

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Implementasi Pendidikan Karakter dan IPTEK untuk Generasi Millennial Indonesia dalam Menuju SDGs 2030“

11 MARET 2018**KAJIAN TUMBUKAN SENTRAL DAN TAK SENTRAL PADA PERMAINAN BILLIARDS SEBAGAI RANCANGAN BAHAN AJAR FISIKA SMA****Fani Aldilah Rosyadi**

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER

aldilarosyadi@gmail.com**Bambang Supriadi**

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER

bambangsupriadi.fkip@unej.ac.id**Albertus Djoko Lesmono**

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, UNIVERSITAS JEMBER

albert.fkip@unej.ac.id**ABSTRAK**

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. Telah dilakukan penelitian mengenai kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*. Penelitian ini menghasilkan data-data kontekstual berkaitan dengan materi tumbukan diantaranya kecepatan linier (v), momentum linier (p), dan koefisien restitusi (e). Data-data yang diperoleh akan diolah dan dibuat suatu rancangan bahan ajar fisika SMA. Rancangan bahan ajar yang dibuat diharapkan dapat menjadi acuan dalam pembuatan bahan ajar fisika kontekstual materi tumbukan.

Kata Kunci: *Billiards, kajian, rancangan bahan ajar, tumbukan sentral, tumbukan tak sentral*

PENDAHULUAN

Fisika merupakan cabang dari Ilmu Pengetahuan Alam yang mendasari berbagai perkembangan sains dan teknologi. Menurut Syuhendri (2013), 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. Mengingat pentingnya fisika terhadap kehidupan manusia, maka fisika harus bisa dipelajari 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).

Berdasarkan Permendikbud nomor 103 (2014), 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). Menurut Satriawan (2016), pembelajaran kontekstual dapat membantu siswa untuk memahami materi fisika. Namun kenyataan di lapangan, pendidikan yang dijalankan selama ini masih memisahkan pengetahuan

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Implementasi Pendidikan Karakter dan IPTEK untuk Generasi Millennial Indonesia dalam Menuju SDGs 2030“

11 MARET 2018

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), penerapan model pembelajaran kontekstual (Azizah, 2014), dan penggunaan bahan ajar kontekstual (Widarto, 2016). 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). Hasil penelitian Oktaviani *et al.* (2017), 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). 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).

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). 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). 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), sedangkan tumbukan tak sentral terjadi saat posisi pusat massa kedua bola yang bertumbukan tidak segaris (Luders, 2017). 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 uraian di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*? dan bagaimana rancangan bahan ajar fisika SMA berdasarkan kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards*?. 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*.

METODE PENELITIAN

Berdasarkan tujuan penelitian, jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Implementasi Pendidikan Karakter dan IPTEK untuk Generasi Millennial Indonesia dalam Menuju SDGs 2030”

11 MARET 2018

deskriptif. Penelitian ini dilaksanakan di *billiards pool center* di Kabupaten Lumajang.

Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu set permainan *billiards pool*, *handycam*, penyangga *handycam*, penggaris, busur derajat, neraca digital, jangka sorong dan laptop terinstal aplikasi *tracker*.

Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara observasi secara langsung di tempat penelitian dan hasil analisis video menggunakan aplikasi *tracker*. Data yang diperoleh secara langsung di tempat penelitian adalah massa dan diameter bola *billiards*, sedangkan data yang diperoleh dari hasil analisis video menggunakan aplikasi *tracker* adalah kecepatan sesaat bola *billiards* sebelum dan sesudah tumbukan dan sudut hambur bola *billiards* setelah tumbukan. Video tumbukan yang di analisis adalah tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral 3/4, 5/8 dan 1/2 bagian.

Teknik analisis data

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan untuk menjawab rumusan masalah yang sudah ditentukan. Data-data yang diperoleh digunakan untuk mengkaji tumbukan sentral dan tak sentral. Hasil kajian tersebut digunakan sebagai acuan dalam merancang bahan ajar fisika khususnya materi tumbukan di SMA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* sebagai rancangan bahan ajar fisika SMA dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2017-2018 di tempat permainan *Billiards Pool* yang berada di Kabupaten Lumajang. Data hasil penelitian yang dihasilkan berupa massa dan diameter bola *billiards* (*cue ball* dan *object ball*), kecepatan sesaat bola *billiards* sebelum dan sesudah tumbukan dan sudut hambur *cue ball* dan *object ball* setelah tumbukan. Adapun data hasil penelitian disajikan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Data pengukuran massa dan diameter bola *billiards*

Jenis bola <i>billiards</i>	Massa (kg)	Diameter (m)
<i>Cue ball</i>	0,170	$5,7 \times 10^{-2}$
<i>Object ball</i>	0,160	$5,7 \times 10^{-2}$

Tabel 2. Data kecepatan bola *billiards* pada tumbukan sentral

Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sesaat sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesaat sesudah tumbukan (m/s)
<i>Cue ball</i>	0,505	0,134
<i>Object ball</i>	0	0,392

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

Tumbukan tak sentral	Jenis bola <i>billiards</i>	Kecepatan sesaat sebelum tumbukan (m/s)	Kecepatan sesaat sesudah tumbukan (m/s)
3/4 bagian	<i>Cue ball</i>	0,524	0,192
	<i>Object ball</i>	0	0,393
5/8 bagian	<i>Cue ball</i>	0,497	0,224
	<i>Object ball</i>	0	0,362
1/2 bagian	<i>Cue ball</i>	0,723	0,356
	<i>Object ball</i>	0	0,463

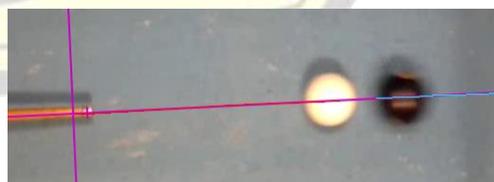
Tabel 4. Data sudut hambur *cue ball* dan *object ball* setelah tumbukan

Tumbukan tak sentral	Sudut hambur <i>cue ball</i> (θ)	Sudut hambur <i>object ball</i> (ϕ)
3/4 bagian	30°	15°
5/8 bagian	37°	22°
1/2 bagian	40°	30°

Tumbukan merupakan bertemunya dua benda yang bergerak. Pada permainan *billiards* tumbukan terjadi ketika *cue ball* dipukul oleh stik kemudian menggelinding hingga menumbuk *object ball*. Tumbukan antara *cue ball* dan *object ball* dapat berupa tumbukan sentral dan tumbukan tak sentral.

a. Tumbukan sentral

Pada permainan *billiards* tumbukan sentral dapat terjadi apabila *cue ball* dan *object ball* ketika bertumbukan pusat massa kedua bola segaris atau berada pada bidang satu dimensi,



Gambar 1. Tumbukan sentral

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Implementasi Pendidikan Karakter dan IPTEK untuk Generasi Millennial Indonesia dalam Menuju SDGs 2030“

11 MARET 2018

berdasarkan data yang disajikan pada tabel 2, diketahui bahwa kecepatan sesaat *cue ball* sebelum tumbukan adalah $v_{cb} = 0,505 \text{ m/s}$ dan *object ball* dalam kondisi diam sehingga $v_{ob} = 0 \text{ m/s}$. Setelah tumbukan *object ball* terpental dengan kecepatan $v'_{ob} = 0,392 \text{ m/s}$ dan *cue ball* masih bergerak dengan kecepatan $v'_{cb} = 0,134 \text{ m/s}$ searah dengan pergerakan *cue ball* sebelum tumbukan.

Pada semua jenis kasus tumbukan akan selalu berlaku hukum kekekalan momentum, yaitu momentum total benda sebelum tumbukan sama dengan momentum total benda setelah tumbukan,

$$\begin{aligned}\sum \vec{p}_{\text{sebelum}} &= \sum \vec{p}_{\text{sesudah}} \\ m_{cb}v_{cb} &= m_{cb}v'_{cb} + m_{ob}v'_{ob} \\ 0,17 \times 0,505 &= (0,17 \times 0,134) + (0,16 \times 0,392) \\ 0,08585 \text{ kg m/s} &= 0,08550 \text{ kg m/s}\end{aligned}$$

dapat dilihat bahwa besar momentum total sebelum dan sesudah tumbukan pada kasus ini memiliki nilai yang hampir sama dengan selisih sebesar $0,00035 \text{ kg m/s}$. Karena selisih momentum total sebelum tumbukan dan sesudah tumbukan nilainya kecil, maka nilai ini dapat diabaikan. Sehingga dapat dinyatakan bahwa pada kasus ini berlaku hukum kekekalan momentum.

Pada kejadian kontekstual, 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. Pada kasus ini dapat dicari besar koefisien restitusi yaitu,

$$\begin{aligned}e &= -\frac{v'_{ob} - v'_{cb}}{v_{ob} - v_{cb}} \\ e &= -\frac{0,392 - 0,134}{0 - 0,505} \\ e &= 0,511\end{aligned}$$

sehingga besar koefisien restitusi pada tumbukan sentral permainan *billiards* adalah 0,511 yang tergolong tumbukan lenting sebagian.

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 data penelitian, persamaan hukum kekekalan momentum dan besar koefisien restitusi, dapat ditentukan persamaan matematis untuk menentukan kecepatan sesaat *object ball* setelah tumbukan pada tumbukan sentral yaitu,

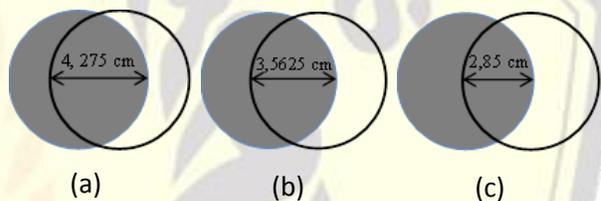
$$v'_{ob} = \frac{m_{cb}v_{cb}(1+e)}{m_{cb}+m_{ob}}$$

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 terjadi apabila *cue ball* menumbuk *object ball* tetapi kedua titik pusat massa kedua bola yang bertumbukan tidak segaris. Tumbukan tak sentral pada permainan *billiards* tergolong tumbukan dua dimensi. Berdasarkan besar bagian *object ball* yang tertumbuk oleh *cue ball* maka tumbukan tak sentral pada permainan *billiards* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu tumbukan tak sentral 3/4 bagian, 5/8 bagian dan 1/2 bagian.

Tumbukan tak sentral 3/4 bagian, 5/8 bagian, dan 1/2 bagian dalam penampang melintang dapat digambarkan sebagai berikut.

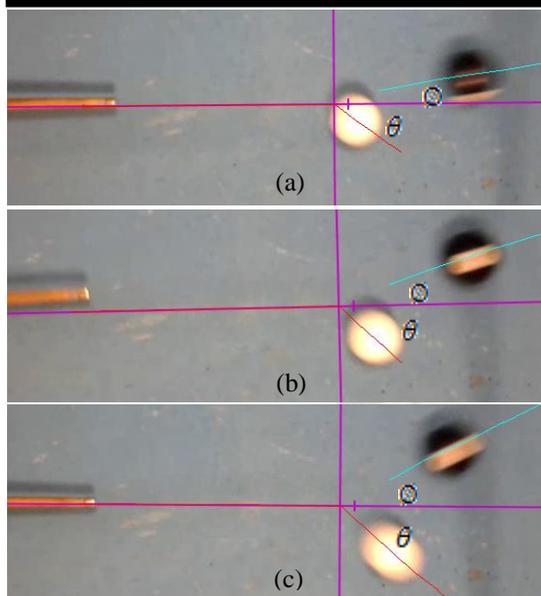


Gambar 2. Tumbukan tak sentral. (a) 3/4 bagian; (b) 5/8 bagian; (c) 1/2 bagian

Pada tumbukan tak sentral, *cue ball* dan *object ball* setelah tumbukan akan terhambur dengan sudut tertentu terhadap arah *cue ball* sebelum tumbukan,

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Implementasi Pendidikan Karakter dan IPTEK untuk Generasi Millennial Indonesia dalam Menuju SDGs 2030”

11 MARET 2018

Gambar 3. Tumbukan tak sentral dengan \emptyset adalah sudut hambur *object ball* dan θ adalah sudut hambur *cue ball* setelah tumbukan. (a) 3/4 bagian; (b) 5/8 bagian; (c) 1/2 bagian

Pada tumbukan tak sentral juga berlaku hukum kekekalan momentum. Tumbukan tak sentral pada permainan *billiards* terjadi pada bidang dua dimensi, sehingga hukum kekekalan momentum pada tumbukan tak sentral akan diproyeksikan pada sumbu x dan sumbu y . Berdasarkan data yang telah diperoleh maka dapat dibuktikan berlakunya hukum kekekalan momentum pada kasus tumbukan tak sentral 3/4 bagian yaitu pada sumbu x ,

$$\begin{aligned}\sum \vec{p}_{x\text{sebelum}} &= \sum \vec{p}_{x\text{sesudah}} \\ m_{cb} v_{cb} &= m_{cb} v'_{cb} \cos \theta + m_{ob} v'_{ob} \cos \emptyset \\ 0,17 \times 0,524 &= (0,17 \times 0,192 \times \cos 30^\circ) + \\ &\quad (0,16 \times 0,393 \times \cos 15^\circ)\end{aligned}$$

$$0,08908 \text{ kg m/s} = 0,08900 \text{ kg m/s}$$

sedangkan pada sumbu y ,

$$\begin{aligned}\sum \vec{p}_{y\text{sebelum}} &= \sum \vec{p}_{y\text{sesudah}} \\ m_{cb} v'_{cb} \sin \theta &= m_{ob} v'_{ob} \sin \emptyset \\ 0,17 \times 0,192 \times \sin 30^\circ &= 0,16 \times 0,393 \times \sin 15^\circ \\ 0,01632 \text{ kg m/s} &= 0,01627 \text{ kg m/s}\end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga digunakan untuk mengetahui berlakunya hukum kekekalan momentum pada tumbukan tak sentral 5/8 bagian dan 1/2 bagian. Hasil perhitungan hukum kekekalan momentum pada tumbukan tak sentral 3/4, 5/8, dan 1/2 bagian disajikan pada tabel 5 dan 6 sebagai berikut,

Tabel 5. Hukum kekekalan momentum pada sumbu x

Tumbukan tak sentral	Momentum total sebelum tumbukan (kg m/s)	Momentum total sesudah tumbukan (kg m/s)
3/4 bagian	0,08908	0,08900
5/8 bagian	0,08449	0,08411
1/2 bagian	0,12291	0,11052

Tabel 6. Hukum kekekalan momentum pada sumbu y

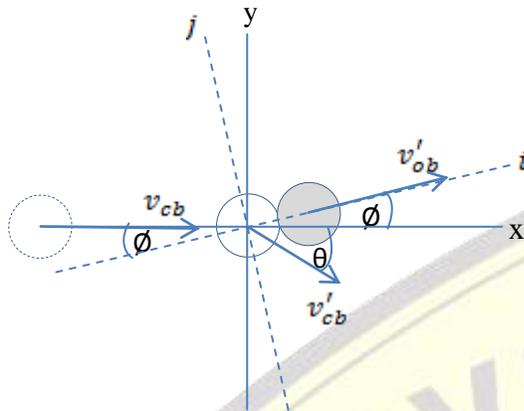
Tumbukan tak sentral	Momentum total sebelum tumbukan (kg m/s)	Momentum total sesudah tumbukan (kg m/s)
3/4 bagian	0,01632	0,01627
5/8 bagian	0,02291	0,02169
1/2 bagian	0,03890	0,03704

dapat dilihat bahwa besar momentum total sebelum tumbukan dan momentum total sesudah tumbukan pada sumbu x dan sumbu y memiliki nilai yang hampir sama dengan selisih nilai yang dapat diabaikan. Sehingga dapat dinyatakan bahwa pada tumbukan tak sentral berlaku hukum kekekalan momentum.

Seperti pada tumbukan sentral yang telah dibahas sebelumnya, karena pada penelitian ini menggunakan alat yang sama maka pada tumbukan tak sentral 3/4, 5/8, dan 1/2 bagian juga tergolong jenis tumbukan lenting sebagian, sehingga dapat ditentukan juga besar koefisien restitusinya. 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 tumbukan tak sentral pada satu dimensi dapat dilihat pada gambar berikut.

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Implementasi Pendidikan Karakter dan IPTEK untuk Generasi Millennial Indonesia dalam Menuju SDGs 2030”

11 MARET 2018

Gambar 4. 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 $\vec{v}_{cb} \cos \theta$, \vec{v}'_{ob} , dan $\vec{v}'_{cb} \cos(\theta + \theta)$ sedangkan pada sumbu j terdapat komponen kecepatan $\vec{v}_{cb} \sin \theta$ dan $\vec{v}'_{cb} \sin(\theta + \theta)$. Pada sumbu j besar komponen kecepatan 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 . Pada tumbukan tak sentral 3/4 bagian komponen kecepatan pada sumbu j yaitu,

$$\vec{v}_{cb} \sin \theta = \vec{v}'_{cb} \sin(\theta + \theta)$$

$$0,524 \times \sin 15^\circ = 0,192 \times \sin 45^\circ$$

$$0,13562 \text{ m/s} = 0,13576 \text{ m/s}$$

dengan perhitungan yang sama dapat diperoleh tumbukan tak sentral pada komponen sumbu j pada tumbukan tak sentral 5/8, dan 1/2 bagian yang kemudian dinyatakan pada tabel 7 sebagai berikut,

Tabel 7. Komponen kecepatan pada sumbu j

Tumbukan tak sentral	$\vec{v}_{cb} \sin \theta$	$\vec{v}'_{cb} \sin(\theta + \theta)$
3/4 bagian	0,13562	0,13576
5/8 bagian	0,18617	0,19200
1/2 bagian	0,36150	0,33453

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,

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

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

dan besar koefisien restitusi pada tumbukan tak sentral 3/4 bagian adalah,

$$e = \frac{0,392 - 0,192 \times \cos 45^\circ}{0,524 \times \cos 15^\circ}$$

$$e = 0,508$$

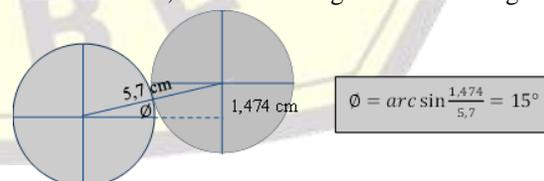
dengan perhitungan yang sama dapat diperoleh nilai koefisien restitusi pada tumbukan tak sentral 5/8, dan 1/2 bagian yang kemudian dinyatakan pada tabel 8 sebagai berikut,

Tabel 8. Koefisien restitusi pada tumbukan tak sentral

Tumbukan tak sentral	Koefisien restitusi (e)
3/4 bagian	0,508
5/8 bagian	0,535
1/2 bagian	0,545

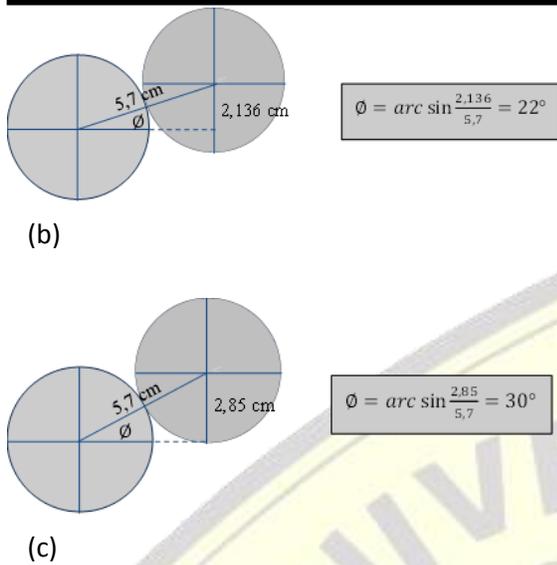
Sehingga rata-rata koefisien restitusi pada kasus tumbukan tak sentral adalah $e = 0,529$ yang tergolong dalam tumbukan lenting sebagian.

Seperti pada pembahasan tumbukan sentral, dalam permainan *billiards* hal yang paling penting adalah bagaimana memasukan *object ball* ke dalam lubang yang diinginkan yaitu dengan cara mengendalikan arah dan kecepatan *object ball* setelah tumbukan. Pada tumbukan sentral, arah *object ball* setelah tumbukan adalah sama dengan arah *cue ball* sebelum tumbukan. Sedangkan pada tumbukan tak sentral, *object ball* akan terhambur dengan sudut tertentu terhadap arah *cue ball* sebelum tumbukan. Besarnya sudut hambur *object ball* setelah bertumbukan ternyata dipengaruhi oleh besarnya bagian *object ball* yang tertumbuk oleh *cue ball*. Berdasarkan data penelitian, diketahui bahwa *cue ball* dan *object ball* memiliki diameter yang sama yaitu **5,7 cm**, sehingga dapat ditentukan besar sudut hambur *object ball* pada tumbukan 3/4, 5/8 dan 1/2 bagian adalah sebagai berikut.



(a)

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018
 “Implementasi Pendidikan Karakter dan IPTEK untuk Generasi Millennial Indonesia dalam Menuju SDGs 2030”
11 MARET 2018



Gambar 5. Menentukan besar sudut hambur object ball (θ) pada tumbukan tak sentral. (a) tumbukan 3/4 bagian; (b) tumbukan 5/8 bagian; (c) tumbukan 1/2 bagian.

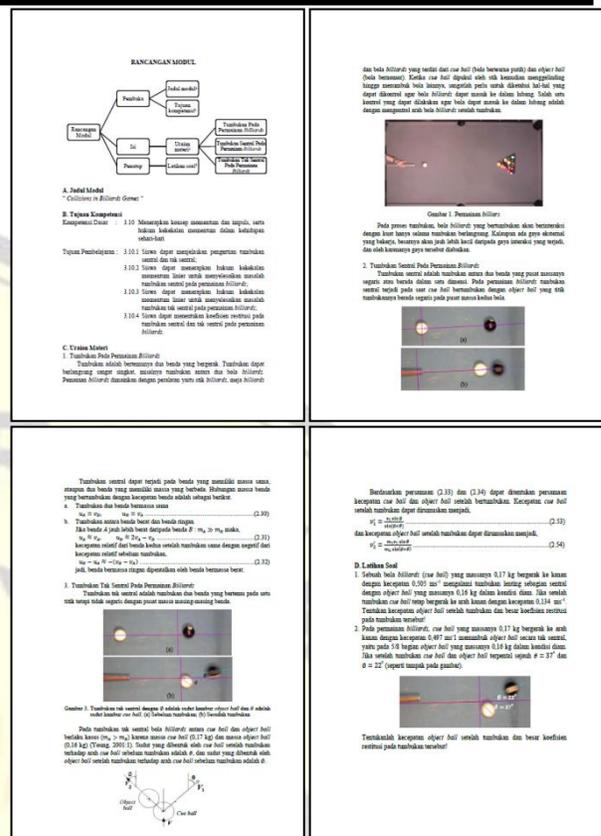
Selain sudut hambur *object ball*, hal yang perlu dikendalikan ketika bermain *billiards* adalah kecepatan *object ball* setelah tumbukan. Besar kecepatan *object ball* setelah tumbukan dipengaruhi oleh kecepatan *cue ball* sebelum tumbukan, sudut hambur *object ball* dan *cue ball*, dan massa *cue ball* dan *object ball*. Sehingga dapat ditentukan persamaan kecepatan *object ball* setelah tumbukan yaitu sebagai berikut,

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

persamaan ini berlaku apabila *object ball* sebelum tumbukan berada dalam kondisi diam dan massa *cue ball* tidak sama dengan massa *object ball*.

c. Rancangan modul

Berdasarkan data hasil kajian tumbukan sentral dan tak sentral pada permainan *billiards* maka akan dibuat suatu rancangan bahan fisika kontekstual berupa rancangan modul. Rancangan ini dibuat dalam bentuk peta konsep berdasarkan struktur penulisan modul yang terdiri dari judul modul, tujuan kompetensi, uraian materi dan latihan soal.



Gambar 6. Rancangan modul

PENUTUP

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.

- 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.
- 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*.

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2018

“Implementasi Pendidikan Karakter dan IPTEK untuk Generasi Millennial Indonesia dalam Menuju SDGs 2030“

11 MARET 2018**Saran**

Pada penelitian ini hanya menghasilkan rancangan bahan ajar berupa modul. Saran yang bisa diberikan yaitu untuk penelitian selanjutnya dapat mengembangkan modul kontekstual berdasarkan rancangan modul yang telah dibuat sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Sujanem, R. 2009. Pengembangan modul fisika kontekstual interaktif berbasis web untuk siswa kelas I SMA. *Jurnal Pendidikan dan Pengajaran*. 2: 97-104.
- 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].
- 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.