak terdapat pengurangan energi kinetik setelah terjadi tumbukan. Berdasarkan hal ini, pada tumbukan ini berarti berlaku hukum kekekalan energi kinetik.
b. Pada video kejadian fisika ini, terlihat bahwa setelah benda A menumbuk benda B yang diam, benda A tetap bergerak namun dengan kecepatan berkurang setengah dari kecepatan awalnya, sedangkan benda B yang mulanya diam, bergerak dengan kecepatan sebesar setengah dari kecepatan awal benda A. Hal ini memberikan arti bahwa energi kinetik dari benda A terbagi menjadi dua setelah tumbukan, yaitu setengah energi kinetik tetap terdapat pada benda A dan setengahnya diberikan/berpindah pada benda, sehingga tidak ada perubahan/berkurangnya energi kinetik, maka pada tumbukan ini berlaku hukum kekekalan energi kinetik.
2. a. Berdasarkan berlakunya hukum kekekalan energi pada peristiwa tumbukan ini, dengan dipindahkannya seluruh energi kinetik benda A ke benda B, maka berdasarkan teori jenis tumbukan yang terjadi adalah tumbukan lenting sempurna.
b. Berdasarkan berlakunya $\Sigma E_K > \Sigma E_{K'}$, atau terjadi pengurangan energi kinetik, maka berdasarkan teori, kemungkinan jenis tumbukan yang terjadi adalah tumbukan lenting sebagian atau tidak sama sekali.
3. Kecepatan sesaat sebelum dan setelah tumbukan mengalami pengurangan, namun sangat sedikit atau hamper sama yaitu 0.946 m/s ke 0.940 m/s sehingga perbedaan yang sangat kecil ini dapat diabaikan. Hal ini

mengindikasikan bahwa tumbukan yang terjadi berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Secara sederhana jenis tumbukan pada peristiwa ini dapat dibuktikan dari perhitungan nilai koefisien restitusi. Orang tersebut benar hanya menghitung nilai koefisien restitusi pada arah sumbu y , karena tumbukan ini hanya akan terjadi apabila benda bergerak pada arah sumbu y , maka perhitungan koefisien restitusi harus diproyeksikan pada sumbu y . Berikut bukti perhitungan nilai koefisien restitusi pada video ini:

$$e = \frac{v'_A \sin 30^\circ}{v_A \sin 30^\circ}$$

$$e = \frac{0.940 \sin 30^\circ}{0.946 \sin 30^\circ}$$

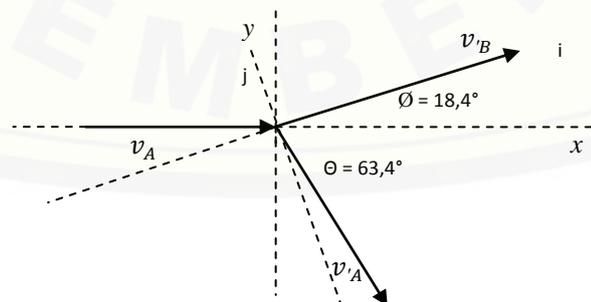
$$e = \frac{0,470}{0,473}$$

$$e = 0,994$$

Nilai koefisien restitusi sebesar 0,994 , nilai ini sangat mendekati 1. Karena disebutkan bahwa kita dapat mengabaikan perbedaan/selisih nilai yang sangat kecil untuk keperluan pengambilan kesimpulan, maka nilai 0,994 dapat kita anggap 1, sehingga dapat dikatakan orang tersebut benar bahwa tumbukan ini merupakan jenis tumbukan lenting sempurna.

4.a. Tinjauan hukum kekekalan momentum

Secara matematis, pembuktian hukum kekekalan momentum pada video kejadian fisika ini dapat dituliskan:



Gambar sketsa video tumbukan keping hoki

Tinjauan pada sumbu x

$$\Sigma \vec{P}_x = \Sigma \vec{P}'_x$$

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B$$

$$0,0288 \times 0,470 + 0 = 0,0288 \times 0,151 \cos 63,4^\circ + 0,0269 \times 0,453 \cos 18,4^\circ$$

$$0,0135 = 0,00195 + 0,0116$$

$$0,0135 \text{ kg m/s} = 0,0135 \text{ kg m/s}$$

Berdasarkan perhitungan diatas terbukti bahwa $\Sigma \vec{P}_x = \Sigma \vec{P}'_x$, sehingga berlaku hukum kekekalan momentum.

Tinjauan pada sumbu y

$$\Sigma \vec{P}_y = \Sigma \vec{P}'_y$$

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_A + m_B \vec{v}'_B$$

$$0 + 0 = 0,0288 \times 0,151 \sin 63,4^\circ + 0,0269 \times 0,453 \sin 18,4^\circ$$

$$0 = -0,00389 + 0,00385$$

$$0,00389 \text{ kg m/s} = 0,00385 \text{ kg m/s}$$

Berdasarkan perhitungan diatas terbukti bahwa $\Sigma \vec{P}_y = \Sigma \vec{P}'_y$ karena berselisih sangat sedikit yaitu $0,00005 \text{ kg m/s}$ atau $1,285 \%$, sehingga dapat dinyatakan berlaku hukum kekekalan momentum.

b. Tinjauan energi kinetik

Pada video kejadian fisika 2 dimensi ini, dapat dinalisis apakah hukum kekekalan energi kinetik berlaku dengan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\Sigma E_K = \Sigma E'_K$$

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v'_A{}^2 + \frac{1}{2} m_B v'_B{}^2$$

$$\frac{1}{2} \times 0,0288 \times 0,470^2 + 0 = \frac{1}{2} \times 0,0288 \times 0,151^2 + \frac{1}{2} \times 0,0269 \times 0,453^2$$

$$0,00318 = 0,00328 + 0,00276$$

$$0,00318 \text{ joule} = 0,00309 \text{ joule}$$

Berdasarkan perhitungan, energi kinetik total sebelum dan setelah tumbukan mendekati nilai yang sama. Selisih keduanya sebesar $0,00009 \text{ joule}$ atau $2,830$

%. Nilai ini cukup kecil sehingga dapat dinyatakan bahwa berlaku hukum kekekalan energi kinetik.

c. Tinjauan nilai koefisien restitusi

Untuk menghitung nilai koefisien restitusi, dapat dilakukan dengan memproyeksikan nilai kecepatan-kecepatannya pada arah sumbu i . Perhitungan secara matematis yaitu:

$$e = \frac{-(v'_A \cos (\emptyset + \theta)) - v'_B}{v_A \cos \emptyset}$$

$$e = \frac{-(0.151 \cos (18,4^\circ + 63,4^\circ) - 0.453)}{0.470 \cos 18,4^\circ}$$

$$e = \frac{-(0,0215 - 0.453)}{0,446}$$

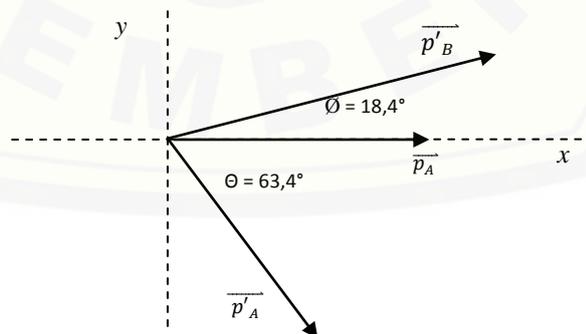
$$e = \frac{-(-0,4315)}{0,446}$$

$$e = 0,967$$

Nilai koefisien restitusi ini mendekati nilai 1, sehingga dapat dinyatakan bahwa jenis tumbukan ini merupakan tumbukan lenting sempurna.

d. Tinjauan besar impuls

Tinjauan besar impuls pada video tumbukan 2 dimensi ini, melibatkan 2 benda. Besar impuls benda A ke B maupun B ke A harus sama, karena kedua benda itulah yang bertumbukan. Mengetahui bahwa impuls adalah besaran vektor. Besar impuls maka gambar 4.13 dapat digambarkan menjadi:



Gambar proyeksi momentum

Benda A ke B pada sumbu x

$$\vec{F} \Delta t = I = \Delta \vec{p}, \text{ maka}$$

$$\vec{I}_x = m_A (\overline{v'_{Ax}} - \overline{v_{Ax}})$$

$$\vec{I}_x = 0,0288 (0,151 \cos(-63,4^\circ) - 0,470)$$

$$\vec{I}_x = 0,00195 - 0,0135$$

$$\vec{I}_x = -0,0115 \text{ kg m/s}$$

Pada sumbu y

$$\vec{I}_y = m_A (\overline{v'_{Ay}} - \overline{v_{Ay}})$$

$$\vec{I}_x = 0,0288 (0,151 \sin(-63,4^\circ) - 0,470 \sin 0^\circ)$$

$$\vec{I}_y = -0,00389 - 0$$

$$\vec{I}_y = -0,00389 \text{ kg m/s}$$

Kemudian impuls dapat dihitung:

$$\vec{I}_{AB} = -0,0115 \text{ i} - 0,00048 \text{ j}$$

yang berarti besarnya impuls adalah:

$$\vec{I}_{AB} = \sqrt{-0,0115^2 + -0,00048^2}$$

$$\vec{I}_{AB} = \sqrt{0,000132 + 0,0000151}$$

$$\vec{I}_{AB} = \sqrt{0,000147}$$

$$\vec{I}_{AB} = 0,0121 \text{ kg m/s}$$

Sedangkan pada benda B ke A, memiliki besar impuls:

$$\vec{I}_{BA} = m_B (\overline{v'_{Bx}} - \overline{v_{Bx}})$$

$$\vec{I}_{BA} = 0,0269 (0,453 - 0)$$

$$\vec{I}_{BA} = 0,0122 \text{ kg m/s}$$

Berdasarkan nilai diatas, terbukti bahwa $\vec{I}_{AB} = \vec{I}_{BA}$, karena selisih keduanya yang sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

LAMPIRAN D. DOKUMENTASI PENELITIAN

