PENGEMBANGAN DESAIN DAN MANUFAKTUR MAINAN MEKANIKAL EDUAKTIF UNTUK MENDUKUNG KEMAJUAN INDUSTRU KREATIF

Dwi Basuki Wibowo[1*], Samuel[2], Bambang Singgih Hardjono[3]
[1]Teknik Mesin UNDIP
[2]Teknik Perkapalan UNDIP
[3]Teknik Mesin POLINES
[*]Email: rmt.bowo@gmail.com

Abstrak

Mainan sebagai peraga edukasi Mekanika Fisika telah banyak dilakukan di sekolah-sekolah maupun perguruan tinggi (PT) di dunia, sementara sebagai peraga untuk menjelaskan berbagai macam gerak dan mekanisme yang menimbulkannya belum banyak dilakukan (Kinematika). Mainan mekanikal edukatif adalah mainan yang bisa bergerak yang mampu menghasilkan gerakan mirip seperti aktifitas tertentu orang, hewan, atau mesin. Sumber penggerak mainan mekanikal yang hanya satu dan berbentuk rotasi, tidak seperti robot dimana semua sendi diberi motor listrik yang bisa dikendalikan, menunjukkan bahwa mekanisme kinematika yang digunakan bisa sederhana hingga sangat kompleks bergantung pada banyaknya bagian mainan yang harus digerakkan. Paper ini membahas pengembangan desain dan manufaktur mainan mekanikal edukatif sebagai peraga edukasi yang terbukti sulit dilakukan secara manual, seperti selama ini dilakukan di TDC (Toys Design Center). Dengan menggunakan perancangan berbasis software CAD (Computer Aided Design) reproduksi dan modifikasi produk mudah dilakukan. Gerak produk juga bisa disimulasikan tanpa harus membuat dan merakit seluruh komponennya terlebih dahulu, seperti pada proses perancangan manual.

Kata Kunci : *mainan mekanikal, mekanisme kinematika, peraga edukatif, Toys Design Center, CAD*

1. PENDAHULUAN

Menurut Soetjiningsih anak-anak usia 5 – 9 tahun berada pada fase bermain [1]. Hampir seluruh aktifitas mereka, termasuk di sekolah, adalah bermain. Namun apa yang mereka mainkan di rumah seringkali lebih kompleks dan rumit karena mengandung unsur-unsur ilmu pengetahuan dan teknologi. Kesenjangan ini perlu diupayakan adanya peraga edukasi lain yang mampu memberikan pengetahuan tambahan dan menggugah kreatifitas anak. Mainan mekanikal edukatif adalah salah satu diantaranya. Mainan ini dapat digerakkan secara manual maupun dengan motor listrik menirukan gerakan aktifitas manusia, binatang, atau mesin dan seluruh mekanismenya tidak tertutup *casing*, berbahan dasar kayu/kertas/plastik dan sedikit logam.

Mainan sebagai peraga edukasi Fisika telah dilakukan di banyak sekolah maupun perguruan tinggi di dunia karena mudah dibawa (ukurannya relatif kecil dan ringan) dan murah harganya. Arvind Gupta dalam menjelaskan prinsip pendulum dan gaya sentrifugal kepada anak-anak SD menggunakan *velg* sepeda; bola baja; dan CD (*Compact Disc*) [2], sedangkan Julio Guemez dkk menggunakan *Levitron* (*The magnetically levitating top*) sebagai peraga edukasi dalam menerangkan topik giroskop dan magnet kepada para mahasiswa PT [3] seperti diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Sementara mainan sebagai peraga edukasi untuk menjelaskan berbagai macam gerak aktifitas tertentu, misalnya ayam sedang makan atau menggerakan jari-jari tangan, dan mekanisme yang menimbulkannya belum banyak dilakukan.

Gambar 1. Penggunaan *velg* sepeda, bola baja, dan CD untuk menjelaskan prinsip pendulum dan gaya sentrifugal kepada anak-anak SD [2]

Gambar 2. *Levitron* (*The magnetically levitating top*) sebagai peraga edukasi dalam menerangkan topik giroskop dan magnet kepada para mahasiswa [3]

Mainan mekanikal edukatif terbukti tidak hanya disukai anak-anak tetapi juga orang tua/dewasa. Hal ini terlihat saat TDC (*Toys Design Center*, http://www.toysdesigncenter.org/), yaitu sebuah komunitas yang didirikan oleh penulis pertama paper ini di bawah naungan Lab. Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin (JTM) UNDIP, mengikuti pameran UKM tanggal 21 November 2010 di Gedung Prof. Soedarto UNDIP dan di Festival Caraka tanggal 23 – 26 November 2011 di Hotel Gumaya Semarang seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Ketertarikan anak-anak saat melihat/memainkan berbagai mainan mekanikal edukatif juga nampak jelas terlihat saat dilakukan pelatihan "Ayo Bermain dan Berlatih Membuat Mainan" di SD Negeri Selo Boyolali 16 April 2011 [4] , di Taman Baca PURINAM Banyumanik Semarang pada 3 November 2013 [5], seperti diperlihatkan pada Gambar 4, dan di SD Negeri Kopeng Kab.Semarang Jawa Tengah [6].

Gambar 3. TDC di pameran UKM dan Festival Caraka

Gambar 4. Para guru dan anak-anak sedang memainkan berbagai mainan mekanikal edukatif [4]

2. REPRESENTASI MAINAN MEKANIKAL EDUKATIF

Mainan seperti mobil-mobilan yang digerakkan motor listrik, bunga matahari yang diletakkan di atas *dashboard* mobil dan bisa bergerak-gerak, robot mainan, dan lain-lain adalah termasuk mainan mekanikal yang telah banyak diproduksi orang namun semuanya tertutup oleh *casing*. Unsur edukasi mainan mekanikal ini tidak ada sama sekali, hanya menimbulkan rasa senang saat melihat/memainkannya [7]. Import mainan anak-anak ini membanjiri pasar Indonesia sejak diberlakukannya ACFTA pada tahun 2010 dan menduduki posisi ke 2 terbesar setelah pakaian jadi, yaitu naik sebesar 39,52% dari USD 27,42 juta menjadi USD 38,26 juta. Asosiasi Penggiat Mainan Edukatif dan Tradisional Indonesia (APMETI) mencatat negara pengimport mainan anak-anak terbesar adalah China yaitu sebesar 71,14% dan sisanya berasal dari Taiwan, Vietnam, Philipina, dan Eropa [8].

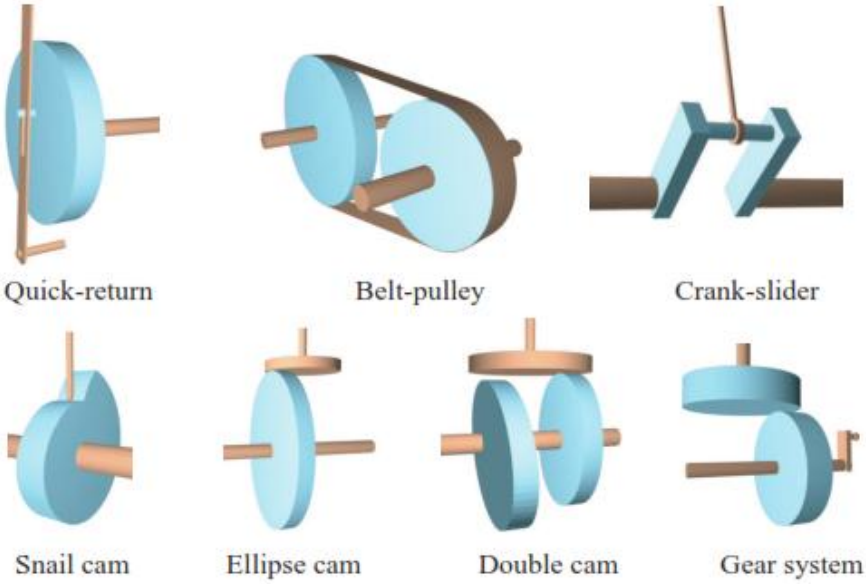
Mainan mekanikal edukatif bentuknya di bagian atas adalah obyek mainan yang digerakkan dan di bagian bawah adalah mekanisme penggeraknya. Mekanisme penggerakknya harus terlihat sehingga siapa saja (dan usia berapa saja) yang melihat/memainkannya dapat membayangkan, mengetahui, hingga memahami jenis mekanisme penggerak dan komponennya yang mampu menghasilkan gerak obyek mainan mirip seperti gerak aktifitas tertentu orang, hewan, atau mesin (lihat Gambar 5) [9]. Sumber penggerak mainan mekanikal yang hanya satu dan berbentuk rotasi, tidak seperti robot dimana semua sendi diberi motor listrik yang bisa dikendalikan, menunjukkan bahwa mekanisme kinematika yang digunakan bisa sederhana hingga sangat kompleks bergantung pada banyaknya bagian mainan yang harus digerakkan.

Gambar 5. Mainan mekanikal pembangunan suatu konstruksi dan ayam sedang makan [9]

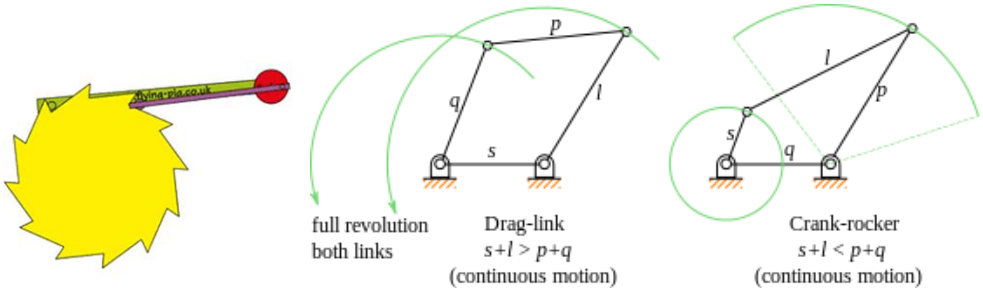
Mainan mekanikal yang dirancang bangun oleh TDC selain seluruh mekanisme penggeraknya terlihat juga tidak bisa digerakkan berpindah tempat melainkan diletakkan di atas meja. Seluruh pemicu geraknya berupa gerak rotasi dan untuk menggerakkannya bisa melalui lengan pemutar atau dengan motor listrik berkecepatan 20 – 30 rpm, seperti nampak pada Gambar 5.

3. Mekanisme Penggerak Mainan Mekanikal Edukatif

Ada beberapa macam mekanisme kinematika penggerak mainan mekanikal edukatif diantaranya diperlihatkan seperti pada Gambar 6 [9]. Mekanisme poros engkol mengubah gerakan rotasi menjadi translasi, mekanisme ini digunakan pada mesin-mesin torak mobil dan sepeda motor. Gambar 7 memperlihatkan mekanisme *rachet* yang umumnya digunakan sebagai pengunci arah rotasi tertentu dan mekanisme *four bar linkage* yang digunakan untuk mengubah gerak rotasi menjadi gerak *curvilinier*, seperti pada mekanisme pembersih kaca mobil (*wiper*) [10] [11].

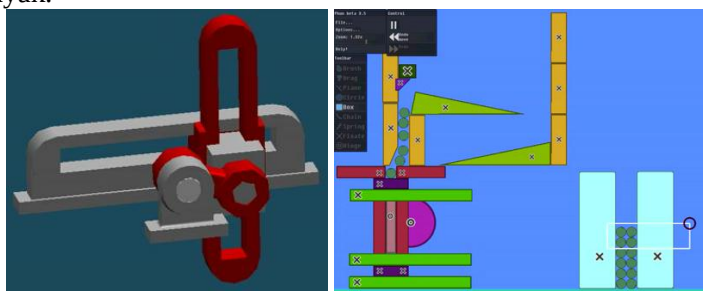


Gambar 6. Komponen kinematika yang bisa digunakan pada mainan mekanikal edukatif [9]



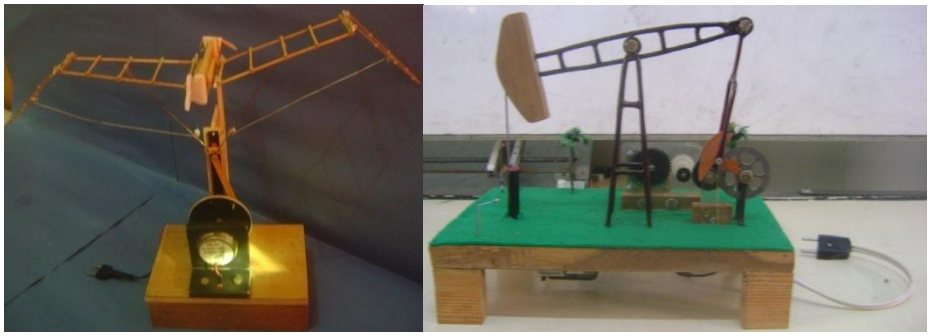
Gambar 7. Komponen mekanisme rachet dan four bar linkage [10] [11]

Mekanisme *Quick-Return*, yang diketahui sebagai penggerak mesin sekrap, bisa digunakan untuk mekanisme pengangkat kelereng (*marble lifter*) type *positive displacement pump* seperti nampak pada Gambar 8. Sedangkan Gambar 9 dan Gambar 10 masing-masing memperlihatkan penggunaan mekanisme *Belt-Pulley* sebagai penggerak mainan orang mengemudikan sepeda terbang serta mekanisme *Slider Crank* dan *Gear System* digunakan untuk menggerakan sayap burung dan pompa minyak.



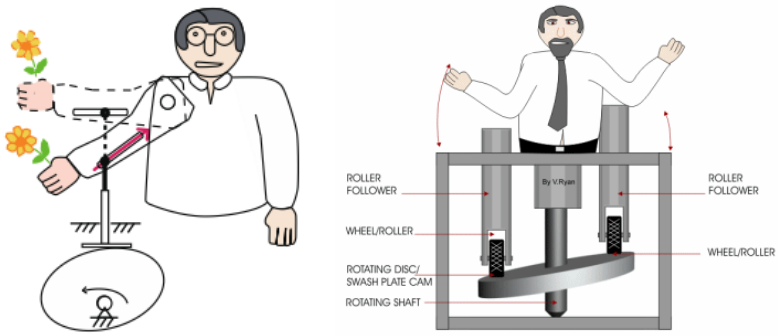
Gambar 8. Mekanisme *Quick-Return* untuk *marble lifter* type *positive displacement pump*

Gambar 9. Orang naik sepeda terbang sambil duduk (http://www.toysdesigncenter.org/)

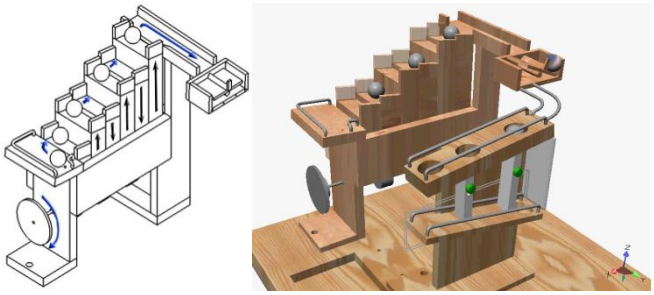


Gambar 10. Mekanisme *Slider Crank* sebagai penggerak sayap burung dan *Gear System* untuk penggerak pompa minyak (http://www.toysdesigncenter.org/)

Mekanisme *cam-follower* cukup banyak digunakan pada mainan mekanikal diantaranya ayam sedang makan, gerakan cepat yang terjadi saat mematuk makanan, cocok menggunakan *snail/drop cam* (lihat Gambar 5). Sementara orang menggerakkan tangan bisa menggunakan *ellipse cam* atau *swash plate cam* seperti terlihat pada Gambar 11. Meski mekanisme ini nampak sederhana, penerapan pada mainan mekanikal yang lain bisa lebih kompleks dan rumit karena *cam-follower* bukanlah satu-satunya mekanisme penggeraknya melainkan bagian dari suatu rangkaian mekanisme, seperti pada mainan mekanikal edukatif simulator kelereng Gambar 12.



Gambar 11. Orang menggerakkan tangan bisa menggunakan *ellipse cam* atau *swash plate cam*



Gambar 12. Tangga berjalan pada simulator kelereng menggunakan mekanisme *cam-follower* yang relatif kompleks dan rumit [12]

Dari penggambaran mekanisme penggerak dan komponen kinematik di atas dapat disimpulkan bahwa mendesain mainan mekanikal edukatif harus ditetapkan dahulu : (1). bagian-bagian mainan yang akan digerakkan, (2). jenis dan pola gerakannya, (3). perubahan posisi maksimal dan minimalnya, (4). kecepatannya, (5). dimensinya, dan (6). penggerak utamanya. Semakin banyak bagian-bagian mainan yang digerakkan dan semakin rumit jenis dan pola gerakannya dibutuhkan komponen mekanisme yang lebih banyak dan kompleks pula [13] [14].Tabel 1 berikut ini memperlihatkan komponen mekanisme yang bisa digunakan untuk mengubah dari gerakan berputar (*input motion*) menjadi gerakan-gerakan yang diinginkan [9].

Tabel 1. Konversi gerakan berputar input menjadi berbagai gerakan output [9]

Output Motion (plane/axis)	Part	Geometry Primitive
rotary (*xz*)	gear	circle (2D)
rotary (*yz*)	crank-slider,belt-pulley	circle (2D)
linear (*y*)	ellipse cam, snail cam double cam	line (2D)
linear (*z*)	quick-return	line (2D)
oscillating (*xy*)	ellipse cam, snail cam	arc (2D)
oscillating (*yz*)	ellipse cam, snail cam quick-return	arc (2D)
elliptical (*yz*)	crank-slider	ellipse (2D)
helical (*y*)	ellipse cam, double cam	helix (3D)

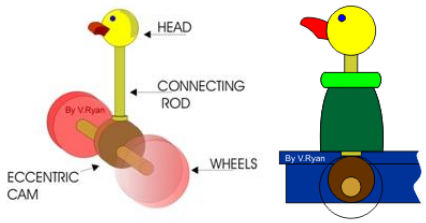
4. DESAIN MAINAN MEKANIKAN BERBASIS KOMPUTER

Mendesain mainan mekanikal edukatif, apalagi yang digerakkan oleh motor listrik, harus dilakukan secara teliti agar komponen mekanisme penggerak satu dengan lain hubungannya pasti

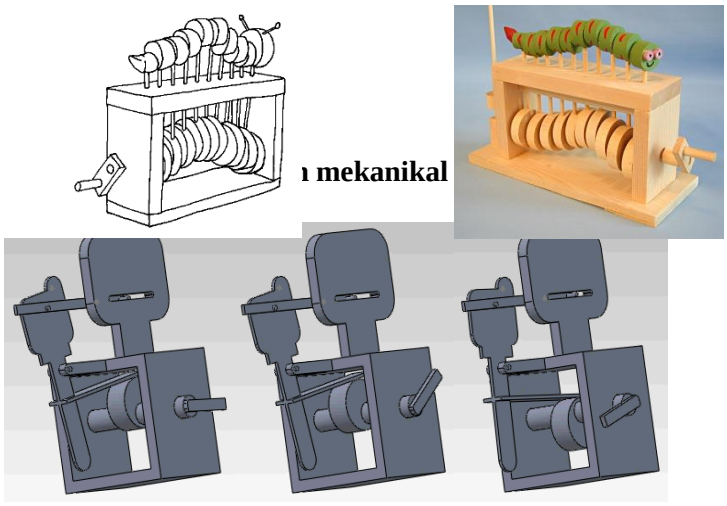
dan mulus (gesekannya kecil). Jika terjadi ketidakakurasian sedikit saja, misal sumbu poros tidak *center*, bisa menyebabkan mekanisme rangkaian roda gigi tidak bisa berputar. Agar tetap bisa berputar daya motor diperbesar yang berarti juga memerlukan daya listrik dan ruang yang lebih besar.

Untuk mencegah *over design* merancang mainan mekanikal dibutuhkan bantuan *software* komputer. *Software SolidWork*, *AutoCAD*, *Visual Nastran* adalah beberapa *software* CAD yang cukup *powerfull* digunakan sebagai alat merancang mekanisme kinematik yang melibatkan banyak komponen yang bergerak dimana *software* akan memberi informasi penyatuan 2 atau lebih komponen tidak bisa dilakukan karena dimensinya tidak sesuai. Dengan *software* simulasi kinematika juga mudah dilakukan sehingga gerakan tahap demi tahap obyek mainan dapat dilihat dan dikoreksi bila terjadi ketidaksamaan dengan yang diharapkan. Hal ini sangat berbeda dengan metode perancangan manual yang meliputi : (1). menggambar sketsa, (2). membuat komponen demi komponen, (3). merakit, dan (4). menguji gerak obyek, dimana kesalahan baru bisa diketahui setelah produk dibuat [14] [15].

Gambar 13 dan Gambar 14 di bawah ini memperlihatkan mainan mekanikal bebek yang kepalanya bisa bergerak naik-turun dan ulat berjalan dengan mekanisme *Cam–Follower*, dari gambar rancangan komponen dengan *software* CAD hingga produk jadi. Sedangkan Gambar 15 memperlihatkan hasil simulasi kinematika mainan mekanikal edukatif "orang menggosok gigi" yang gerakan tahap demi tahapnya dapat disimulasikan tanpa produknya dibuat terlebih dahulu.



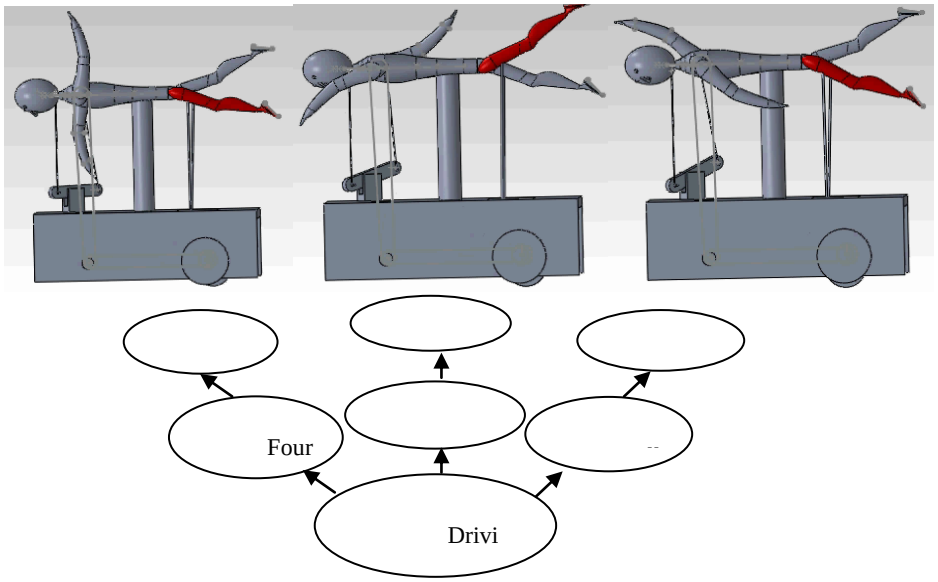
Gambar 13. Mainan mekanikal bebek yang kepalanya bisa bergerak naik turun



ı mekanikal

Gambar 15. Simulasi kinematika mainan mekanikal edukatif "orang menggosok gigi" (dikerjakan dengan *software SolidWork*)

Setelah setiap gerakan obyek didefinisikan dibuat diagram yang menggambarkan komponen mekanisme penggerak yang sesuai masing-masing gerakan tersebut, seperti nampak pada Gambar 16. Gambar ini memperlihatkan mekanisme penggerak orang sedang berenang gaya bebas dimana gerakan tangan berputar menggunakan mekanisme *pulley-belt*, gerakan kaki berayun menggunakan *cam-follower*, dan gerakan berputar kepala ¼ lingkaran menggunakan mekanisme *four bar linkage*.



Gambar 16. Diagram yang menggambarkan masing-masing komponen mekanisme penggerak

5. KESIMPULAN

(1) Tingginya respon anak-anak dan masyarakat saat mengikuti pelatihan dan menyaksikan berbagai pameran yang diadakan dan diikuti oleh TDC membuktikan bahwa peluang pasar produk mainan mekanikal edukatif ini cukup besar.

(2) Desain mainan mekanikal edukatif berbasis komputer ini sangat membantu dalam pengarsipan dan modifikasi produk serta memudahkan perakitan komponen yang bisa dilakukan oleh mereka yang pengetahuan mekanikalnya rendah sekalipun.

(3) Tujuan spesifik yang ingin dicapai di sini adalah memudahkan masyarakat (khususnya pemuda putus sekolah) dalam membuat mainan mekanikal edukatif yang berarti membantu pemerintah dalam mendukung industri kreatif dan mengentaskan kemiskinan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat DIKTI Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan LPPM UNDIP atas biaya penelitian Hibah Bersaing dana BOPTN TA 2014 yang berjudul "Pengembangan Desain dan Proses Manufaktur Mainan Mekanikal Edukatif Guna Mendukung Industri Kreatif dan Pengentasan Kemiskinan" No. Kontrak 023.04.02.189185/2014 tanggal 05 Desember 2013.

DAFTAR PUSTAKA

Soetjiningsih dkk, 2002, "*Tumbuh Kembang Anak dan Remaja*", Edisi ke – 1, Ikatan Dokter Anak Indonesia, Jakarta

Gupta, Arvind, "*Toys from Trash*", http://www.arvindguptatoys.com/toys.html

Guemez, Julio, et al, 2009, "*Toys in Physics Lectures and Demonstration – a Brief Review*", Physics Education Journal, Vol. 44, Number 1, Feature 53

Wibowo, Dwi Basuki, dkk, 2011, "*Upaya Memperkenalkan Teknik Mesin Sejak Dini Kepada Anak-Anak Usia 5 – 9 Tahun Melalui Pelatihan/Peragaan Mainan Mekanikal Edukatif*", Laporan Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat di SD Negeri Selo Kab. Boyolali, UNDIP, Semarang

Wibowo, Dwi Basuki, dkk, 2013, "*Ayo Bermain dan Berlatih Membuat Mainan Untuk Anak-Anak Usia 5 – 9 Tahun di RW-IV Kelurahan Padangsari Banyumanik Semarang*", Laporan Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat, UNDIP, Semarang

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

Sirinterlikci, Arif, et al, 2009, "*Active Learning Through Toy Design and Development*", The Journal of Technology Studies

http://bisnismaritim.com/regulasi/, "*Import Mainan Anak-Anak Melonjak, Pemerintah Siapkan SNI*"

Zhu, Lifeng, et al, 2012, "*Motion-Guided Mechanical Toy Modeling*", Microsoft Research Asia

Nisbat, Budynas, 2008, "*Shigley's Mechanical Engineering Design*", 8th Edition, McGraw-Hill, New York

Gupta, Khurmy, 2005, "*A Text Book of Machine Design*", 4th Edition, McGraw-Hill, New Delhi

Haryo Suyono, Bhekti, dan Wibowo, Dwi Basuki, 2011, "*Rancang Bangun Compact Marble Toys Dengan Kombinasi Mekanisme Pengangkat Tangga dan Kincir*", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, UNDIP, Semarang

Taborda, Elkin, dan K. Chandrasegaran, Senthil, 2012, "*ME 444: Redesigning a Toy Design Course*", Proceedings of TMCE 2012

Blauvelt, Glenn, 2003, "*Creating Mechanical Toys: Step Toward a CAD Tool for Educational Automata*", University of Colorado, Boulder CO USA

Leclerc, Remi, 2010, "*Hongkong Toy Design Lab*", School of Design, The Hong Kong Polytechnic University