

**PEMETAAN KONSEP, PRINSIP, MEKANISME,
DAN ELEMEN *PAPER ENGINEERING***

***THE MAPPING OF PAPER ENGINEERING CONCEPTS,
PRINCIPLES, MECHANISM, AND ELEMENTS***

Vanessa Yusuf¹, Hafiz Aziz Ahmad², Dianing Ratri³

Program Studi Desain Komunikasi Visual, Universitas Kristen Petra, Surabaya¹
Program Studi Desain Komunikasi Visual, Institut Teknologi Bandung, Bandung^{2,3}

vanessa@petra.ac.id¹

ABSTRACT

Paper engineering or often referred to pop-up has been growing and gaining popularity among people. Yet, until today there have been no well-structured mapping made in the study of paper engineering as done in other studies in art and design. This research, therefore, aims to map the concept, principle, mechanisms, and elements of paper engineering for creators and people who are interested in exploring the art of paper engineering to learn. The research is done through literature study, either from books or the internet; it was taken from interviews with professional paper engineers in Indonesia. Based on the results of this research, the principle of paper engineering consists of five principles: interactivity, compact, consistency, flexibility, and surprise. The mechanism of paper engineering can be classified into two categories: the movement and the form of the mechanism. The study also reveals that the whole mechanism of paper engineering consists of four types of elements: the base page, the object being moved, the moving object, and the builder element. The results of this research can be used as a study reference about the art of paper engineering for students, teachers, practitioners, and fans of paper engineering art.

Keywords: *paper engineering, pop-up, paper mechanism*

ABSTRAK

Paper engineering sering dikenal dengan sebutan pop-up, semakin berkembang dan diminati oleh banyak orang. Namun, hingga saat ini ilmu paper engineering masih belum dipetakan secara terstruktur seperti ilmu-ilmu dalam seni dan desain lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan konsep, prinsip, mekanisme, dan elemen paper engineering agar dapat dipelajari oleh kreator maupun orang-orang yang tertarik untuk mendalami ilmu/teori paper engineering. Pengumpulan data dilakukan melalui studi pustaka paper engineering baik dari buku maupun internet dan wawancara kepada praktisi/profesional paper engineer di Indonesia. Berdasarkan hasil analisis data yang dikumpulkan, prinsip paper engineering terdiri atas 5, yaitu: interaktivitas, kerapatan, keteraturan, kelenturan, dan kejutan, sedangkan mekanismenya dapat diklasifikasikan berdasarkan dua kategori, yaitu cara gerak mekanisme dan bentuk mekanisme. Seluruh mekanisme paper engineering pada dasarnya hanya terdiri atas 4 jenis elemen, yaitu: lembar dasar, objek yang digerakkan, objek yang bergerak, dan elemen pembangun. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber referensi untuk belajar ilmu paper engineering bagi mahasiswa, pengajar, praktisi, maupun penggemar karya paper engineering.

Kata kunci: *paper engineering, pop-up, mekanisme kertas.*

PENDAHULUAN

Paper engineering merupakan teknik untuk mengolah kertas menjadi *pop-up* maupun *moving cards*, hanya dengan menggunakan kertas sebagai mekanismenya. Karya *paper engineering* lebih dikenal dengan sebutan *pop-up*, meskipun sebenarnya *pop-up* hanya salah satu jenis dari mekanisme *paper engineering*. Saat ini *paper engineering* telah berkembang pesat dan diminati banyak orang untuk kepentingan edukasi, hiburan, promosi, dan lainnya. Hal ini seperti hasil wawancara dengan Hafez Achda (pendiri Impian Studio) mengutarakan saat ini permintaan produk *paper engineering* dari masyarakat Indonesia semakin tinggi (Achda, 2016). Bahkan saat ini Impian Studio dapat memproduksi buku *pop-up* hingga 1500-2000 buku setiap bulannya (Widia, 2017). Selain itu, respons terhadap produk ini sangat baik. Hal ini terlihat dari antusias masyarakat yang terus mendukung karya-karya *paper engineering* lokal.

Hafez menyayangkan kreator lokal masih sedikit karena sumber belajar *paper engineering* di Indonesia belum memadai. Materi belajar yang mudah diakses saat ini cenderung hanya mekanisme-mekanisme umum dan sulit menemukan hal yang membahas *paper engineering* mulai dari prinsip dasarnya. Sandy (*paper engineer* di Indonesia) juga menyatakan belajar *paper engineering* masih sulit karena tidak ada akses untuk mencari referensi yang layak, buku-buku tidak tersedia di toko buku lokal, serta yang internet tawarkan umumnya adalah mekanisme yang sederhana (Solihin, 2016). Padahal di Indonesia kebutuhan sumber referensi mengenai ilmu *paper engineering* sangat diperlukan terutama bagi mahasiswa seni dan desain untuk keperluan tugas dan bagi kreator yang ingin merintis usaha dalam bidang ini.

Selain sulitnya mencari referensi materi belajar yang baik, ilmu *paper engineering* juga ternyata belum dipetakan secara terstruktur, sehingga penjelasan ilmu ini masih terpisah-pisah dan sulit dipahami secara menyeluruh. Sebagai contoh prinsip *paper engineering* saat ini belum dijelaskan dengan tuntas pada

sumber belajar apapun. Dalam buku, video, atau *workshop paper engineering*, prinsip ini sebenarnya sering diutarakan, tetapi hanya sebagian saja. Hal serupa juga ditemukan pada klasifikasi jenis mekanisme *paper engineering* yang cukup beragam, seperti pada buku *The Art of Pop-up* (Trebbe, 2013), *Pop-Up Design and Paper Mechanics* (Birmingham, 2011), dan *The Element of Pop-up* (Carter & Diaz, 1999). Pada buku-buku tersebut, mekanisme *paper engineering* diklasifikasikan berbeda-beda, tetapi ada pula kesamaannya sehingga sulit bagi orang yang ingin mempelajari *paper engineering* untuk mendapatkan suatu pemahaman yang utuh. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan suatu usaha akademis untuk mulai memetakan ilmu *paper engineering* dari konsep, prinsip, mekanisme, hingga elemen *paper engineering*. Dalam penelitian ini, untuk dapat memetakan ilmu *paper engineering* dengan baik, maka dilakukan pengumpulan data dari berbagai sumber literatur serta wawancara kepada praktisi di Indonesia. Data-data yang dikumpulkan akan dianalisis untuk menghasilkan sebuah pemetaan ilmu *paper engineering* yang dapat digunakan bagi orang-orang yang ingin mendalami ilmu ini.

METODE

Pada penelitian ini, pengumpulan data dilaksanakan melalui kajian pustaka, wawancara kepada praktisi, serta pengamatan langsung pada karya *paper engineering*. Pustaka yang dipilih merupakan hasil rujukan berbagai praktisi *paper engineering* baik dari dalam maupun luar negeri. Seperti buku *Paper Engineering: 3-D Design Techniques for A 2-D Material* (Avella, 2009), *Pop-Up Design and Paper Mechanics* (Birmingham, 2011), *The Elements of Pop-Up: A Pop-Up Book for Aspiring Paper Engineers* (Carter & Diaz, 1999), *Paper Engineering and Pop-Ups for Dummies* (Ives, 2009), serta sumber internet dari *website Best Pop-Up Books* (Sabuda, 2016) dan *Pop-up Lady* (Rubin, 2005). Kemudian untuk wawancara dilakukan kepada 3 praktisi/*paper engineer* profesional di Indonesia. Wawancara pertama kepada Hafez Achda (2016), pendiri Impian Studio Yogyakarta

yang berfokus pada pembuatan buku cerita *pop-up*. Kemudian wawancara kedua dilakukan kepada Sandy Solihin (2016) yang merupakan seorang *paper engineer*, ilustrator *freelance* di National Geographic, dan alumni DKV ITB dengan tugas akhir yang berjudul Buku *Pop-up* Keanekaragaman Hayati Indonesia. Terakhir wawancara dilakukan kepada Wuri Widyani Hapsari (2017) yang merupakan seorang *paper engineer*, dosen DKV ITENAS, dan juga telah membahas *pop-up* sebagai topik tugas akhir S1 dan tesis pendidikan S2. Ketiga narasumber ini sering mengadakan *workshop paper engineering* di berbagai kota di Indonesia. Data-data yang diperoleh akan dianalisis untuk dapat memetakan ilmu *paper engineering* mulai dari konsep, prinsip, mekanisme, dan elemen. Pada setiap pembahasan berikut ini, akan langsung dibahas mulai dari konsep *paper engineering* hingga elemen yang dituliskan dengan pembahasan dari pustaka terlebih dahulu atau pendapat praktisi, kemudian dianalisis, dan penjabaran hasil pemetaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

KONSEP PAPER ENGINEERING

Paper engineering pada dasarnya merupakan aktivitas memotong dan membuat bentuk pada kertas atau kartu untuk membuat *pop-up*, *moving cards*, dan mesin hanya dengan menggunakan kertas sebagai mekanismenya (Ives, 2009). Pada masyarakat umum, karya *paper engineering* sering dikenal dengan sebutan *pop-up*, walaupun sebenarnya *pop-up* merupakan salah satu jenis mekanisme *paper engineering*. *Pop-up* juga didefinisikan sebagai struktur dimensional dan mekanisme yang dapat dilipat, terbuat dari kertas serta sering digunakan untuk membuat *movable book* dan kartu ucapan (Carter & Diaz, 1999). Berdasarkan pengertian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *paper engineering* adalah teknik merancang mekanisme kertas untuk menciptakan pergerakan maupun struktur dimensional melalui interaksi dengan penggunaannya, serta dapat digunakan dalam pembuatan *movable book*, kartu, kemasan, dan media cetak lainnya.

Mengapa *paper engineering* tercipta? Sejarah *paper engineering* maupun *pop-up* pada awalnya dikenal dengan sebutan *movable book*. *Paper engineering* pertama kali diciptakan untuk kepentingan ilmu pengetahuan seperti astronomi, agama, kedokteran, matematika, dan lainnya yang ditujukan bagi kaum dewasa (Rubin, 2005). Media yang umum digunakan untuk menyimpan informasi pada zaman dahulu berupa kertas yang sering disatukan menjadi buku. *Paper engineering* pun tercipta dengan memaksimalkan potensi kertas untuk menyampaikan informasi agar lebih mudah dipahami oleh pembaca melalui gerakan dari mekanismenya.

Saat ini media untuk menyimpan informasi tidak terbatas pada kertas saja, tetapi dapat dilakukan dengan media digital, sehingga beberapa fungsi *paper engineering* pun mulai dapat digantikan dengan adanya kemajuan teknologi. Dalam perkembangannya *paper engineering* lebih sering digunakan sebagai media hiburan yang sebagian besar ditujukan bagi anak-anak. Hal ini tidak dapat dipungkiri bahwa *paper engineering* hingga kini masih dapat memukau dan digemari baik bagi anak-anak maupun dewasa. Akan tetapi, kembali pada kemajuan teknologi, saat ini ada banyak hal yang dapat menarik perhatian seseorang dengan menciptakan berbagai macam sensasi yang tidak dapat dirasakan/diperoleh dari media sesederhana kertas. Jika melihat fenomena tersebut, selalu memunculkan pertanyaan apakah *paper engineering* akan punah? Apa sebenarnya keunikan atau identitas dari *paper engineering* yang tidak dapat ditemukan pada ilmu atau objek lainnya? *Paper engineering* tidak saja dapat bertahan tetapi dapat terus berkembang dan layak untuk dipelajari/didalami seiring dengan perkembangan zaman.

Maka dari itu, penting untuk mengenal dengan baik keunikan dari *paper engineering* sebelum mendalami ilmu ini.

Pada dasarnya hal yang membuat orang menikmati karya *paper engineering*, tidak terbatas pada hasil akhirnya yang dapat menciptakan bentuk 3D (seperti karya *paper sculpture*), tetapi justru pada proses

pergerakan dan transformasi dari 2D menjadi 3D. Pergerakan ini dapat terjadi karena adanya mekanisme kertas dan interaksi pengguna dengan karya tersebut. Hal ini dapat dirasakan bahwa nyawa dari *paper engineering* terdapat pada mekanisme kertas, karena karya ini dapat berinteraksi dan bergerak hanya dengan susunan kertas tanpa memerlukan bahan atau mesin lain di dalamnya. Melalui mekanisme kertas tersebut, karya yang tadinya diam, tipis, dan rapat, dalam waktu singkat dapat menjadi bergerak, berubah bentuk, bervolume, bahkan dapat menghasilkan efek ilusi tertentu.

Selain mekanisme, keunikan dan keunggulan *paper engineering* juga terletak pada interaktivitasnya. Hal ini tidak seperti karya visual dan seni kertas pada umumnya yang cenderung dinikmati secara pasif. *Paper engineering* justru membutuhkan keaktifan dari penggunanya dalam menggerakkan mekanisme kertas untuk memunculkan efek visual tertentu. Keunikan ini juga yang membuat karya *paper engineering* sering dimanfaatkan pada berbagai media cetak untuk membangun interaksi dengan pengguna sehingga dapat lebih tertarik dan memahami isi pesan dari karya tersebut. Banyak desainer percaya bahwa desain yang interaktif akan lebih mudah diingat dan informasi di dalamnya akan lebih mudah diserap/dipahami dibandingkan dengan desain pada media yang hanya dilihat pada bidang datar (Avella, 2009). Beberapa contoh pemanfaatan potensi *paper engineering* dalam karya desain yaitu berupa kartu ucapan, buku cerita, buku pelajaran, undangan, kemasan, brosur, iklan majalah, *leaflet*, *flyer*, amplop, *boardgame*, *souvenir*, dan media cetak lainnya.

Setelah mengetahui apa itu *paper engineering*, mengapa bisa tercipta, apa yang menjadi identitas dan keunikannya, serta bagaimana potensi pemanfaatan *paper engineering* dalam produk nyata? Selanjutnya hal-hal yang perlu dipelajari untuk dapat memahami ilmu *paper engineering* lebih dalam lagi yaitu: prinsip, mekanisme, dan elemen *paper engineering*.

PRINSIP PAPER ENGINEERING

Pemahaman terhadap prinsip *paper engineering* ini menjadi penting untuk menjadi pedoman utama bagi kreator dalam berkarya. Namun, hingga saat ini prinsip *paper engineering* belum pernah dijabarkan secara tuntas dalam literatur akademik. Pada umumnya prinsip-prinsip ini disampaikan secara terpisah dalam berbagai sumber literatur, atau diucapkan secara tidak langsung oleh kreator dalam seminar maupun *workshop* yang dilaksanakan. Berikut ini pemetaan prinsip *paper engineering* yang diperoleh dari berbagai sumber.

A. Interaktivitas

Interaktivitas menjadi salah satu keunikan dari *paper engineering*. Seluruh mekanisme *paper engineering* tidak dapat bereaksi, bergerak, atau berubah bentuk jika tidak diawali dengan aksi dari penggunanya. Aksi tersebut dapat bermacam-macam sesuai dengan desainnya. *Pop-up* akan muncul ketika membuka halaman, kemudian *movable picture* hanya akan bergerak ketika orang menarik *pull-tab* atau memutar *wheel* (Ives, 2009). Dengan demikian, pada karya *paper engineering*, untuk memudahkan interaksi pembaca, sering diberikan keterangan seperti “*pull*”, “*lift the flap*”, “*turn*”, “*slide*”, atau berupa gambar panah yang menunjukkan arah gerak. Sebuah karya *paper engineering* harus dapat menggugah orang untuk berinteraksi dengannya dalam mengeluarkan atau menampilkan keindahan mekanisme karya tersebut.

B. Kerapatan

Menurut Hafez Achda, pada intinya *pop-up* harus dapat ditutup rapat dan tidak keluar atau melebihi dari kertas penutupnya (Achda, 2016). Hal ini menjadi keunikan sekaligus tantangan tersendiri dalam seni *paper engineering*. Jika seni kertas lain seperti *paper quiling*, *paper sculpture*, *paper tole*, dan lainnya dapat dibuat langsung bentuk 3D dengan bebas, *paper engineering* memiliki perlakuan yang berbeda. Pada karya *paper engineering* setiap objek 3D harus dapat dilipat atau ditutup kembali menjadi datar dan ketika dibuka harus memunculkan

kembali objek 3D dengan kondisi yang persis seperti awal.

C. Keteraturan

Salah satu hal yang menjadi kunci setiap karya *paper engineering* adalah keteraturan mekanisme di dalamnya. Serumit apapun mekanismenya, pasti harus ada keteraturan sistem yang membuat mekanisme terus bergerak dengan konsisten. Seperti pada *pop-up*, terdapat keteraturan sudut antarmekanisme. Pada mekanisme *wheel* ada keteraturan perputaran pada poros atau *pivot*-nya dan pada mekanisme *pull-tab* terdapat keteraturan jalur yang menjaga pergerakan objek ketika ditarik atau didorong. Berdasarkan hal tersebut, menurut Wuri Hapsari, salah satu hal yang perlu dilatih oleh kreator *paper engineering* adalah kemampuan melihat pola atau keteraturan dari susunan mekanismenya (Hapsari, 2017).

D. Kelenturan

Setiap perancangan produk *paper engineering*, tantangan yang perlu diperhatikan adalah kelenturan mekanisme di dalamnya. Mekanisme harus mudah digerakkan pengguna dan mudah untuk menggerakkan komponen/objek lain tanpa merusak bagian-bagiannya. Kelenturan ini pun menjadi salah satu kriteria penilaian buku *pop-up* pada *website* Best Pop-up Book yang dituliskan dengan kriteria “easy pop-in pop-out” (Sabuda, 2016). Sebaik apapun tampilan karya *paper engineering*, jika tidak dapat bergerak dengan leluasa, sulit digunakan orang, dan mudah rusak, karya tersebut belum dikatakan sebagai karya yang berhasil.

E. Kejutan

Salah satu kelebihan *paper engineering* adalah unsur kejutan di dalamnya (Solihin, 2016). Kejutan merupakan hal yang paling disukai dari *paper engineering*. Robert Sabuda sering menyebutnya dengan istilah “*Wow Factor*” oleh Robert Sabuda. Kejutan ini misalnya ketika objek yang tadinya datar, tiba-tiba bervolume/ melompat keluar, gambar yang awalnya diam tiba-tiba dapat bergerak seperti terasa hidup, atau mekanisme berputar yang menghasilkan

suatu ilusi. Efek *wow* ini menjadi keharusan pada setiap karya *paper engineering* sehingga perlu direncanakan dengan baik oleh desainernya. Pada *website* Best Pop-Up Books, buku dengan nilai efek *wow* paling tinggi adalah buku karya Robert Sabuda yang berjudul *Alice’s Adventures in Wonderland*.



Gambar 1 Buku Pop-up Alice’s Adventures in Wonderland

(Sumber: www.bestpopupbooks.com)

Berdasarkan uraian di atas, dapat dirumuskan bahwa prinsip *paper engineering* yang penting untuk diterapkan dalam setiap karya yaitu:

1. Interaktivitas / *Interactivity*: kemampuan mekanisme *paper engineering* untuk berinteraksi dengan pengguna dalam menghasilkan efek tertentu.
2. Kerapatan / *Compact*: setiap karya *paper engineering* dapat dilipat/ditutup/disimpan dengan rapat dan hemat tempat.
3. Keteraturan / *Consistency*: setiap elemen tersusun tepat pada posisinya untuk menjaga kekonsistenan pergerakan mekanisme *paper engineering* dari posisi awal hingga akhir.
4. Kelenturan / *Fleksibility*: kemudahan mekanisme dalam melakukan setiap gerakan tanpa terhambat atau merusak bagian lain.
5. Kejutan / *Surprise*: efek pergerakan mekanisme yang memunculkan sensasi kejutan (*wow factor*) ketika berinteraksi dengan pengguna.

MEKANISME PAPER ENGINEERING

Terdapat berbagai jenis mekanisme atau teknik *paper engineering* yang terus berkembang hingga saat ini. Pengklasifikasian teknik-teknik tersebut dilakukan oleh para *paper engineer* yang dibahas dalam bukunya, seperti Carter & Diaz mengategorikan *paper engineering* menjadi 4 macam, yaitu *parallel folds*, *angle folds*, *wheels*, dan *pull-tabs* (Carter & Diaz, 1999). Brosur The Smithsonian Institution Libraries membagi menjadi 4 kategori yaitu: *movables*, *pop-up*, *folding mechanism*, dan *Multiple Construction / Fantastic Forms* (Dyk et al., 2010). Trebbi juga mengklasifikasikan menjadi 4 macam yang berbeda, yaitu *two dimensional mechanisms*, *one piece pop-ups*, *layered pop-up elements*, dan *bindings/folding mechanism* (Trebbi, 2013). Kemudian Duncan Birmingham membaginya menjadi 3 bagian, yaitu *foundation shapes*, *building techniques*, dan *pull-tab mechanisms* (Birmingham, 2011). Perbedaan pengklasifikasian ini karena sudut pandang yang dipilih. Ada yang mengategorikan berdasarkan bentuk, elemen, sumber gerak, dan pertimbangan lainnya. Setelah diteliti lebih lanjut, mekanisme *paper engineering* dapat diklasifikasi berdasarkan 2 kategori, yaitu cara gerak dan bentuk mekanisme. Berikut ini merupakan penjabaran hasil analisis yang telah dilakukan penulis.

A. Berdasarkan Cara Gerak Mekanisme

Mekanisme *paper engineering* dapat dikelompokkan menjadi 3:

1. *Flap*: mekanisme kertas yang digerakkan dengan membuka tutup untuk menampilkan gambar di baliknya. *Flap* merupakan bentuk dasar dari *pop-up* dan *folding mechanism*.
2. *Pull-tab*: mekanisme kertas yang digerakkan dengan cara menarik, mendorong, dan/atau menggeser untuk menghasilkan perubahan gambar secara mendatar.
3. *Wheel*: mekanisme kertas yang digerakkan dengan cara memutar roda untuk menghasilkan perubahan gambar secara melingkar.

B. Berdasarkan Bentuk Mekanisme

Mekanisme *paper engineering* dapat dikelompokkan menjadi 3 di antaranya sebagai berikut.

1. *Movables*: mekanisme kertas 2D yang bergerak pada bidang datar, yaitu *simple flap*, *pull-tab*, dan *wheel*.
2. *Pop-up*: mekanisme kertas yang menggerakkan objek di dalamnya untuk menciptakan efek timbul atau bentuk 3D. *Pop-up* dapat dibuka $90^\circ / 180^\circ$.
3. *Folding mechanism*: mekanisme kertas dari lipatan khusus yang maksimal dapat dibuka hingga 360° untuk menghasilkan berbagai bentuk yang unik.

Berikut ini merupakan tabel klasifikasi mekanisme *paper engineering* hasil analisis serta klasifikasi dari beberapa sumber literatur. Tabel ini memiliki cara membaca yang khusus karena memiliki makna jika dibaca secara horizontal, vertikal, maupun dilihat warnanya. Cara membacanya sebagai berikut.

1. Jika dibaca secara horizontal, baris nomor 1 dan 2 merupakan hasil dari penelitian penulis, sedangkan baris nomor 3,4,5,6 merupakan perbandingan dengan sumber literatur lainnya.
2. Jika dibaca secara vertikal, pada tabel ini terdapat perbedaan ukuran di beberapa kolom, karena memiliki makna apabila dibaca secara vertikal. Sebagai contoh, kolom *movables* terlihat lebih panjang, dan jika ditarik garis lurus ke bawah, terlihat bahwa *movables* ini mencakup: *flap*, *pull-tab*, dan *wheel*. Begitu pula pada kolom *Flap* yang terlihat panjang, memiliki makna apabila ditarik garis lurus vertikal yaitu *flap* yang meliputi *pop-up*, *folding mechanism*, dan *movables*. Kolom *fantastic forms* dibuat paling panjang karena mekanisme ini dapat mencakup seluruh jenis mekanisme *paper engineering*.
3. Jika dilihat dari warna, dapat membantu untuk mengelompokkan mekanisme yang sejenis atau sama karena dalam berbagai sumber literatur sering memiliki istilah

tersendiri atau sebutan yang berbeda, padahal mekanisme yang dimaksud sama. Contohnya kolom *movables* dan kolom *two dimensional mechanism* sama-sama diberi warna ungu karena merupakan jenis mekanisme yang sama.

4. Pada baris nomor 5 dan 6 terdapat kolom yang kosong, karena penulis buku tersebut tidak membahas tentang *folding mechanism* dan juga *wheel* (tabel dibaca secara vertikal).

ELEMEN PAPER ENGINEERING

Dalam buku-buku *paper engineering* seperti pada buku *The Element of Pop-up* (Carter & Diaz, 1999) dan *Pop-up Design and Paper Mechanics* (Birmingham, 2011), istilah elemen *paper engineering* sering digunakan secara tidak langsung untuk menyatakan bagian-bagian terkecil yang membangun suatu mekanisme. Akan tetapi, hingga saat ini masih belum dipetakan secara jelas. Terdapat berbagai elemen dalam setiap mekanisme, sebagai contoh elemen dari *pop-up*: *base page, spine fold/gutter, gully, v-fold, parallel fold, glue tab, window*, dan lainnya. Elemen *pull-tab*: *strip/tab, track, window, glue tab, slit, slot, concave*, dan lainnya.

TABEL 1 KLASIFIKASI MEKANISME PAPER ENGINEERING

Klasifikasi Mekanisme Paper Engineering				
1	Berdasarkan Bentuk	Pop-up	Folding mechanism	Movables
2	Berdasarkan Cara Gerak	Flap		Pull-tab Wheel
3	Trebbi (2012)	One Piece Pop-up	Binding	Two Dimensional Mechanism
		Layered Pop-up Element		
4	Smithsonian Institution Libraries (2010)	Multiple Construction / Fantastic Forms		
		Pop-up	Folding mechanism	Movables
5	Birmingham (2010)	Foundation Shape		Pull-tab Mechanism
		Building Technique		
6	Carter & Diaz (1999)	Parallel Fold		Pull-tab Wheel
		Angle Fold		

(sumber: Vanessa Yusuf, 2018)

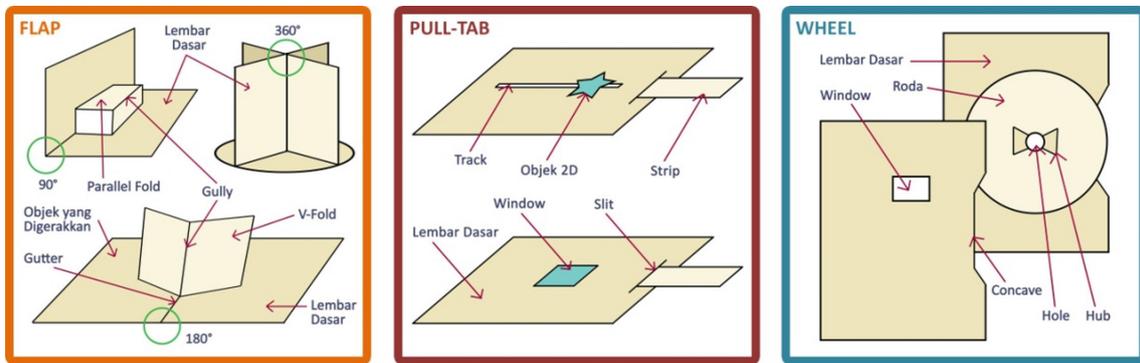
Elemen *wheel*: *pivot (hub & hole)*, *concave*, *window*, *wheel*, dan lainnya. Namun, apakah elemen *paper engineering* begitu beragam atau sebenarnya ada kesamaan elemen antara ketiga mekanisme dasar tersebut?

Berbagai elemen *paper engineering* ini cukup membingungkan terutama bagi orang yang baru pertama kali belajar *paper engineering*. Akan tetapi, jika diteliti lebih lanjut, terdapat kesamaan tipe elemen dari masing-masing mekanisme dasar *paper engineering*. Berdasarkan analisis berbagai sumber literatur dan pengamatan terhadap karya-karya *paper engineering*, dapat dirumuskan 4 kelompok elemen yang dimiliki oleh seluruh mekanisme baik *flap*, *pull-tab*, maupun *wheel* di antaranya sebagai berikut.

1. Lembar dasar: tempat seluruh objek *movables* dan *pop-up* melekat.
2. Objek yang digerakkan: bagian mekanisme yang dipegang dan berinteraksi oleh pengguna.
3. Objek yang bergerak: bagian mekanisme yang bergerak atau menghasilkan efek tertentu, hasil dari interaksi dengan pengguna.
4. Elemen pembangun: bagian yang mendukung gerakan mekanisme *paper engineering*.

ELEMEN DALAM MEKANISME PAPER ENGINEERING

Berikut ini merupakan pemetaan elemen dalam ketiga mekanisme dasar *paper engineering*:



Gambar 2 Elemen *paper engineering* pada mekanisme *flap*, *pull-tab*, dan *wheel* (sumber: Vanessa Yusuf, 2018)

TABEL 2 ELEMEN DALAM MEKANISME PAPER ENGINEERING.

No	Elemen Paper Engineering	Mekanisme Paper Engineering		
		Flap (Simple Flap, Pop-Up, Folding Mechanism)	Pull-Tab	Wheel
1	Lembar Dasar	tempat teks, gambar, <i>pop-up</i> melekat	tempat jalur (<i>track</i>) <i>pull-tab</i>	tempat roda (<i>wheel</i>) melekat
2	Objek yang Digerakkan	lembar dasar (<i>base</i>) dibuka-tutup 90°, 180°, 360°	<i>strip</i> atau <i>tab</i> ditarik/ didorong/ digeser	roda (<i>wheel</i>) diputar CW / CCW
3	Objek yang Bergerak	<i>pop-up v-fold</i> dan <i>parallel fold</i>	<i>strip</i> , objek 2D, <i>pop-up</i>	roda, objek 2D, <i>pop-up</i>
4	Elemen Pembangun	<i>spine fold/gutter</i> , <i>gully</i> , <i>glue-tab</i> , <i>window</i>	<i>track</i> , <i>window</i> , <i>glue-tab</i> , <i>slit</i> , <i>slot</i> , <i>concave</i>	<i>pivot (hub & hole)</i> , <i>concave</i> , <i>window</i>
<p>Keterangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Setiap lipatan (<i>gutter</i> dan <i>gully</i>) berpotensi untuk dijadikan <i>pop-up</i> yang baru. - Setiap permukaan datar berpotensi untuk dijadikan <i>base</i> mekanisme <i>movables</i>. 				

(sumber: Vanessa Yusuf, 2018)

SIMPULAN

Pemetaan terhadap ilmu *paper engineering* ini akan membantu kreator untuk memahami konsep, prinsip, mekanisme, dan elemen *paper engineering* yang sebenarnya. Mekanisme kertas dan interaktivitas merupakan inti dari *paper engineering* yang menjadi kekuatan/potensi dan membuat keberadaannya tak tergantikan. Pemahaman terhadap konsep *paper engineering* ini menjadi dasar pembelajaran berikutnya, yaitu prinsip *paper engineering* yang perlu dipahami secara tuntas sebagai suatu kebenaran umum yang dapat digunakan kreator sebagai pedoman dalam merancang karya *paper engineering*. Kelima prinsip yang telah dijabarkan meliputi: interaktivitas, kerapatan, keteraturan, kelenturan, dan kejutan. Prinsip ini dapat diterapkan ketika mengolah mekanisme *paper engineering*. Berdasarkan cara geraknya, mekanisme *paper engineering* dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu: *flap*, *pull-tab*, dan *wheel*. Berdasarkan bentuknya, mekanisme *paper engineering* dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu: *movables*, *pop-up*, dan *folding mechanism*. Seluruh mekanisme ini memiliki 4 kelompok elemen utama, di antaranya: lembar dasar, objek yang digerakkan, objek yang bergerak, dan elemen pembangun. Seluruh pemetaan ini diharapkan dapat membuat kreator, pendidik, maupun penggemar *paper engineering* untuk lebih memahami dasar-dasar ilmu *paper engineering* secara utuh dan dapat terus dikembangkan dalam berkarya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Jurnal ini didasarkan pada catatan proses penelitian dalam Tesis Program Studi Magister Desain FSRD ITB. Proses pelaksanaan Tesis ini disupervisi oleh pembimbing: Hafiz Aziz Ahmad, M.Des., Ph.D. dan Dianing Ratri, Ph.D.

DAFTAR PUSTAKA

- Achda, H. (2016). *Interview: Perkembangan Paper Engineering di Indonesia*. Interviewer: Yusuf, V.
- Avella, N. (2009). *Paper Engineering: 3-D Design Techniques for A 2-D Material*. Rockport Publisher.
- Birmingham, D. (2011). *Pop-Up Design and Paper Mechanics: How to Make Folding Paper Sculpture*. Guild of Master Craftsman.
- Carter, D., & Diaz, J. (1999). *The Elements of pop-up : a pop-up book for aspiring paper engineers*. Little Simon.
- Dyk, S. Van, Hewitt, C., Broman, E., & Montanaro, A. (2010). Paper Engineering: Fold, Pull, Pop and Turn. In *The Smithsonian Libraries Exhibition Gallery*. Smithsonian Institution Libraries. https://www.sil.si.edu/pdf/FPPT_brochure.pdf
- Hapsari, W. (2017). *Interview: Dunia Paper Engineering*. Interviewer: Yusuf, V.
- Ives, R. (2009). *Paper Engineering and Pop-Ups for Dummies*. Wiley Publishing.
- Rubin, E. G. K. (2005). *Pop-up and Movable Books In the Context of History*. <https://popuplady.com/about-pop-ups/pop-up-and-movable-books-in-the-context-of-history/>
- Sabuda, R. (2016). *Alice in Wonderland Pop-Up Book by Robert Sabuda*. <https://www.bestpopupbooks.com/alices-in-wonderland-by-sabuda/>
- Solihin, S. (2016). *Interview: Belajar Paper Engineering*. Interviewer: Yusuf, V.
- Trebbi, J.-C. (2013). *The Art of Pop-Up: The Magical World of Three-Dimensional Books*. Promopress.
- Widia, S. (2017). *Hafez Achda : Sukses Memelopori Buku Pop-Up di Indonesia*. <https://youngster.id/creativepreneur/hafez-achda-sukses-memelopori-buku-pop-di-indonesia/>