



**KAJIAN TUMBUKAN SENTRAL DAN TAK SENTRAL PADA
PERMAINAN *BILLIARDS* SEBAGAI RANCANGAN
BAHAN AJAR FISIKA SMA**

SKRIPSI

Oleh:

**Fani Aldilah Rosyadi
NIM. 140210102086**

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



**KAJIAN TUMBUKAN SENTRAL DAN TAK SENTRAL PADA
PERMAINAN *BILLIARDS* SEBAGAI RANCANGAN
BAHAN AJAR FISIKA SMA**

SKRIPSI

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

Oleh:

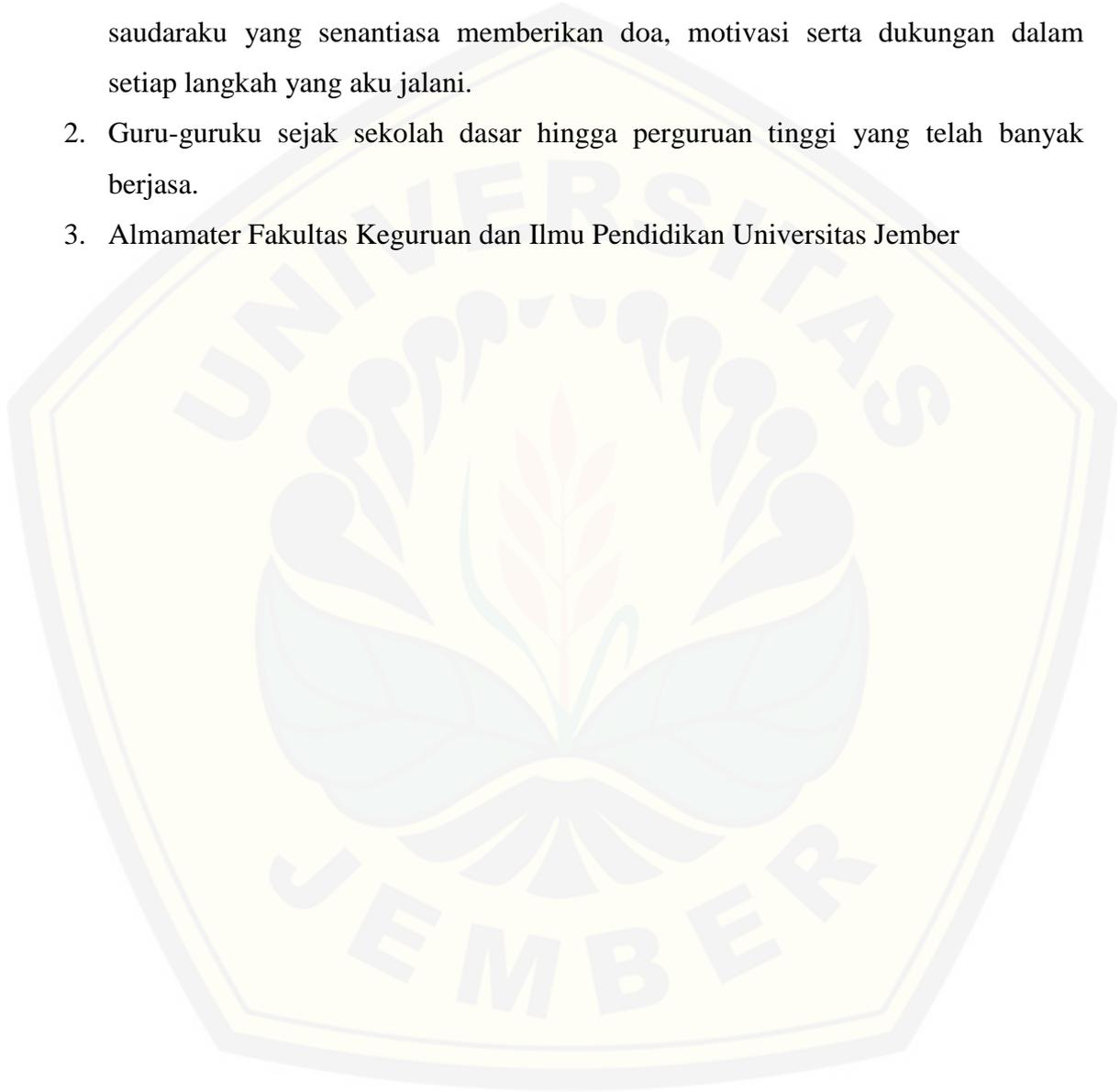
**Fani Aldilah Rosyadi
NIM. 140210102086**

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

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua Orangtuaku Bapak Adi Sucipto dan Ibu Dewi Masitah, serta ketiga saudaraku yang senantiasa memberikan doa, motivasi serta dukungan dalam setiap langkah yang aku jalani.
2. Guru-guruku sejak sekolah dasar hingga perguruan tinggi yang telah banyak berjasa.
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember



MOTTO

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ ۖ وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ ۝

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, maka apabila Engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhanmulah maka hendaknya Engkau berharap” .

(terjemahan Surat Al- Insyiroh ayat 6-8)¹

¹ Kementerian Agama Republik Indonesia. 2014. *Al-Quranulkarim Al Ihsan*. Bandung: Al Hambra.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Fani Aldilah Rosyadi

NIM : 140210102086

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi berjudul “Kajian Tumbukan Sentral dan Tak Sentral Pada Permainan *Billiards* sebagai Rancangan Bahan Ajar Fisika SMA” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus di junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 05 April 2018

Yang Menyatakan,

Fani Aldilah Rosyadi

NIM. 140210102086

SKRIPSI

**KAJIAN TUMBUKAN SENTRAL DAN TAK SENTRAL PADA
PERMAINAN *BILLIARDS* SEBAGAI RANCANGAN
BAHAN AJAR FISIKA SMA**

Oleh:

Fani Aldilah Rosyadi
NIM. 140210102086

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Kajian Tumbukan Sentral dan Tak Sentral Pada Permainan *Billiards* sebagai Rancangan Bahan Ajar Fisika SMA” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Kamis, 05 April 2018

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.
NIP. 19680710 199302 1 001

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

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.
NIP. 19620401 198702 1 001

Drs. Maryani, M.Pd.
NIP. 19640707 198902 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc, Ph.D.
NIP. 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

Kajian Tumbukan Sentral dan Tak Sentral Pada Permainan *Billiards* sebagai Rancangan Bahan Ajar Fisika SMA; Fani Aldilah Rosyadi, 140210102086; 2018; 48 Halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Fisika adalah ilmu tentang gejala alam dan perilaku alam sepanjang dapat diamati oleh manusia. Fisika penting dalam kehidupan manusia karena banyak peristiwa dalam kehidupan yang melibatkan ilmu fisika baik yang disadari maupun tanpa disadari. Namun pengaplikasian fisika yang bersifat nyata pada umumnya tidak mudah untuk diajarkan di kelas. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk memudahkan pembelajaran fisika adalah penggunaan bahan ajar kontekstual. Pada bahan ajar kontekstual khususnya bidang fisika, materi yang dicantumkan dalam bahan ajar merupakan hasil kajian konsep fisika yang berkaitan dengan kejadian kontekstual di alam. Kejadian kontekstual yang dipilih merupakan fenomena yang dekat dengan kehidupan sehari-hari siswa. Namun bahan ajar fisika selama ini masih bersifat linier, yaitu bahan ajar hanya menyajikan konsep dan prinsip, contoh soal, dan latihan soal. Sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai pembuatan bahan ajar kontekstual khususnya pada kajian materi fisika. Contoh kejadian di sekitar kehidupan siswa yang berkaitan dengan tumbukan adalah permainan *billiards*. Permainan ini secara dasar merupakan aplikasi dari berbagai konsep mekanika salah satunya adalah tumbukan. Ketika *cue ball* dipukul oleh stik kemudian menggelinding hingga menumbuk bola lainnya, sangatlah perlu untuk diketahui hal-hal yang dapat dikontrol agar bola *billiards* dapat masuk ke dalam lubang. Salah satu kontrol yang dapat dilakukan agar bola dapat masuk ke dalam lubang adalah dengan mengontrol arah bola *billiards* setelah tumbukan. Tumbukan *cue ball* dengan *object ball* dapat berupa tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* dan merancang bahan ajar fisika SMA berdasarkan data-

data hasil kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*. Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif. Metode analisis deskriptif adalah suatu metode yang berfungsi 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.

Hasil kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* berdasarkan data-data yang diperoleh secara langsung dan data dari analisis video menggunakan aplikasi *tracker*, menunjukkan bahwa hukum kekekalan momentum berlaku pada tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral pada permainan *billiards*. Nilai rata-rata koefisien restitusi dari tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral adalah sebesar $e = 0,524$, yang menunjukkan bahwa tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* tergolong tumbukan lenting sebagian. Rancangan bahan ajar yang dibuat adalah rancangan modul yang terdiri dari judul modul, tujuan kompetensi, uraian materi dan latihan soal yang dibuat berdasarkan data-data hasil kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kajian Tumbukan Sentral dan Tak Sentral Pada Permainan *Billiards* sebagai Rancangan Bahan Ajar Fisika SMA”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

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

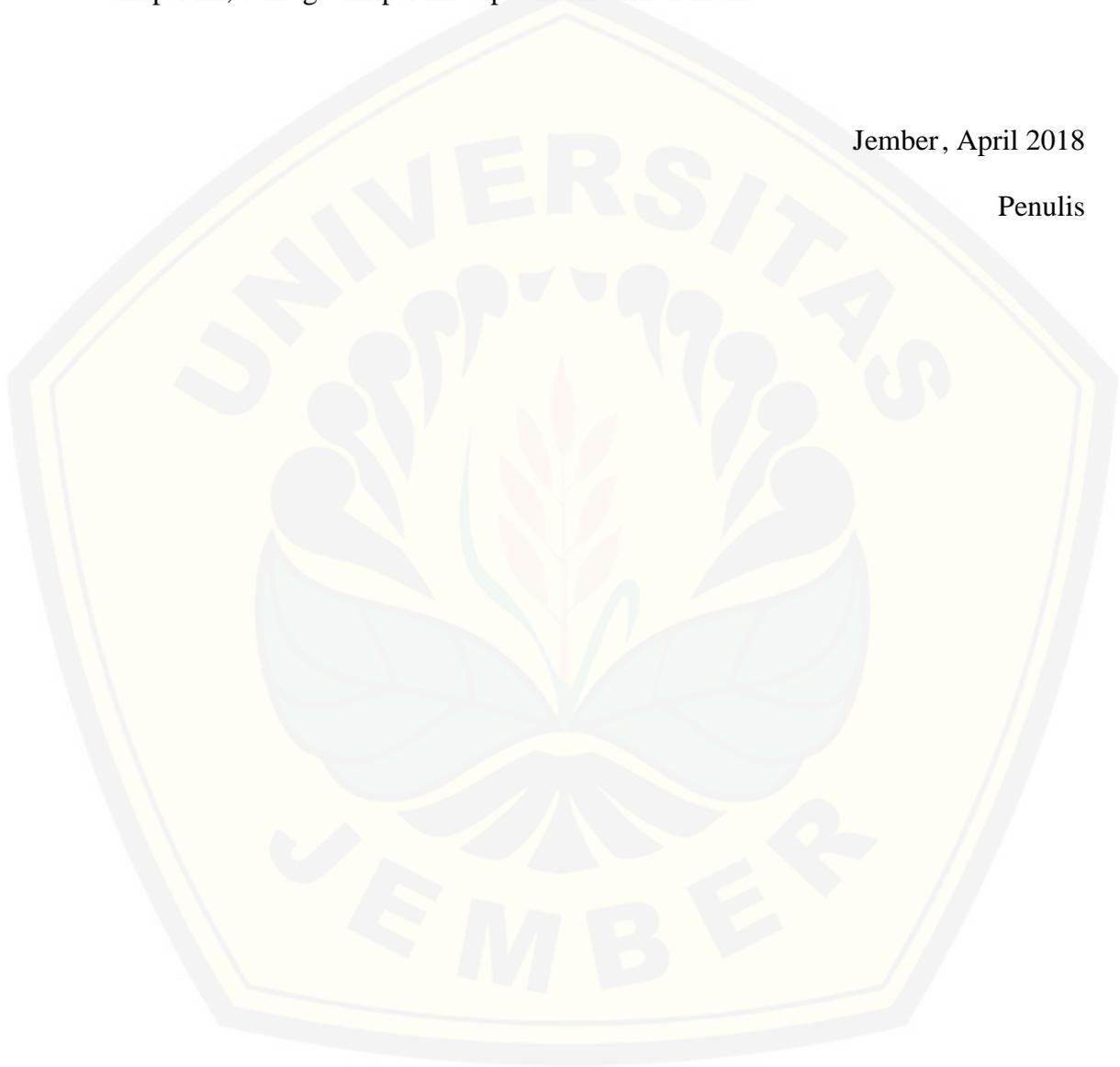
1. Prof. Drs. Dafik, M.Sc, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang telah memberikan ijin untuk mengadakan penelitian sehingga skripsi ini dapat diselesaikan;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes., selaku ketua jurusan Pendidikan MIPA yang telah memberikan ijin penelitian dan kemudahan administrasi sehingga penulis dapat lebih mudah menyelesaikan skripsi ini;
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc., selaku ketua Program Studi Pendidikan Fisika dan Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing penulis dalam segala aspek sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
4. Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan segala waktu, pikiran, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi ini;
5. Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si., selaku Dosen Penguji Utama dan Drs. Maryani, M.Pd., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini;
6. Drs. Subiki, M.Kes., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;

7. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu – persatu yang telah memberikan kontribusi dan bantuannya demi kelancaran pengerjaan skripsi ini.

Kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kebaikan dan kesempurnaan skripsi ini, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Jember, April 2018

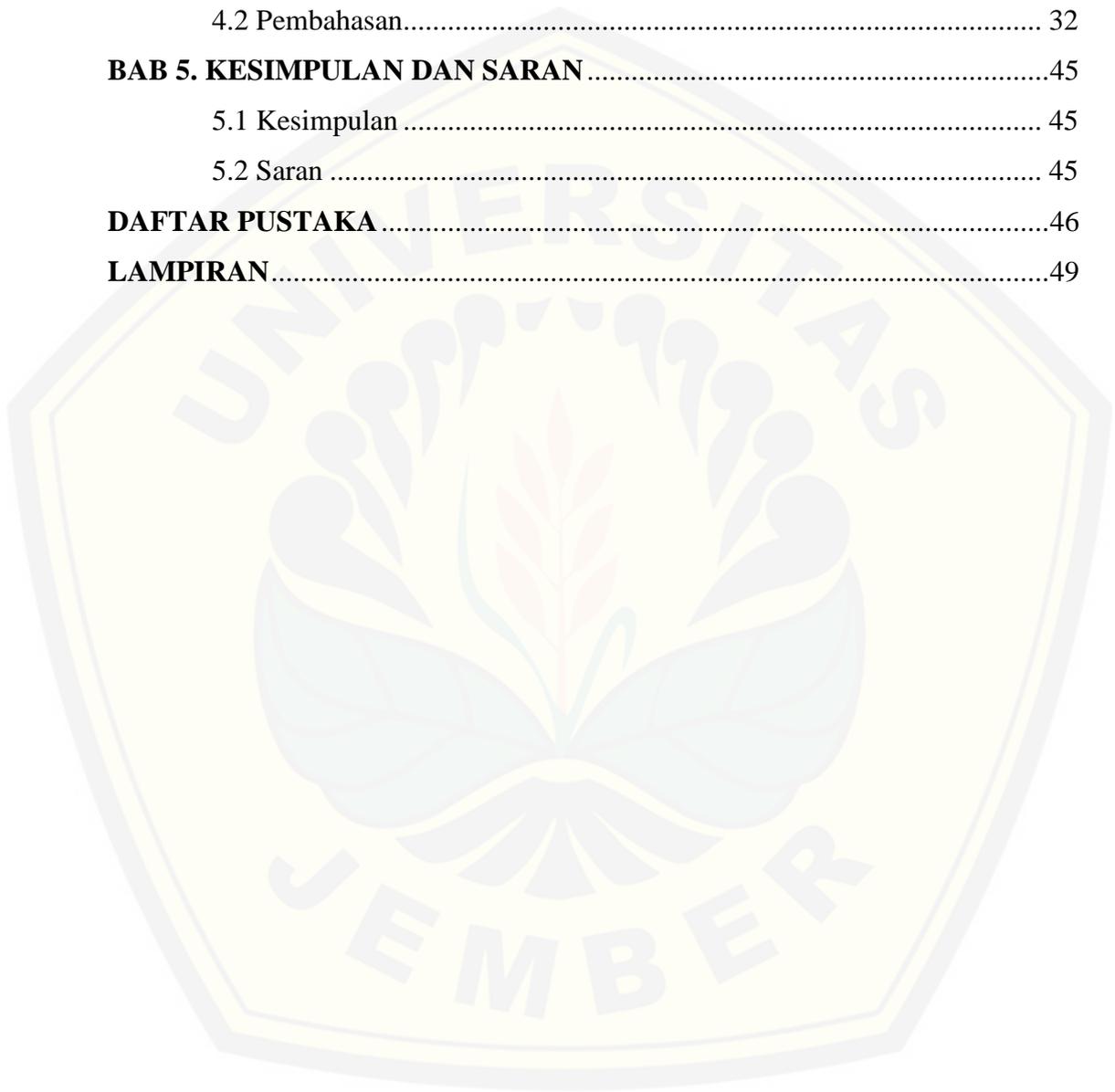
Penulis



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	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Tumbukan Pada Permainan <i>Billiards</i>	5
2.2 Bahan Ajar	19
BAB 3. METODE PENELITIAN	22
3.1 Jenis Penelitian.....	22
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel	22
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	24
3.5 Alur Penelitian	25
3.6 Teknik Pengambilan Data.....	26

3.7 Teknik Analisa Data	28
3.8 Rancangan Bahan Ajar	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Penelitian	31
4.2 Pembahasan.....	32
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	49



DAFTAR GAMBAR

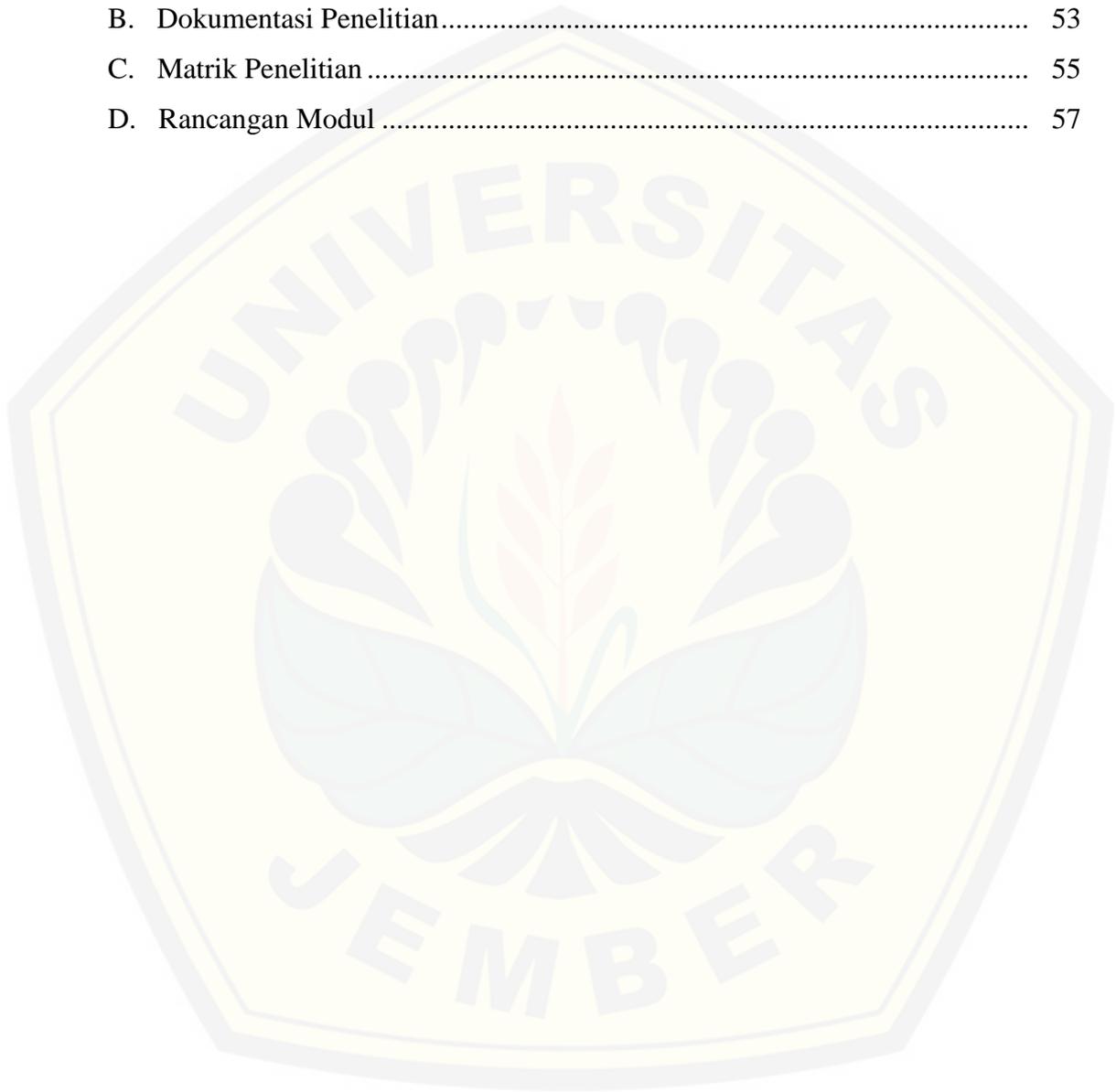
	Halaman
2.1 Tumbukan lenting sempurna.....	10
2.2 Tumbukan tidak lenting sama sekali.....	11
2.3 Tumbukan sentral pada permainan <i>billiards</i>	11
2.4 Tumbukan sentral pada sumbu x	12
2.5 Tumbukan tak sentral pada permainan <i>billiards</i>	13
2.6 Tumbukan tak sentral.....	14
2.7 Diagram tumbukan tak sentral pada permainan <i>billiards</i>	14
2.8 Tumbukan <i>cue ball</i> dan <i>object ball</i>	17
3.1 Menentukan besar sudut α	23
3.2 Bagan alur penelitian.....	25
3.3 Skema video tumbukan sentral	27
3.4 Skema video tumbukan tak sentral pada 3/4 bagian	27
3.5 Skema video tumbukan tak sentral pada 5/8 bagian	27
3.6 Skema video tumbukan tak sentral pada 1/2 bagian	27
3.7 Rancangan modul dalam bentuk peta konsep	29
4.1 Tumbukan sentral.....	32
4.2 Tumbukan tak sentral 3/4 bagian	34
4.3 Tumbukan tak sentral 3/4 bagian dengan ϕ dan θ	35
4.4 Diagram tumbukan tak sentral 3/4 bagian pada satu dimensi.....	36
4.5 Tumbukan tak sentral 5/8 bagian	37
4.6 Tumbukan tak sentral 5/8 bagian dengan ϕ dan θ	38
4.7 Diagram tumbukan tak sentral 5/8 bagian pada satu dimensi.....	39
4.8 Tumbukan tak sentral 1/2 bagian	40
4.9 Tumbukan tak sentral 1/2 bagian dengan ϕ dan θ	40
4.10 Diagram tumbukan tak sentral 1/2 bagian pada satu dimensi.....	41
4.11 Menentukan besar sudut hambur <i>object ball</i>	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Data diameter dan massa bola <i>billiards</i>	28
3.2 Data kecepatan bola <i>billiards</i> pada tumbukan sentral	28
3.3 Data kecepatan bola <i>billiards</i> pada tumbukan tak sentral 3/4 bagian	28
3.4 Data kecepatan bola <i>billiards</i> pada tumbukan tak sentral 5/8 bagian	28
3.5 Data kecepatan bola <i>billiards</i> pada tumbukan tak sentral 1/2 bagian	28
3.6 Data sudut hambur <i>object ball</i> (ϕ)	29
3.7 Data sudut hambur <i>cue ball</i> (θ)	29
4.1 Data pengukuran massa dan diameter bola <i>billiards</i>	31
4.2 Data kecepatan bola <i>billiards</i> pada tumbukan sentral	31
4.3 Data kecepatan bola <i>billiards</i> pada tumbukan tak sentral	31
4.4 Data sudut hambur <i>cue ball</i> dan <i>object ball</i>	32

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Instrumen pengumpulan data	49
B. Dokumentasi Penelitian.....	53
C. Matrik Penelitian	55
D. Rancangan Modul	57



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fisika merupakan cabang dari Ilmu Pengetahuan Alam yang mendasari berbagai perkembangan sains dan teknologi. Menurut Syuhendri (2013:4), fisika adalah ilmu tentang gejala alam dan perilaku alam sepanjang dapat diamati oleh manusia. Fisika sangat penting dalam kehidupan manusia karena banyak peristiwa dalam kehidupan yang melibatkan ilmu fisika baik yang disadari maupun tanpa disadari (Setiono, 2013:1). Mengingat pentingnya fisika terhadap kehidupan manusia, maka fisika harus bisa dipelajari dan diajarkan oleh manusia. Namun pengaplikasian fisika dan peristiwa alam yang bersifat nyata pada umumnya tidak mudah untuk dibawa di tempat lain termasuk di sekolah atau di kelas (Indrawati, 2007:969).

Berdasarkan Permendikbud nomor 103 (2014:1), pelaksanaan pembelajaran harus bersifat kontekstual. Pembelajaran yang kontekstual merupakan konsep belajar yang membantu guru mengaitkan antara materi yang diajarkan dengan situasi dunia nyata siswa dan mendorong siswa untuk membuat hubungan antara pengetahuan yang dimiliki dengan penerapan kehidupan mereka dalam kehidupan masyarakat (Depdiknas, 2003:5). Menurut penelitian Satriawan (2016:1213), pembelajaran kontekstual dapat membantu siswa untuk memahami materi fisika. Namun kenyataan di lapangan, pendidikan yang dijalankan selama ini masih memisahkan pengetahuan formal siswa dengan pengalaman sehari-hari siswa (Aprianti *et al.*, 2015). Hal ini yang menyebabkan siswa merasa kesulitan untuk mengaitkan pengetahuan formal siswa dalam kehidupan sehari-hari, sehingga pembelajaran kontekstual sulit untuk dilakukan di kelas.

Banyak solusi telah dilakukan untuk memudahkan pelaksanaan pembelajaran fisika secara kontekstual, diantaranya penggunaan media kontekstual (Indrawati, 2007:970), penerapan model pembelajaran kontekstual (Azizah, 2014:235), dan penggunaan bahan ajar kontekstual (Widarto, 2016:9). Dari ketiga solusi tersebut yang berpengaruh terhadap terwujudnya pembelajaran kontekstual adalah penggunaan bahan ajar kontekstual, karena bahan ajar

merupakan media pengajaran yang penting dan selalu ada dalam kegiatan belajar-mengajar (Majid, 2007:174). Hasil penelitian Oktaviani *et al.* (2017:6), menyatakan bahwa penggunaan bahan ajar fisika kontekstual dapat meningkatkan penguasaan konsep siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas yang diberi perlakuan dengan penggunaan bahan ajar kontekstual mengalami peningkatan penguasaan konsep yang lebih tinggi dari pada kelas tanpa penggunaan bahan ajar kontekstual.

Bahan ajar kontekstual adalah bahan ajar yang komponen kegiatan belajarnya dikaitkan dengan kejadian aktual di dunia nyata yang akrab dengan kehidupan siswa (Putu, 2012:7). Pada bahan ajar kontekstual khususnya bidang fisika, materi yang dicantumkan dalam bahan ajar merupakan hasil analisis konsep fisika yang berkaitan dengan kejadian kontekstual di alam. Kejadian kontekstual yang dipilih merupakan fenomena alam yang dekat dengan kehidupan sehari-hari siswa. Namun bahan ajar fisika selama ini masih bersifat linier, yaitu bahan ajar hanya menyajikan konsep dan prinsip, contoh-contoh soal, dan soal-soal latihan (Sujanem, 2009:98).

Tumbukan merupakan salah satu materi yang terdapat dalam pelajaran fisika. Tumbukan merupakan peristiwa bertemunya dua buah benda yang bergerak. Kejadian kontekstual proses tumbukan dapat ditemui dengan mudah di kehidupan sehari-hari. Namun hal ini tidak selaras dengan bahan ajar yang masih belum menyajikan materi tumbukan dengan tinjauan kontekstual. Salah satu contohnya adalah bahan ajar fisika berupa buku paket dengan judul buku “Fisika 2 untuk SMA/MA Kelas XI” yang masih bersifat linier, yaitu pada materi tumbukan tidak menyajikan materi kontekstual (Nurrachmandani, 2009). Pada buku ini hanya menyajikan materi dengan memberikan contoh yang sederhana, yaitu tumbukan terjadi pada dua bola yang saling bertabrakan. Pengemasan bahan ajar bersifat linier kurang memberi peluang kepada siswa untuk mengembangkan keterampilan dalam pemecahan masalah, merefleksikan belajarnya dan mengembangkan pemahaman (Liu, 2005).

Contoh kejadian di sekitar kehidupan siswa yang berkaitan dengan tumbukan adalah permainan *billiards* (David, 2007:1). Permainan *billiards*

dimainkan dengan peralatan yaitu stik *billiards*, meja *billiards* dan bola *billiards* yang terdiri dari *cue ball* (bola berwarna putih) dan *object ball* (bola bernomor) (Brunswick, 1904:10-18). Permainan ini secara dasar merupakan aplikasi dari berbagai konsep mekanika salah satunya adalah tumbukan. Ketika *cue ball* dipukul oleh stik kemudian menggelinding hingga menumbuk bola lainnya, sangatlah perlu untuk diketahui hal-hal yang dapat dikontrol agar bola *billiards* dapat masuk ke dalam lubang. Salah satu kontrol yang dapat dilakukan agar bola dapat masuk ke dalam lubang adalah dengan mengontrol arah bola *billiards* setelah tumbukan. Tumbukan *cue ball* dengan *object ball* dapat berupa tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral. Kedua jenis tumbukan ini memiliki perbedaan pada posisi pusat massa bola ketika bertumbukan. Tumbukan sentral terjadi saat posisi pusat massa kedua bola yang bertumbukan segaris (Benenson, 2001:74), sedangkan tumbukan tak sentral terjadi saat posisi pusat massa kedua bola yang bertumbukan tidak segaris (Luders, 2017:82). Tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* merupakan bagian dari ilmu fisika yang menarik untuk dibahas, sehingga pada penelitian ini akan mengkaji permainan *billiards* yang ditinjau dari segi materi tumbukan.

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*, maka akan dibuat rancangan bahan ajar kontekstual untuk siswa SMA. Rancangan bahan ajar yang dibuat diharapkan dapat menjadi acuan dalam pembuatan bahan ajar fisika kontekstual materi tumbukan. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “**Kajian Tumbukan Sentral dan Tak Sentral Pada Permainan *Billiards* sebagai Rancangan Bahan Ajar Fisika SMA**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah.

- a. Bagaimana kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*?
- b. Bagaimana rancangan bahan ajar fisika SMA berdasarkan kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah.

- a. Mengkaji tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*;
- b. Merancang bahan ajar fisika SMA berdasarkan kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah.

- a. Bagi peneliti selanjutnya, dapat dijadikan acuan dalam mengembangkan bahan ajar fisika di SMA;
- b. Bagi tenaga pendidik, hasil penelitian ini dapat dijadikan masukan dalam pemilihan contoh kejadian yang ada di kehidupan sehari-hari dalam proses pembelajaran

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah.

- a. Tumbukan sentral yang dikaji yaitu tumbukan antara *cue ball* dan *object ball* yang posisi pusat massa kedua bola segaris. Tumbukan tak sentral yang dikaji yaitu tumbukan $\frac{3}{4}$ bagian, $\frac{5}{8}$ bagian dan $\frac{1}{2}$ bagian;
- b. Stik *billiards* memukul tepat pada pusat massa *cue ball* dan posisi stik *billiards* ketika memukul *cue ball* sejajar dengan meja *billiards*;
- c. Kecepatan sesaat sebelum dan sesudah tumbukan diukur menggunakan aplikasi *tracker video analysis*;
- d. Kecepatan sesaat sebelum tumbukan yang digunakan yaitu kecepatan *cue ball* pada selang waktu 0.040 detik sebelum bertumbukan dengan *object ball*. Kecepatan sesaat sesudah tumbukan yang digunakan yaitu kecepatan *cue ball* dan *object ball* pada selang waktu 0.040 detik setelah kedua bola bertumbukan. Diasumsikan bahwa pada selang waktu 0.040 detik kecepatan dianggap konstan;
- e. Pada penelitian ini hanya mengkaji besaran fisika yang bersifat linier.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Tumbukan Pada Permainan *Billiards*

2.1.1 Permainan *Billiards*

Billiards adalah sebuah cabang olahraga yang masuk dalam kategori cabang olahraga konsentrasi. Cabang olahraga ini dimainkan di atas meja dan dengan peralatan bantu khusus serta peraturan tersendiri. Permainan ini terbagi dari berbagai jenis antara lain *Carom*, *English billiard* dan *Pool*. Peralatan permainan *billiards* terdiri dari stik *billiards*, meja *billiards* dan bola *billiards* yang terdiri dari *cue ball* (bola berwarna putih) dan *object ball* (bola bernomor). Stik *billiards* bermassa 28,35 gram, serta memiliki panjang 147-152 cm. Meja *billiards* memiliki bentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 270 cm dan lebar 135 cm (Brunswick, 1904:10-18). Bola *billiards* memiliki bentuk bola pejal dengan diameter 5,7 cm, massa bola *billiards* tidaklah sama yaitu massa *cue ball* adalah 0,17 kg dan massa *object ball* adalah 0,16 kg (Young, 2000:1).

Permainan *billiards* merupakan salah satu media dalam belajar fisika. Permainan ini secara dasar merupakan aplikasi dari berbagai konsep mekanika fisika, diantaranya momentum dan energi, tumbukan, gesekan, gerakan translasi dan rotasi, getaran dan lain sebagainya. Namun konsep mekanika yang paling menonjol adalah tumbukan. Pada permainan *billiards*, proses tumbukan terjadi ketika *cue ball* menabrak *object ball* atau menabrak dinding meja *billiards*. Konsep fisika sangat berguna dalam permainan *billiards*, karena akan membantu pemain dalam memasukan bola ke dalam lubang.

2.1.2 Konsep Tumbukan Pada Permainan *Billiards*

a. Momentum

Momentum didefinisikan sebagai besaran yang merepresentasikan keadaan gerak benda. Momentum (jamaknya adalah "*momenta*") biasanya dinyatakan dengan simbol \vec{p} , jika ditentukan m menyatakan massa sebuah benda dan \vec{v} kecepatannya, maka momentum \vec{p} dari benda tersebut adalah,

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

Tampak bahwa besar momentum ditentukan oleh massa dan kecepatan. Sebagai contoh kapal tanker memiliki momentum sangat besar karena massanya sangat besar. Pesawat memiliki momentum sangat besar karena kecepatannya sangat besar (Abdullah, 2016:435). Semakin besar momentum yang dimiliki oleh suatu benda, semakin sulit untuk menghentikannya, dan semakin besar efek yang diakibatkannya jika diberhentikan dengan tabrakan atau tumbukan. Untuk merubah momentum benda dibutuhkan sebuah gaya, baik untuk menaikkan momentum, menurunkannya atau untuk merubah arahnya (Giancoli, 2001: 213-214).

Momentum adalah besaran vektor. Momentum sebuah partikel dapat dipandang sebagai ukuran kesulitan untuk menghentikan sebuah partikel. Sebagai contoh sebuah truk berat mempunyai momentum yang lebih besar dibandingkan mobil ringan yang bergerak dengan kelajuan yang sama. Gaya yang lebih besar dibutuhkan untuk menghentikan truk dibandingkan mobil dalam waktu tertentu. Hukum kedua Newton dapat ditulis dalam kaitannya dengan momentum partikel yaitu dengan mendefersialkan persamaan (2.1) didapatkan,

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{dm}{dt} \vec{v} + m \frac{d\vec{v}}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

jika massa partikel konstan ($\frac{dm}{dt} = 0$) maka persamaan (2.2) dapat ditulis ulang menjadi,

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0 + m\vec{a} = m\vec{a} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan mensubstitusikan gaya \vec{F}_{netto} untuk $m\vec{a}$ didapatkan,

$$\vec{F}_{netto} = \frac{d\vec{p}}{dt} \dots\dots\dots(2.4)$$

jadi, gaya *netto* yang bekerja pada partikel sama dengan laju perubahan momentum linear partikel terhadap waktu (Tipler, 1998:219-220).

Besaran momentum juga dapat diterapkan pada sistem partikel. Jika sistem terdiri dari N buah partikel, maka momentum total sistem dituliskan,

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_N = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i \dots\dots\dots(2.5)$$

untuk massa keseluruhan sistem partikel yang melibatkan N partikel adalah,

$$M = m_1 + m_2 + \dots + m_N = \sum_{i=1}^N m_i \dots\dots\dots(2.6)$$

maka momentum linear pusat massa sistem partikel \vec{p}_{pm} dapat ditulis :

$$\vec{p}_{pm} = M\vec{v}_{pm} = \sum_{i=1}^N m_i \vec{v}_i \dots\dots\dots(2.7)$$

persamaan (2.7) bermakna momentum linear sistem partikel adalah jumlah aljabar momentum linear setiap partikel penyusunnya (Priyambodo dan Jati , 2009:133).

b. Hukum Kekekalan Momentum

Jika ada sejumlah gaya yang bekerja pada sistem partikel maka persamaan Hukum II Newton dapat dituliskan dalam bentuk,

$$\vec{F}_{tot} = \frac{d\vec{p}_{tot}}{dt} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana,

$$\vec{F}_{tot} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\vec{p}_{tot} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i \dots\dots\dots(2.10)$$

Dalam menentukan gaya total pada persamaan di atas maka gaya antar anggota sistem tidak diperhitungkan karena akan saling menghilangkan. Sebagai contoh sebuah sistem terdiri dari dua bola *billiards*. Gaya pada bola 1 oleh bola 2 dan gaya pada bola 2 oleh bola 1 merupakan gaya antar anggota sistem. Kedua gaya tersebut tidak diperhitungkan dalam menentukan gaya total. Sebab gaya pada bola 1 oleh bola 2 dan gaya pada bola 2 oleh bola 1 persis sama dan berlawanan arah sehingga saling meniadakan pada saat dicari resultannya.

Pada kasus khusus, yaitu jika resultan gaya yang bekerja pada sistem partikel sama dengan nol ($\frac{d\vec{p}_{tot}}{dt} = 0$), maka momentum linier sistem adalah tetap. Meskipun antar anggota sistem saling mengerjakan gaya, misalkan saling melakukan tumbukan, maka momentum total sistem tidak berubah selama tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem. Gaya antar sistem hanya mengubah momentum masing-masing anggota sistem, tetapi ketika dijumlahkan semua momentum tersebut bernilai tetap sehingga didapatkan momentum total yang nilainya konstan. Ungkapan tersebut dapat ditulis dalam persamaan,

$$\vec{p}_{tot} = \vec{p}'_{tot} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana tanda petik menyatakan keadaan akhir dan tanpa tanda petik menyatakan keadaan awal.

Sebagai contoh adalah sebuah sistem yang mengandung n benda dengan momentum $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots, \vec{p}_n$. Kemudian antar anggota sistem terjadi tumbukan sehingga dihasilkan m benda dengan momentum $\vec{p}'_1, \vec{p}'_2, \dots, \vec{p}'_m$. Disini m tidak harus sama dengan n (jumlah anggota sistem sebelum dan sesudah tumbukan tidak harus sama). Jika $m < n$ maka setelah terjadi tumbukan ada anggota sistem yang bergabung dan jika $m > n$ maka setelah terjadi tumbukan ada anggota sistem yang pecah. Hubungan antara jumlah momentum sebelum tumbukan dan setelah tumbukan dapat ditulis dalam bentuk,

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 + \dots + \vec{p}'_m$$

$$\vec{p}_{awal} = \vec{p}_{akhir} \dots\dots\dots(2.12)$$

(Abdullah, 2016:440-443).

Hukum kekekalan momentum berguna untuk menjelaskan semua jenis tumbukan salah satunya adalah ledakan. Sebagai contoh, peluncuran roket, yang dapat dipahami dengan dasar aksi dan reaksi, juga dapat dijelaskan dengan dasar kekekalan momentum. Sebelum roket diluncurkan, momentum total roket ditambah bahan bakar adalah nol. Setelah bahan bakar terbakar, momentum total roket yang terdiri dari momentum roket dan momentum gas buang tetap tidak berubah, karena momentum dari gas yang dibuang memiliki arah yang berlawanan dengan momentum yang didapat roket itu sendiri sehingga momentum totalnya adalah nol. Dengan demikian, momentum total roket sebelum bahan bakar terbakar sama dengan momentum total roket setelah bahan bakar terbakar (Giancoli, 2001:216-218).

c. Konsep Tumbukan

Pada bagian ini akan dianalisis lebih detail tumbukan dua benda yang bergerak dalam garis lurus. Jika tidak ada gaya luar yang bekerja maka berlaku hukum kekekalan momentum linier sehingga,

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \dots\dots\dots(2.13)$$

persamaan (2.13) juga dapat dituliskan dalam bentuk,

$$m_1(v_1 - v'_1) = m_2(v'_2 - v_2) \dots\dots\dots(2.14)$$

diasumsikan bahwa massa benda yang mengalami tumbukan masing-masing tidak berubah. Energi kinetik benda sebelum dan sesudah tumbukan masing-masing adalah sebagai berikut,

$$K = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$K' = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

Pada proses tumbukan akan selalu terpenuhi $K \geq K'$, yaitu energi kinetik sebelum tumbukan selalu lebih besar atau sama dengan energi kinetik setelah tumbukan. Hal ini diakibatkan oleh munculnya panas pada permukaan dua benda yang mengalami tumbukan. Dengan demikian dapat dituliskan,

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \geq \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2 \dots\dots\dots(2.17)$$

atau,

$$m_1(v_1 - v_1')(v_1 + v_1') \geq m_2(v_2' - v_2)(v_2' + v_2) \dots\dots\dots(2.18)$$

kemudian substitusikan persamaan (2.14) ke persamaan (2.18) sebagai berikut,

$$\begin{aligned} m_2(v_2' - v_2)(v_1 + v_1') &\geq m_2(v_2' - v_2)(v_2' + v_2) \\ (v_1 + v_1') &\geq (v_2' + v_2) \\ v_2 - v_1 &\leq -(v_2' - v_1') \dots\dots\dots(2.19) \end{aligned}$$

maka dapat diperoleh perumusan koefisien restitusi sebagai berikut,

$$e \leq -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} \dots\dots\dots(2.20)$$

dari persamaan (2.20), dapat diketahui bahwa koefisien restitusi merupakan negatif dari rasio selisih kecepatan setelah tumbukan dengan selisih kecepatan sebelum tumbukan. Koefisien restitusi memiliki nilai maksimum 1 dan nilai minimum 0, sehingga nilai koefisien restitusi berada pada interval sebagai berikut,

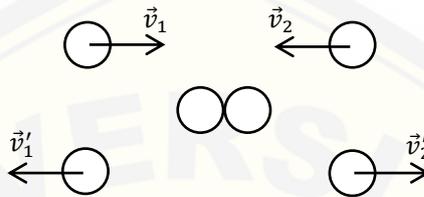
$$0 \leq e \leq 1 \dots\dots\dots(2.21)$$

(Abdullah, 2016:448-451).

Berdasarkan sifat kelentingan atau elastisitas benda yang bertumbukan, tumbukan dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu tumbukan lenting sempurna, tumbukan lenting sebagian dan tumbukan tidak lenting sama sekali. Ketiga jenis tumbukan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

1) Tumbukan Lenting Sempurna

Dua buah benda dikatakan mengalami tumbukan lenting sempurna jika pada tumbukan tersebut energi kinetiknya kekal. Jadi, energi kinetik total kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan adalah tetap. Pada tumbukan lenting sempurna berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik.



Gambar 2.1 Tumbukan lenting sempurna

Dua buah benda memiliki massa masing-masing m_1 dan m_2 bergerak saling mendekati dengan kecepatan sebesar v_1 dan v_2 sepanjang lintasan lurus. Setelah keduanya bertumbukan masing-masing benda bergerak dengan kecepatan sebesar v_1' dan v_2' dengan arah saling berlawanan. Besarnya kecepatan relatif benda sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama, sehingga pada tumbukan lenting sempurna nilai $e = 1$.

2) Tumbukan Lenting Sebagian

Pada tumbukan lenting sebagian berlaku hukum kekekalan momentum. Tumbukan lenting sebagian terjadi apabila setelah tumbukan ada sebagian energi yang hilang. Pada tumbukan jenis ini, energi kinetik berkurang selama tumbukan. Oleh karena itu, hukum kekekalan energi kinetik tidak berlaku. Besarnya kecepatan relatif juga berkurang dengan suatu faktor tertentu yang disebut koefisien restitusi (e). Pada tumbukan lenting sebagian nilai e berada antara 0 dan 1 ($0 < e < 1$).

3) Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Pada tumbukan jenis ini, kecepatan benda-benda sesudah tumbukan sama besar (benda yang bertumbukan saling melekat). Perhatikan Gambar 2.2, misalnya

sebuah peluru dengan massa m_1 dan kecepatan v_1 menumbuk bola yang mempunyai kecepatan v_2 di atas lantai horizontal dengan massa m_2 . Setelah tumbukan, peluru bersarang di dalam bola dan bergerak secara bersama-sama.

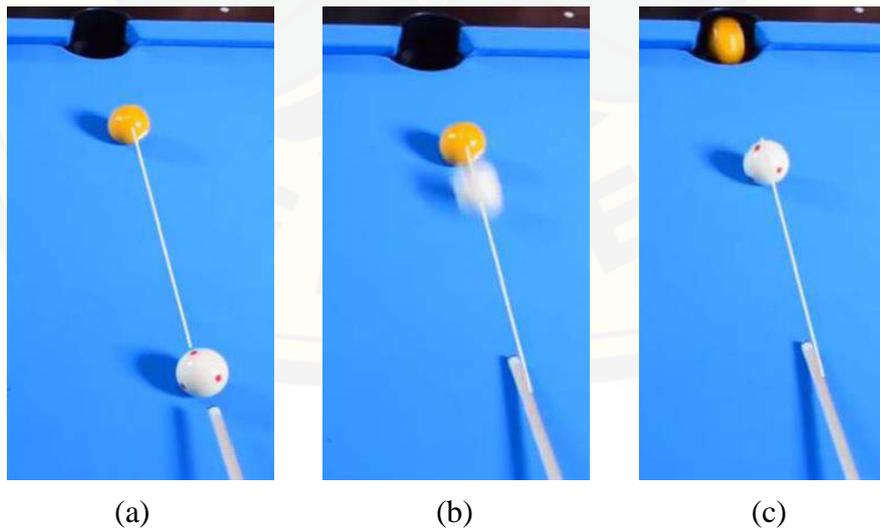


Gambar 2.2 Tumbukan tidak lenting sama sekali

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali berlaku $v'_1 = v'_2 = v'$, maka nilai $e = 0$.
(Sarwono, 2009: 104-106).

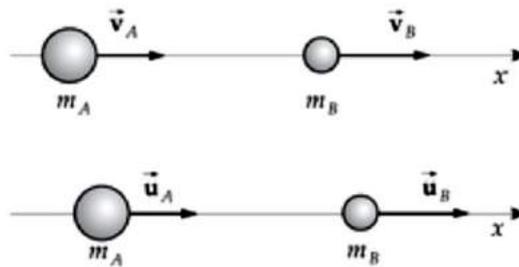
2.1.3 Tumbukan Sentral Pada Permainan *Billiards*

Tumbukan sentral adalah tumbukan antara dua benda yang pusat massanya segaris atau berada dalam satu dimensi. Pada permainan *billiards* tumbukan sentral terjadi pada saat *cue ball* bertumbukan dengan *object ball* yang titik tumbukannya berada segaris pada pusat massa kedua bola.



Gambar 2.3 Tumbukan sentral pada permainan *billiards*. (a) Sebelum tumbukan; (b) Saat tumbukan; (c) Sesudah tumbukan

Proses tumbukan sentral pada permainan *billiards* dapat dianalisis menggunakan hukum kekekalan energi dan hukum kekekalan momentum. Tinjau dua benda bermassa m_A dan m_B bergerak dalam lintasan lurus pada sumbu x seperti pada gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.4 Tumbukan sentral pada sumbu x , dengan \vec{v} (kecepatan sebelum tumbukan) dan \vec{u} (kecepatan setelah tumbukan) (Sumber: Benenson, 2001)

Energi total pada titik temu kedua benda adalah,

$$\frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 = \frac{1}{2}m_A u_A^2 + \frac{1}{2}m_B u_B^2 \dots\dots\dots(2.22)$$

sedangkan hukum kekekalan momentumnya adalah,

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A u_A + m_B u_B \dots\dots\dots(2.23)$$

persamaan hukum kekekalan energi dapat menjadi,

$$m_A(v_A^2 - u_A^2) = m_B(u_B^2 - v_B^2)$$

$$m_A(v_A + u_A)(v_A - u_A) = m_B(u_B + v_B)(u_B - v_B) \dots\dots\dots(2.24)$$

persamaan hukum kekekalan momentum dapat menjadi,

$$m_A(v_A - u_A) = m_B(u_B - v_B) \dots\dots\dots(2.25)$$

subtitusikan persamaan (2.25) ke dalam persamaan (2.24) sehingga,

$$v_A + u_A = u_B + v_B \dots\dots\dots(2.26)$$

dari persamaan (2.26), dapat diperoleh persamaan dari u_B , tetapi masih ada variabel u_A yang belum diketahui yaitu,

$$u_B = v_A + u_A - v_B \dots\dots\dots(2.27)$$

pada persamaan (2.27) untuk menentukan u_A dapat ditentukan dengan mensubtitusikan persamaan (2.27) ke dalam persamaan (2.25) sehingga didapatkan,

$$u_A = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} v_A + \frac{2m_B}{m_A + m_B} v_B \dots\dots\dots(2.28)$$

dan cara yang sama juga digunakan untuk menentukan u_B , sehingga didapatkan,

$$u_B = \frac{2m_A}{m_A+m_B} v_A + \frac{m_B-m_A}{m_A+m_B} v_B \dots\dots\dots(2.29)$$

Tumbukan sentral dapat terjadi pada benda yang memiliki massa sama, ataupun dua benda yang memiliki massa yang berbeda. Hubungan massa benda yang bertumbukan dengan kecepatan benda adalah sebagai berikut.

- a. Tumbukan dua benda bermassa sama

$$u_A = v_B, \quad u_B = v_A \dots\dots\dots(2.30)$$

- b. Tumbukan antara benda berat dan benda ringan

Jika benda A jauh lebih berat daripada benda B : $m_A \gg m_B$ maka,

$$u_A \approx v_A, \quad u_B \approx 2v_A - v_B \dots\dots\dots(2.31)$$

kecepatan relatif dari benda kedua setelah tumbukan sama dengan negatif dari kecepatan relatif sebelum tumbukan,

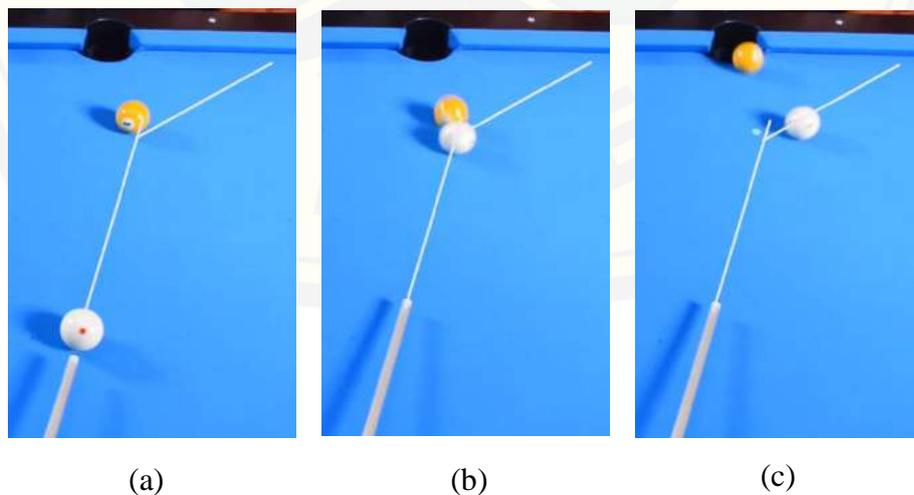
$$u_B - u_A \approx -(v_B - v_A) \dots\dots\dots(2.32)$$

jadi, benda bermassa ringan dipentalkan oleh benda bermassa berat.

(Benenson, 2001:74-75).

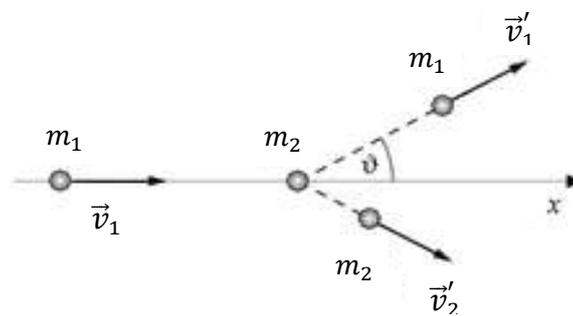
2.1.4 Tumbukan Tak Sentral Pada Permainan *Billiards*

Tumbukan tak sentral adalah tumbukan dua benda yang bertemu pada satu titik tetapi tidak segaris dengan pusat massa masing-masing benda.



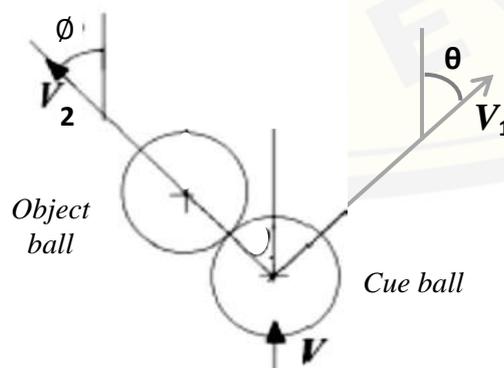
Gambar 2.5 Tumbukan tak sentral pada permainan *billiards*. (a) Sebelum tumbukan; (b) Saat tumbukan; (c) Sesudah tumbukan

Tumbukan tak sentral pada permainan *billiards* terjadi pada saat *cue ball* menumbuk *object ball* tetapi kedua titik pusat massa kedua bola tidak segaris. Tumbukan tak sentral akan menghasilkan sudut antara 0° sampai 180° (Luders, 2017:82). Tinjau sebuah benda 1 dengan momentum $\vec{p}_1 = m_1\vec{v}_1$ bertumbukan dengan benda 2 diam ($\vec{p}_2 = 0$). Setelah tumbukan benda 1 bergerak dengan momentum $\vec{p}_1' = m_1\vec{v}_1'$, dan benda 2 juga bergerak dengan momentum $\vec{p}_2' = m_2\vec{v}_2'$. Kedua benda setelah bertumbukan membentuk sudut terhadap sumbu x .



Gambar 2.6 Tumbukan tak sentral dengan \vec{v} (kecepatan sebelum tumbukan) dan \vec{v}' (kecepatan sesudah tumbukan) (Sumber: Benenson, 2001)

Pada tumbukan tak sentral bola *billiards* antara *cue ball* dan *object ball* berlaku kasus ($m_A > m_B$) karena massa *cue ball* (0,17 kg) dan massa *object ball* (0,16 kg) (Young, 2001:1). Sudut yang dibentuk oleh *cue ball* setelah tumbukan terhadap arah *cue ball* sebelum tumbukan adalah θ , dan sudut yang dibentuk oleh *object ball* setelah tumbukan terhadap arah *cue ball* sebelum tumbukan adalah ϕ .



Gambar 2.7 Diagram tumbukan tak sentral pada permainan *billiards*

Pada peristiwa tumbukan antar partikel yaitu partikel 1 (*cue ball*) dan partikel 2 (*object ball*) berlaku hukum kekekalan momentum ($\vec{p}_{awal} = \vec{p}_{akhir}$) sehingga,

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \dots\dots\dots(2.33)$$

karena kecepatan awal partikel 2 adalah nol ($v_2 = 0$) maka,

$$m_1 v_1 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \dots\dots\dots(2.34)$$

setelah tumbukan, partikel 1 terpental dengan sudut θ terhadap sumbu x , dan partikel 2 terpental dengan sudut ϕ terhadap sumbu x . Kemudian menguraikan hukum kekekalan momentum masing-masing benda dalam komponen sumbu x yaitu,

$$m_1 v_1 = m_1 v'_1 \cos \theta + m_2 v'_2 \cos \phi \dots\dots\dots(2.35)$$

dan sumbu y yaitu,

$$m_1 v'_1 \sin \theta = m_2 v'_2 \sin \phi \dots\dots\dots (2.36)$$

setelah itu mengkuadratkan persamaan (2.35) menjadi,

$$m_1^2 v_1^2 - 2 m_1^2 v_1 v'_1 \cos \theta + m_1^2 v_1'^2 \cos^2 \theta = m_2^2 v_2'^2 \cos^2 \phi \dots\dots\dots(2.37)$$

kemudian mengkuadratkan persamaan (2.36) menjadi,

$$m_1^2 v_1'^2 \sin^2 \theta = m_2^2 v_2'^2 \sin^2 \phi \dots\dots\dots(2.38)$$

setelah itu menambahkan persamaan (2.37) dengan persamaan (2.38),

$$\begin{aligned} m_1^2 v_1^2 - 2 m_1^2 v_1 v'_1 \cos \theta + m_1^2 v_1'^2 \cos^2 \theta &= m_2^2 v_2'^2 \cos^2 \phi \\ m_1^2 v_1'^2 \sin^2 \theta &= m_2^2 v_2'^2 \sin^2 \phi \end{aligned}$$

$$\hline m_1^2 v_1^2 - 2 m_1^2 v_1 v'_1 \cos \theta + m_1^2 v_1'^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = m_2^2 v_2'^2 (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi) \dots\dots\dots(2.39)$$

dengan menggunakan identitas $\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$ dan $\cos^2 \phi + \sin^2 \phi = 1$ maka bentuk persamaan (2.39) dapat disederhanakan menjadi,

$$m_2^2 v_2'^2 = m_1^2 v_1^2 - 2 m_1^2 v_1 v'_1 \cos \theta + m_1^2 v_1'^2 \dots\dots\dots(2.40)$$

kemudian membagi persamaan (2.40) dengan m_1^2 sehingga diperoleh,

$$\left(\frac{m_2}{m_1}\right)^2 v_2'^2 = v_1^2 - 2 v_1 v'_1 \cos \theta + v_1'^2 \dots\dots\dots (2.41)$$

pada tumbukan elastik berlaku hukum kekekalan energi kinetik,

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \dots\dots\dots (2.42)$$

dari persamaan (2.42) dapat diperoleh,

$$v_2'^2 = \frac{m_1}{m_2} (v_1^2 - v_1'^2) \dots\dots\dots(2.43)$$

substitusi persamaan (2.43) ke persamaan (2.41), sehingga didapatkan persamaan kuadrat dalam bentuk v_1'/v_1 sebagai berikut,

$$\left(\frac{m_1+m_2}{m_1}\right) \left(\frac{v_1'}{v_1}\right)^2 - 2 \cos \theta \frac{v_1'}{v_1} + \left(\frac{m_1-m_2}{m_1}\right) = 0 \dots\dots\dots(2.44)$$

selanjutnya mencari akar-akar persamaan (2.44) menggunakan rumus *abc*, sehingga diperoleh solusi dalam bentuk,

$$\frac{v_1'}{v_1} = \frac{m_1}{m_1+m_2} \left[\cos \theta \pm \sqrt{\cos^2 \theta - \left(\frac{m_1^2-m_2^2}{m_1^2}\right)} \right] \dots\dots\dots(2.45)$$

berdasarkan persamaan (2.45) dapat ditinjau beberapa kasus khusus pada tumbukan 2 dimensi yaitu pada saat (a) $m_1 > m_2$; (b) $m_1 = m_2$; (c) $m_1 < m_2$.

a. $m_1 > m_2$; untuk v_1' bernilai real, dari persamaan (2.45), besaran yang terdapat di dalam tanda akar harus berharga positif, yaitu:

$$\cos^2 \theta \geq \left(\frac{m_1^2-m_2^2}{m_1^2}\right) \dots\dots\dots(2.46)$$

besaran yang terdapat dalam tanda akar bernilai nol (minimum), misalnya untuk $\theta = \theta_m$, dan menurut persamaan (2.46) menjadi,

$$\cos^2 \theta_m = \frac{m_1^2-m_2^2}{m_1^2} = 1 - \left(\frac{m_2}{m_1}\right)^2, \quad 0 \leq \theta_m \leq \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(2.47)$$

dengan menggunakan identitas $\cos^2 \theta_m + \sin^2 \theta_m = 1$, maka diperoleh,

$$\sin \theta_m = \frac{m_2}{m_1} \dots\dots\dots(2.48)$$

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

$$\theta \leq \theta_{maks} \text{ dan } 0 \leq \theta_{maks} \leq \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(2.49)$$

b. $m_1 = m_2$; dengan mengalikan persamaan (2.35) dengan $\cos \theta$ dan persamaan (2.36) dengan $\sin \theta$ dan menjumlahkannya maka akan diperoleh:

$$v_1 \cos \theta = v_1' + v_2' \cos(\theta + \phi) \dots\dots\dots(2.50)$$

karena $m_1 = m_2$, berdasarkan persamaan (2.45) dapat diperoleh,

$$v'_1 = v_1 \cos \theta \dots\dots\dots(2.51)$$

dari persamaan (2.51) dan (2.50) diperoleh:

$$\cos(\theta + \phi) = 0 \text{ atau } (\theta + \phi) = \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(2.52)$$

- c. $m_1 < m_2$; untuk kasus ini tidak ada batasan nilai sudut hambur, yaitu dapat berharga dari 0 sampai π . Keadaan dengan θ lebih besar dari $\frac{\pi}{2}$ dinamakan dengan *back-scattering*.

(Supeno, 2010:115-120).

Berdasarkan persamaan (2.35) dan (2.36) dapat ditentukan persamaan kecepatan *cue ball* dan *object ball* setelah bertumbukan. Kecepatan *cue ball* setelah tumbukan dapat dirumuskan menjadi,

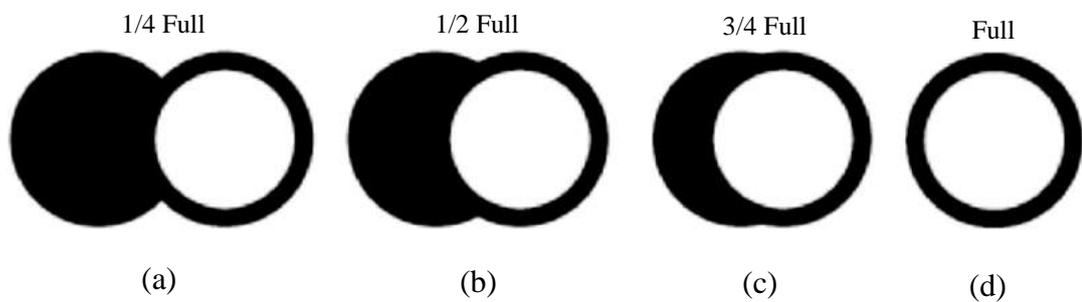
$$v'_1 = \frac{v_1 \sin \phi}{\sin(\phi + \theta)} \dots\dots\dots(2.53)$$

dan kecepatan *object ball* setelah tumbukan dapat dirumuskan menjadi,

$$v'_2 = \frac{m_1 v_1 \sin \theta}{m_2 \sin(\phi + \theta)} \dots\dots\dots(2.54)$$

2.1.5 Sudut Hambur Pada Permainan *Billiards*

Pada tumbukan tak sentral akan menghasilkan sudut hambur yang dibentuk oleh arah kecepatan masing-masing benda setelah tumbukan terhadap arah sebelumnya. Besar sudut hambur *object ball* pada tumbukan tak sentral dipengaruhi oleh jarak antara pusat massa *cue ball* dan pusat massa *object ball* ketika kedua bola berhimpitan pada penampang melintang.



Gambar 2.8 Tumbukan *cue ball* dan *object ball* (Sumber: Leider, 2010). (a) 1/4 bagian bola; (b) 1/2 bagian bola; (c) 3/4 bagian bola; (d) *full* bagian bola

Berdasarkan posisi titik tumbukan terhadap pusat massa *object ball* dapat ditentukan besar sudut hambur *object ball* (θ) pada beberapa bagian *object ball* pada saat bertumbukan dengan *cue ball* yaitu:

- a. Tumbukan 1/4 bagian, *object ball* membentuk sudut 45°
- b. Tumbukan 1/2 bagian, *object ball* membentuk sudut 30°
- c. Tumbukan 3/4 bagian, *object ball* membentuk sudut 15°
- d. Tumbukan *full* bagian, *object ball* membentuk sudut 0°

(Leider, 2010:55).

2.1.6 Aplikasi *Tracker Video Analysis* Pada Permainan *Billiards*

Pada permainan *billiards*, sudut hambur *cue ball* dapat ditentukan melalui perhitungan, yaitu dengan memperoleh beberapa data diantaranya kecepatan *cue ball* sebelum dan sesudah tumbukan dan kecepatan *object ball* sebelum dan sesudah tumbukan. Kendala dalam pengukuran data kecepatan sebelum dan sesudah tumbukan adalah waktu tumbukan yang sangat cepat, sehingga diperlukan suatu analisis data yang dapat mengukur kecepatan sebelum dan sesudah tumbukan dalam waktu yang singkat. Salah satu jenis analisis data kecepatan pada proses tumbukan adalah dengan menggunakan analisis video.

Dewasa ini perkembangan teknologi informasi yang dapat membantu dalam pengamatan posisi sebuah benda yang bergerak adalah pengembangan perangkat lunak analisis video, yang dalam pembelajaran fisika telah cukup lama dikenal (Laws and Pfister, 1998:282). Pada tahun 2011 telah muncul beberapa program komputer, baik yang komersial maupun yang gratis, misalnya *Tracker*, *Logger Pro*, *Coach 6*, *VideoPoint*, *Window Motion Visualizer DV* dari Alberti. Di antara berbagai program tersebut, *Tracker* adalah satu-satunya program gratis dan bersifat sebagai *open source*, serta dapat diunduh di <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker> atau <http://www.compadre.org/OSP/> (Brown, 2013).

Tracker merupakan program analisis video yang khusus digunakan dalam pembelajaran fisika. *Software* ini dapat menganalisis video tentang kejadian-kejadian fisika terutama yang berhubungan dengan kelajuan, kecepatan, percepatan, gaya, medan gravitasi, konversi dan konservasi energi (Habibulloh,

2014:3). *Tracker* mampu memberikan informasi kedudukan obyek bergerak dalam video. Untuk memperoleh hasil ukur yang sesuai dengan kenyataan, pada *software* ini juga disediakan fasilitas kalibrasi (Ristanto, 2011:2). Fitur yang dimiliki oleh tracker antara lain pelacak obyek dengan *overlay* posisi, kecepatan, percepatan, grafik, beberapa kerangka acuan, titik kalibrasi dan profil garis. Hasil dari analisis video dengan menggunakan *tracker* berupa sekumpulan data dalam bentuk tabel dan grafik. Untuk kinematika, data dalam tabel yang ditampilkan berupa posisi awal benda, posisi tiap frame, kecepatan, percepatan, dan juga dapat menampilkan persamaan gerak.

2.2 Bahan Ajar

2.2.1 Pengertian Bahan Ajar

Menurut *National Center of Competency Based Training* dalam (Prastowo, 2012:16), bahan ajar adalah segala macam bahan yang disiapkan dan digunakan guru untuk membantu melaksanakan kegiatan belajar mengajar di kelas. Beberapa asumsi tentang arti penting kedudukan bahan ajar khususnya, rancangan pembelajaran pada umumnya, yaitu: (1) membantu belajar secara perorangan; (2) memberikan keleluasaan penyiapan pembelajaran jangka pendek dan jangka panjang; (3) rancangan bahan ajar yang sistematis memberikan pengaruh yang besar bagi perkembangan sumber daya manusia secara perorangan dan (4) memudahkan belajar (Harijanto, 2007:1-11).

Bahan ajar bisa berupa bahan tertulis maupun tidak tertulis. Bahan ajar cetak, yakni sejumlah bahan yang disiapkan dalam kertas yang dapat berfungsi untuk keperluan pembelajaran atau penyampaian informasi. Contoh bahan ajar cetak adalah handout, buku, modul, lembar kerja siswa, *wallchart*, *leafet*, foto atau gambar (Prastowo, 2012:40). Salah satu bahan ajar cetak yang sering digunakan dalam kegiatan pembelajaran adalah modul, karena dapat memberikan kesempatan peserta didik untuk belajar mandiri dengan kecepatannya masing-masing (Widarto, 2016:10). Oleh karena itu modul memiliki keunggulan yaitu penggunaan modul dapat menyesuaikan tingkat belajar setiap peserta didik.

2.2.2 Modul

Berdasarkan data hasil analisis kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* akan dibuat rancangan bahan ajar berupa modul kontekstual. Modul merupakan alat atau sarana pembelajaran yang berisi materi, metode, batasan-batasan, dan cara mengevaluasi yang dirancang secara sistematis dan menarik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya (Depdiknas, 2008). Modul merupakan salah satu bentuk bahan ajar yang dikemas secara utuh dan sistematis, di dalamnya memuat seperangkat pengalaman belajar yang terencana dan didesain untuk membantu peserta didik menguasai tujuan belajar yang spesifik.

Sebuah modul bisa dikatakan baik dan menarik apabila terdapat karakteristik sebagai berikut.

- a. *Self Instructional*; yaitu melalui modul tersebut seseorang atau peserta belajar mampu membelajarkan diri sendiri, tidak tergantung pada pihak lain;
- b. *Self Contained*; yaitu materi pembelajaran dari satu unit kompetensi atau sub kompetensi yang dipelajari terdapat di dalam satu modul secara utuh;
- c. *Stand Alone* (berdiri sendiri); yaitu modul yang dikembangkan tidak tergantung pada media lain atau tidak harus digunakan bersama-sama dengan media pembelajaran lain;
- d. *Adaptive*; modul hendaknya memiliki daya adaptif yang tinggi terhadap perkembangan ilmu dan teknologi;
- e. *User Friendly*; modul hendaknya bersahabat dengan pemakainya. Setiap instruksi dan paparan informasi yang tampil bersifat membantu dan bersahabat dengan pemakainya, termasuk kemudahan pemakai dalam merespon, mengakses sesuai dengan keinginan.

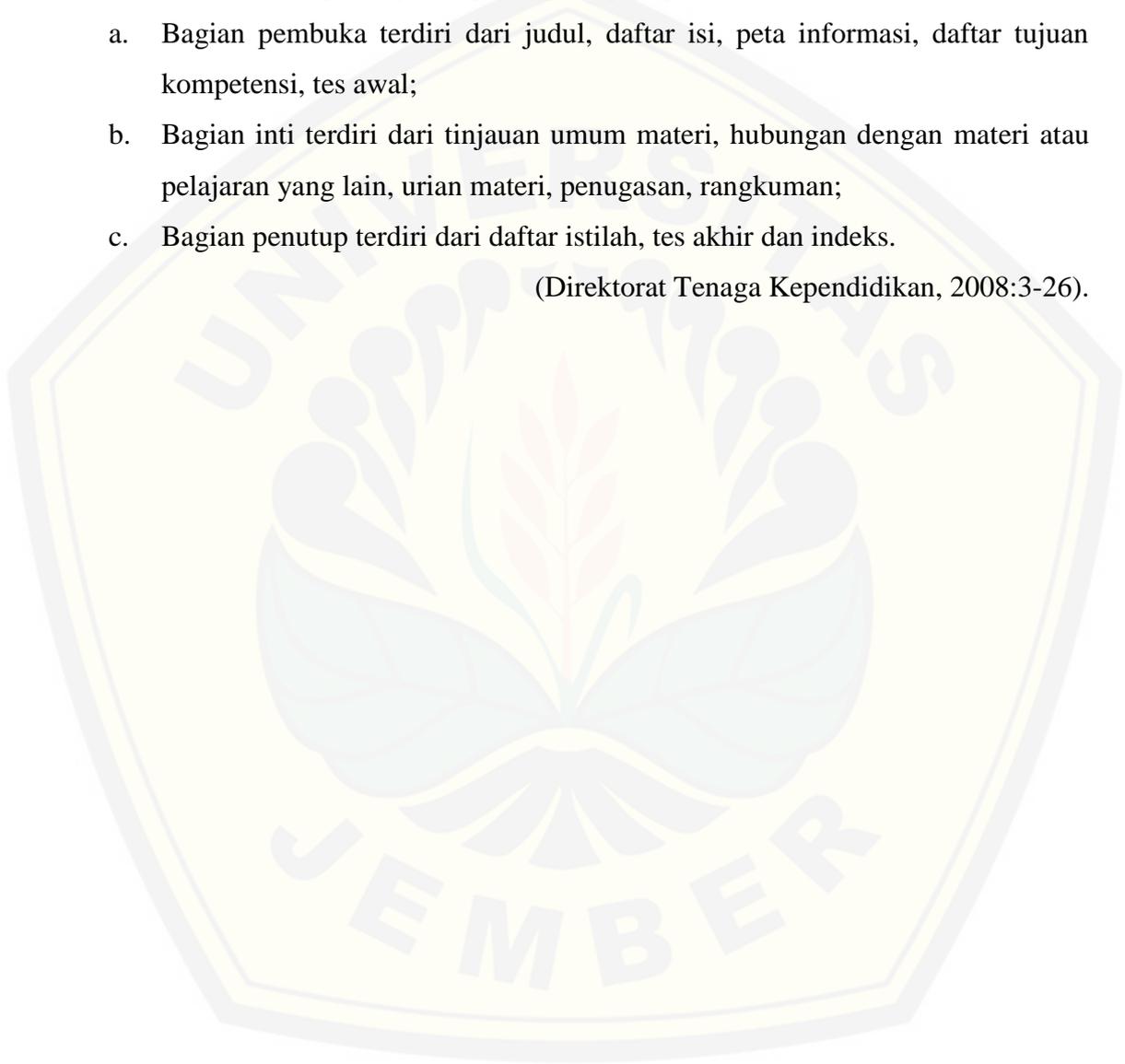
Penggunaan modul sering dikaitkan dengan aktivitas pembelajaran mandiri (*self-instruction*). Karena fungsinya yang seperti tersebut, maka konsekuensi lain yang harus dipenuhi oleh modul ialah adanya kelengkapan isi; artinya isi atau materi sajian dari suatu modul haruslah secara lengkap terbahas lewat sajian-sajian sehingga dengan begitu para pembaca merasa cukup memahami bidang kajian tertentu dari hasil belajar melalui modul.

2.2.3 Struktur Penulisan Modul

Penstrukturan modul bertujuan untuk memudahkan peserta belajar mempelajari materi. Satu modul dibuat untuk mengajarkan suatu materi yang spesifik supaya peserta belajar mencapai kompetensi tertentu. Struktur penulisan suatu modul sering dibagi menjadi tiga bagian yaitu.

- a. Bagian pembuka terdiri dari judul, daftar isi, peta informasi, daftar tujuan kompetensi, tes awal;
- b. Bagian inti terdiri dari tinjauan umum materi, hubungan dengan materi atau pelajaran yang lain, urian materi, penugasan, rangkuman;
- c. Bagian penutup terdiri dari daftar istilah, tes akhir dan indeks.

(Direktorat Tenaga Kependidikan, 2008:3-26).



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif. Menurut Sugiyono (2009:29) metode analisis deskriptif adalah suatu metode yang berfungsi 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 akan mengkaji tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* sebagai rancangan bahan ajar fisika SMA.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

a. Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini ditentukan dengan metode *purposive sampling area* yaitu teknik untuk menentukan sampel penelitian secara sengaja berdasarkan pertimbangan tertentu, diantaranya.

- 1) Lokasi permainan *billiard* merupakan lokasi yang aman dan nyaman;
- 2) Peralatan permainan *billiards* yang digunakan merupakan *billiards* jenis *Pool*.

Dengan beberapa pertimbangan tersebut maka peneliti memilih tempat permainan *billiards* di Kabupaten Lumajang sebagai tempat penelitian untuk mengkaji tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* sebagai rancangan bahan ajar fisika SMA.

b. Waktu Penelitian

Penelitian ini direncanakan akan dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2017/2018.

3.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel

a. Variabel Penelitian

- 1) Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*;

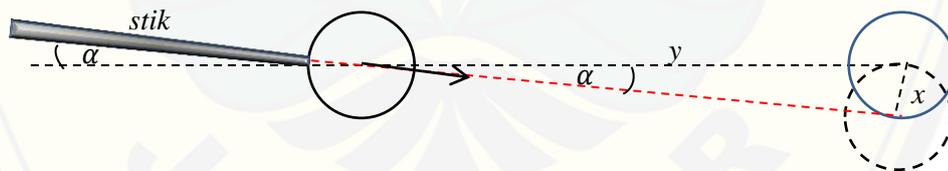
2) Variabel terikat dalam penelitian ini adalah rancangan bahan ajar fisika SMA.

b. Definisi Operasional Variabel

Definisi operasional variabel dibuat untuk menghindari definisi yang rancu dan perbedaan persepsi dalam penelitian ini. Adapun definisi operasional variabel yang terdapat pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1) Kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* merupakan contoh nyata mengenai materi tumbukan.

- a) Sudut θ adalah sudut hambur yang dibentuk oleh arah *cue ball* setelah tumbukan terhadap arah *cue ball* sebelum tumbukan;
- b) Sudut \emptyset adalah sudut hambur yang dibentuk oleh arah *object ball* setelah tumbukan terhadap arah *cue ball* sebelum tumbukan;
- c) Sudut α adalah sudut yang dibentuk oleh stik *billiards* terhadap garis hubung pusat massa kedua bola. Sudut α ini digunakan untuk mengarahkan stik *billiards* sehingga *cue ball* dapat menumbuk *object ball* pada $3/4$ bagian, $5/8$ bagian dan $1/2$ bagian.
- d) Besar sudut α diperoleh menggunakan persamaan $(\alpha = \arcsin \frac{x}{y})$,



Gambar 3.1 Menentukan besar sudut α , dengan y (jarak antara pusat massa *cue ball* dan *object ball* sebelum dipukul oleh stik) dan x (jarak antara pusat massa *cue ball* dan *object ball* ketika kedua bola berhimpitan).

- e) Jarak antara pusat massa *cue ball* dan *object ball* (y) sebelum dipukul oleh stik adalah 30 cm;
- f) Jarak pusat massa *cue ball* dan *object ball* ketika kedua bola berhimpitan (x) adalah 1,425 cm pada $3/4$ bagian, 2,1375 cm pada $5/8$ bagian dan 2,85 cm pada $1/2$ bagian;

- g) Pada penelitian ini mengabaikan efek gaya gesek, efek rotasi pada bola *billiards*, dan energi panas yang muncul ketika kedua bola bertumbukan;
 - h) Pada penelitian ini menggunakan jenis permainan *billiards Pool* dengan jumlah bola 16 buah (1 *cue ball* dan 15 *object ball*);
 - i) Jenis bola *billiards* yang digunakan adalah bola *billiards* belgi. Massa *cue ball* sebesar 0,17 kg, dan massa *object ball* sebesar 0,16 kg. Diameter bola *billiards* jenis belgi adalah 5,7 cm;
 - j) Ukuran meja *billiards* yang digunakan pada penelitian ini memiliki panjang 210 cm, lebar 130 cm dan tinggi 80 cm. Pada meja *billiards* dilapisi kain katun tipis berwarna biru;
 - k) Stik *billiards* yang digunakan memiliki panjang 147 cm dan diameter ujung stik adalah 1,3 cm.
- 2) Rancangan bahan ajar fisika adalah sebuah rancangan bahan ajar yang berbentuk modul. Rancangan ini diterapkan pada materi tumbukan dan menggunakan hasil kajian pada permainan *billiards*. Data-data dan informasi hasil penelitian ini akan dijadikan sebagai acuan membuat rancangan bahan ajar kontekstual meliputi tujuan kompetensi, uraian isi dan latihan soal.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

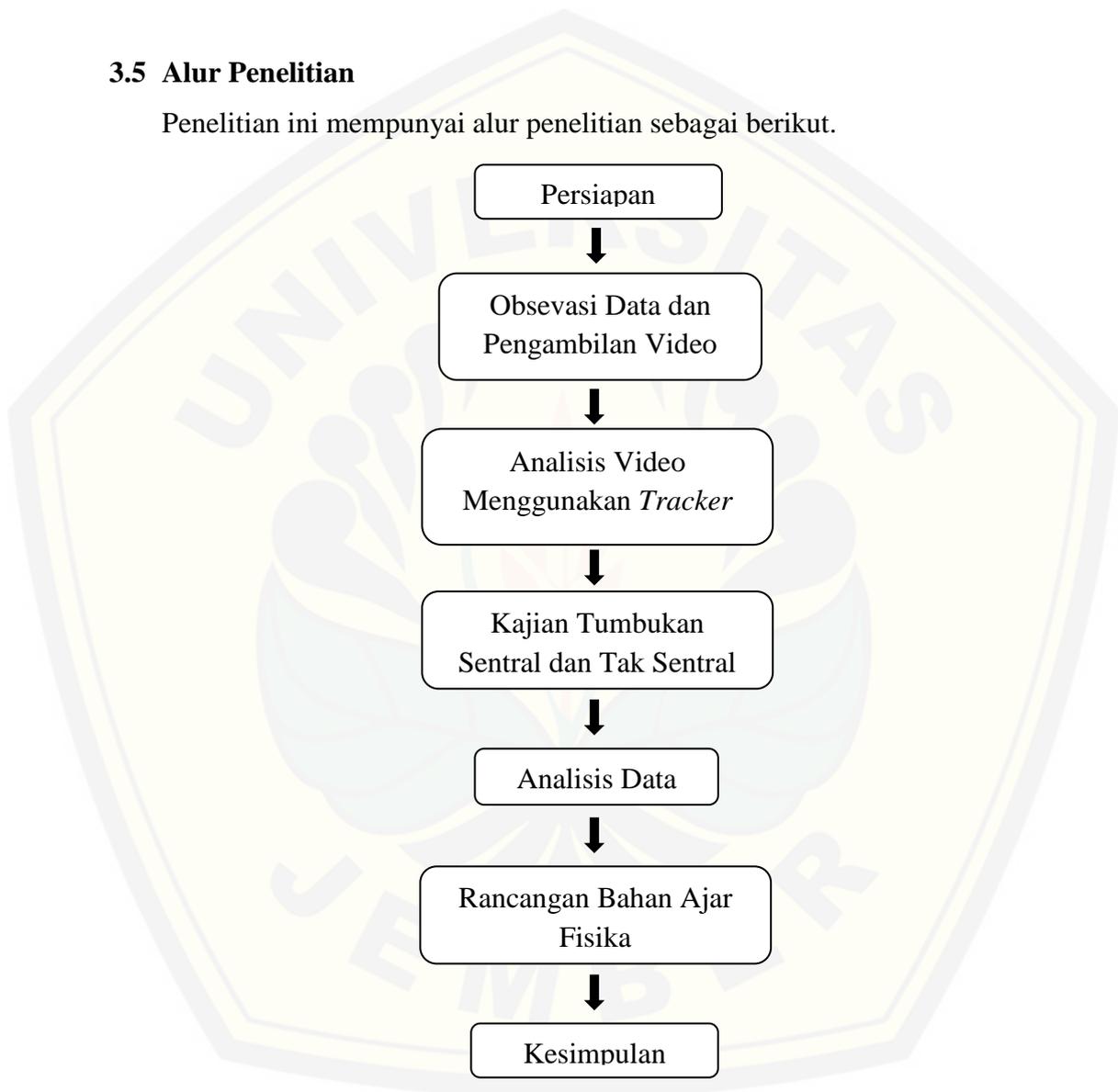
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu.

- a. Satu set permainan *billiards* yang terdiri dari meja *billiards*, stik *billiards* dan bola *billiards*;
- b. *Handycam*, digunakan untuk merekam permainan *billiards*;
- c. Penyangga *Handycam*, digunakan untuk menyangga *handycam* agar dapat merekam video permainan *billiards* dari atas meja *billiards*;
- d. Penggaris, digunakan untuk mengukur jarak antara *cue ball* dan objek *ball*;
- e. Busur derajat, digunakan untuk mengukur sudut antara arah stik *billiards* dengan garis yang menghubungkan pusat massa *cue ball* dengan pusat massa *object ball*;

- f. Laptop terinstal aplikasi *tracker*, digunakan untuk menganalisis video permainan *billiards*;
- g. Neraca digital, digunakan untuk mengukur massa *cue ball* dan *object ball*;
- h. Jangka sorong, digunakan untuk mengukur diameter *cue ball* dan *object ball*.

3.5 Alur Penelitian

Penelitian ini mempunyai alur penelitian sebagai berikut.



Gambar 3.2 Bagan alur penelitian

- a. Persiapan, yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang telah disebutkan sebelumnya;

- b. Observasi data dan pengambilan video, yaitu mengambil data di lapangan dan mengambil video tumbukan sentral dan tak sentral menggunakan *handycam*;
- c. Analisis video menggunakan *tracker*, yaitu menganalisis video permainan *billiards* menggunakan *tracker* untuk mendapatkan data kecepatan dan sudut hambur;
- d. Kajian tumbukan sentral dan tak sentral, yaitu mengkaji materi tumbukan sentral dan tak sentral berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan dan analisis video menggunakan *tracker*;
- e. Analisis data, yaitu menganalisis data yang telah diperoleh dengan teori dan konsep tumbukan sentral dan tak sentral untuk merancang bahan ajar kontekstual;
- f. Rancangan bahan ajar fisika, yaitu pembuatan rancangan bahan ajar fisika berdasarkan hasil analisis data;
- g. Kesimpulan, yaitu membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.6 Teknik Pengambilan Data

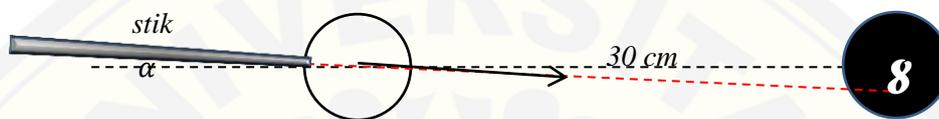
- a. Indikator
Data kajian tumbukan sentral dan tak sentral merupakan data yang berisi tentang kajian konsep tumbukan pada permainan *billiards*.
- b. Instrumen
Data kajian tumbukan sentral dan tak sentral dalam penelitian ini dapat diperoleh melalui dua cara yaitu data primer yang diperoleh dari observasi langsung di lapangan dan melalui data sekunder yang diperoleh berdasarkan perhitungan matematis.
- c. Prosedur
Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini meliputi.
 - 1) Pengambilan video tumbukan sentral dan tak sentral menggunakan *handycam*, kemudian dianalisis menggunakan *tracker* untuk memperoleh data kecepatan linier *cue ball* (v_{cb}) dan *object ball* (v_{ob}) sebelum dan sesudah tumbukan. Skema video tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.

a) Tumbukan sentral



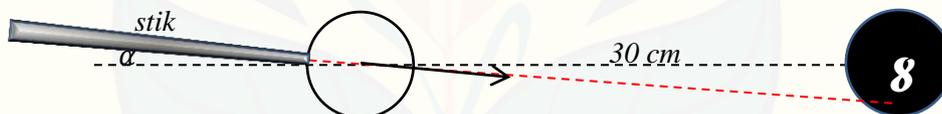
Gambar 3.3 Skema video tumbukan sentral pada permainan *billiards*

b) Tumbukan tak sentral pada 3/4 bagian *object ball*



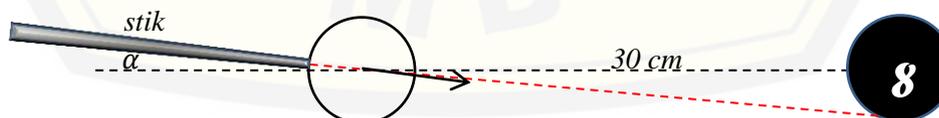
Gambar 3.4 Skema video tumbukan tak sentral pada 3/4 bagian dengan $\alpha = 2,7^\circ$ (α , merupakan sudut antara arah stik *billiards* terhadap garis hubung pusat massa kedua bola).

c) Tumbukan tak sentral pada 5/8 bagian *object ball*



Gambar 3.5 Skema video tumbukan tak sentral pada 5/8 bagian dengan $\alpha = 4,1^\circ$ (α , merupakan sudut antara arah stik *billiards* terhadap garis hubung pusat massa kedua bola).

d) Tumbukan tak sentral pada 1/2 bagian *object ball*



Gambar 3.6 Skema video tumbukan tak sentral pada 1/2 bagian dengan $\alpha = 5,4^\circ$ (α , merupakan sudut antara arah stik *billiards* terhadap garis hubung pusat massa kedua bola).

- 2) Pengukuran massa *cue ball* (m_{cb}) dan *object ball* (m_{ob}) menggunakan neraca digital;
- 3) Pengukuran diameter *cue ball* (d_{cb}) dan *object ball* (d_{ob}) menggunakan jangka sorong;
- 4) Pengukuran sudut hambur *object ball* (ϕ) menggunakan aplikasi *tracker*;

3.7 Teknik Analisa Data

Data hasil pengukuran yang telah diperoleh berdasarkan observasi lapangan akan diolah dan dianalisis untuk menjawab pertanyaan pada rumusan masalah. Adapun data yang diperoleh dari penelitian dimasukkan ke dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data diameter dan massa bola *billiards*

Jenis bola <i>billiards</i>	Diameter (meter)	Massa (kg)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

Tabel 3.2 Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan sentral

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

Tabel 3.3 Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan tak sentral 3/4 bagian

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

Tabel 3.4 Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan tak sentral 5/8 bagian

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

Tabel 3.5 Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan tak sentral 1/2 bagian

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

Tabel 3.6 Data sudut hambur *object ball* (θ)

Tumbukan tak sentral	Sudut hambur <i>object ball</i> (θ)
3/4 bagian	
5/8 bagian	
1/2 bagian	

Tabel 3.7 Data sudut hambur *cue ball* (θ)

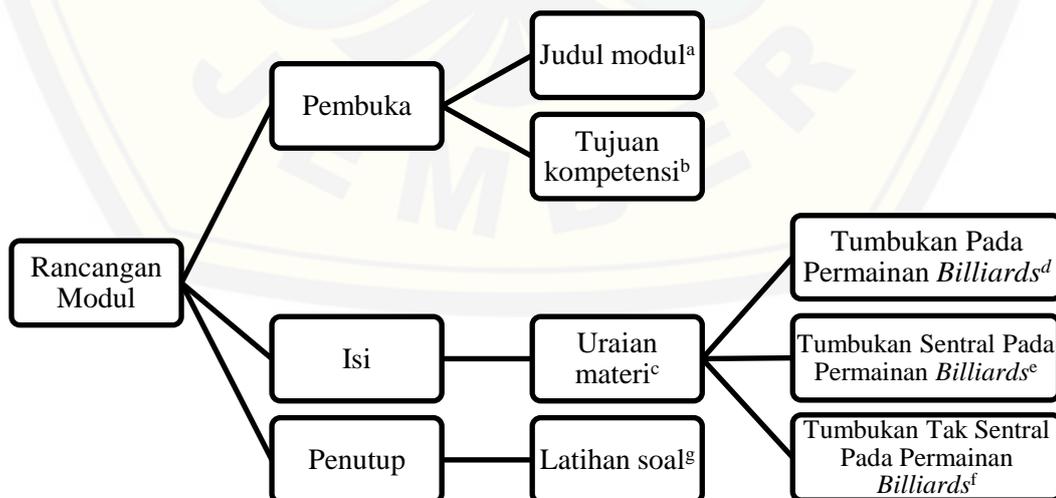
Tumbukan tak sentral	Sudut hambur <i>cue ball</i> (θ)
3/4 bagian	
5/8 bagian	
1/2 bagian	

Data-data tersebut kemudian dianalisis untuk mengkaji tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*. Hasil kajian ini kemudian digunakan untuk mendeskripsikan rancangan bahan ajar fisika kontekstual untuk siswa SMA.

3.8 Rancangan Bahan Ajar

Pada penelitian yang akan dilakukan, peneliti akan merancang bahan ajar dengan ketentuan sebagai berikut.

- Penelitian ini akan membuat rancangan bahan ajar berupa rancangan modul.
- Rancangan modul dibuat berdasarkan struktur penulisan modul yang disajikan dalam bentuk peta konsep pada Gambar 3.7;
- Struktur penulisan modul yang dibuat disesuaikan dengan data dan informasi yang diperoleh dari hasil kajian yang telah dilakukan.



Gambar 3.7 Rancangan modul dalam bentuk peta konsep

Keterangan :

- a. Judul modul perlu menarik dan memberi gambaran tentang materi yang dibahas;
- b. Tujuan kompetensi membantu pembelajar untuk mengetahui pengetahuan, sikap, atau keterampilan apa yang dapat dikuasai setelah menyelesaikan pelajaran;
- c. Uraian materi merupakan penjelasan secara terperinci tentang materi pembelajaran yang disampaikan dalam modul. Organisasikan isi materi pembelajaran dengan urutan dan susunan yang sistematis, sehingga memudahkan pembelajar memahami materi pembelajaran;
- d. Materi tumbukan pada permainan *billiards*, merupakan uraian materi tentang konsep tumbukan secara umum;
- e. Materi tumbukan sentral pada permainan *billiards*, merupakan uraian materi tentang kasus tumbukan sentral pada permainan *billiards*;
- f. Materi tumbukan tak sentral pada permainan *billiards*, merupakan uraian materi tentang kasus tumbukan tak sentral pada permainan *billiards*;
- g. Latihan soal merupakan latihan yang dapat pembelajar kerjakan setelah mempelajari suatu bagian dalam modul.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan mengenai kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* sebagai rancangan bahan ajar fisika SMA, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- a. Hasil kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* menunjukkan bahwa hukum kekekalan momentum berlaku pada tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral pada permainan *billiards*. Nilai rata-rata koefisien restitusi dari tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral adalah sebesar $e = 0,524$, yang menunjukkan bahwa tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* tergolong tumbukan lenting sebagian;
- b. Rancangan bahan ajar yang dibuat adalah rancangan modul yang terdiri dari judul modul, tujuan kompetensi, uraian materi dan latihan soal yang dibuat berdasarkan data-data hasil kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*.

5.2 Saran

Pada penelitian ini hanya menghasilkan rancangan bahan ajar berupa modul. Saran yang bisa diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu.

- a. Rancangan modul yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dikembangkan menjadi modul kontekstual;
- b. Rancangan modul yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu bahan pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar I*. Bandung: ITB Press.
- Aprianti, R., Desnita., dan Budi, E. 2015. Pengembangan modul berbasis Contextual Teaching and Learning (CTL) dilengkapi dengan media audiovisual untuk meningkatkan hasil belajar peserta didik SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 4(1): 137-142.
- Azizah, N. 2014. Penerapan model inkuiri terbimbing untuk meningkatkan keterampilan proses sains dan hasil belajar fisika siswa kelas X.C di MAN 2 Jember tahun ajaran 2013/2014. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 3(3): 235-241.
- Benenson, W. 2001. *Handbook of Physics*. New York: Library and Congress Cataloging.
- Brown, D. 2013. Sharing Video Experiments with Tracker Digital Libraries. *Proceedings AAPT Winter Seminar 2013*. New Orleans. USA.
- Brunswick. 1904. *Moderns Billiards*. New York: Printing and Book Binding Company.
- David, G. 2007. Pool and Billiards Physics Principles by Coriolis and Others. http://billiards.colostate.edu/physics/Alciatore_pool_physics_article.pdf. [Diakses 18 September 2017].
- Departemen Pendidikan Nasional. 2003. *Kurikulum dan Hasil Belajar*. Jakarta: Depdiknas.
- Departemen Pendidikan Nasional. 2008. *Panduan Pengembangan Bahan Ajar*. Jakarta: BSNP
- Direktorat Tenaga Kependidikan. 2008. *Penulisan Modul*. Jakarta: Depdiknas.
- Giancoli, D.C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Habibulloh. 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*. 4(1): 16.
- Harijanto, M. 2007. Pengembangan bahan ajar untuk peningkatan kualitas pembelajaran program pendidikan pembelajar sekolah dasar. *Didaktika*. 2(1): 1-11.

- Indrawati. 2007. Peranan foto dalam meningkatkan kemampuan mahasiswa calon guru fisika dalam membuat media pembelajaran fisika sekolah menengah yang kontekstual. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*. 13(69): 986-984.
- Laws, P. dan Pfister, H. 1998. Using digital video analysis in introductory mechanics projects. *Phys. Teach.* 36: 282–287.
- Leider, N. 2010. *Poll & Billiards for Dummies*. Indiana: Wiley Publising Inc.
- Liu, M. 2005. Alien Rescue: A Problem-Based Learning Environment for Middle School Science.
<http://tip.missouri.edu/tip.nsf/0/D03C1427DD93E76F86256BE7007FB59F?OpenDocument>. [Diakses 10 Oktober 2017].
- Luders, K. 2017. *Pohl's Introducing to Physics*. Switzerland: Springer Nature.
- Majid, A. 2007. *Perencanaan Pembelajaran*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- Nurrachmandani, S. 2009. *Fisika 2: Untuk SMA/MA Kelas XI*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- 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.
- Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 103 Tahun 2014. *Pembelajaran Pada Pendidikan Dasar dan Pendidikan Menengah*. 3 Oktober 2014. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 1506. Jakarta.
- Prastowo, A. 2012. *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Yogyakarta: Diva Press.
- Priyambodo & Jati. 2009. *Fisika Dasar untuk Mahasiswa Ilmu Komputer dan Informatika*. Yogyakarta: C.V Andi Ofset.
- Putu, S. 2012. Pengembangan modul fisika kontekstual untuk meningkatkan hasil belajar fisika peserta didik kelas X semester 2 di SMK Negeri 3 Singaraja. *Jurnal Penelitian Pascasarjana UNDIKSHA*. 1(2):1-24.
- Ristanto, S. 2011. Eksperimen gerak jatuh bebas berbasis perekaman video di MA Wahid Hasyim. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*. 3 (1): 1-8.
- Sarwono. 2009. *Fisika 2: Mudah dan Sederhana Untuk SMA/MA Kelas XI*. Jakarta: C.V Putra Nugraha.

- Satriawan, M. 2016. Pengembangan bahan ajar fisika berbasis kontekstual dengan mengintegrasikan kearifan lokal untuk meningkatkan pemahaman konsep fisika pada mahasiswa. *Jurnal Sains Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya*. 6(1):1212-1217.
- Setiono, A. 2013. Kajian penerapan konsep impuls untuk menghitung berat kendaraan berjalan menggunakan sensor serat optik. *Seminar Nasional 7 Lontar Physics Forum 2013*. ISBN:978-602-8047-80-7.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sujanem, R. 2009. Pengembangan modul fisika kontekstual interaktif berbasis web untuk siswa kelas I SMA. *Jurnal Pendidikan dan Pengajaran*. 2: 97-104.
- Supeno. 2010. *Mekanika*. Jember: LP3 dan UPT Penerbitan Universitas Jember.
- Syuhendri. 2013. Analisis pemahaman konsep mekanika mahasiswa program studi pendidikan fisika tahun 1 dengan menggunakan *Force Concept Inventory (FCI)* dan *Certainty of Response Index (CRI)*. <http://eprints.unsri.ac.id/7288/>. [Diakses pada 25 September 2017].
- Tipler, P. A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Widarto. 2016. Pengembangan modul fisika berbasis CTL pada fluida statis dan fluida dinamis untuk meningkatkan prestasi fisika SMA kelas XI IPA. *Jurnal Inkuiri*. 5(1): 9-20.
- Young. 2000. *Physics of Billiards*.
<http://thedocisforloving.freesevers.com/TheReport.html>. [Diakses pada 20 September 2017].

LAMPIRAN

Lampiran A. Instrumen Pengumpulan Data

a. Indikator

Data kajian tumbukan sentral dan tak sentral merupakan data yang berisi tentang kajian konsep tumbukan pada permainan *billiards*.

b. Instrumen

Data kajian tumbukan sentral dan tak sentral dalam penelitian ini dapat diperoleh melalui dua cara yaitu data primer yang diperoleh dari observasi langsung di lapangan dan melalui data sekunder yang diperoleh berdasarkan perhitungan matematis.

c. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu.

- 1) Satu set permainan *billiards*;
- 2) *Handycam*, digunakan untuk merekam permainan *billiards*;
- 3) Penyangga *Handycam*, digunakan untuk menyangga *handycam* agar dapat merekam video dari atas meja *billiards*;
- 4) Penggaris, digunakan untuk mengukur jarak antara *cue ball* dan *object ball*;
- 5) Busur derajat, digunakan untuk mengukur sudut antara stik *billiards* dengan garis normal;
- 6) Laptop terinstal aplikasi *tracker*, digunakan untuk menganalisis video permainan *billiards*;
- 7) Neraca digital, digunakan untuk mengukur massa *cue ball* dan *object ball*;
- 8) Jangka sorong, digunakan untuk mengukur diameter *cue ball* dan *object ball*.

d. Prosedur Pengumpulan Data

Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini meliputi.

- 1) Pengukuran massa *cue ball* (m_1) dan *object ball* (m_2) menggunakan neraca digital;

Tabel 1. Data massa bola *billiards*

Jenis bola <i>billiards</i>	Massa (kg)
<i>Cue ball</i>	
<i>Object ball</i>	

- 2) Pengukuran diameter *cue ball* (d_1) dan *object ball* (d_2) menggunakan jangka sorong;

Tabel 2. Data diameter bola *billiards*

Jenis bola <i>billiards</i>	Diameter (meter)
<i>Cue ball</i>	
<i>Object ball</i>	

- 3) Pengambilan video tumbukan sentral menggunakan *handycam* sesuai dengan gambar 1. sebagai berikut,

Gambar 1. Skema video percobaan tumbukan sentral pada permainan *billiards*

kemudian dianalisis menggunakan *tracker* untuk memperoleh data kecepatan translasi *cue ball* (v_1) dan *object ball* (v_2) sebelum dan sesudah tumbukan;

Tabel 3. Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan sentral

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

- 4) Pengambilan video tumbukan tak sentral menggunakan *handycam* dan analisis video tumbukan menggunakan *tracker*.,

a) Tumbukan tak sentral pada 3/4 bagian



Gambar 2. Skema video percobaan tumbukan tak sentral pada 3/4 bagian dengan $\alpha = 2,7^\circ$.

kemudian dianalisis menggunakan *tracker* untuk memperoleh data kecepatan translasi *cue ball* (v_1) dan *object ball* (v_2) sebelum dan sesudah tumbukan;

Tabel 4. Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan tak sentral 3/4 bagian

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

b) Tumbukan tak sentral pada 5/8 bagian



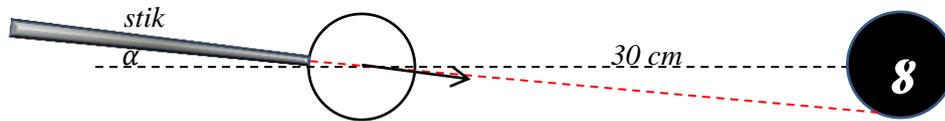
Gambar 2. Skema video percobaan tumbukan tak sentral pada 5/8 bagian dengan $\alpha = 4,1^\circ$.

kemudian dianalisis menggunakan *tracker* untuk memperoleh data kecepatan translasi *cue ball* (v_1) dan *object ball* (v_2) sebelum dan sesudah tumbukan;

Tabel 5. Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan tak sentral 5/8 bagian

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

c) Tumbukan tak sentral pada 1/2 bagian,



Gambar 2. Skema video percobaan tumbukan tak sentral pada 1/2 bagian dengan $\alpha = 5,4^\circ$.

kemudian dianalisis menggunakan *tracker* untuk memperoleh data kecepatan translasi *cue ball* (v_1) dan *object ball* (v_2) sebelum dan sesudah tumbukan;

Tabel 6. Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan tak sentral 1/2 bagian

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>		
<i>Object ball</i>		

d) Pengukuran sudut hambur *object ball* (ϕ);

Tabel 7. Data sudut hambur *object ball* (ϕ)

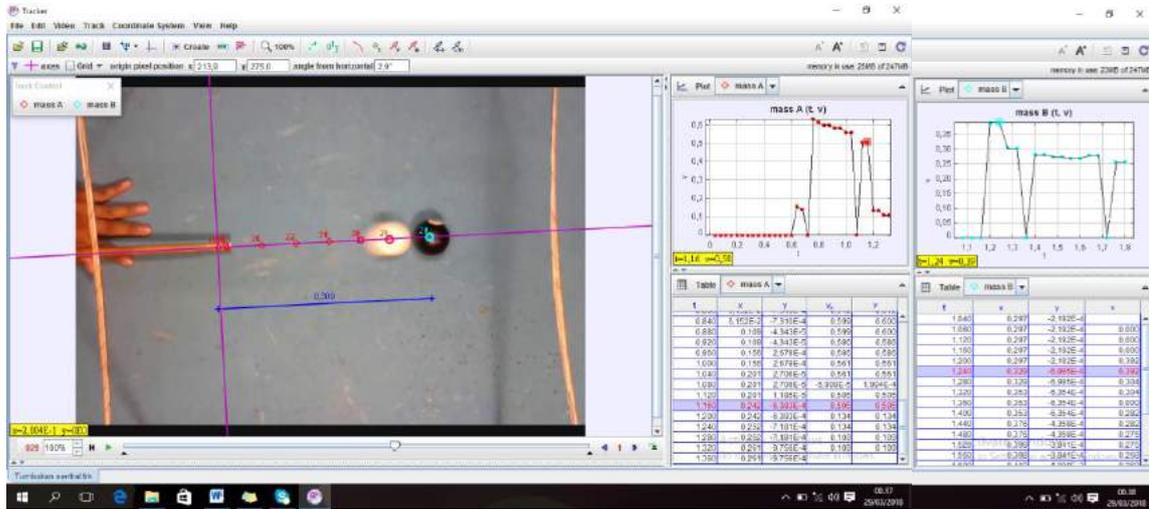
Tumbukan tak sentral	sudut hambur <i>object ball</i> (ϕ)
3/4 bagian	
5/8 bagian	
1/2 bagian	

e) Pengukuran sudut hambur *cue ball* (θ);

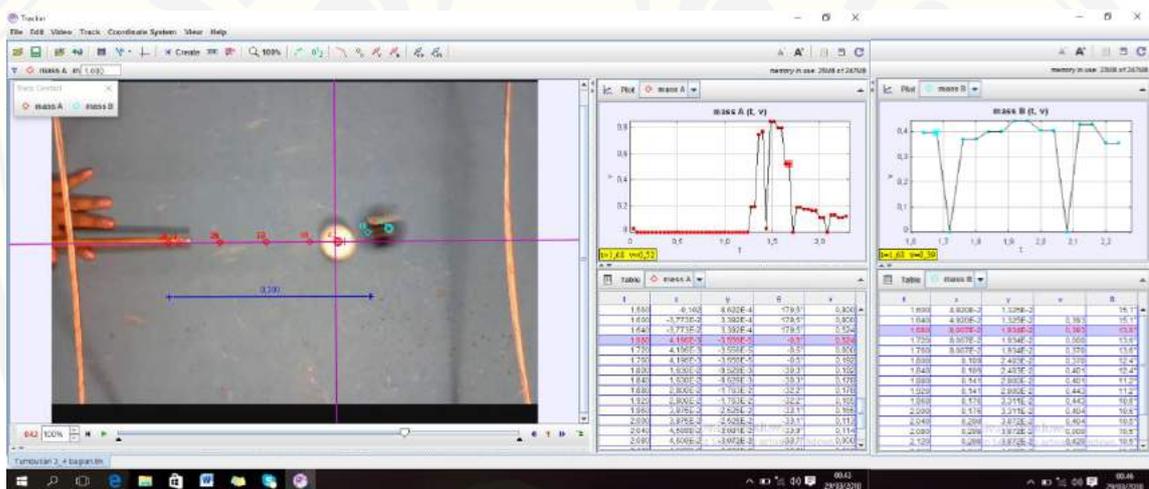
Tabel 8. Data sudut hambur *cue ball* (θ)

Tumbukan tak sentral	Sudut hambur <i>cue ball</i> (θ)
3/4 bagian	
5/8 bagian	
1/2 bagian	

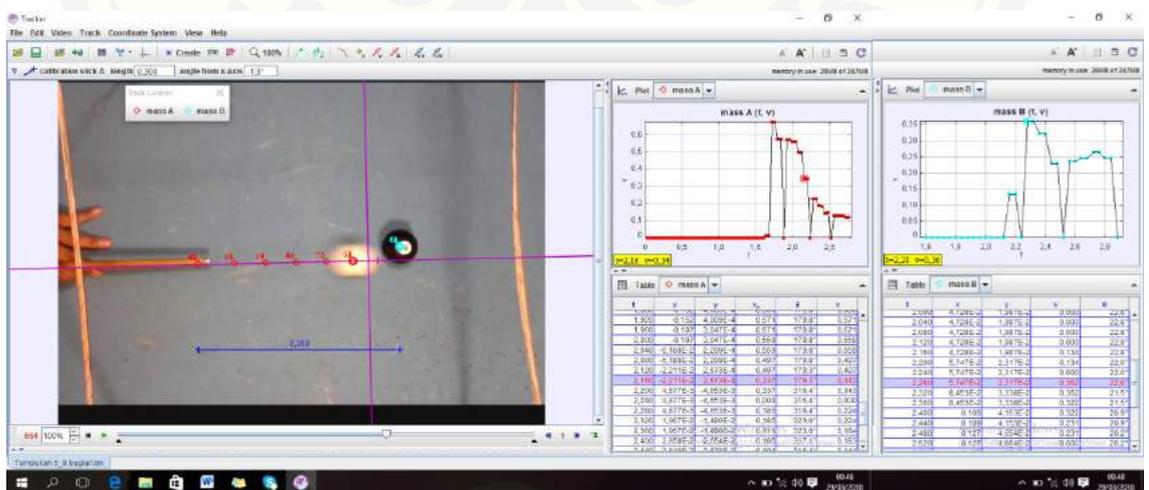
Lampiran B. Dokumentasi penelitian



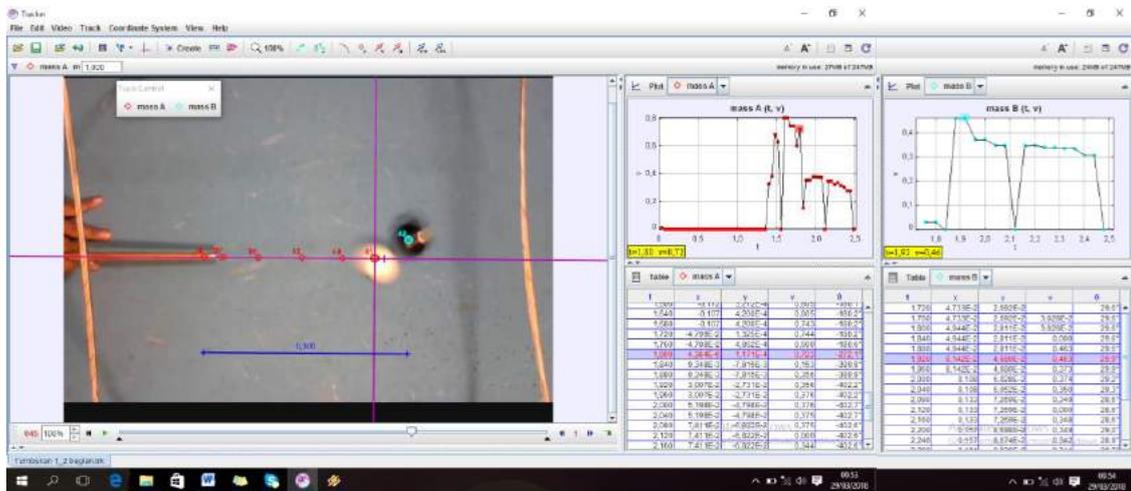
Analisis menggunakan aplikasi *tracker* pada tumbukan sentral



Analisis menggunakan aplikasi *tracker* pada tumbukan tak sentral 3/4 bagian



Analisis menggunakan aplikasi *tracker* pada tumbukan tak sentral 5/8 bagian



Analisis menggunakan aplikasi *tracker* pada tumbukan tak sentral 1/2 bagian



Tempat permainan *billiards poll* di Kabupaten Lumajang



Penelitian di Laboratorium Fisika Dasar Pendidikan Fisika Universitas Jember

MATRIK PENELITIAN

NAMA : FANI ALDILAH ROSYADI

NIM : 140210102086

RG : 1

JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	JENIS PENELITIAN	SUMBER DATA	TEKNIK PENGAMBILAN DATA	ANALISIS DATA	ALUR PENELITIAN
Kajian Tumbukan Sentral dan Tak Sentral Pada Permainan <i>Billiards</i> Sebagai Rancangan Bahan Ajar Fisika SMA	<ol style="list-style-type: none"> Mengkaji tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan <i>billiards</i> Membuat rancangan bahan ajar fisika SMA berdasarkan kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan <i>billiards</i> 	Deskriptif analitis	<ol style="list-style-type: none"> Hasil Observasi Aplikasi <i>Tracker Video Analysis</i> Jurnal Buku literatur terkait 	<ol style="list-style-type: none"> Pengukuran massa dan diameter <i>cue ball</i> dan <i>object ball</i> Pengukuran bagian-bagian <i>object ball</i> (<i>full ball</i>, 3/4 bagian, 5/8 bagian, 1/2 bagian) Pengambilan video saat tumbukan terjadi pada masing-masing bagian <i>object ball</i> Pengukuran sudut hambur <i>object ball</i> setelah tumbukan pada 	Data hasil pengukuran dan aplikasi <i>tracker</i> kemudian dianalisis untuk mengkaji tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan <i>billiards</i> . Hasil kajian ini kemudian digunakan untuk mendeskripsikan rancangan bahan ajar fisika kontekstual untuk siswa SMA.	<ol style="list-style-type: none"> Persiapan Pengambilan video dan observasi data lapangan Analisis video menggunakan <i>Tracker</i> Kajian tumbukan sentral dan tak sentral Analisis data Rancangan sumber belajar kontekstual Kesimpulan

				masing-masing bagian <i>object ball</i> 5. Analisis video menggunakan aplikasi <i>tracker</i> untuk memperoleh data kecepatan sebelum tumbukan dan kecepatan sesudah tumbukan pada masing-masing bagian <i>object ball</i>	
--	--	--	--	---	--

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Utama,

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc
NIP. 19680710 199302 1 001

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Anggota,

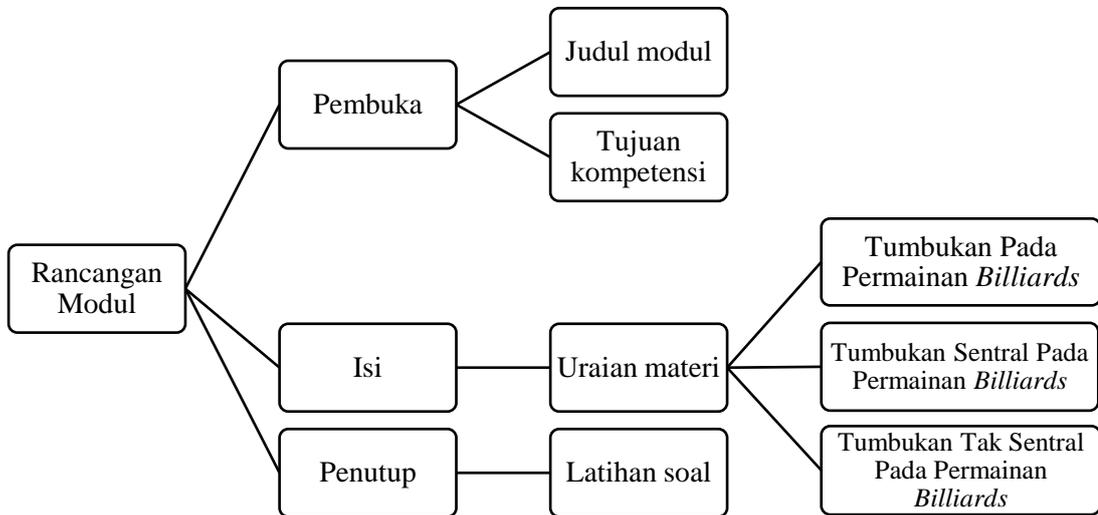
Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si
NIP.19641230 199302 1 001

Collisions In Billiards Games

Materi Tumbukan
Untuk SMA



A. SKEMA RANCANGAN MODUL



B. TUJUAN KOMPETENSI

Kompetensi Dasar : 3.10 Menerapkan konsep momentum dan impuls, serta hukum kekekalan momentum dalam kehidupan sehari-hari

Tujuan Pembelajaran :

- 3.10.1 Siswa dapat menjelaskan pengertian tumbukan sentral dan tak sentral;
- 3.10.2 Siswa dapat menerapkan hukum kekekalan momentum linier untuk menyelesaikan masalah tumbukan sentral pada permainan *billiards*;
- 3.10.3 Siswa dapat menerapkan hukum kekekalan momentum linier untuk menyelesaikan masalah tumbukan tak sentral pada permainan *billiards*;
- 3.10.4 Siswa dapat menentukan koefisien restitusi pada tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*.

TUMBUKAN

Tumbukan adalah peristiwa bertemunya dua benda atau lebih pada saat bersamaan. Tumbukan dapat berlangsung sangat singkat, misalnya tumbukan antara dua bola *billiards*. Permainan *billiards* dimainkan dengan peralatan yaitu stik *billiards*, meja *billiards* dan bola *billiards* yang terdiri dari *cue ball* (bola berwarna putih) dan *object ball* (bola bernomor). Di Indonesia, saat ini telah banyak ditemui pusat permainan *billiards*. Namun yang berkembang adalah permainan *billiards* jenis *Pool*. Pada *billiards pool*, *cue ball* dan *object ball* memiliki ukuran yang sama yaitu 5,7 cm namun memiliki massa yang berbeda yaitu massa *cue ball* adalah 0,17 kg dan massa *object ball* adalah 0,16 kg. Ukuran meja *billiards pool* memiliki panjang 210 cm, lebar 130 cm dan tinggi 80 cm, sedangkan stik *billiards* yang digunakan memiliki panjang 147 cm dan diameter ujung stik adalah 1,3 cm.



Gambar 1. Permainan *billiards*

Pada saat *cue ball* dipukul oleh stik kemudian menggelinding hingga menumbuk bola lainnya, sangatlah perlu untuk diketahui hal-hal yang dapat dikontrol agar bola *billiards* dapat masuk ke dalam lubang. Salah satu kontrol yang dapat dilakukan agar bola dapat masuk ke dalam lubang adalah dengan mengontrol arah bola *billiards* setelah tumbukan. Pada proses tumbukan, bola *billiards* yang bertumbukan akan berinteraksi dengan kuat hanya selama tumbukan berlangsung. Kalaupun ada gaya eksternal yang bekerja, besarnya akan jauh lebih kecil daripada gaya interaksi yang terjadi, dan oleh karenanya gaya tersebut diabaikan.

Pada semua jenis tumbukan akan berlaku hukum kekekalan momentum, namun tidak selalu berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Pada tumbukan antara bola *billiards*, jika energi kinetik total bola *billiards* setelah tumbukan sama dengan energi kinetik total bola *billiards* sebelum tumbukan, tumbukannya



Uji Pemahaman

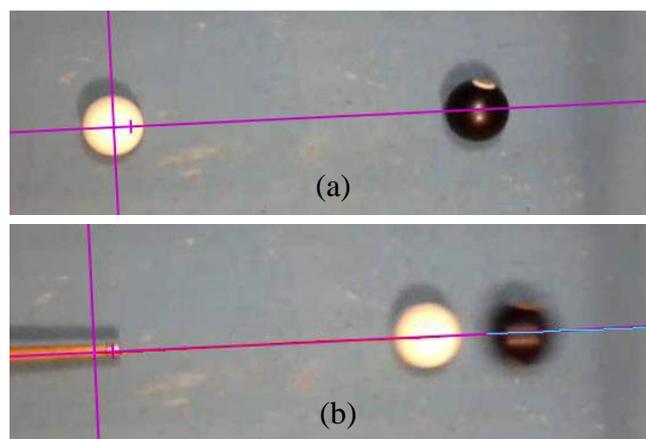
Rayes adalah pemain *billiards* top dunia asal Filipina. Kehebatannya adalah dia bisa memasukan 2 bola *billiards* hanya dalam satu pukulan dari posisi manapun. Menurut kalian bagaimana rayes dapat melakukan hal itu?

disebut tumbukan elastik sempurna. Sebaliknya, jika energi kinetik total bola *billiards* setelah tumbukan tidak sama dengan energi kinetik total bola *billiards* sebelum tumbukan, tumbukannya disebut tumbukan tak elastik. Pada tumbukan tak elastik sebagian energi kinetik diubah menjadi bentuk lain (misalnya energi panas) sehingga energi kinetik total setelah tumbukan lebih kecil daripada energi kinetik total sebelum tumbukan.

Tumbukan *cue ball* dengan *object ball* pada permainan *billiards* dapat berupa tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral. Kedua jenis tumbukan ini memiliki perbedaan pada posisi pusat massa bola ketika bertumbukan. Pada tumbukan sentral tumbukan terjadi pada satu dimensi, sedangkan pada tumbukan tak sentral terjadi pada bidang dua dimensi.

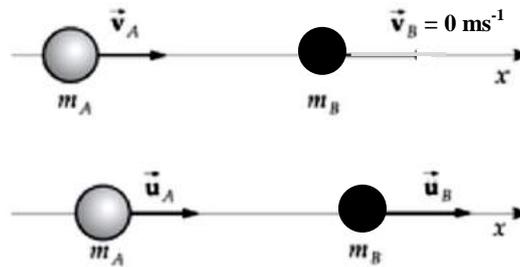
1. Tumbukan Sentral Pada Permainan *Billiards*

Tumbukan sentral adalah tumbukan antara dua benda yang pusat massanya segaris atau berada dalam satu dimensi. Pada permainan *billiards* tumbukan sentral terjadi pada saat *cue ball* bertumbukan dengan *object ball* yang titik tumbukannya berada segaris pada pusat massa kedua bola.



Gambar 2. Tumbukan sentral. (a) Sebelum tumbukan; (b) Sesudah tumbukan

Proses tumbukan sentral pada permainan *billiards* dapat dianalisis menggunakan hukum kekekalan energi kinetik dan hukum kekekalan momentum. Tinjau dua bola *billiards* bermassa m_A (*cue ball*) dan m_B (*object ball*) bergerak dalam lintasan lurus pada sumbu x seperti pada gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Tumbukan sentral pada sumbu x , dengan \vec{v} (kecepatan sebelum tumbukan) dan \vec{u} (kecepatan setelah tumbukan).

Pada kondisi sebelum tumbukan, *object ball* berada dalam keadaan diam ($v_B = 0 \text{ m/s}$), sehingga energi kinetik total pada titik temu kedua bola *billiards* adalah sebagai berikut,

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = \frac{1}{2} m_A u_A^2 + \frac{1}{2} m_B u_B^2 \dots\dots\dots(1)$$

sedangkan hukum kekekalan momentumnya adalah,

$$m_A v_A = m_A u_A + m_B u_B \dots\dots\dots(2)$$

persamaan hukum kekekalan energi kinetik dapat ditulis menjadi,

$$m_A (v_A^2 - u_A^2) = m_B u_B^2$$

$$m_A (v_A + u_A)(v_A - u_A) = m_B u_B^2 \dots\dots\dots(3)$$

persamaan hukum kekekalan momentum dapat ditulis menjadi,

$$m_A (v_A - u_A) = m_B u_B \dots\dots\dots(4)$$

subtitusikan persamaan (4) ke dalam persamaan (3) sehingga,

$$v_A + u_A = u_B \dots\dots\dots(5)$$

dari persamaan (5), dapat diperoleh persamaan dari u_B ,

$$u_B = v_A + u_A \dots\dots\dots(6)$$

pada persamaan (6) untuk menentukan u_A dapat ditentukan dengan mensubtitusikan persamaan (6) ke dalam persamaan (4) sehingga didapatkan,

$$u_A = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} v_A \dots\dots\dots(7)$$

dan cara yang sama juga digunakan untuk menentukan u_B , sehingga didapatkan,

$$u_B = \frac{2m_A}{m_A + m_B} v_A \dots\dots\dots(8)$$

Tumbukan sentral dapat terjadi pada benda yang memiliki massa sama, ataupun dua benda yang memiliki massa yang berbeda. Hubungan massa benda yang bertumbukan dengan kecepatan benda adalah sebagai berikut.

- a. Tumbukan dua benda bermassa sama

$$u_A = 0, \quad u_B = v_A \dots\dots\dots(9)$$

- b. Tumbukan antara benda berat dan benda ringan

Jika benda A jauh lebih berat daripada benda : $m_A \gg m_B$ maka,

$$u_A \approx v_A, \quad u_B \approx 2v_A \dots\dots\dots(10)$$

kecepatan relatif dari benda kedua setelah tumbukan sama dengan negatif dari kecepatan relatif sebelum tumbukan,

$$u_B - u_A \approx -(-v_A) \dots\dots\dots(11)$$

jadi, benda bermassa ringan dipentalkan oleh benda bermassa berat.



Mari bernalar !!!

Coba jelaskan apakah koefisien restitusi pada tumbukan sentral bola *billiards* antara *cue ball* dan *object ball* dipengaruhi oleh besar kecepatan *cue ball* sebelum tumbukan? Diskusikan dengan teman sebangkumu.

Pada kejadian kontekstual contohnya permainan *billiards*, tumbukan lenting sempurna sangat sulit untuk ditemui karena banyak faktor yang mempengaruhi. Oleh karena itu pada tumbukan sentral/tumbukan satu dimensi juga didefinisikan besaran tanpa satuan yang disebut koefisien restitusi yaitu besaran yang mencirikan tingkat kelentingan suatu benda yang

bertumbukan. Persamaan koefisien restitusi pada tumbukan sentral dapat ditulis sebagai berikut,

$$e \leq -\frac{u_B - u_A}{v_B - v_A} \dots\dots\dots(12)$$

dari persamaan (12), dapat diketahui bahwa koefisien restitusi merupakan negatif dari rasio selisih kecepatan setelah tumbukan dengan selisih kecepatan sebelum tumbukan. Koefisien restitusi memiliki nilai maksimum 1 dan nilai minimum 0 (nol), sehingga nilai koefisien restitusi berada pada interval sebagai berikut,

$$0 \leq e \leq 1 \dots\dots\dots(13).$$

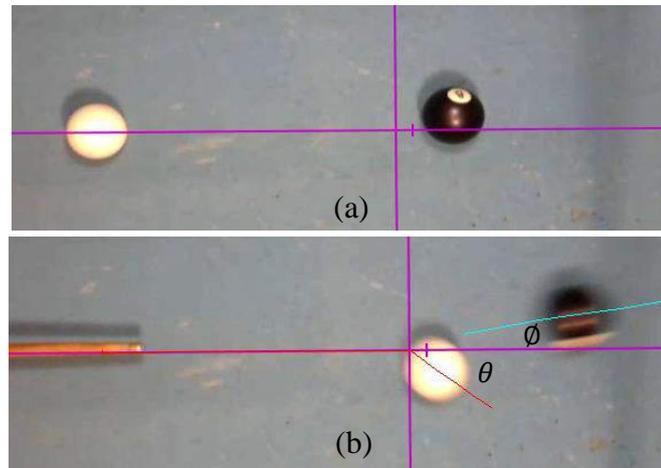
Pada permainan *billiards* hal yang perlu diperhatikan ketika bermain adalah arah dan kecepatan *object ball* setelah ditumbuk oleh *cue ball*. karena akan menentukan masuk tidaknya *object ball* ke dalam lubang. Berdasarkan persamaan hukum kekekalan momentum dan besar koefisien restitusi, dapat ditentukan persamaan matematis untuk menentukan kecepatan sesaat *object ball* setelah tumbukan pada tumbukan sentral yaitu,

$$u_B = \frac{m_A v_A (1 + e)}{m_A + m_B} \dots\dots\dots(14)$$

persamaan ini berlaku apabila setelah tumbukan *cue ball* dan *object ball* bergerak searah dengan pergerakan *cue ball* sebelum tumbukan.

B. Tumbukan Tak Sentral Pada Permainan *Billiards*

Tumbukan tak sentral adalah tumbukan dua benda yang bertemu pada satu titik tetapi tidak segaris dengan pusat massa masing-masing benda.



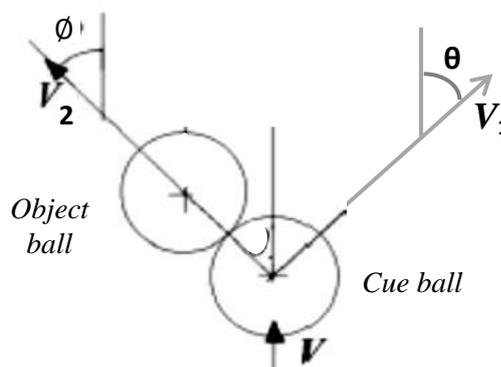
Gambar 4. Tumbukan tak sentral dengan ϕ adalah sudut hambur *object ball* dan θ adalah sudut hambur *cue ball*. (a) Sebelum tumbukan; (b) Sesudah tumbukan

Pada tumbukan tak sentral bola *billiards* antara *cue ball* dan *object ball* berlaku kasus ($m_A > m_B$) karena massa *cue ball* (0,17 kg) lebih besar daripada massa *object ball* (0,16 kg). Setelah tumbukan *cue ball* dan *object ball* akan terhambur dengan sudut antara 0° sampai 180° Sudut yang dibentuk oleh *cue ball* setelah tumbukan terhadap arah *cue ball* sebelum tumbukan adalah θ , dan sudut yang dibentuk oleh *object ball* setelah tumbukan terhadap arah *cue ball* sebelum tumbukan adalah ϕ . Skema tumbukan tak sentral pada permainan *billiards* dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.

Jendela Teknologi



Aplikasi *tracker* adalah aplikasi analisis video yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan benda sebelum dan sesudah tumbukan. Aplikasi ini cocok digunakan dalam praktikum fisika materi tumbukan. Contoh praktikum dapat dilihat di www.Bandicam.com.



Gambar 5. Diagram tumbukan tak sentral pada permainan *billiards*

Pada peristiwa tumbukan tak sentral antar bola *billiards* yaitu bola 1 (*cue ball*) dan bola 2 (*object ball*) berlaku hukum kekekalan momentum ($\vec{p}_{awal} = \vec{p}_{akhir}$) sehingga,

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \dots\dots\dots(15)$$

karena kecepatan awal bola 2 adalah nol ($v_2 = 0$) maka,

$$m_1 v_1 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \dots\dots\dots(16)$$

setelah tumbukan, bola 1 terpental dengan sudut θ terhadap sumbu x , dan bola 2 terpental dengan sudut ϕ terhadap sumbu x . Kemudian menguraikan hukum kekekalan momentum masing-masing bola dalam komponen sumbu x yaitu,

$$m_1 v_1 = m_1 v'_1 \cos \theta + m_2 v'_2 \cos \phi \dots\dots\dots(17)$$

dan sumbu y yaitu,

$$m_1 v'_1 \sin \theta = m_2 v'_2 \sin \phi \dots\dots\dots(18)$$

setelah itu mengkuadratkan persamaan (17) menjadi,

$$m_1^2 v_1^2 - 2 m_1^2 v_1 v'_1 \cos \theta + m_1^2 v_1'^2 \cos^2 \theta = m_2^2 v_2'^2 \cos^2 \phi \dots\dots\dots(19)$$

kemudian mengkuadratkan persamaan (18) menjadi,

$$m_1^2 v_1'^2 \sin^2 \theta = m_2^2 v_2'^2 \sin^2 \phi \dots\dots\dots(20)$$

setelah itu menambahkan persamaan (19) dengan persamaan (20),

$$m_1^2 v_1^2 - 2 m_1^2 v_1 v'_1 \cos \theta + m_1^2 v_1'^2 \cos^2 \theta = m_2^2 v_2'^2 \cos^2 \phi$$

$$m_1^2 v_1'^2 \sin^2 \theta = m_2^2 v_2'^2 \sin^2 \phi$$

$$m_1^2 v_1^2 - 2 m_1^2 v_1 v'_1 \cos \theta + m_1^2 v_1'^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = m_2^2 v_2'^2 (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi) \dots\dots(21)$$

dengan menggunakan identitas $\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$ dan $\cos^2 \phi + \sin^2 \phi = 1$ maka bentuk persamaan (21) dapat disederhanakan menjadi,

$$m_2^2 v_2'^2 = m_1^2 v_1^2 - 2 m_1^2 v_1 v'_1 \cos \theta + m_1^2 v_1'^2 \dots\dots\dots(22)$$

kemudian membagi persamaan (22) dengan m_1^2 sehingga diperoleh,

$$\left(\frac{m_2}{m_1}\right)^2 v_2'^2 = v_1^2 - 2 v_1 v'_1 \cos \theta + v_1'^2 \dots\dots\dots(23)$$

pada tumbukan elastik berlaku hukum kekekalan energi kinetik,

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \dots\dots\dots(24)$$

dari persamaan (24) dapat diperoleh,

$$v_2'^2 = \frac{m_1}{m_2} (v_1^2 - v_1'^2) \dots\dots\dots(25)$$

substitusi persamaan (25) ke persamaan (24), sehingga didapatkan persamaan kuadrat dalam bentuk v_1'/v_1 sebagai berikut,

$$\left(\frac{m_1+m_2}{m_1}\right) \left(\frac{v_1'}{v_1}\right)^2 - 2 \cos \theta \frac{v_1'}{v_1} + \left(\frac{m_1-m_2}{m_1}\right) = 0 \dots\dots\dots(26)$$

selanjutnya mencari akar-akar persamaan (26) menggunakan rumus *abc*, sehingga diperoleh solusi dalam bentuk,

$$\frac{v'_1}{v_1} = \frac{m_1}{m_1+m_2} \left[\cos \theta \pm \sqrt{\cos^2 \theta - \left(\frac{m_1^2 - m_2^2}{m_1^2} \right)} \right] \dots\dots\dots(27)$$

berdasarkan persamaan (27) dapat ditinjau beberapa kasus khusus pada tumbukan dua dimensi yaitu pada saat (a) $m_1 > m_2$; (b) $m_1 = m_2$; (c) $m_1 < m_2$.

- a. $m_1 > m_2$; untuk v'_1 bernilai real, dari persamaan (27), besaran yang terdapat di dalam tanda akar harus berharga positif, yaitu:

$$\cos^2 \theta \geq \left(\frac{m_1^2 - m_2^2}{m_1^2} \right) \dots\dots\dots(28)$$

besaran yang terdapat dalam tanda akar bernilai nol (minimum), misalnya untuk $\theta = \theta_m$, dan menurut persamaan (28) menjadi,

$$\cos^2 \theta_m = \frac{m_1^2 - m_2^2}{m_1^2} = 1 - \left(\frac{m_2}{m_1} \right)^2, \quad 0 \leq \theta_m \leq \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots (29)$$

dengan menggunakan identitas $\cos^2 \theta_m + \sin^2 \theta_m = 1$, maka diperoleh,

$$\sin \theta_m = \frac{m_2}{m_1} \dots\dots\dots(30)$$

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

$$\theta \leq \theta_{maks} \text{ dan } 0 \leq \theta_{maks} \leq \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(31)$$

- b. $m_1 = m_2$; dengan mengalikan persamaan (17) dengan $\cos \theta$ dan persamaan (18) dengan $\sin \theta$ dan menjumlahkannya maka akan diperoleh:

$$v_1 \cos \theta = v'_1 + v'_2 \cos(\theta + \phi) \dots\dots\dots(32)$$

karena $m_1 = m_2$, berdasarkan persamaan (27) dapat diperoleh,

$$v'_1 = v_1 \cos \theta \dots\dots\dots(33)$$

dari persamaan (32) dan (33) diperoleh:

$$\cos(\theta + \phi) = 0 \text{ atau } (\theta + \phi) = \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(34)$$

- c. $m_1 < m_2$; untuk kasus ini tidak ada batasan nilai sudut hambur, yaitu dapat berharga dari 0 sampai π . Keadaan dengan θ lebih besar dari $\frac{\pi}{2}$ dinamakan dengan *back-scattering*.

Berdasarkan persamaan (17) dan (18) dapat ditentukan persamaan kecepatan *cue ball* (v'_1) dan *object ball* (v'_2) setelah bertumbukan. Kecepatan *cue ball* setelah tumbukan dapat dirumuskan menjadi,

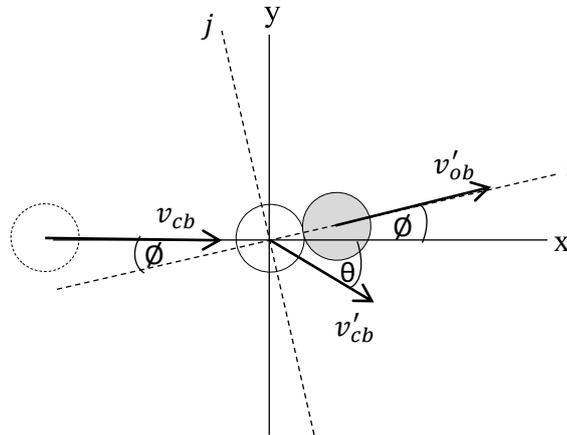
$$v'_1 = \frac{v_1 \sin \phi}{\sin(\phi + \theta)} \dots\dots\dots(35)$$

dan kecepatan *object ball* setelah tumbukan dapat dirumuskan menjadi,

$$v'_2 = \frac{m_1 v_1 \sin \theta}{m_2 \sin(\phi + \theta)} \dots\dots\dots(36)$$

Pada tumbukan tak sentral juga didefinisikan besaran koefisien restitusi. Pada tumbukan tak sentral untuk menentukan koefisien restitusi maka harus mengubah tumbukan yang terjadi dalam dua dimensi menjadi tumbukan satu

dimensi, hal ini dilakukan karena koefisien restitusi hanya berlaku pada tumbukan satu dimensi. Diagram proyeksi tumbukan tak sentral pada satu dimensi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Diagram tumbukan tak sentral yang diproyeksikan pada bidang satu dimensi.

Setelah diproyeksikan terhadap sumbu i dan sumbu j maka pada sumbu i terdapat komponen kecepatan $\vec{v}_{cb} \cos \phi$, \vec{v}'_{ob} , dan $\vec{v}'_{cb} \cos(\phi + \theta)$ sedangkan pada sumbu j terdapat komponen kecepatan $\vec{v}_{cb} \sin \phi$ dan $\vec{v}'_{cb} \sin(\phi + \theta)$. Pada sumbu j , besar komponen kecepatan pada sistem memiliki nilai yang sama dan mempunyai arah yang berlawanan sehingga resultan kecepatan pada sumbu j akan bernilai nol. Hal ini menyebabkan sistem tidak bergerak dalam sumbu j , sedangkan pada sumbu i dapat dilihat bahwa pusat massa *cue ball* dan *object ball* sudah berada pada satu garis lurus atau berada pada satu dimensi, sehingga persamaan koefisien restitusi pada tumbukan tak sentral secara umum dapat dituliskan menjadi,

$$e = - \frac{v'_2 - v'_1}{v_2 - v_1} \dots\dots\dots(37)$$

$$e = \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}'_2 \cos(\phi + \theta)}{\vec{v}_1 \cos \phi} \dots\dots\dots(38)$$

koefisien restitusi pada tumbukan tak sentral juga memiliki nilai maksimum 1 dan nilai minimum 0 (nol).

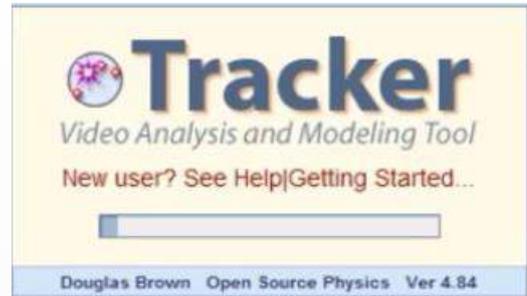


Uji Coba Yukkk!!!

Tumbukan Pada Permainan *Billiards*

Apa yang kamu perlukan?

1. Video tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*
2. Aplikasi *tracker video analysis*



Apa yang harus kamu lakukan?

1. Carilah video tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*, masing-masing 1 video sentral dan 2 video tak sentral.
2. Masukkan video tersebut ke dalam aplikasi tracker
3. Kemudian analisislah kecepatan bola *billiards* sebelum tumbukan dan sesudah tumbukan.
4. Masukkan data yang kalian dapat pada tabel di bawah ini,

Tumbukan Sentral

No	Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sesaat sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesaat sesudah tumbukan (m/s)
1	<i>Cue ball</i> <i>Object ball</i>		

Tumbukan tak sentral

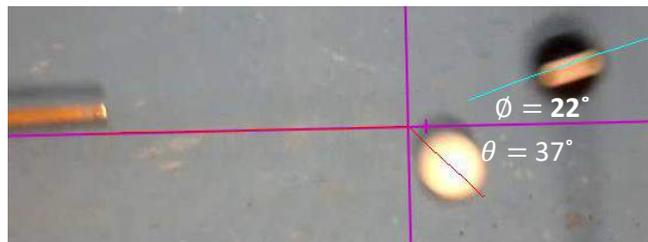
Tumbukan tak sentral	Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sesaat sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesaat sesudah tumbukan (m/s)
1	<i>Cue ball</i> <i>Object ball</i>		
2	<i>Cue ball</i> <i>Object ball</i>		

5. Setelah itu hitunglah nilai koefisien restitusi masing-masing video tumbukan.
6. Kesimpulan apakah yang bisa kalian dapatkan dari percobaan ini?

Latihan Soal

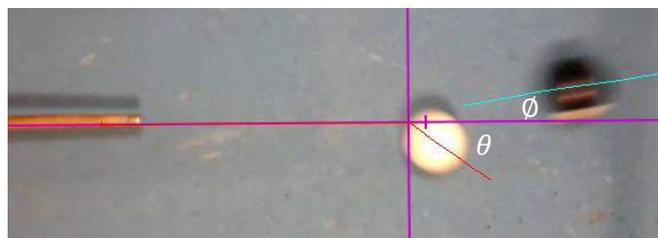
I. Kerjakan dengan sungguh-sungguh!

1. Sebuah bola *billiards* (*cue ball*) yang massanya 0,17 kg bergerak ke kanan dengan kecepatan $0,505 \text{ ms}^{-1}$ mengalami tumbukan lenting sebagian sentral dengan *object ball* yang massanya 0,16 kg dalam kondisi diam. Jika setelah tumbukan *cue ball* tetap bergerak ke arah kanan dengan kecepatan $0,134 \text{ ms}^{-1}$. Tentukan kecepatan *object ball* setelah tumbukan dan besar koefisien restitusi pada tumbukan tersebut!
2. Pada permainan *billiards*, *cue ball* yang massanya 0,17 kg bergerak ke arah kanan dengan kecepatan $0,497 \text{ ms}^{-1}$ menumbuk *object ball* secara tak sentral, yaitu pada $5/8$ bagian *object ball* yang massanya 0,16 kg, dalam kondisi diam. Jika setelah tumbukan *cue ball* dan *object ball* terpental dengan sudut $\theta = 37^\circ$ dan $\phi = 22^\circ$ (seperti tampak pada gambar).



Tentukanlah kecepatan *cue ball* dan *object ball* setelah tumbukan dan besar koefisien restitusi pada tumbukan tersebut!

3. Perhatikan gambar di bawah ini!



Gambar tersebut merupakan tumbukan tak sentral $3/4$ bagian, apabila *cue ball* sebelum tumbukan memiliki kecepatan sebesar $0,524 \text{ ms}^{-1}$ dan *object ball* dalam kondisi diam, dan setelah tumbukan *cue ball* dan *object ball* terpental dengan kecepatan masing-masing $0,192 \text{ ms}^{-1}$ dan $0,393 \text{ ms}^{-1}$. Jika diketahui ($\theta + \phi = 45^\circ$) dan massa *cue ball* dan *object ball* berturut-turut adalah 0,17 kg dan 0,16 kg, maka tentukanlah berapa besar θ dan ϕ pada tumbukan tersebut!

4. Tentukanlah besar kecepatan sesaat *cue ball* sebelum tumbukan, jika diketahui kecepatan *cue ball* dan *object ball* setelah tumbukan masing-masing $0,224 \text{ ms}^{-1}$ dan $0,362 \text{ ms}^{-1}$, dan setelah tumbukan *cue ball* dan *object ball* terpental sejauh $\theta = 37^\circ$ dan $\phi = 22^\circ$. ($m_{cue\ ball} = 0,17 \text{ kg}$, $m_{object\ ball} = 0,16 \text{ kg}$).

Kunci Jawaban

1. Diketahui : $m_{cb} = 0,17 \text{ kg}$, $m_{ob} = 0,16 \text{ kg}$, $v_{cb} = 0,505 \text{ m/s}$, $v'_{cb} = 0,134 \text{ m/s}$

Ditanya : v'_{ob} dan e ?

Jawab :

- a. Kecepatan object ball setelah tumbukan

$$\sum \vec{p}_{sebelum} = \sum \vec{p}_{sesudah}$$

$$m_{cb}v_{cb} + m_{ob}v_{ob} = m_{cb}v'_{cb} + m_{ob}v'_{ob}$$

$$0,17 \times 0,505 + 0 = 0,17 \times 0,134 + 0,16 v'_{ob}$$

$$v'_{ob} = 0,394 \text{ m/s}$$

- b. Koefisien restitusi

$$e = -\frac{v'_{ob} - v'_{cb}}{v_{ob} - v_{cb}}$$

$$e = -\frac{0,394 - 0,134}{0 - 0,505}$$

$$e = 0,514$$

2. Diketahui : $m_{cb} = 0,17 \text{ kg}$, $m_{ob} = 0,16 \text{ kg}$, $v_{cb} = 0,497 \text{ m/s}$, $\theta = 37^\circ$, $\phi = 22^\circ$

Ditanya : v'_{cb} , v'_{ob} dan e ?

Jawab :

- a. Menentukan v'_{cb}

$$\begin{aligned} v'_{cb} &= \frac{v_{cb} \sin \phi}{\sin (\theta + \phi)} \\ &= \frac{0,497 \times \sin 22^\circ}{\sin 59^\circ} \\ &= 0,217 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- b. Menentukan v'_{ob}

$$\begin{aligned} v'_{ob} &= \frac{m_{cb} v_{cb} \sin \theta}{m_{ob} \sin (\theta + \phi)} \\ &= \frac{0,17 \times 0,497 \times \sin 37^\circ}{0,16 \times \sin 59^\circ} \\ &= 0,370 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- c. Menentukan e

$$e = \frac{\vec{v}'_{ob} - \vec{v}'_{cb} \cos (\phi + \theta)}{\vec{v}_{cb} \cos \phi}$$

$$e = \frac{0,370 - 0,217 \times \cos 59^\circ}{0,497 \times \cos 22^\circ}$$

$$e = 0,560$$

3. Diketahui : $\phi + \theta = 45^\circ$, $m_{cb} = 0,17 \text{ kg}$, $m_{ob} = 0,16 \text{ kg}$, $v'_{ob} = 0,393 \text{ m/s}$, $v_{cb} = 0,524 \text{ m/s}$, $v'_{cb} = 0,192 \text{ m/s}$

Ditanya : θ dan ϕ ?

Jawab :

$$v'_{cb} = \frac{v_{cb} \sin \phi}{\sin (\theta + \phi)}$$

$$0,192 = \frac{0,524 \times \sin \phi}{\sin 45^\circ}$$

$$\sin \phi = 0,259$$

$$\phi = 15^\circ$$

sehingga $\theta = 30^\circ$

4. Diketahui : $m_{cb} = 0,17 \text{ kg}$, $m_{ob} = 0,16 \text{ kg}$, $v'_{cb} = 0,224 \text{ m/s}$, $v'_{ob} = 0,362 \text{ m/s}$, $\theta = 37^\circ$, $\phi = 22^\circ$

Ditanya : $v_{cb}?$

Jawab :

$$v'_{ob} = \frac{m_{cb} v_{cb} \sin \theta}{m_{ob} \sin (\theta + \phi)}$$

$$0,362 = \frac{0,17 \times v_{cb} \times \sin 37^\circ}{0,16 \times \sin 59^\circ}$$

$$v_{cb} = 0,485 \text{ m/s}$$