

PENINGKATAN PERKONGSIAN KOMPONEN BERDASARKAN KAEDAH MODULAR – SATU KAJIAN KES

A. B. ABDULLAH¹, Z. M. RIPIN² & M. MOKHTAR³

Abstrak. Pendekatan untuk meningkatkan variasi produk pada kos yang murah daripada sumber yang terhad merupakan matlamat utama kebanyakan syarikat. Variasi produk boleh dipertingkatkan dengan pelbagai cara, antaranya perkongsian komponen. Dalam kajian ini, perkongsian komponen akan dipertingkatkan dengan menggunakan pendekatan modular. Secara umumnya, kaedah yang dicadangkan ini boleh dibahagikan kepada tiga fasa utama, iaitu pemodularan, mengenal pasti platform dan reka bentuk semula. Hasil kajian ini mendapati, perkongsian komponen dapat dipertingkatkan dengan menggunakan pendekatan modular. Untuk menjelaskan metodologi yang digunakan, satu kajian kes terhadap keluarga produk kipas angin telah dijalankan.

Kata kunci: Variasi produk, perkongsian komponen, pendekatan modular, platform, reka bentuk semula

Abstract. The application of product platform has been suggested as a key component of a well-targeted development strategy for companies that aim better utilization from limited resources. Product variants can be increased by several methods such as component commonality. In this paper, component commonality is increased using modular approach. Generally, this methodology can be divided into three phases; modularization, platform identification, and redesign. This study indicates that component commonality can be increased by using modular approach. To demonstrate the methodology, a case study on a family of domestic fans has been carried out.

Keywords: Product variety, component sharing, modular approach, platform, redesign

1.0 PENDAHULUAN

Konsep platform produk merupakan teras strategi beberapa syarikat besar yang mempunyai sasaran untuk menggunakan sumber terhad dengan sebaiknya. Seni bina platform boleh didefinisikan sebagai satu set komponen atau sistem yang dikongsi oleh beberapa produk sama ada dari keluarga yang sama atau sebaliknya [1]. Produk yang terhasil daripada aplikasi platform produk ini dinamakan variasi, dan gabungan variasi ini membentuk keluarga produk. Satu contoh untuk memudahkan pemahaman konsep produk platform ini ialah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Dua produk yang dihasilkan oleh Syarikat Multinasional Black and Decker, iaitu (a) pemutar tangan tanpa wayar dan (b) lampu suluh. Jika dilihat dari segi reka bentuk perumah bagi kedua-dua produk ini, ia adalah sama [2]. Sebenarnya banyak lagi contoh lain

^{1,2&3}School of Mechanical Engineering, Universiti Sains Malaysia, Engineering Campus, 14300, Nibong Tebal, SPS, Penang. E-mail: matbaha_74@hotmail.com



(a) Pemutar skru tanpa wayar

(b) Lampu suluh

Rajah 1 Salah satu variasi platform produk yang telah dihasilkan oleh Black and Decker

seperti Syarikat Sony yang menghasilkan beratus variasi walkman yang sebahagian besarnya telah berada di pasaran. Begitu juga pengeluar kereta terkemuka dunia seperti Volkswagen yang telah menjalinkan kerjasama pintar dengan beberapa pengeluar lain seperti Audi, Skoda dan Seat dalam menghasilkan produk terbarunya. Dari segi kos, Volkswagen telah dapat menjimatkan sebanyak US\$1.7 billion setahun hasil daripada pendekatan ini, manakala Fiat pula menyatakan penjimatan 30% ke 50% kos pembangunan dan 25% kos alatan [3].

Terdapat beberapa kaedah dan pendekatan yang digunakan untuk membangunkan konsep platform produk dan pendekatan modular merupakan antara yang paling sesuai kerana konsepnya dapat meningkatkan variasi. Pendekatan modular didefinisikan sebagai satu kaedah reka bentuk untuk menghasilkan unit atau modul yang mewakili fungsi yang tersendiri dan digambarkan dalam dua ciri iaitu kesamaan antara komponen fizikal dan peminimuman perhubungan antara komponen fizikal [4]. Matlamat utama pendekatan modular ialah mengenal pasti modul. Variasi produk dapat dihasilkan menerusi kepelbagaian kombinasi antara modul-modul ini.

Dalam kertas kerja ini, pendekatan yang akan digunakan secara umumnya boleh dibahagikan kepada tiga fasa iaitu pemodularan, mengenal pasti platform dan akhir sekali, proses reka bentuk semula. Dalam fasa pemodularan, matlamat utamanya ialah mengenal pasti modul. Dalam kajian ini, modul-modul akan dikenal pasti melalui matrik pemodularan [5]. Konsep ini akan dijalankan pada setiap variasi produk di dalam keluarga produk kajian kes yang telah dipilih. Seterusnya platform akan dikenal pasti berdasarkan kesamaan dan perkongsian komponen serta fungsi modul-modul yang telah dikenal pasti. Platform hanya akan dipilih antara yang terbaik dan memenuhi segala kriteria yang telah ditetapkan. Seterusnya proses reka bentuk semula akan dijalankan terhadap platform tersebut. Untuk mengesahkan pendekatan yang telah dibangunkan, satu keluarga produk kipas angin telah dipilih untuk kajian kes.

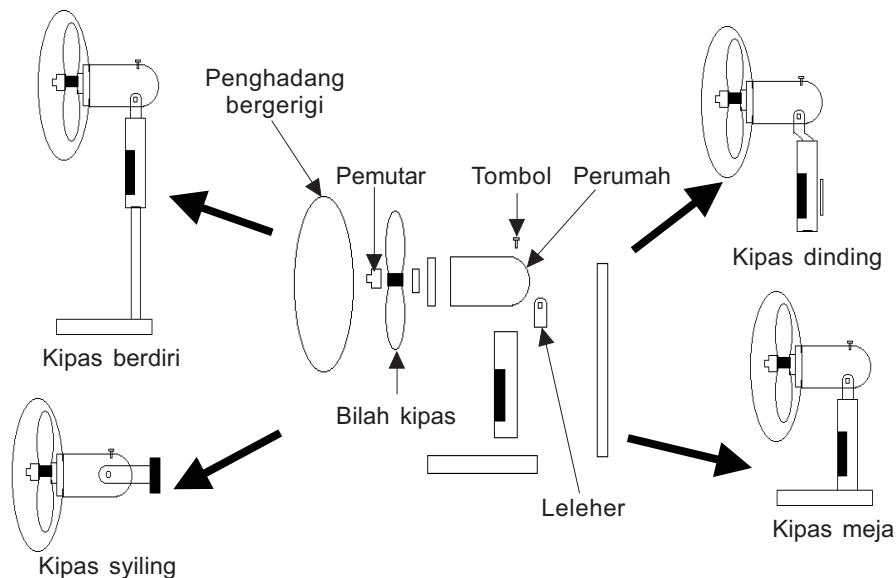
2.0 KAJIAN BERKAITAN

Terdapat banyak kajian yang berkaitan dengan pemodularan telah digunakan pada banyak produk [1-2, 5-11]. Daripada kajian ini, jenis penggunaannya boleh dikelaskan kepada tiga iaitu sebelum, semasa dan selepas proses reka bentuk dijalankan, manakala produk platform boleh dibahagikan kepada empat jenis iaitu:

- (i) Platform daripada keluarga produk yang sama tetapi mempunyai jenama yang berlainan, contohnya komponen automotif.
- (ii) Platform daripada keluarga produk dan jenama yang sama, contohnya kapal angkasa dan kapal terbang.
- (iii) Platform daripada keluarga produk yang berlainan tetapi mempunyai jenama yang sama, contohnya pemutar skru, penggerudi dan lampu suluh.
- (iv) Platform daripada keluarga produk dan jenama yang berlainan, contohnya seterika dan vakum tangan.

3.0 LATAR BELAKANG KAJIAN KES

Kipas angin merupakan antara produk yang telah lama berada di pasaran. Buat masa ini, terdapat empat variasi kipas angin di pasaran iaitu kipas meja, kipas berdiri, kipas dinding dan kipas siling. Merujuk pada Rajah 2, jika diperhatikan struktur dan konfigurasi keempat-empat variasi ini, didapati terdapat beberapa komponen yang mempunyai kesamaan. Contohnya, perumahan bagi motor yang dikongsi oleh kesemua empat variasi kipas ini, begitu juga komponen-komponen seperti penghadang bergerigi, pemutar, bilah kipas, leleher, tombol dan perumah.



Rajah 2 Pemecahan komponen kipas untuk menunjukkan perkongsian komponen antara mereka

bilah kipas dan pemutar. Leleher dan penutup perumah pula hanya dikongsi oleh kipas berdiri, kipas meja dan kipas dinding sahaja. Tombol pengawal putaran pula hanya dikongsi oleh kipas meja dan kipas berdiri sahaja (Rajah 2). Oleh itu, sesuatu perlu dilakukan untuk meningkatkan jumlah perkongsian komponen bagi keluarga kipas ini. Manfaat yang akan diperolehi daripada kajian ini adalah dari segi peningkatan variasi produk daripada sumber terhad dan penjimatan dari aspek pembuatan kerana kos dapat diturunkan.

4.0 PENDEKATAN

Pendekatan pembentukan platform berdasarkan kaedah modular ini bermula dengan penyenaian model atau variasi yang wujud dalam keluarga produk tersebut. Pada peringkat ini, bahagian atau komponen yang berkongsi dapat dilihat secara mata kasar daripada bentuk fizikal. Untuk lebih memahami dan mengenali variasi atau model, semua komponen yang terlibat dalam produk tersebut perlu diketahui. Untuk itu, proses peleraian akan dilakukan. Proses ini akan dilakukan sehingga ke tahap komponen atau bahagian paling rendah sehingga ia tidak boleh dipecahkan atau dileraikan lagi [12].

Setelah mengenali setiap komponen fizikal yang ada, fungsi atau struktur fungsi serta mekanisme yang terlibat juga perlu diselidiki. Ini akan memudahkan proses pengubahsuaian atau modifikasi sekiranya perlu. Selain itu ia juga diisi dengan kehendak pelanggan yang perlu dipatuhi dalam reka bentuk. Akhir sekali dalam fasa pemodularan, modul-modul akan dapat dikenal pasti dengan lebih mudah apabila matrik pemodularan digunakan. Di dalam matrik ini, setiap fungsi bagi sebilangan produk akan disusun di dalam matrik. Senarai fungsi disusun di dalam lajur, manakala senarai produk pula di dalam baris. Persamaan dan perkongsian fungsi antara produk akan dapat dilihat dengan lebih mudah melalui matrik pemodularan.

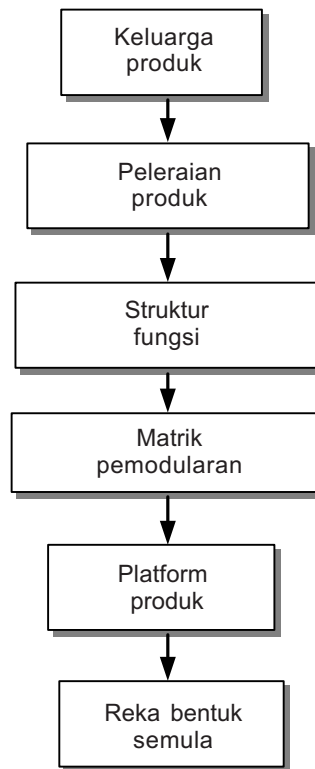
Modul-modul ini kemudiannya akan melalui satu lagi proses yang dinamakan pengenalan platform, sebelum ia dibawa ke proses reka bentuk semula. Pendekatan ini dapat diringkaskan melalui carta aliran seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.

5.0 IMPLEMENTASI – KAJIAN KES

Satu kajian kes dijalankan untuk mengesahkan pendekatan ini. Produk yang dipilih mestilah dikenali oleh kebanyakan pengguna. Dalam bahagian ini, kupasan yang lebih terperinci akan dilakukan ke atas setiap langkah pendekatan yang akan diambil seperti yang telah disenaraikan dalam bahagian 4.0.

5.1 Keluarga Produk

Dalam kajian ini, keluarga produk kipas angin digunakan memandangkan penggunaannya yang agak meluas; boleh dikatakan setiap rumah memiliki sekurang-



Rajah 3 Carta aliran proses meningkatkan perkongsian komponen menggunakan kaedah modular

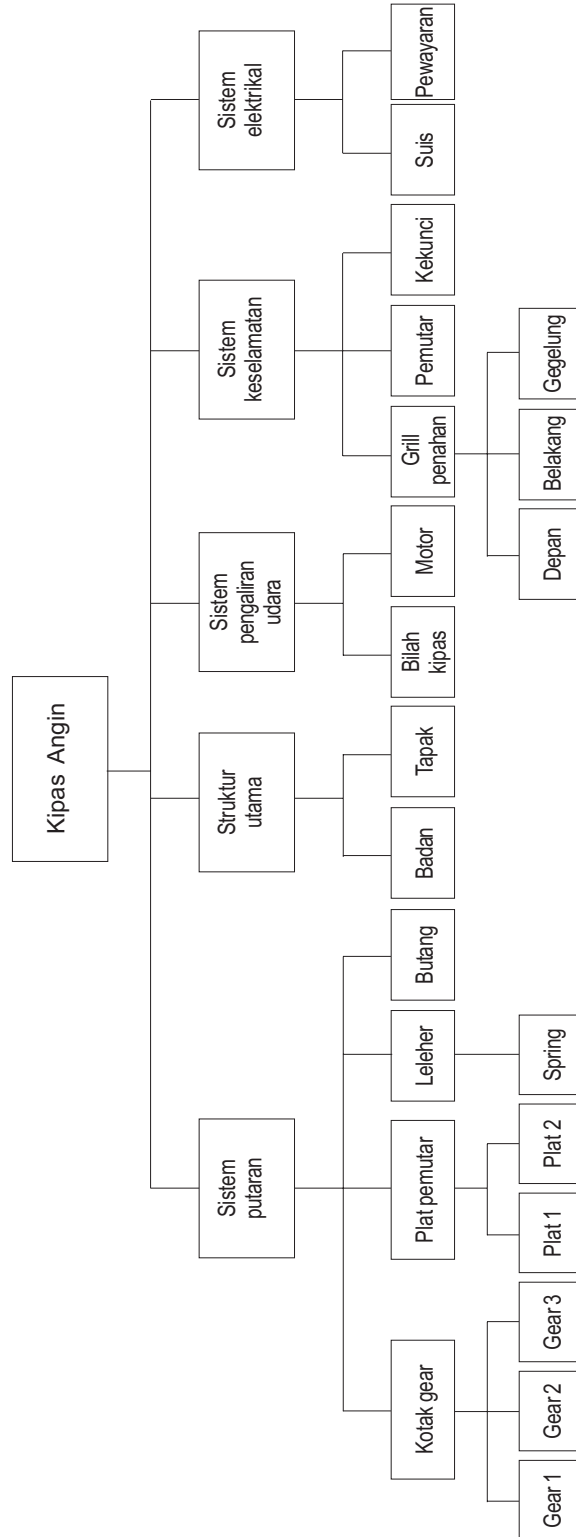
kurangnya satu unit. Terdapat empat variasi kipas angin iaitu kipas meja, kipas dinding, kipas berdiri dan kipas siling.

5.2 Proses Peleraian

Proses peleraian secara hierarki selalu digunakan oleh penyelidik untuk memudahkan proses reka bentuk dan dalam memahami komponen atau sistem sesuatu produk [13]. Secara umumnya terdapat lima sistem yang terlibat dalam sistem kipas angin seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4. Sebagai contoh, sistem putaran boleh dipecahkan kepada kotak gear, leher, plat pemutar dan butang. Seterusnya kotak gear boleh lagi dipecahkan kepada gear 1, 2 dan 3. Begitulah juga bagi komponen-komponen yang lain.

5.3 Struktur Fungsi

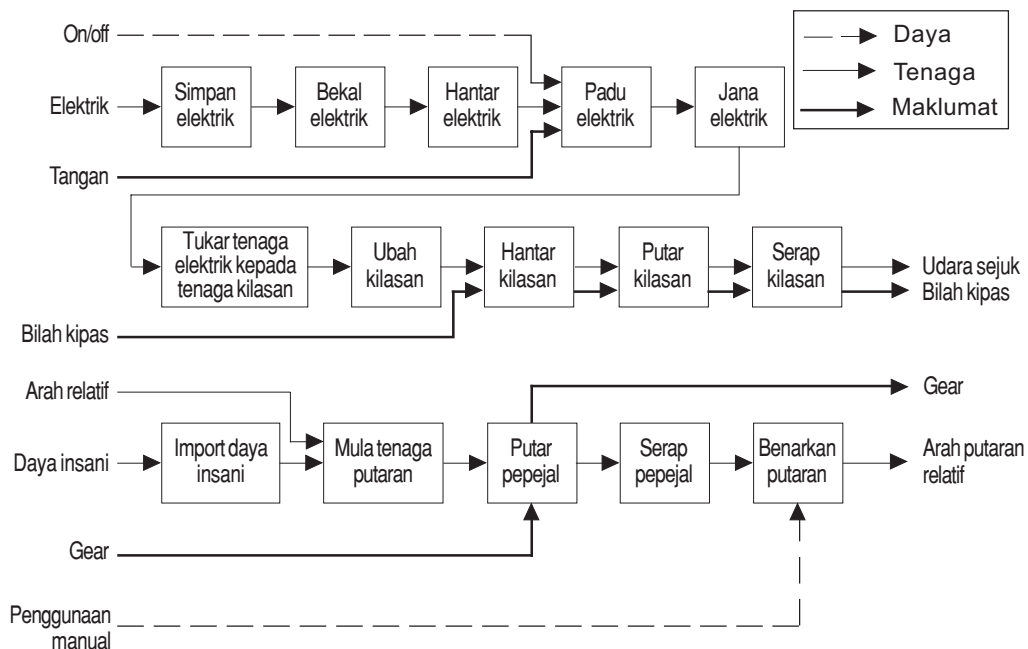
Struktur fungsi merupakan antara cara yang paling berkesan untuk menggambarkan fungsi yang terlibat dalam sesuatu produk atau sistem [14]. Ia digambarkan secara



Rajah 4 Proses peleraian komponen kipas angin meja

visual dalam bentuk aliran fungsi-fungsi yang terlibat seperti bahan, maklumat dan tenaga [5]. Setiap sub-fungsi yang dileraikan akan menunjukkan dalam bentuk abstrak setiap tugas yang perlu dilakukan atau disiapkan oleh sesuatu komponen atau bahagian, dan ia sepatutnya bebas daripada cara penyelesaian yang lain. Dalam pembinaan struktur fungsi, kehendak pelanggan juga perlu diambil kira. Kehendak pelanggan yang dikumpul dan kemudiannya diungkapkan ke dalam bentuk aliran seterusnya diselaraskan dengan fungsi sebenar produk. Rantaian bebas ini kemudiannya digabungkan ke dalam jaringan aliran struktur fungsi yang lengkap untuk mewakili kehendak keseluruhan iaitu kehendak pelanggan dan kehendak fungsi komponen [15].

Di sini dibawakan satu contoh struktur fungsi bagi kipas angin meja (rujuk Rajah 5). Terdapat tiga anak panah yang mewakili tenaga, maklumat dan daya. Tenaga yang dimaksudkan ialah tenaga elektrik. Manakala maklumat diinterpretasikan daripada tenaga elektrik yang dialir dan ditukarkan kepada maklumat berbentuk arahan untuk memutar atau memusingkan bilah kipas sebelum ia dapat dilaksanakan oleh motor. Dengan erti kata lain, tenaga elektrik telah ditukarkan kepada tenaga kinetik. Daya pula akan digunakan untuk menghidupkan kipas, iaitu daya semasa menekan butang suis. Daya juga diperlukan untuk menarik atau menekan butang putaran bagi membolehkan muka kipas berpusing ke arah yang dikehendaki. Bagi kipas dinding, mekanisme ini digantikan dengan tarikan tali bagi menghidup dan memutar muka kipas.



Rajah 5 Struktur fungsi bagi kipas angin meja

5.4 Matrik Pemodularan

Sepatutnya matrik pemodularan menyenaraikan semua fungsi bagi keluarga produk yang dikaji. Namun untuk mengelakkan daripada terlalu panjang, hanya fungsi yang tertentu sahaja diketengahkan. Seperti yang telah digambarkan sebelum ini, matrik pemodularan akan menyusun fungsi di dalam lajur manakala produk pula di dalam baris. Setiap matrik mempunyai nilai yang mewakili spesifikasi fungsi tersebut pada tahap yang dikehendaki oleh pereka. Rajah 6 menunjukkan rupa bentuk matrik pemodularan bagi keluarga kipas angin yang berada di pasaran, iaitu kipas meja, kipas dinding, kipas berdiri dan kipas siling. Lajur yang diwarnakan menunjukkan perkongsian komponen dan fungsi antara produk, manakala lajur yang ditebalkan kotaknya menunjukkan komponen yang berpotensi untuk dikongsi. Seperti yang dapat dilihat di dalam Rajah 6, komponen yang menepati kedua-duanya ialah lokasi suis dan reka bentuk struktur utama kipas iaitu tapak-badan.

Reka bentuk	Kipas syiling	Kipas meja	Kipas berdiri	Kipas dinding
Fungsi				
Mekanisma suis	Pelaras halaju	Suis tekan	Suis tekan	Tarik tali
Lokasi suis	Berpisah dari badan	Tapak	Badan	Badan
Reka bentuk tapak-badan	–	Sepadu	Terpisah	Terpisah
Pemasangan plat perhiasan	Sentap muat	Sentap muat	Sentap muat	Sentap muat
Mekanisma putaran	Automatik	Kawalan butang	Kawalan butang	Tali
Pemasangan grill penahan	Gelang penahan + pencakuk plastik	Gelang penahan + pencakuk plastik	Gelang penahan + pencakuk plastik	Gelang penahan + pencakuk plastik

Rajah 6 Matrik pemodularan

5.5 Mengenal Pasti Platform

Daripada analisis fungsi-produk menggunakan matrik pemodularan, didapati komponen atau bahagian yang amat berpotensi untuk diplatformkan ialah badan utama. Jika dilihat daripada reka bentuk ketiga-tiga variasi kipas angin didapati ia berlainan. Dalam hal ini, hanya tiga daripada empat variasi kipas angin diambil kira kerana kipas siling tidak mempunyai badan. Untuk memplatformkan reka bentuk badan, beberapa parameter perlu diambil kira, iaitu lokasi suis, sudut tundukan tegak,

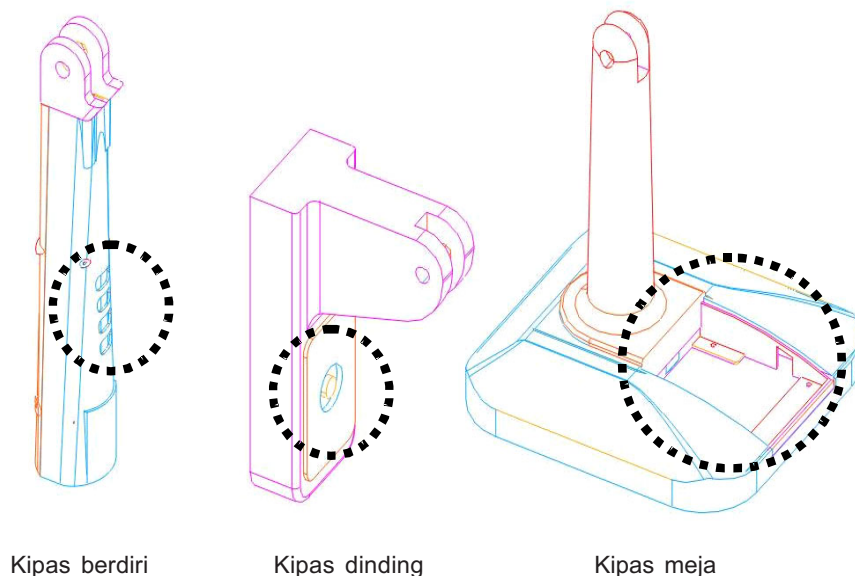
kestabilan struktur secara keseluruhan, memenuhi sifat yang dapat dikongsi atau anjal dan juga faktor pembuatan dan pemasangan.

5.6 Reka Bentuk Semula

Terdapat tiga jenis reka bentuk semula iaitu adaptif, parametrik dan asli [15]. Dalam reka bentuk semula, produk akan diperhatikan, dilarikan, dianalisis, diuji dan didokumenkan dari segi fungsi, bentuk, prinsip fizikal, kebolehubatan dan kebolehpasangan [16,17]. Dalam kajian ini, reka bentuk semula adalah untuk menghasilkan komponen teras dan variasi yang akan terbentuk daripada penggunaan komponen ini dan penggantian komponen lain [18]. Proses ini akan dijalankan setelah platform dikenal pasti. Semasa mereka bentuk semula, beberapa faktor telah diambil kira, iaitu:

5.6.1 Lokasi Suis

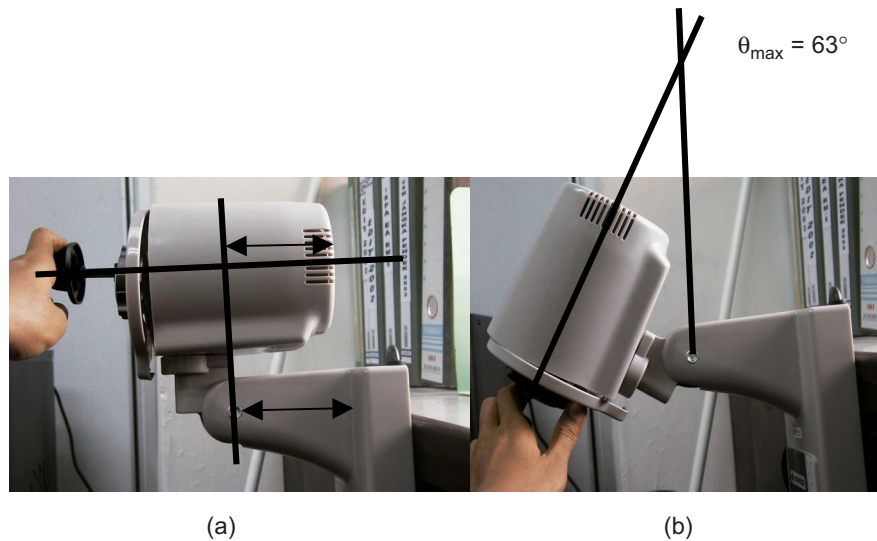
Seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 7, lokasi suis (bulatan) bagi ketiga-tiga variasi kipas adalah berlainan, namun jika diperhatikan kedudukannya secara umum terdapat kesamaan di antara kipas dinding dan kipas berdiri. Untuk itu, lokasi suis perlu diubah. Beberapa aspek lain juga perlu diambil kira seperti ergonomik dan kemudahan pengguna mencapai suis. Lokasi yang didapati paling sesuai ialah di badan.



Rajah 7 Lokasi suis yang berlainan bagi ketiga-tiga variasi kipas

5.6.2 Sudut Tundukan Vertikal

Faktor ini amat kritikal bagi kipas dinding. Ini kerana ia akan menyebabkan perumah bersentuhan dengan dinding sekiranya sudut kipas terlalu besar, manakala jika sudut ini terlalu rendah pula ia akan menyebabkan kawasan liputan kipas menjadi kecil. Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 8, sudut tegak maksimum bagi kipas dinding ialah 63° .



Rajah 8 Sudut tundukan tegak kipas (a) minimum dan (b) maksimum

Rajah 9 pula menunjukkan rajah skematik pemodelan kipas. Untuk mengelakkan perumah kipas daripada terkena dinding, maka l_4 iaitu panjang perumah yang diukur dari pusat badan kipas (rujuk Rajah 8) mestilah kurang daripada l_3 .

Daripada pengukuran didapati,

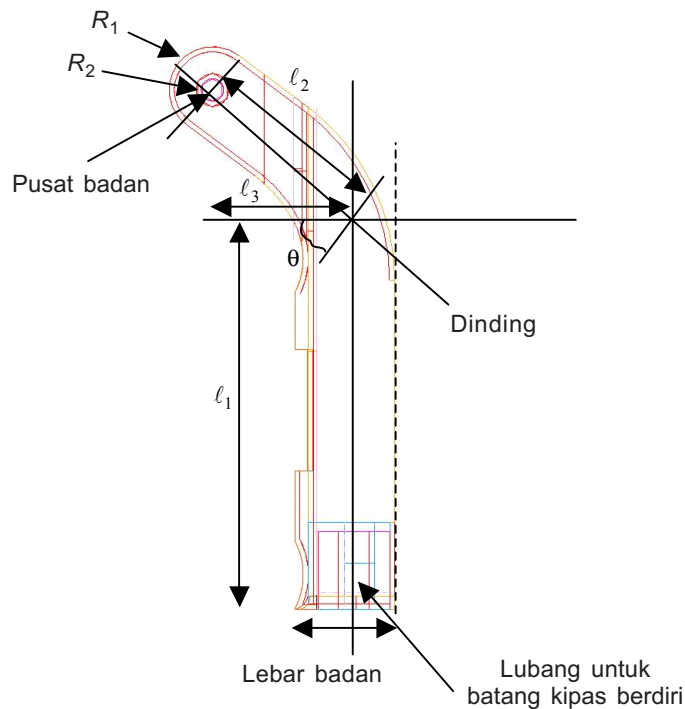
$$l_4 = 81 \text{ mm and } l_2 = 95 \text{ mm}$$

$$l_3 = l_2 \cos \theta + \frac{1}{2} (\text{lebar badan}) = 95 (\cos 63) + \frac{1}{2} (45)$$

$$= 95 (0.985897) + 22.5 = 111.23 \text{ mm}$$

Dengan ini $l_4 < l_3$

Daripada keputusan pengiraan mudah di atas, didapati reka bentuk ini boleh di terima untuk proses reka bentuk semula.



Rajah 9 Pemodelan struktur badan kipas

5.6.3 Kestabilan Struktur

Terdapat beberapa parameter yang akan mempengaruhi kestabilan struktur kipas. Antaranya ialah ketinggian, saiz badan dan tapak, berat motor dan perumahan serta daya tolakan yang dihasilkan oleh kipas. Ini semua tidak diambil kira di dalam kajian ini dan ia akan dijadikan pengkajian pada masa hadapan. Namun dengan mengekalkan saiz dan ketinggian kipas sedia ada, kestabilan struktur kipas dianggap dapat dikekalkan. Daripada data yang didapati, ketinggian bagi badan kipas adalah antara 220 mm ke 235 mm dan saiz badan adalah antara 48 mm ke 60 mm. Jadual 1 menunjukkan dimensi dan saiz bagi kebanyakan produk kipas yang berada di pasaran.

Jadual 1 Dimensi dan saiz bagi kebanyakan kipas angin meja di pasaran

Jenama	Ketinggian (mm)	Panjang perumahan (mm)	Saiz badan (mm)	Luas tapak (mm ²)
Pensonic	220	145	50	266 × 242
National	224	152	48	250 × 248
Khind	225	148	53	265 × 245
Sanyo	230	147	60	263 × 250
Singer	235	149	60	262 × 246
Elba	220	148	50	300 mm (bulat)
Fujitsu	233	142	53	260 × 247

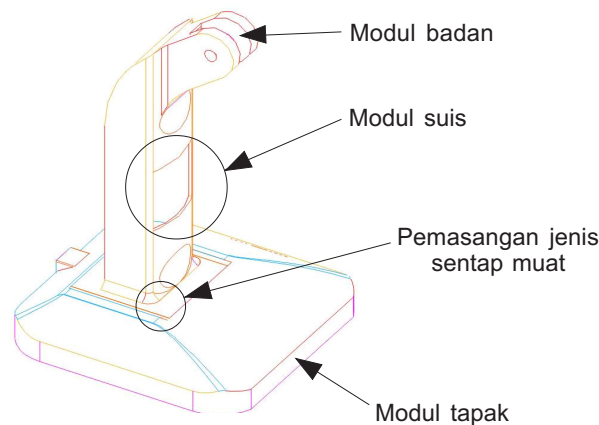
5.6.4 Keanjalan Reka bentuk

Salah satu daripada matlamat penghasilan platform ialah keanjalan dari segi kepelbagaian dalam aplikasinya dan dapat dikongsi oleh banyak variasi. Ini bukan sahaja dapat menjimatkan masa tetapi juga kos pembuatan dan pengeluaran kipas. Faktor ini merupakan teras utama kajian ini dan diberi perhatian utama.

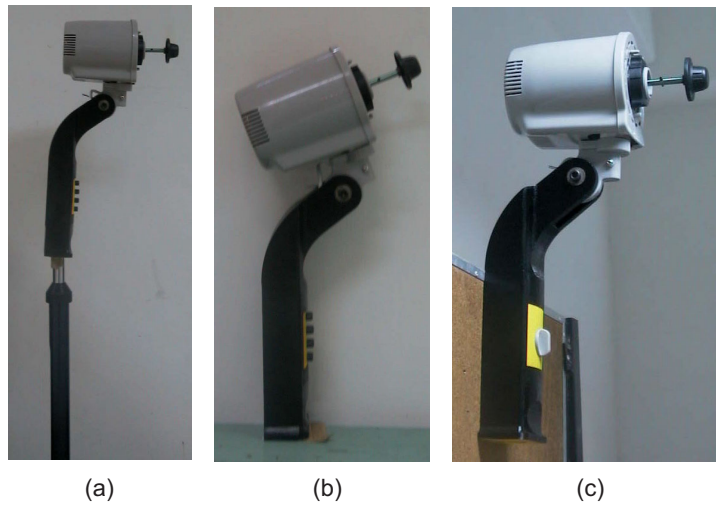
5.6.5 Pembuatan dan Pemasangan

Reka bentuk yang dihasilkan perlu juga memenuhi kriteria proses pembuatan, contohnya perubahan kedudukan atau lokasi suis akan menyebabkan beberapa komponen lain juga perlu diubah. Ini akan mengakibatkan kesukaran semasa proses pembuatan. Semua masalah ini akan dapat diatasi kerana reka bentuk yang dihasilkan adalah berpandukan konsep reka bentuk untuk pembuatan dan pemasangan (DFMA) yang telah dicadangkan oleh Boothroyd dan Dewhurst [19] sejak dari awal lagi.

Hasil daripada pendekatan yang telah digunakan pada keluarga kipas angin, satu reka bentuk baru badan kipas telah dihasilkan dengan mengambil kira semua aspek seperti yang telah dibincangkan. Didapati ketiga-tiga variasi kipas iaitu kipas meja, kipas dinding dan kipas berdiri boleh menyesuaikan diri dengan reka bentuk baru ini. Rajah 10 menunjukkan reka bentuk baru badan kipas. Rajah 11 pula menunjukkan prototaip reka bentuk baru badan kipas dan pemasangannya pada ketiga-tiga variasi kipas iaitu kipas berdiri, kipas meja dan kipas dinding.



Rajah 10 Reka bentuk baru badan kipas hasil daripada pendekatan yang dicadangkan



Rajah 11 Pemasangan reka bentuk badan baru pada (a) perumah motor kipas angin berdiri (b) meja, dan (c) dinding

6.0 KESIMPULAN

Kertas kerja ini membentangkan satu pendekatan baru dalam meningkatkan perkongsian komponen melalui konsep platform produk berdasarkan kaedah modular. Bahagian utama dan paling penting yang dibincangkan dalam kajian ini ialah mengenal pasti modul. Proses ini amat kritikal kerana ia merupakan kunci dan teras utama dalam proses mengenal pasti platform. Pemilihan modul yang tidak tepat akan menyebabkan platform yang dihasilkan nanti tidak berkesan dan seterusnya akan mempengaruhi produk akhir yang akan dihasilkan. Selain berbantuan alatan dan kaedah analisis yang telah digunakan, kreativiti pereka juga diperlukan. Kajian kes yang telah dijalankan menunjukkan bahawa pendekatan ini amat cekap dan bersesuaian untuk diaplikasikan oleh pihak industri dalam mempelbagaikan variasi produk mereka dari sumber yang terhad. Untuk kajian masa depan, pengoptimuman semua parameter yang telah dibincangkan akan dilakukan untuk menghasilkan platform yang lebih baik dan praktikal untuk dikomersialkan.

PENGHARGAAN

Penghargaan ditujukan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik dan Universiti Sains Malaysia yang telah memberikan penajaan untuk penyelidikan ini (AC 073486).

RUJUKAN

- [1] Gonzalez-Zugasti, J., J. Baker, dan K. Otto. 2000. A Method for Architecting Product Platform With an Application to Interplanetary Mission Design. *Research in Engineering Design*. 12: 61-72.

- [2] Sudjianto, A., dan K. Otto. 2001. *Modularization to Support Multiple Brand Platforms*. ASME DTM. Pittsburgh PA.
- [3] Bremner, R. 1999. Cutting Edge Platform. *Financial Times: Automotive World*. 30-38.
- [4] Ulrich, K. T., dan K. Tung. 1996. *Fundamental of Product Modularity*. Issues in design/manufacture integration.
- [5] Dahmus, J., J. P. Gonzales-Zugasti., dan K. Otto. 2001. Modular Product Architecture. *Design Studies*. 22: 409-424.
- [6] Gonzalez-Zugasti, J., dan K. Otto. 2000. Modular Platform-Based Product Family Design. *Design Automation Conference. ASME. Baltimore, MD*.
- [7] Fujita, K., H. Sakaguchi., dan S. Akagi. 1999. Product Variety Deployment and its Optimization under Modular Architecture and Module Commonalization. *ASME DETC, Nevada*.
- [8] Nelson, S., M. Parkinson., dan P. Papalambros. 2001. Multi-criteria Optimization in Product Platform Design. *Journal of Mechanical Design*. 123: 199-204.
- [9] Fujita, K. 2002. Product Variety Optimization Under Modular Architecture, *Computer Aided-Design*. 34: 953-965.
- [10] Siddique, Z, D. W. Rosen., dan N. Wang. 1998. On the Applicability of Product Variety Design Concept to Automotive Platform Commonality. *Proceed. of the 1998 ASME DETC. Paper No. DETC98/DTM-5661*.
- [11] Ripin, Z. M., dan A. B. Abdullah. 2001. A Design Study on Modular Platform of Unmanned Aerial Vehicle. *National Conf. on Aerodynamic and Related Topics. Penang*. 190-199.
- [12] O'Grady, P., dan L. Wen-Yau. 1998. An Object Oriented Approach to Design with Modules. *Computer Integrated Manufacturing Systems*. 11 (4): 267-283.
- [13] Salhieh, M. S., dan A. K. Kamrani. 1999. Macro Level Product Development Using Design for Modularity. *Robotic and Manufacturing Integration Manufacturing*. 15: 319-329.
- [14] Pahl, G., and W. Beitz. 1996. *Engineering Design: A Systematic Approach*. London: Springer.
- [15] Otto, K. N., dan K. L. Wood. 1998. Product Evolution: A Reverse Engineering and Redesign Methodology. *Research in Engineering Design*. 10(4): 226-243.
- [16] Lefever, D., dan K. Wood. 1996. *DFA Techniques into Reverse Engineering and Redesign*. ASME DTM.
- [17] Otto, K. N., dan K. Wood. 2001. *Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*. Prentice Hall.
- [18] Shirley, G. V. 1990. Models for Managing the Redesign and Manufacture of Products Sets. *Journal of Manufacturing and Operations Management*. 3(1): 85-104.
- [19] Boothroyd, G., P. Dewhurst dan P. Knight. 1994. *Product Design for Manufacturing and Assembly*. New York. Marcel Decker Inc.