

Merancang Mata Kuliah Desain Mainan Mekanikal Edukatif di Perguruan Tinggi

Dwi Basuki Wibowo^{1,*}, Sulardjaka¹, Gunawan Dwi Haryadi¹

¹Teknik Mesin UNDIP, Jl. Prof. Sudarto Tembalang Semarang

* toysdesigncenter@gmail.com

Abstrak

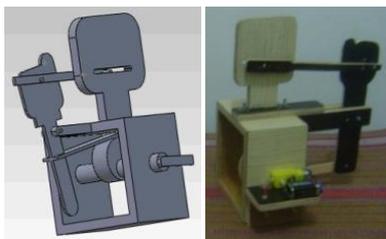
Mendesain mainan telah diberikan di banyak PT (perguruan tinggi) di dunia, baik sebagai bagian mata kuliah *product design* maupun sub-jurusan. Diantaranya *Toy Product Design* di *University of Minnesota* dan *Hong Kong Toy Design Lab* di *The Hong Kong Polytechnic University*. Mainan sebagai peraga edukasi juga telah banyak diberikan di sekolah dan PT di dunia karena mudah dibawa dan murah harganya. Misalnya Arvind Gupta saat menjelaskan pendulum dan gaya sentrifugal kepada anak-anak SD menggunakan *velg* sepeda; bola baja; dan *Compact Disc*, sedangkan Julio Gomez menggunakan *Levitron* sebagai peraga edukasi saat menerangkan giroskop dan magnet kepada para mahasiswa jurusan fisika. Paper ini membahas mata kuliah desain mainan mekanikal edukatif di PT, khususnya jurusan teknik mesin. Mainan mekanikal edukatif bentuknya di bagian atas obyek mainan yang digerakkan dan di bagian bawah mekanisme penggerakannya. Sumber penggerak mainan yang hanya satu dan berbentuk rotasi menunjukkan bahwa mekanisme kinematika yang digunakan bisa sederhana hingga sangat kompleks bergantung pada banyaknya bagian mainan yang harus digerakkan. Mendesain mainan seperti ini memerlukan software CAD agar memudahkan mendesain mekanisme penggerak dan dimensi produk yang proporsional, melakukan simulasi kinematika dan perakitan, pengarsipan file, hingga mendesain pengepakan. Peluang bisnis yang besar pada mainan mekanikal edukatif inilah (<http://www.toysdesigncenter.com>) yang melatarbelakangi perlunya diberikan mata kuliah tersebut di PT.

Kata kunci: mainan mekanikal edukatif, mata kuliah, mekanisme, kinematika, CAD, toys design center

Pendahuluan

Mainan mekanikal, baik yang digerakkan secara manual maupun motor listrik, sudah banyak diproduksi orang. Mainan seperti mobil-mobilan, robot, dan lain-lain adalah contoh mainan yang terus membanjiri pasar Indonesia sejak diberlakukannya ACFTA tahun 2010 [1]. Unsur edukasi mainan ini hampir tidak ada, hanya menimbulkan rasa senang saat melihat/memainkannya [2].

Mainan mekanikal edukatif bentuknya di bagian atas adalah obyek mainan yang digerakkan dan di bagian bawah mekanisme penggerakannya. Mekanisme penggerakannya harus terlihat sehingga orang yang memainkannya dapat mengamati perubahan gerak obyek mainan dan komponen mekanisme penggerakannya secara bertahap. Pemicunya berupa gerakan rotasi, bisa melalui lengan pemutar atau dengan motor listrik DC, seperti diilustrasikan pada Gambar 1 [3].



Gambar 1. Mainan mekanikal edukatif “orang menggosok gigi”

Automata adalah contoh mainan mekanikal dengan mekanisme penggerak yang terlihat. Istilah *automaton* (bahasa Inggris plural : *automata*) diartikan sebagai perangkat yang bergerak dengan sendirinya (*a self-operating machine*) [4]. Hal ini sering digunakan untuk menggambarkan mainan yang dapat digerakkan yang di dalamnya terdapat mekanisme untuk menghasilkan gerakan aktifitas tertentu secara berulang [5][6]. Mainan-mainan seperti ini selalu menarik perhatian pengunjung saat TDC (*Toys Design Center*, sebuah komunitas yang didirikan oleh penulis pertama paper ini) mengikuti pameran dan mengadakan pelatihan, seperti diperlihatkan pada Gambar 2 [7]. (atau lihat di <http://www.toysdesigncenter.com/>).



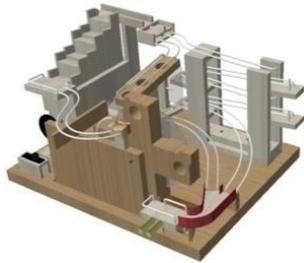
Gambar 2. Guru-guru SDN Selo Boyolali memperhatikan cara kerja kipas angin (2011) dan peserta seminar UMKM menyimak penjelasan mainan mekanikal edukatif (2013)

Hingga awal tahun 2016 (sejak didirikan pada akhir tahun 2010) tercatat ada 22 aktifitas yang dilakukan oleh TDC diantaranya selain memberi pelatihan dan mengikuti berbagai pameran (terakhir di pameran “Produk Inovasi Teknik” di Gedung Lawang Sewu Semarang tanggal 24-26 Oktober 2015) juga menjadi juri lomba desain mainan, diliput media koran dan TV, serta melayani pesanan produk dari beberapa perusahaan untuk disumbangkan ke sekolah-sekolah melalui dana CSR mereka. Hal ini membuktikan besarnya respon masyarakat terhadap mainan mekanikal edukatif.

Mainan edukatif (*science toys*) sebenarnya telah lama diperagakan di museum dan tempat-tempat hiburan di Indonesia untuk memperkenalkan kepada masyarakat tentang fenomena Fisika (Mekanika, Optik, Listrik, dan Magnet) dan Kimia seperti di *Jatim Park I Batu Malang*, *Taman Pintar Jogyakarta*, *TMII Jakarta*, dan *Sanggaluri Park Kabupaten Purbalingga*. Di tempat-tempat tersebut wahana ini selalu dibanjiri pengunjung dari berbagai usia dan jenis kelamin. Namun jenis mainan mekanikal edukatif yang bisa menirukan gerakan manusia, hewan, dan mesin masih belum banyak diperagakan di sana.

Mainan mekanikal sebagai peraga edukasi juga belum pernah diberikan di sekolah-sekolah dan PT di Indonesia. Padahal pada produk mainan tersebut di dalamnya bisa terkandung ilmu dan teknologi tinggi.

Misalnya pada produk *mechanical toys* berpengerak motor listrik selalu terdapat sistim transmisi, rangkaian elektronika, dan mekanisme kinematika seperti nampak pada Gambar 3 [8][9]. Pada *toys* yang berpengerak magnet, kandungan teknologinya bisa jauh lebih kompleks dan rumit.



Gambar 3. Mainan mekanikal simulator kelereng

Di dunia penggunaan mainan sebagai peraga edukasi telah banyak diberikan di sekolah dan PT. Misalnya Arvind Gupta memanfaatkan *velg* sepeda, bola baja, dan CD (*Compact Disc*) saat menjelaskan prinsip gaya sentrifugal kepada anak-anak SD (lihat Gambar 4) [10] sedangkan Julio Gomez menggunakan *Levitron* sebagai peraga edukasi saat menerangkan giroskop dan magnet kepada para mahasiswa jurusan fisika (lihat Gambar 5) [11]. Mendesain mainan juga telah diberikan di banyak PT di dunia, baik sebagai bagian mata kuliah *product design* maupun sub-jurusan. Diantaranya *Toy Product Design* di *University of Minnesota* [12] dan *Hong Kong Toy Design Lab* di *The Hong Kong Polytechnic University* [13].



Gambar 4. Penggunaan *velg* sepeda, bola baja, dan CD sebagai media untuk menjelaskan prinsip gaya sentrifugal kepada anak-anak SD



Gambar 5. *Levitron* (*The magnetically levitating top*) sebagai peraga edukasi dalam menerangkan topik giroskop dan magnet kepada para mahasiswa

Paper ini membahas mendesain mainan mekanikal edukatif sebagai mata kuliah pilihan di PT, khususnya di jurusan Teknik Mesin (JTM). Di Amerika Serikat sudah banyak pilihan PT maupun sekolah yang memiliki jurusan *Toys Design* ini [14]. Berkarir sebagai perancang mainan di Amerika Serikat juga banyak dan tidak harus memiliki latar belakang pendidikan *toy product design*, lulusan S-1 Teknik Mesin; Teknik Industri; dan Teknik Elektro juga bisa [15]. Sementara di Indonesia peluang kerja ini mungkin tidak banyak, tetapi para mahasiswa yang mengambil mata kuliah ini diharapkan bisa menjadi wirausahawan di bidang *toy product design* mengingat pangsa pasarnya yang masih sangat besar.

Metodologi

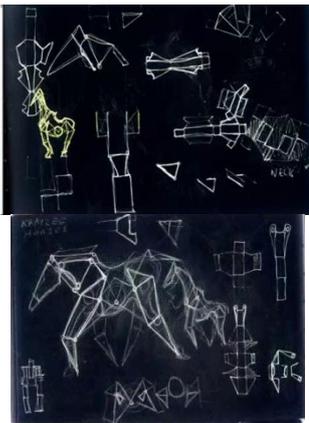
Agar bisa menghasilkan produk-produk mainan mekanikal yang dapat menirukan berbagai jenis aktifitas tertentu manusia, hewan, atau mesin seyogyanya mengikuti prosedur sebagai berikut [6] :

- Memvideo obyek yang akan ditiru gerakannya dan memutarnya *frame by frame* untuk mengetahui detil gerakan setiap tahap (Gambar 6).
- Membuat sketsa mainan lengkap dengan bagian-bagian mainan yang digerakkan, jenis dan pola gerakannya, posisi maksimal dan minimalnya, perkiraan kecepatannya, dan menetapkan jenis penggerak utamanya (Gambar 7).
- Menetapkan dimensi global mainan, di bagian atas adalah obyek mainan yang digerakkan dan di bagian bawah mekanisme penggeraknya (Gambar 8).

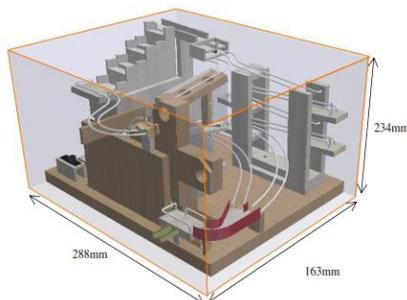
- d. Memilih mekanisme penggerak yang sesuai (lihat Tabel 1).
- e. Melakukan sintesa dan analisa kinematika mekanisme penggerak.
- f. Menggambar bagian-bagian mainan dan komponen kinematika yang digunakan dengan bantuan *software* CAD.
- g. Merakit seluruh bagian mainan dan melakukan simulasi kinematika dengan bantuan *software* CAD.
- h. Apabila simulasi kinematika sudah sesuai harapan selanjutnya bisa dilakukan proses pembuatan setiap komponen, merakitnya dan menguji kinerja produk.



Gambar 6. Video gerakan kaki kuda berlari



Gambar 7. Sketsa mainan kuda berlari



Gambar 8. Contoh dimensi global mainan mekanikal simulator kelereng (288 x 163 x 234 mm)

Pada mainan mekanikal edukatif yang dirancangbangun di TDC mekanisme yang

digunakan kebanyakan adalah mekanisme kinematika sederhana 2D (*planar kinematics*) yang meliputi komponen kinematika *cam-follower*, *four bar linkage*, *slider crank*, *pulley-belt*, *quick-return*, dan *gear system* seperti tampak pada Tabel 1 [16].

Tabel 1. Komponen kinematika yang sesuai untuk mengubah gerakan input rotasi ke berbagai bentuk gerakan output

No	Komponen Kinematika	Gerakan Output
1	<i>Pulley-Belt</i>	Rotasi
2	<i>Cam-Follower</i>	linier, osilasi, helical
3	<i>Four Bar Linkage</i>	rotasi, elips
4	<i>Slider Crank</i>	linier, elips
5	<i>Quick-Return</i>	linier, osilasi
6	<i>Gear</i>	Rotasi

Agar produk mainan mekanikal bisa menghasilkan gerakan seperti yang diharapkan perlu dilakukan sintesa dan analisa kinematika mekanisme [17]. Sintesa yang dimaksud adalah memilih mekanisme dan merancang komponen kinematika yang sesuai gerak setiap bagian mainan mekanikal yang direncanakan. Sedangkan analisa meliputi analisis posisi dan kecepatan saja. Analisis gaya tidak termasuk di sini karena produk digerakkan dengan kecepatan rendah dan konstan. Uraian berikut memperlihatkan contoh beberapa mekanisme *planar kinematics* dan pemanfaatannya pada mainan mekanikal [6].

- *Pulley belt* (Gambar 9)

Penggambaran cukup baik penggunaan mekanisme *pulley belt* adalah pada mainan mekanikal mengemudikan sepeda terbang sambil duduk (Gambar 9). Sumbu putar *main rotor* (vertikal) saling tegak lurus dengan engkol sepeda dan *tail rotor* (horisontal).

Penggerak utama mainan ini adalah sumbu *main rotor* yang disamping memutar baling-baling utama juga sekaligus memutar pedal sepeda dan *tail rotor* melalui *cross belt* yang dipasang masing-masing antara puli *main rotor* bawah dengan puli engkol sepeda dan puli *main rotor* atas dengan puli *tail rotor*.

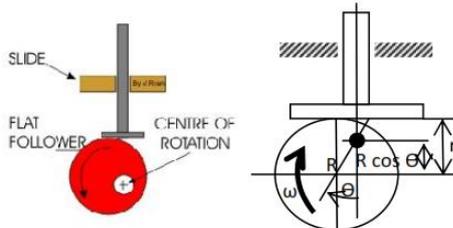
Sumber penggeraknya motor listrik DC dengan 4 baterai AA. Apabila mainan ini dijalankan terkesan ayunan kaki pada engkol sepedalah yang menggerakkan ke 2 sumbu rotor tersebut.



Gambar 9. Mainan mekanikal mengemudikan sepeda terbang sambil duduk

Agar baling-baling utama, *tail rotor*, dan engkol sepeda dapat berputar diperlukan *gear box* untuk memperbesar torsi motor listrik. Konsekuensinya kecepatan putar *output*-nya turun. Untuk memberi kesan sumbu engkol sepeda sebagai penggerak utama diameter pulinya dibuat lebih besar dibanding puli *main rotor* bawah, sedangkan puli *main rotor* atas dibuat lebih besar dibanding puli *tail rotor*.

- Circular disk cam (Gambar 10)



Gambar 10. *Circular disk cam*

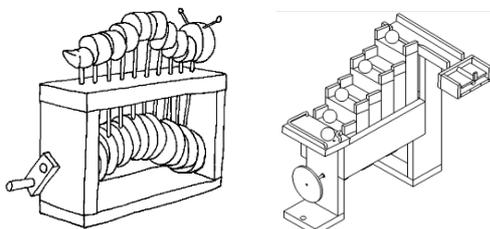
Perpindahan linier *follower* sebagai berikut :

$$x = r - R \cos \Theta \quad -(r - R) = R(1 - \cos \Theta) \quad (1)$$

dan kecepatan *follower*-nya adalah :

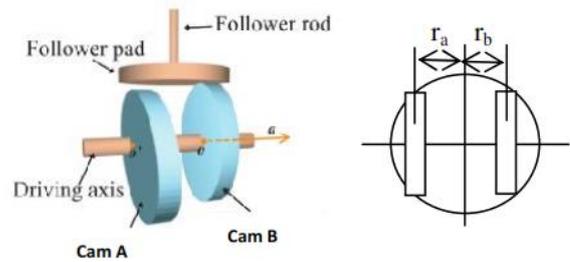
$$v = (2\pi/60) R \sin \Theta \quad (2)$$

Penggambaran penggunaan mekanisme ini adalah pada mainan mekanikal ulat berjalan dan pengangkat kelereng type tangga berjalan, seperti nampak pada Gambar 11.



Gambar 11. Mainan mekanikal ulat berjalan dan pengangkat kelereng type tangga berjalan

- Double circular disk cam (Gambar 12 dan penggunaannya Gambar 13)

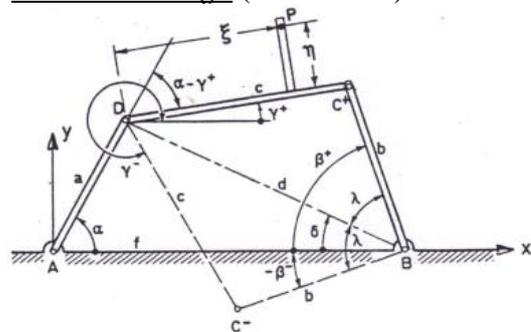


Gambar 12. *Double circular disk cam*



Gambar 13. Mainan anjing sedang bermain ski

- Four bar linkage (Gambar 14)



Gambar 14. *Four Bar Linkage*

Analisa Posisi

Jika input diberikan di batang AD dan BC merupakan batang output serta ζ dan η menyatakan koordinat sebuah titik tetap P di *coupler* (Gambar 14), maka:

$$x_P = a \cos \alpha + \zeta \cos \gamma - \eta \sin \gamma \quad (3)$$

$$y_P = a \sin \alpha + \zeta \sin \gamma + \eta \cos \gamma \quad (4)$$

Analisa Kecepatan

Kecepatan dinyatakan dalam bentuk $\dot{\beta}$ dan $\dot{\gamma}$ sebagai berikut:

$$\dot{\beta} = \dot{\alpha} \frac{a \sin(\gamma - \alpha)}{b \sin(\gamma + \beta)} \quad (5)$$

$$\dot{\gamma} = -\dot{\alpha} \frac{a \sin(\beta + \alpha)}{c \sin(\gamma + \beta)} \quad (6)$$

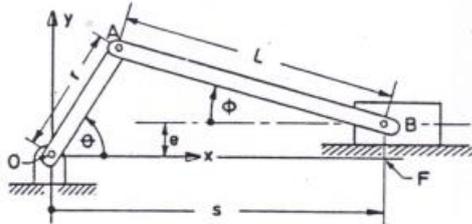
Kecepatan titik-titik pada *side link* b dan *coupler* c selanjutnya dapat dihitung dari persamaan (5) dan (6) tersebut.

Mainan mekanikal yang memanfaatkan mekanisme *four bar linkage* diperlihatkan pada Gambar 15. Sumber penggeraknya motor DC dengan sumbu putar di A. Batang engkol AD sebagai input, yang berputar searah jarum jam, menggerakkan kaki kuda BC melalui perantara batang DC.



Gambar 15. Mainan kuda berlari (Notasi A, B, C dan D sesuai Gambar 14)

- *Slider crank* (Gambar 16)



Gambar 16. Mekanisme *slider crank*

Perpindahan titik B dapat dinyatakan oleh:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{r}{L} \sin \theta - \frac{e}{L}\right) \quad (7)$$

$$s = r \cos \theta + L \cos \varphi \quad (8)$$

dimana φ mencapai minimum pada sudut *crank* $\theta = -90^\circ$ dan maksimum pada $\theta = 90^\circ$.

$$\varphi_{min} = \arcsin \frac{-r-e}{L} \quad (9a)$$

$$\varphi_{max} = \arcsin \frac{r-e}{L} \quad (9b)$$

Sudut φ_{min} dan φ_{max} seperti dinyatakan oleh persamaan (9) akan tercapai jika,

$$|r - e| \leq r + e \leq L \quad (10)$$

Apabila kondisi persamaan (10) dipenuhi kecepatan *slider* dapat dinyatakan sbb.:

$$\dot{\varphi} = \frac{r \cos \theta}{L \cos \varphi} \dot{\theta} \quad (11)$$

$$\dot{s} = -(r \sin \theta + r \cos \theta \tan \varphi) \dot{\theta} \quad (12)$$

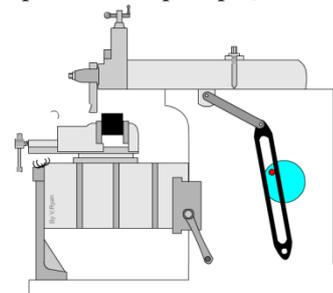
Contoh mainan mekanikal yang memanfaatkan mekanisme *slider crank* ini adalah burung sedang mengepakkan sayap (lihat Gambar 17).



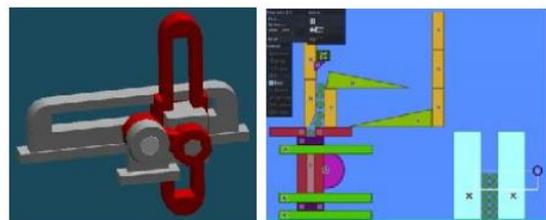
Gambar 17. Mainan burung sedang mengepakkan sayap

- *Quick-Return* (Gambar 18)

Penerapan mekanisme *quick-return* sering diajarkan dengan contoh mesin sekrap (Gambar 18) [18]. Sementara pemanfaatan mekanisme ini pada mainan mekanikal diantaranya untuk pengangkat kelereng type *positive displacement pump* (Gambar 19).



Gambar 18. Ilustrasi mesin sekrap

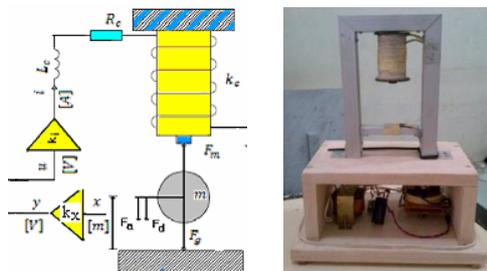


Gambar 19. Mekanisme *Quick-Return* untuk *marble lifter* type *positive displacement pump*

- *Mainan dengan penggerak magnet elektrik*

Mainan dengan penggerak magnet lebih rumit dan kompleks. Contohnya adalah pelayangan bola/balok baja menggunakan *magnetic suspension* [19]. Gambar 20a memperlihatkan model matematik sistem

pelayangan magnet sedangkan prototype produknya diperlihatkan pada Gambar 20b.



Gambar 20. Model pelayangan balok menggunakan *magnetic suspension*

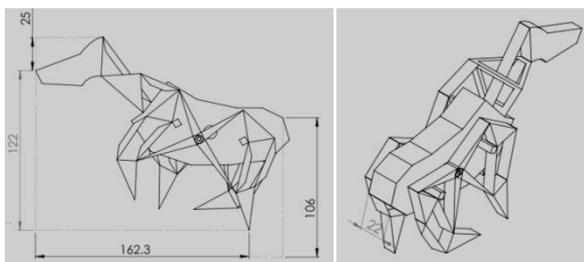
Objek yang akan dilayangkan ditempatkan di bawah electromagnet. Dengan kuat medan magnet yang dikendalikan dengan tepat akan melawan gaya gravitasi (berat) objek tersebut. Hubungan antara besarnya gaya elektromagnetik, arus dan jarak yang dibutuhkan untuk melayangkan obyek disajikan pada persamaan berikut.

$$F_a = F_m - F_g - F_d \quad (13)$$

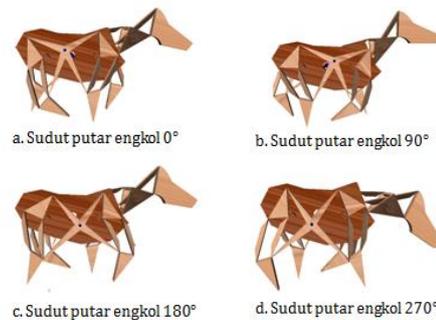
Dimana :

- F_a = gaya inersia (N)
- F_m = gaya elektromagnetik (N)
- F_g = gaya gravitasi (N)
- F_d = gaya redaman (N)

Setelah memilih mekanisme penggerak yang sesuai dan melakukan sintesa dan analisa kinematika, langkah selanjutnya adalah menggambar bagian-bagian mainan dan komponen mekanisme penggerak serta merakit (lihat Gambar 21) dan melakukan simulasi kinematika dengan bantuan *software* CAD (lihat Gambar 22).



Gambar 21. Gambar teknik desain mainan mekanikal kuda berlari



Gambar 22. Perubahan posisi kaki kuda untuk satu putaran poros engkol

Uraian pada paragraf metodologi ini menggambarkan mendesain mainan mekanikal edukatif tepat diberikan sebagai mata kuliah di program S-1 JTM. Penempatan di kurikulum sebagai mata kuliah pilihan 2 SKS dengan pra-syarat telah menempuh mata kuliah fisika, kinematika dan dinamika, dan elemen mesin.

Hasil

Penyusunan materi kuliah mendesain mainan mekanikal edukatif berpijak pada capaian pembelajaran yang diharapkan yaitu :

1. Mampu melakukan rancang bangun mainan mekanikal edukatif dengan mengikuti SOP yang benar
2. Mampu mengkomunikasikan rancangan dengan sesama rekan seprofesi
3. Mampu melakukan pemilihan material, jenis dan ukuran produk, dan komponen kinematika yang sesuai
4. Mampu melakukan sintesa dan analisa kinematika
5. Mampu menggunakan software CAD sebagai alat bantu perancangan dan simulasi kinematika
6. Mampu mendeskripsikan cara pembuatan komponen penyusun sistim dan perkakas yang dibutuhkan
7. Mampu mendesain estetika produk dan kemasan produk.

Capaian pembelajaran seperti diuraikan di atas sesuai tingkat penguasaan pengetahuan standar isi pembelajaran KKNI (Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia) level 6 yaitu “menguasai konsep teoritis bidang pengetahuan dan ketrampilan tertentu secara umum dan konsep teoritis bagian khusus

dalam bidang pengetahuan dan ketrampilan tersebut secara mendalam” [20].

Berdasar capaian pembelajaran tersebut disusun GBPP (Garis-Garis Besar Program Pembelajaran) seperti diuraikan pada Tabel 2. Pertemuan pertama adalah merupakan tatap muka paling penting dimana dosen harus bisa menjelaskan perbedaan mainan mekanikal dan mainan mekanikal edukatif, cakupan mainan mekanikal yang dibahas, contoh-contoh mainan mekanikal edukatif, konsep desain mainan mekanikal edukatif, dan manfaat penggunaan software dalam membantu perancangan dan simulasi gerak produk [21].

Pertemuan ke 2 dan ke 4 yaitu “shooting video obyek bergerak siklus” dan “membuat sketsa mainan mekanikal” diperlukan untuk mendesain mainan mekanikal edukatif baru yang dapat menirukan gerak suatu obyek saat beraktifitas tertentu. Misalnya gerak kaki orang sedang berjalan dan kuda berlari, katak melompat, kipas angin, orang sedang makan, mesin torak, burung mengepakkan sayap, dan lain-lain. Mahasiswa yang mengambil mata kuliah ini dibimbing untuk bisa mengidentifikasi jenis gerakan obyek yang dikaji dalam satu siklus (linier, curvilinier, rotasi, dan lain-lain) dan memilih mekanisme yang sesuai yang dapat menirukan gerakan tersebut [22][23].

Terdapat 3 tugas mata kuliah yang wajib dikerjakan oleh mahasiswa yaitu:

1. Tugas 1: Tugas individual presentasi hasil *shooting* video obyek bergerak siklus (aktifitas tertentu manusia, hewan, atau mesin) termasuk identifikasi gerak obyek dalam 1 siklus.
2. Tugas 2: Tugas kelompok (2 s/d 3 mahasiswa) yaitu rancang bangun mainan mekanikal edukatif dengan penggerak mekanisme *pulley belt* dan *cam-follower*.
3. Tugas 3: Tugas kelompok (2 s/d 3 mahasiswa) yaitu rancang bangun mainan mekanikal edukatif dengan penggerak mekanisme *four bar linkage*, *slider crank*, dan *quick return*.

Pada pelaksanaan pengerjaan setiap tugas di atas mahasiswa diwajibkan melakukan asistensi dan presentasi di depan kelas.

Kesimpulan

1. Mainan mekanikal edukatif bentuknya di bagian atas obyek mainan yang digerakkan dan di bagian bawah mekanisme penggeraknya yang terlihat sehingga orang yang memainkannya dapat mengamati perubahan gerak obyek mainan dan komponen mekanisme penggeraknya secara bertahap

Tabel 2. GBPP mata kuliah Desain Mainan Mekanikal Edukatif

No.	Pokok Bahasan	Sub-Pokok Bahasan	Estimasi Waktu (jam)
1	DEFINISI MAINAN MEKANIKAL EDUKATIF	Definisi mainan mekanikal dan mainan mekanikal edukatif, cakupan mata kuliah, konsep desain dan contoh-contoh mainan mekanikal edukatif	2
2	SHOOTING VIDEO OBYEK BERGERAK SIKLUS	Macam-macam obyek yang gerak aktifitas tertentu dapat dikategorikan berulang, mengidentifikasi gerak setiap siklus	2
3	<p style="text-align: center;"><u>TUGAS 1</u></p> Presentasi Shooting Video Obyek Bergerak Siklus Contoh : gerak kaki orang berjalan dan kuda berlari, katak melompat, kipas angin, orang sedang makan, mesin torak, burung mengepakkan sayap, dll,		2
4	MEMBUAT SKETSA MAINAN MEKANIKAL	Penetapan ukuran global mainan dan simpul-simpul antar komponen bergerak, latihan membuat sketsa	2
5	CAD	Desain mainan, analisa kinematika dan simulasi gerak produk berbasis software	2
6	DESAIN ESTETIKA DAN KEMASAN PRODUK	Macam-macam material produk, finishing produk, cat anti toksik, software desain kemasan produk	2
7	MEKANISME PULLEY BELT DAN GEAR	Macam-macam mainan yang digerakkan oleh pulley belt dan gear, desain gear box untuk penggerak utama	2
8	MEKANISME CAM DAN FOLLOWER	Macam-macam mainan yang digerakkan oleh mekanisme cam-follower (termasuk double circular disk cam, ellipse cam/swash plate cam, snail/drop cam, dan cam dan follower berbentuk batang ayun)	2
9	MID SEMESTER		
10	<u>TUGAS 2</u>		
	Rancang bangun mainan mekanikal edukatif dengan penggerak pulley belt dan cam-follower		
11	PRESENTASI TUGAS 2		
12	FOUR BAR LINKAGE	Macam-macam mainan yang digerakkan oleh mekanisme four bar linkage	2
13	SLIDER CRANK DAN QUICK RETURN	Macam-macam mainan yang digerakkan oleh mekanisme slider crank dan quick return	2
14	PELAYANGAN MAGNET (MAGNETIC LEVITATION)	Konsep dan teori pelayangan magnet, macam-macam mainan yang digerakkan dengan prinsip pelayangan magnet	2
15	<p style="text-align: center;"><u>TUGAS 3</u></p> Rancang bangun mainan mekanikal edukatif dengan penggerak mekanisme four bar linkage, slider crank, dan quick return		
16	PRESENTASI TUGAS 3		
17	UJIAN AKHIR		

2. Merancang mainan mekanikal edukatif tepat diberikan sebagai mata kuliah pilihan di JTM dengan jumlah 2 SKS mengingat pangsa pasarnya yang masih besar, baik sebagai mainan peraga di sekolah-sekolah maupun hiasan-hiasan bergerak di restoran dan cafe, loby hotel, tempat praktek dokter, dan lain-lain
3. Mahasiswa yang mengambil mata kuliah ini harus memenuhi pra-syarat telah menempuh mata kuliah fisika, kinematika dan dinamika, dan elemen mesin.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dan LPPM UNDIP atas biaya penelitian Hibah Bersaing dana BOPTN Tahun Anggaran 2016 (tahun ke-3) yang berjudul “Pengembangan Desain dan Proses Manufaktur Mainan Mekanikal Edukatif Guna Mendukung Industri Kreatif dan Pengentasan Kemiskinan” No.: 002/SP2H/LT/DRPM/II/2016 tanggal 17 Pebruari 2016.

Daftar Pustaka

1. <http://industri.kontan.co.id/news/terpukul-impor-omzet-industri-mainan-tergerus-5%>, “*Terpukul impor, omzet industri mainan tergerus 5%*”, Direktorat Jendral Basis Industri Manufaktur, Kementerian Perindustrian RI, di download 16/11/2012
2. Sirinterlikci, Arif, et al, 2009, “*Active Learning Through Toy Design and Development*”, The Journal of Technology Studies
3. Wibowo, Dwi Basuki dan Sulardjaka, 2014, “*Pengembangan Desain dan Proses Manufaktur Mainan Mekanikal Edukatif Guna Mendukung Industri Kreatif dan Pengentasan Kemiskinan*”, Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing, tahun ke-2, DRPM Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi
4. Blauvelt, Glenn, 2003, “*Creating Mechanical Toys: Step Toward a CAD Tool for Educational Automata*”, University of Colorado, Boulder CO USA
5. <http://www.mechanical-toys.com/>, di unduh tanggal 10 Desember 2015
6. Wibowo, Dwi Basuki, Sulardjaka, dan Hardjono, Bambang Singgih, 2014, “*Peragaan Pembelajaran Mekanisme Kinematika Sederhana Dengan Mainan Mekanikal*”, Proseding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XIII, Universitas Indonesia, Jakarta
7. Abdul Herlan, Rizal dan Wibowo, Dwi Basuki, 2012, “*Penelitian Respon Anak-Anak Usia 5-9 tahun Terhadap Berbagai Gerakan-Gerakan Dasar Manusia yang Dapat Ditiru Melalui Mainan Mekanikal Edukatif*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, UNDIP
8. Suyono, Bhekti Haryo, dan Wibowo, Dwi Basuki, 2011, “*Rancang Bangun Compact Marble Toys Dengan Kombinasi Mekanisme Pengangkat Tangga dan Kincir*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, UNDIP, Semarang
9. Adi, Adrih Prasetya, dan Wibowo, Dwi Basuki, 2011, “*Rancang Bangun Compact Marble Toys Dengan Model Mekanisme Pengangkat Jungkat-jungkit*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, UNDIP, Semarang
10. Gupta, Arvind, “*Toys from Trash*”, <http://www.arvindguptatoys.com/toys.html>
11. Guemez, Julio, et al, 2009, “*Toys in Physics Lectures and Demonstration – a Brief Review*”, Physics Education Journal, Vol. 44, Number 1, Feature 53
12. <http://product.design.umn.edu/courses/pdes3711/index.html>, Toy Product Design – University of Minnesota

13. <http://www.designingforchildren.net/papers/remi-leclerc-designingforchildren.pdf>, Hong Kong Toy Design Lab, The Hong Kong Polytechnic University
14. http://study.com/articles/Toy_Design_Universities_and_Schools_in_the_US.html, Toy Design Universities and School in The US
15. <http://www.howtoguides365.com/how-to/toy-designer/>, How to Become a Toy Designer
16. Zhu, Lifeng, et al, 2012, “*Motion-Guided Mechanical Toy Modeling*”, Microsoft Research Asia
17. Paul, Burton, 1979, “*Kinematics and Dynamics of Planar Machinery*”, Prentice-Hall, Inc., Englewood, New York
18. V. Ryan, 2000-2009, “*Mechanisms Information/Worksheet*”, WATT – World Association of Technology Teachers
19. Sutomo, Sindu dan Wibowo, Dwi Basuki, 2012, “*Pemodelan dan Simulasi Sistik Control Magnetic Levitation Ball*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, UNDIP
20. Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2014, “*Panduan Penyusunan Capaian Pembelajaran Lulusan Program Studi*”
21. Taborda, Elkin, dan K. Chandrasegaran, Senthil, 2012, “*ME 444: Redesigning a Toy Design Course*”, Proceedings of TMCE 2012
22. Kiran, Tushar and Srivastava, 2013, “*Analysis and Simulation of Cam Follower Mechanism Using Polynomial Cam Profile*”, International Journal of Multidisciplinary and Currant Research, ISSN 2321 – 3124
23. A. Dhore, Ajay and Askhedkar, R.D., 2012, “*Synthesis of Four Bar Mechanism by Freudeinstein Equation*”, International Journal of Engineering Research and Application (IJERA), ISSN 2248-9622