

Peragaan Pembelajaran Mekanisme Kinematika Sederhana Dengan Mainan Mekanikal

Dwi Basuki Wibowo^{1,a,*}, Samuel^{2,b}, Bambang Singgih Hardjono^{3,c}

¹Teknik Mesin UNDIP, Jl. Puri VI/2 Banyumanik Semarang

²Teknik Perkapalan UNDIP, Perum Bulusan Asri kavling 17 Tembalang Semarang

³Teknik Mesin POLINES, Jl. Puri V/22 Banyumanik Semarang

^a toysdesigncenter@gmail.com, ^b samuel_aronang@undip.ac.id, ^c bambangsinggih@gmail.com

Abstrak

Pada semua mainan yang bisa bergerak (mainan mekanikal) selalu terdapat mekanisme kinematika. Sumber penggerak mainan mekanikal yang hanya satu dan berbentuk rotasi, tidak seperti robot dimana semua sendi tubuh 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 penggunaan mekanisme kinematika sederhana pada mainan mekanikal sebagai peraga pembelajaran yang tidak hanya bermanfaat untuk memotivasi para mahasiswa, tetapi juga menarik untuk merancang dan meneliti lebih lanjut. Penggunaan mainan sebagai peraga ini sangat menguntungkan karena membuatnya mudah, dimensinya kecil dan ringan, dan komponennya sangat murah.

Kata Kunci: mainan mekanikal, mekanisme kinematika, peraga pembelajaran

1. 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 akan lebih menarik dan menggugah rasa ingin tahu bila mekanisme penggerakannya terlihat, contohnya adalah mainan *automata*. Istilah *automaton* (bahasa inggris plural : *automata*) diartikan sebagai perangkat yang bergerak dengan sendirinya (*a self-operating machine*) [3][4]. Hal ini sering digunakan untuk menggambarkan mainan yang dapat digerakkan yang di dalamnya terdapat mekanisme untuk menghasilkan gerakan aktifitas tertentu mirip seperti manusia, hewan, dan mesin secara berulang [4].

Di TDC (*Toys Design Center*), sebuah komunitas yang didirikan di bawah naungan Lab. Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin UNDIP oleh penulis pertama paper ini, mainan seperti ini disebut *mainan mekanikal edukatif*. Unsur edukasinya adalah mainan tidak bisa berpindah tempat dan seluruh mekanisme penggerakannya diperlihatkan sehingga siapa saja yang melihat/memainkannya dapat mengetahui jenis mekanisme penggerak dan komponennya yang

mampu menghasilkan gerak obyek mirip seperti gerak aktifitas ayam sedang makan (Gambar 1) atau karakter animasi lainnya.



Gambar 1. Mainan mekanikal edukatif ayam sedang makan

Bentuk mainan mekanikal edukatif di bagian atas mainan yang digerakkan dan di bagian bawah mekanisme kinematikanya [4]. Untuk menggerakkannya secara manual dengan memutar lengan atau motor listrik berkecepatan 20–30 rpm (Gambar 1).

Mainan sebagai peraga edukasi Fisika Mekanika dan Magnet telah dilakukan di banyak sekolah/perguruan tinggi karena mudah dibawa (ukurannya kecil dan ringan) dan murah harganya [5]. Arvind Gupta dalam menjelaskan prinsip *magnetic levitation* menggunakan magnet permanen berbentuk donat dan pensil [6], (Gambar 2, kiri). Sedangkan Julio Gumez dkk menggunakan bandul berputar sebagai peraga edukasi dalam menerangkan prinsip kesetimbangan [5], (Gambar 2, kanan).



Gambar 2. Pelayangan pensil untuk menggambarkan konsep *magnetic levitation* dan penjelasan prinsip kesetimbangan menggunakan bandul berputar

Paper ini membahas penggunaan mainan mekanikal sebagai peraga pembelajaran mekanisme kinematika sederhana yang merupakan produk pengembangan hasil penelitian Hibah Bersaing TA 2014 yang berjudul “Pengembangan Desain dan Proses Manufaktur Mainan Mekanikal Edukatif Guna Mendukung Industri Kreatif dan Pengentasan Kemiskinan”. Agar memenuhi kriteria sebagai peraga edukasi, pembahasan harus mencakup 2 topik pokok materi kinematika yaitu sintesa dan analisa [7][8]. 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.

2. Komponen Kinematika yang Digunakan

Sumber penggerak mainan mekanikal 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 [9]. Mekanisme yang digunakan di sini adalah mekanisme kinematika sederhana 2D (*planar kinematics*) yang meliputi komponen kinematika (*kinematic pairs*) *cam-follower*, *four bar linkage*, *slider crank*, *pulley-belt*, *quick-return*, dan *gear system* seperti tampak pada Tabel 1 [8][10].

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, helikal
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 keseluruhan gerak mainan dapat dihasilkan oleh susunan komponen kinematika perlu ditetapkan lebih dahulu: (1). dimensinya, (2). bagian-bagian mainan yang digerakkan, (3). jenis dan pola gerakannya, (4). posisi maksimal dan minimalnya, (5). kecepatannya, dan (6). penggerak utamanya. Nomor (1) s/d (4) terkait dengan topik sintesa sedangkan nomor (4) dan (5) terkait dengan topik analisa kinematika [7][8]. Dengan demikian ketika membahas materi kinematika di kelas juga harus menjelaskan proses desain mainan yang mencakup ke 2 topik tersebut.

3. Metodologi

Agar mainan mekanikal dapat digunakan sebagai peraga pembelajaran kinematika perlu ditetapkan lebih dahulu jenis aktifitas tertentu manusia, hewan, atau mesin yang akan ditiru gerakannya. Metodologinya adalah sbb :

- Memvideo obyek yang akan ditiru gerakannya dan memutarnya *frame by frame* untuk mengetahui detil gerakan setiap tahap.
- Membuat sketsa mainan lengkap dengan dimensinya, bagian-bagian yang digerakkan, jenis dan pola gerakannya, posisi maksimal dan minimalnya, perkiraan kecepatannya, dan menetapkan jenis penggerak utamanya.
- Memilih mekanisme penggerak yang sesuai
- Menggambar bagian-bagian mainan dan komponen kinematika yang digunakan dengan bantuan *software* CAD.
- Merakit seluruh bagian mainan di bagian atas dan komponen kinematika di bagian bawah dan melakukan simulasi kinematika dengan bantuan *software* CAD.
- Apabila simulasi kinematika sudah sesuai harapan selanjutnya bisa dilakukan proses pembuatan setiap komponen & merakitnya.

Setelah seluruh tahapan tersebut selesai dilakukan, bisa disusun dokumen pembelajaran kinematika menggunakan peraga mainan mekanikal (edukatif).

4. Hasil dan Analisa

Pembahasan hasil dilakukan secara berurut sesuai mekanisme penggeraknya seperti pada Tabel 1. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar mekanisme dapat bergerak maupun kesalahan desain yang menyebabkan mekanisme tidak dapat bergerak juga dikemukakan di sini agar para mahasiswa memahami dan dapat menemukan solusinya.

- Mainan dengan penggerak *pulley belt*

Penggambaran cukup baik penggunaan mekanisme *pulley belt* adalah pada mainan mekanikal mengemudikan sepeda terbang sambil duduk (Gambar 3). Sumbu putar *main rotor* (vertikal) saling tegak lurus dengan engkol sepeda dan *tail rotor* (horizontal).

Di sini penggerak utamanya 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.



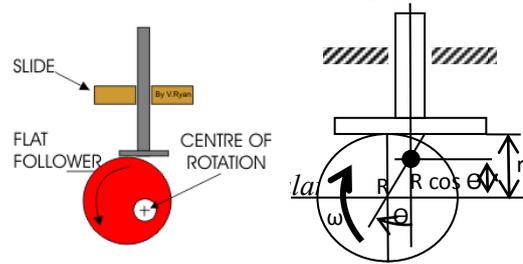
Gambar 3. Mainan mekanikal mengemudikan sepeda terbang sambil duduk

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*.

b) Mainan dengan penggerak *cam-follower*

Mekanisme penggerak *cam-follower* cukup banyak digunakan mulai dari *cam* sederhana hingga *cam* maupun *follower*-nya berbentuk khusus untuk menghasilkan gerakan-gerakan tertentu obyek mainan sesuai yang diinginkan. Pembahasan pada topik ini dibuat berurut dari profil *circular disk cam* hingga *ellipse cam* dan pengembangan selanjutnya.

• *Circular disk cam* (Gambar 4) [8]



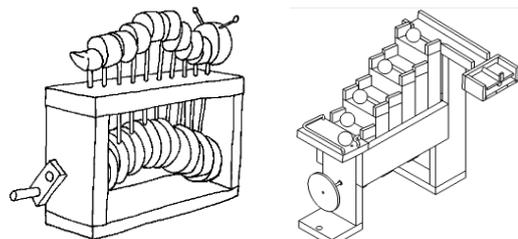
Perpindahan linier *follower* sebagai berikut :

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

dan kecepatan *follower*-nya adalah :

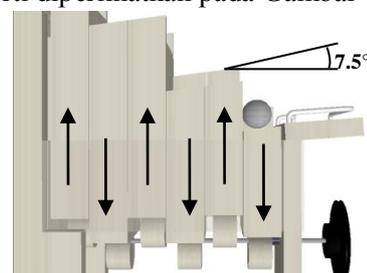
$$v = (2\pi n/60) R \sin \Theta \quad (2)$$

Penggambaran cukup baik penggunaan mekanisme ini adalah pada mainan mekanikal ulat berjalan dan pengangkat kelereng type tangga berjalan, seperti nampak pada Gambar 5. Pada ulat berjalan gerakannya akan semakin halus bila interval sudut Θ setiap *cam* dibuat semakin kecil.



Gambar 5. Mainan mekanikal ulat berjalan dan pengangkat kelereng type tangga berjalan

Sementara pada tangga berjalan yang terdiri dari 6 buah *cam* dan 6 buah balok anak tangga, dengan perbedaan ketinggian masing-masing sebesar diameter kelereng 9 mm dan di bagian atas permukaan baloknya dibuat miring 7.5° , maka ketika poros *cam* berotasi ke 6 tangga tersebut juga akan bergerak naik turun sebesar x seperti diperlihatkan pada Gambar 6 [11].



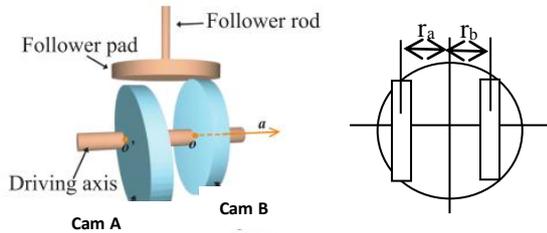
Gambar 6. Pergerakan *cam* dan anak tangga pada pengangkat kelereng type tangga berjalan

• *Double circular disk cam* (Gambar 7) [10]

Mekanisme ini terdiri dari 2 *circular disk cam* sama persis dengan perbedaan sudut $\Theta=180^\circ$. Peletakan *double cam* berjarak r_a dan r_b menyebabkan *follower* berayun bolak-balik

(rock) dengan $\omega = v/r$ dan bergerak naik-turun dengan kecepatan v , dimana v dinyatakan seperti pada persamaan (2).

Penggunaan *double circular disk cam* cukup baik diperlihatkan seperti pada mainan mekanikal anjing yang sedang bermain ski (Gambar 8).



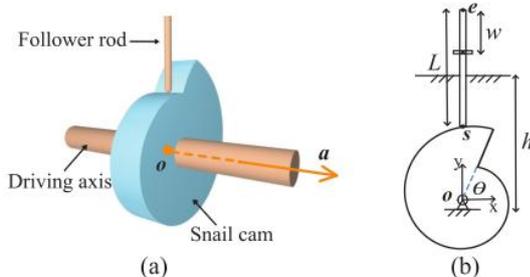
Gambar 7. *Double circular disk cam*



Gambar 8. Mainan anjing sedang bermain ski

- *Snail/drop cam* (Gambar 9) [10]

Kontur dasar *cam* ini berupa lingkaran dengan satu bagian berbentuk potongan linier. Perbedaan *cam* ini dengan *circular disk cam* adalah *follower* bergerak naik pelan-pelan dan turun secara tiba-tiba.



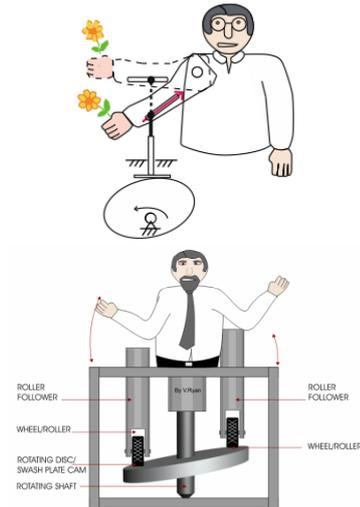
Gambar 9. *Snail/drop cam*

Gerakan *follower* berbentuk linier yang ketinggiannya dikendalikan *snail cam*. Pada saat *snail cam* berkontak dengan *follower* selama waktu t_i , ketinggian *follower*-nya $r(\theta + \omega t_i)$. Karena *follower* ditahan oleh tonjolan tetap pada batang *follower* sejarak w maka ketinggian *follower* maksimumnya adalah $(r(\theta + \omega t_i), h-(L-w))$, dimana h adalah jarak dari *casing* atas ke pusat rotasi *cam*.

Penggambaran penggunaan *snail/drop cam* paling baik diperlihatkan pada gerakan cepat yang terjadi saat ayam mematak makanan, seperti nampak pada Gambar 1.

- *Ellipse cam*

Pengembangan berikutnya penggunaan mekanisme *cam* pada mainan mekanikal edukatif adalah *ellipse cam*, misalnya untuk menggerakkan lengan naik-turun (Gambar 10) [12]. Jika diinginkan pola gerakan tertentu bentuk profil *ellipse cam* harus dirancang khusus secara grafis [13] atau menggunakan *polynomial cam profile* [14].

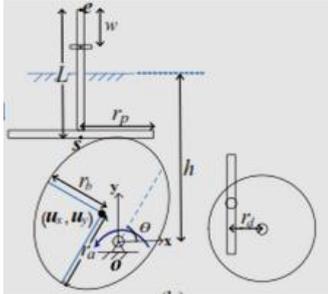


Gambar 10. Menggerakkan lengan naik-turun menggunakan *ellipse cam/swash plate cam*

Parameter untuk menggambarkan gerakan *cam-follower* ini lebih banyak dibandingkan *circular disk cam*, seperti diperlihatkan pada Gambar 11. Pada Gambar skematik ini selama *cam* berotasi pada sumbu X *follower* akan bergerak naik-turun dan berotasi pada sumbu Y dimana L menyatakan panjang batang *follower*, r_p jari-jari *follower pad*, w panjang minimum batang *follower* di atas *casing* penutup atas, r_d jarak dari sumbu *follower pad* ke proyeksi sumbu *cam*, r_a jarak sumbu *cam* terpanjang, r_b jarak sumbu *cam* terpendek, θ variasi sudut *cam*, dan u_x dan u_y menyatakan jarak *offset* sumbu *ellipse* ke sumbu putar *cam*. Beberapa ketentuan harus dipenuhi di sini agar mekanisme dapat bergerak sesuai keinginan yaitu sumbu rotasi harus berada di dalam kurva *ellipse*, diameter *follower pad* harus cukup besar dan $r_p > r_d$, dan $w > L$ [10].

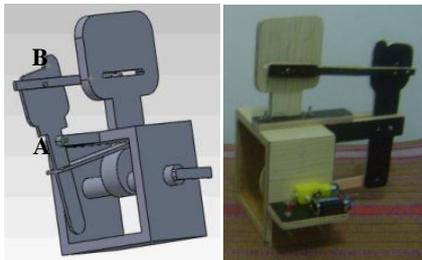
Penggunaan *ellipse cam* ini menarik diajarkan kepada para mahasiswa khususnya dalam merancang, mensintesa, dan menganalisis berbagai mainan mekanikal yang menirukan berbagai gerakan pada mesin otomotif [7][15]. Bantuan *software* analisis untuk mensimulasikan hubungan sudut *cam* θ dengan perpindahan *follower* Y dan kecepatan linier *follower* v , dan *software* animasi untuk

simulasi kinematika perlu diajarkan agar mereka dapat melihat langsung setiap perubahan variabel desain akan mempengaruhi hasil simulasi kinematika.

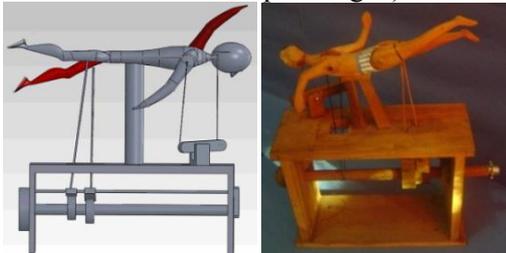


Gambar 11. Gambar skematik *ellipse cam*

- *Cam dan Follower* berbentuk batang ayun
Mainan mekanikal yang menggunakan mekanisme ini diantaranya adalah gerakan tangan menggosok gigi (Gambar 12) dan kaki berenang gaya bebas (Gambar 13).

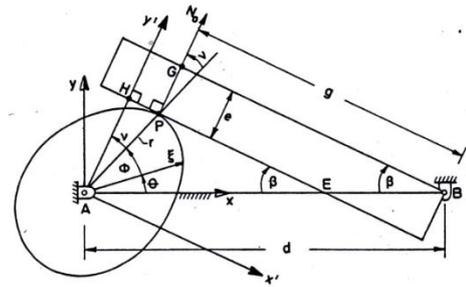


Gambar 12. Mainan orang menggosok gigi (A dan B masing-masing merepresentasikan sendi bahu dan telapak tangan)



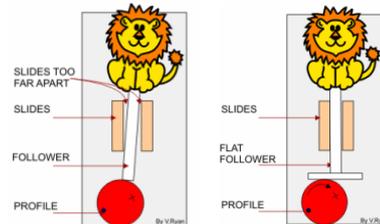
Gambar 13. Mainan orang berenang gaya bebas

Gambaran skematik mekanisme ini diperlihatkan seperti pada Gambar 14, dimana selama *cam* berotasi batang akan berayun bolak-balik dengan sumbu putar di B. Penggunaan mekanisme ini diperlukan apabila jarak sumbu *cam* dan sumbu batang *follower* cukup jauh dan perpindahan linier *follower* tidak terlalu besar [8].



Gambar 14. *Cam dan follower* berbentuk batang ayun

- Kesalahan desain mekanisme *cam-follower*
Gambar 15 memperlihatkan mainan menggunakan *cam-follower* yang tidak bisa bergerak/macet (Gambar 15, kiri) dan perbaikan desainnya (Gambar 15, kanan) [12]. Macetnya mekanisme bisa disebabkan oleh 2 hal yaitu lubang peluncur batang *follower* terlalu besar atau diameter *follower pad* terlalu kecil ($r_p < r_d$).



Gambar 15. Kesalahan desain mekanisme *cam-follower* dan perbaikannya

Perbaikan yang bisa dilakukan adalah memperbesar diameter *follower pad* atau memperkecil *clearance* antara lubang peluncur dan batang *follower*. Agar gerakannya mulus kekasaran permukaan *cam* dan *follower* serta lubang peluncur dan batang *follower* dibuat sekecil mungkin.

- c) Mainan dengan penggerak *Four Bar Linkage*
Mainan mekanikal yang memanfaatkan mekanisme *four bar linkage* diperlihatkan pada Gambar 16. Sumber penggeraknya motor DC dengan sumbu putar di A. Batang engkol AD sebagai input, yang berputar searah jarum jam, menggerakkan kaki kuda BC melalui perantaraan batang DC.



Gambar 16. Mainan kuda berlari
(Notasi A, B, C dan D sesuai Gambar 18)

Mekanisme *four bar linkage* dibangun dari 4 batang yaitu batang engkol *a* sebagai input, batang *coupler c*, *side link b*, dan rangka tetap *f* (Gambar 18). Berdasar kriteria *Grashof*, bila diinginkan setidaknya satu batang berotasi harus memenuhi [8][16] :

$$s + l \leq p + q$$

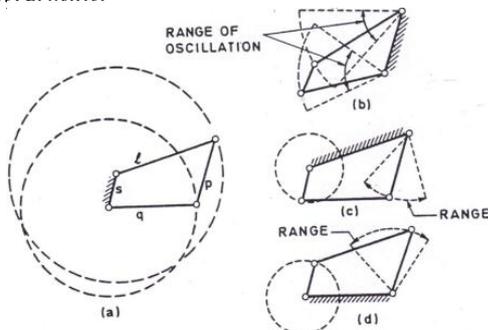
(3a)

dan 3 batang lain akan berayun bolak-balik (*rock*) bila,

$$s + l > p + q$$

(3b)

dimana *s* dan *l* masing-masing menyatakan panjang batang terpendek dan panjang batang terpanjang, sedang *p* dan *q* menyatakan panjang batang-batang lainnya. Gambar 17 memperlihatkan 4 kemungkinan *Grashof chain inversion*.



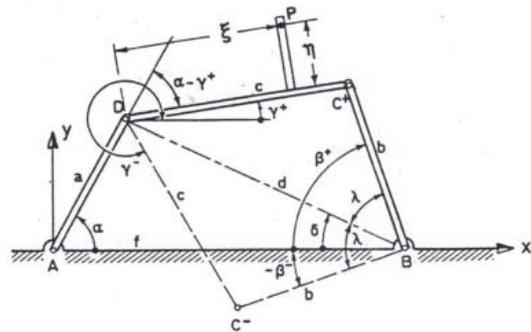
Gambar 17: *Grashof chain inversion* ($s+l < p+q$)
a). Drag-link, b). Double-rocker, c). dan d).
Rocker-crank

Analisa Posisi [8]

Jika input diberikan di batang AD dan BC merupakan batang output serta ζ dan η menyatakan koordinat sebuah titik tetap P di *coupler* (Gambar 18), maka:

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

$$y_P = a \sin \alpha + \zeta \sin \gamma + \eta \cos \gamma \quad (5)$$



Gambar 18. *Four Bar Linkage*

Analisa Kecepatan [8]

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

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

$$\dot{\gamma} = -\dot{\alpha} \frac{a \sin(\beta + \alpha)}{c \sin(\gamma + \beta)} \quad (7)$$

Kecepatan titik-titik pada *side link b* dan *coupler c* selanjutnya dapat dihitung dari persamaan (6) dan (7) tersebut.

d) Mainan dengan penggerak *Slider Crank*

• Mekanisme *slider crank* [8]

Gambar 8 memperlihatkan mekanisme *slider crank* dengan *offset e*. Perpindahan titik B dapat dinyatakan oleh 2 persamaan berikut:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{r}{L} \sin \theta - \frac{e}{L}\right) \quad (8)$$

$$s = r \cos \theta + L \cos \varphi \quad (9)$$

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

$$\varphi_{min} = \arcsin\left(\frac{-r-e}{L}\right) \quad (10a)$$

$$\varphi_{max} = \arcsin\left(\frac{r-e}{L}\right) \quad (10b)$$

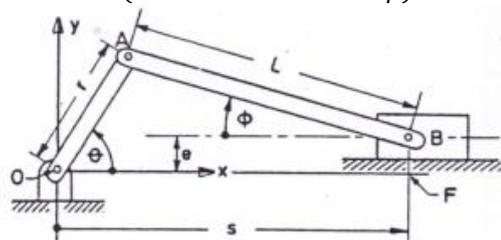
Sudut φ_{min} dan φ_{max} seperti dinyatakan oleh persamaan (10) akan tercapai jika,

$$|r - e| \leq r + e \leq L \quad (11)$$

Apabila kondisi persamaan (11) dipenuhi kecepatan *slider* dapat dinyatakan sbb.:

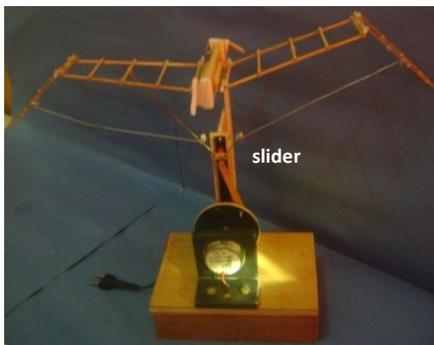
$$\dot{\varphi} = \frac{r \cos \theta}{L \cos \varphi} \dot{\theta} \quad (12)$$

$$\dot{s} = -(r \sin \theta + r \cos \theta \tan \varphi) \dot{\theta} \quad (13)$$



Gambar 19. Mekanisme *slider crank*

Penggunaan *slider crank* pada mainan mekanikal diperlihatkan seperti pada Gambar 20. Agar sayap burung kiri dan kanan dapat *mengepak* (mengembang) sama persis digunakan kombinasi mekanisme *slider crank* dan *inverse slider crank*. Panjang sayap dan tinggi maksimum dan minimum kepak sayap harus ditetapkan terlebih dahulu untuk menghitung dimensi panjang batang engkol r dan *connecting rod* L menggunakan persamaan (9) dan (10). Karena mainan ini ditujukan sebagai peraga edukasi maka $\dot{\theta}$ harus diupayakan tidak lebih dari 30 rpm.



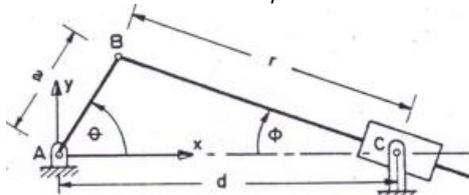
Gambar 20. Burung mengepakkan sayap

• *Oscillating Slider* [8]

Berbeda dengan *slider crank* pada mekanisme ini *slider* tidak bergerak linier bolak-balik melainkan berosilasi pada titik tetap C (Gambar 21). Posisi *connecting rod* dapat dinyatakan oleh 2 persamaan berikut :

$$\varphi = \arctan \left(\frac{a \sin \theta}{d - a \cos \theta} \right) \quad (14)$$

$$r = \frac{a \sin \theta}{\sin \varphi} \quad (15)$$



Gambar 21 : Mekanisme *oscillating Slider*

sedangkan kecepatannya dinyatakan oleh persamaan :

$$\dot{r} = a\dot{\theta} \sin(\theta + \varphi) \quad (16a)$$

$$r\dot{\varphi} = a\dot{\theta} \cos(\theta + \varphi) \quad (16b)$$

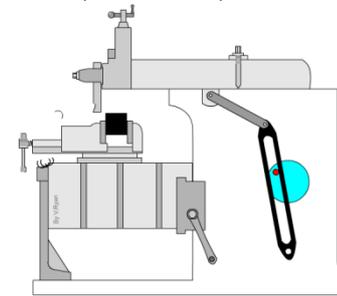
Pemanfaatan mekanisme ini pada mainan mekanikal diperlihatkan seperti pada Gambar 22. Gerakan berayun papan selancar dihasilkan dari osilasi *slider*, sedangkan naik-turunnya papan selancar berasal dari perubahan panjang *connecting rod* r .



Gambar 22. Orang sedang berselancar

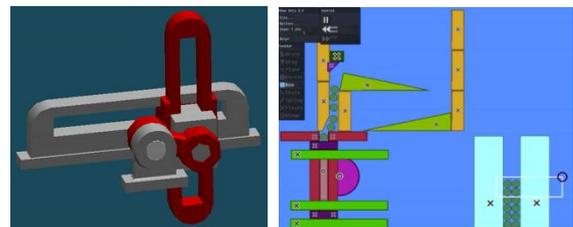
e) Mainan dengan penggerak *Quick-Return*

Penerapan mekanisme *quick-return* sering diajarkan dengan contoh mesin sekrap (Gambar 23) [12]. Sementara pemanfaatan mekanisme ini pada mainan mekanikal diantaranya untuk pengangkat kelereng type pompa torak (Gambar 24).



Gambar 23. Mesin sekrap (*shaping machine*)

Pemberian contoh nyata memang perlu diberikan di kelas tetapi mahasiswa sulit membayangkan karena mekanisme *quick-return* pada mesin sebenarnya tertutup *casing*. Peraga mainan mekanikal seperti Gambar 24, selain murah dan mudah dibuat, akan membantu mahasiswa memahami lebih jelas tentang mekanisme ini.



Gambar 24 . Mekanisme *Quick-Return* untuk *marble lifter type positive displacement pump*

4.1. Shooting Video Membantu Desain Mainan Mekanikal

Setiap aktifitas gerak manusia, hewan, maupun mesin selalu dapat dimodelkan oleh serangkaian komponen kinematika. Untuk menghasilkan gerakan mulus pada masing-masing bagian yang digerakkan sesuai kenyataannya perlu memilih mekanisme yang sesuai, yang seringkali rumit dan kompleks bergantung jenis dan pola gerakannya.

Agar pemodelan lebih mudah diperlukan *shooting* video obyek yang akan ditiru gerakannya lalu memutarinya *frame by frame* (Gambar 25). Dari sini identifikasi gerak dan pemilihan mekanisme bisa dilakukan.



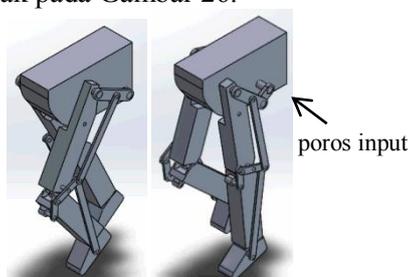
Gambar 25. Identifikasi gerakan kaki orang sedang berjalan

Identifikasi Gerak Kaki Berjalan

- **Kaki:** kanan dan kiri bergerak berlawanan
- **Telapak Kaki:** lurus, kaki kiri maupun kanan
- **Pergelangan Kaki:** berayun bolak-balik satu bidang (dengan sumbu putar transversal) membentuk sudut tertentu. Arah putar pergelangan kaki kanan dan kiri berlawanan.
- **Tungkai:** tungkai kanan dan kiri berayun bolak-balik membentuk sudut tertentu dengan arah ayun saling berlawanan.
- **Lutut/Dengkul:** berayun bolak-balik satu bidang (dengan sumbu putar transversal) membentuk sudut tertentu. Arah putar lutut kanan dan kiri berlawanan.
- **Paha:** paha kanan dan kiri berayun bolak-balik membentuk sudut tertentu dengan arah ayun saling berlawanan.
- **Panggul:** berayun bolak-balik satu bidang membentuk sudut tertentu. Arah putar panggul kanan dan kiri berlawanan.

Jenis Mekanisme Gerak Kaki Berjalan

Mekanisme *Four Bar Linkage* untuk mengayunkan paha, tungkai, dan telapak kaki seperti nampak pada Gambar 26.



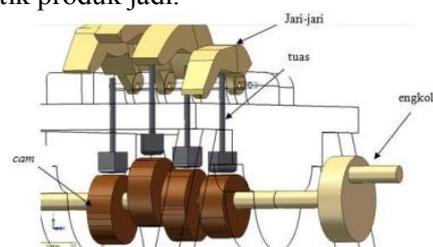
Gambar 26. Pemodelan mekanisme kinematika gerak kaki berjalan

4.2. Bantuan Software Dalam Mendesain Mainan Mekanikal

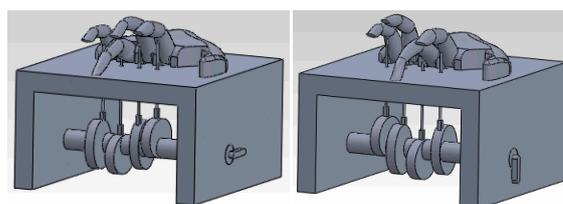
Mendesain mainan mekanikal lebih akurat menggunakan *software* CAD karena terdapat

bagian-bagian yang bergerak. Disamping itu modifikasi desain dan simulasi kinematika juga mudah dilakukan. Hal ini sangat berbeda dengan perancangan manual yang meliputi : (1). menggambar sketsa, (2). membuat setiap komponen, (3). merakit, dan (4). menguji gerak obyek, dimana kesalahan baru bisa diketahui setelah produk dibuat [4][17].

Gambar 27 memperlihatkan model gerakan jari-jari tangan dengan mekanisme *cam* yang didesain menggunakan *software* AutoCAD dan simulasi kinematikanya menggunakan *software* Visual Nastran [18]. Sedangkan Gambar 28 memperlihatkan simulasi kinematika mainan mekanikal menggerakkan jari tangan dalam bentuk skematik produk jadi.



Gambar 27. Menggerakkan jari-jari tangan



Gambar 28. Simulasi kinematika produk mainan mekanikal menggerakkan jari tangan

Pengenalan *software* kinematika tersebut seyogyanya juga diberikan kepada para mahasiswa agar mereka bisa mendesain sistim kinematika dan mensimulasikan gerakannya. Dengan demikian pemahaman mereka terhadap komponen kinematika, sintesa kinematika, dan analisa kinematika detil dan menyeluruh.

5. Kesimpulan

- Penggunaan mainan mekanikal sebagai peraga pembejaran kinematika mudah membuatnya, dimensinya kecil dan ringan, dan komponennya murah.
- Agar memenuhi kriteria sebagai peraga edukasi, pembahasan harus mencakup 2 topik pokok materi kinematika yaitu sintesa dan analisa. Sintesa yang dimaksud adalah memilih mekanisme dan komponen kinematika yang sesuai sedangkan analisa meliputi analisis posisi dan kecepatan.
- Desain mainan mekanikal edukatif berbasis komputer sangat membantu dalam modifikasi

produk, memudahkan perakitan komponen, dan simulasi kinematika.

6. 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 tgl. 5 Desember 2013.

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, Kementrian 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. <http://www.mechanical-toys.com/>, di unduh tanggal 10 Juli 2014
4. Blauvelt, Glenn, 2003, “Creating Mechanical Toys: Step Toward a CAD Tool for Educational Automata”, University of Colorado, Boulder CO USA
5. Guemez, Julio, et al, 2009, “Toys in Physics Lectures and Demonstration – a Brief Review”, Physics Education Journal, Vol. 44, Number 1, Feature 53
6. Gupta, Arvind, “Toys from Trash”, <http://www.arvindguptatoys.com/toys.html>
7. Wilson, Charles E., et al, 1983, “Kinematics and Dynamics of Machinery”, Harper & Row, Publisher, New York
8. Paul, Burton, 1979, “Kinematics and Dynamics of Planar Machinery”, Prentice-Hall, Inc., Englewood, New York
9. Taborda, Elkin, dan K. Chandrasegaran, Senthil, 2012, “ME 444: Redesigning a Toy Design Course”, Proceedings of TMCE 2012
10. Zhu, Lifeng, et al, 2012, “Motion-Guided Mechanical Toy Modeling”, Microsoft Research Asia
11. 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
12. V. Ryan, 2000-2009, “Mechanisms Information/Worksheet”, WATT – World Association of Technology Teachers
13. Suh, C.H., and Radcliffe, C.W., 1978, “Kinematics and Mechanisms Design”, John Wiley & Sons, New York
14. 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
15. Nisbat, Budynas, 2008, “Shigley’s Mechanical Engineering Design”, 8th Edition, McGraw-Hill, New York
16. 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
17. Leclerc, Remi, 2010, “Hongkong Toy Design Lab”, School of Design, The Hong Kong Polytechnic University
18. 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