

KAEDAH PENGUKURAN INDEK KEBOLEHSENGGARAAN PRODUK ATAU SISTEM BERDASARKAN KRITERIA PEMASANGAN

AHMAD BAHARUDDIN ABDULLAH^{1*} & ZAIDI MOHD RIPIN²

Abstract. Kertas kerja ini membincangkan perhubungan antara penyelenggaraan dan pemilihan pengikat bagi meningkatkan prestasi sesuatu produk dari segi jangka hayat dan struktur fizikal. Di dalam kertas kerja ini, indeks kebolehsenggaraan diukur berdasarkan digraf peleraian yang dinilai bergantung kepada jenis pengikat yang digunakan dan kriteria pemasangan. Laluan kritikal digunakan untuk mewakili laluan terpendek untuk mencapai komponen atau bahagian yang dikehendaki untuk kerja penyelenggaraan. Selain itu kekerapan penyelenggaraan sesuatu komponen atau bahagian turut diambil kira. Untuk itu satu kajian kes mengenai sistem pam akan dijalankan. Hasil kajian menunjukkan bahawa melalui penukaran jenis sambungan, indeks kebolehsenggaraan dapat ditingkatkan dengan banyak.

Kata kunci: Jenis sambungan, digraf pemasangan, indeks penyelenggaraan

Abstrak. This paper discusses the relationship between maintenance and the selection of fastener in order to enhance product performance in terms of life time and physical structure. In this study, maintainability index was measured using a disassembly digraph, which was evaluated due to the fastener used and the assembly criteria. The critical path was used to represent the shortest and simplest way to achieve the targeted component or part. Additionally, the rate of maintenance was also taken into consideration. To clarify the method developed, a case study of water pump was carried out. Result indicates that by changing the type of fastener, maintainability index can be increased tremendously.

Keywords: Assembly type, assembly digraph, maintainability index

1.0 INTRODUCTION

Penyelenggaraan dipercayai dapat memanjangkan jangka hayat sesuatu produk. Namun demikian kerja penyelenggaraan hanya melibatkan sebahagian kecil sahaja daripada komponen atau bahagian di dalam sesuatu produk atau sistem. Komponen atau bahagian ini berhubung atau mempunyai interaksi dengan komponen lain di dalam produk atau sistem tersebut. Perhubungan atau interaksi boleh jadi secara mekanikal iaitu dengan menggunakan pengikat mahupun perhubungan sekadar

^{1&2} Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik, Universiti Sains Malaysia, Kampus Kejuruteraan, 14300 Nibong Tebal, Pulau Pinang, Malaysia.

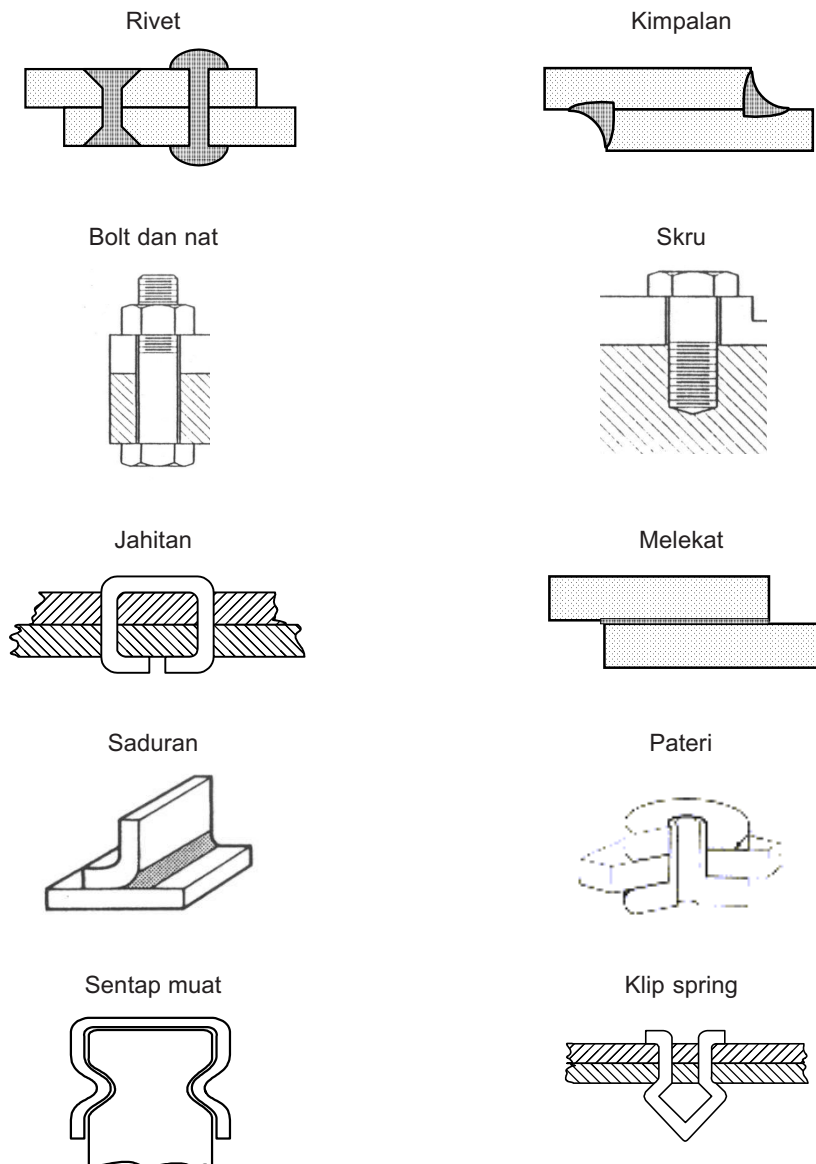
*Corresponding author: Email: mebaha@eng.usm.my

konfigurasi susunan sahaja yang tidak memerlukan pengikat. Oleh itu, dengan memudahkan atau meringkaskan konfigurasi produk dan kedudukan komponen yang memerlukan kekerapan kerja penyelenggaraan akan membolehkan komponen ini dapat diselenggara atau diperbaiki dengan lebih cepat. Selalunya kebolehsenggaraan diukur berdasarkan masa yang digunakan untuk menyempurnakan kerja penyelenggaraan sepertimana yang telah digunakan oleh Utez [1], iaitu dengan menggunakan masa minima untuk pembaikan (MTTR) dan masa aktiviti penyelenggaraan itu dilakukan. Balanchard *et al.* [2] serta Cunningham dan Cox [3] pula mengambilkira masa yang diperlukan untuk peleraian, pemasangan, pendudukan dan isolasi penggantian komponen. Di dalam analisis kebolehsenggaraan, peleraian dan pemasangan semula adalah merupakan antara faktor yang paling kritikal [4]. Tsai dan rakan-rakan [5] pula mengkaji kesan pemodularan terhadap kos dan masa penyelenggaraan produk di mana mereka telah menggunakan mesin himpitan yang dipacu oleh sistem. Keputusan daripada penyelidikan ini menunjukkan pemodularan telah dengan banyak menurunkan kos dan masa penyelenggaraan, malahan kerja penyelenggaraan menjadi lebih mudah. Ehad *et al.* [6] mengukur peleraian menggunakan skor kesukaran, di mana kebolehcapaian, posisi, daya, masa tambahan dan masalah khas yang kemudiannya diinterpretasikan kepada pemberat proses peleraian secara kuantitatif. Kos pemasangan/peleraian pula hanya kritikal di dalam pemilihan peralatan yang bersesuaian sahaja [7]. Vujesovic *et al.* [4] pula telah menyenaraikan lima masalah yang perlu dipertimbangkan di dalam analisa kebolehsenggaraan, iaitu turutan peleraian, pemilihan peralatan, masa yang diperlukan untuk peleraian dan isu-isu kemanusiaan seperti kebolehcapaian dan kebolehlihatan. Clark dan Parsch [8] serta Parsch dan Ruff [9] mengambilkira kesan diagnosis sebagai pertimbangan utama dalam menentukan darjah kebolehsenggaraan. Manakala Wani dan Gandhi [10] pula telah membangunkan suatu prosedur untuk menilai kebolehsenggaraan berasaskan aspek tribologi. Kebolehsenggaraan perlu juga mempertimbangkan sumber yang optimal seperti operator dan peralatan bantuan [11].

Daripada penerangan ini dengan jelas ditunjukkan bahawa, proses dan kriteria pemasangan mahupun peleraian amat penting dan berpengaruh di dalam kerja penyelenggaraan sama ada dari segi masa, kos dan kemudahan kerja. Namun demikian kebanyakan kaedah yang telah dibina, memerlukan maklumat yang agak banyak dan proses pengiraan yang agak kompleks. Selain itu belum ada yang menggunakan pendekatan kriteria pemasangan seperti peralatan yang digunakan sama ada untuk pemasangan atau peleraian, proses pemasangan semula dan peleraian serta arah pemasangan komponen yang mana akan memberi kesan kepada kecekapan penyelenggaraan. Kesan atau pengaruh pemilihan pengikat juga perlu diambilkira kerana faktor ini amat relevan dengan keadaan dan situasi yang perlu dilalui semasa penyelenggaraan. Dengan memberikan pemberat berdasarkan beberapa kriteria seperti peleraian, pemasangan semula, peralatan yang diperlukan

dan sebagainya, kecekapan penyelenggaraan sesuatu produk dapat diukur secara kuantitatif.

Terdapat sepuluh jenis pengikat mekanikal yang biasa digunakan. Ia boleh dibahagikan kepada tujuh kumpulan berdasarkan aplikasi dan ciri pengikat tersebut sepertimana yang disenaraikan dalam Rajah 1 yang mana akan dipertimbangkan di dalam pengkajian ini. Berdasarkan faktor ini, satu kaedah pengukuran indeks kebolehsenggaraan akan dibangunkan.



Rajah 1 Jenis-jenis pengikat [12, 13]

2.0 PENDEKATAN

Pendekatan yang digunakan melibatkan tiga langkah utama iaitu definisi masalah, kriteria pemasangan dan pengiraan indek kebolehsenggaraan.

2.1 Definisi Masalah




Definisi masalah biasanya akan menentukan arah tuju sesuatu kajian dan ia amat penting sebelum sesuatu proses reka bentuk itu dimulakan. Ini adalah kerana amat penting memahami punca sesuatu masalah melalui definisi yang tepat sebelum dapat menyelesaikannya. Namun demikian, penyelenggaraan kriteria pemasangan adalah amat penting dan ia memberi kesan kepada operasi penyelenggaraan. Oleh itu kertas kerja ini telah mengenalpasti beberapa kriteria pemasangan yang utama untuk ditekankan di dalam perbincangan ini.

2.2 Kriteria Pemasangan

Terdapat empat kriteria pemasangan utama yang telah dikenalpasti yang berkaitan dengan penyelenggaraan dan operasi pemasangan. Untuk memudahkan pemahaman, setiap kriteria akan diterangkan dengan lebih lanjut seperti yang berikut;

- (i) Peralatan – Operasi pemasangan, peleraian dan pemasangan semula memerlukan peralatan sama ada pemutar skru, playar dan sebagainya. Di sini jenis peralatan yang diambilkira ialah sama ada peralatan khas yang diwakili oleh skor rendah (5), peralatan biasa yang diwakili oleh skor sederhana (3) ataupun langsung tidak memerlukan peralatan yang mana diwakili oleh skor tinggi (1) seperti mana yang ditunjukkan oleh Jadual 1. Contohnya pengikat

Jadual 1 Jadual penentuan skor bagi kriteria peralatan yang digunakan

| Peralatan | Contoh | Skor |
|---|---|------|
| Tidak perlukan peralatan – menggunakan tangan |  (nut bersayap) | 1 |
| Peralatan yang melibatkan putaran pada paksi tunggal |  | 3 |
| Peralatan yang jarang digunakan dan ia hanya spesifik kepada komponen tertentu sahaja |  (Alat membuka penapis minyak) | 5 |

jenis nut-bersayap, sentap-muat dan spring klip yang tidak memerlukan sebarang peralatan, maka skor yang diberikan ialah 1, manakala bagi peralatan seperti pemutar skru atau spanar yang boleh dianggap sebagai peralatan biasa, malahan boleh digunakan untuk aplikasi lain diberikan skor 3. Skor 5 pula diberikan kepada pemasangan atau peleraian yang memerlukan peralatan khas seperti pembuka penapis minyak yang mana direka bentuk khas untuk tugas spesifik sahaja.

- (ii) Pemasangan semula – Pemasangan semula ialah proses pemasangan komponen atau bahagian selepas sesuatu kerja telah diselesaikan seperti penyelenggaraan, pembaikan atau pemeriksaan. Kecekapan atau keberkesanan kriteria ini amat bergantung kepada keboleh-capaian pengikat dan keadaan bahagian atau sambungan serta pengikat itu sendiri semasa ia dilarikan, sama ada sudah haus atau berkarat. Oleh itu skor diberikan berdasarkan pertimbangan berikut;
- (a) Skor 1 – Pemasangan semula tanpa memerlukan sebarang proses tambahan (rujuk Rajah 2 (a))
 - (b) Skor 3 – Pemasangan semula yang memerlukan proses tambahan yang minor (rujuk Rajah 2 (b)) seperti pencucian dari gris atau karat.
 - (c) Skor 5 – Pemasangan semula yang memerlukan proses tambahan yang major (rujuk Rajah 2 (c)) akibat dari kerosakan semasa peleraian contohnya bagi pengikat jenis rivet.



(a)



(b)



(c)

Rajah 2 Kriteria pemasangan semula berdasarkan kriteria yang (a) tidak memerlukan proses tambahan, (b) memerlukan proses tambahan yang minor dan (c) memerlukan proses tambahan yang major

(iii) Kebolehleraian – Peleraian boleh didefinisikan sebagai proses secara sistematik untuk mengeluarkan atau mengubah sesuatu bahagian atau komponen daripada pasangannya [14]. Darjah kebolehleraian bergantung kepada kemudahan bahagian atau komponen ini dipisahkan daripada pasangannya. Biasanya pemasangan secara mekanikal memberikan darjah kebolehleraian yang lebih tinggi. Ini adalah kerana kebanyakan pemasangan jenis mekanikal bersifat sambungan separa-tetap, manakala pemasangan jenis lekatan dan menjelekit dianggap sebagai jenis pemasangan tetap. Oleh itu untuk memastikan penceraian komponen lebih mudah, pemasangan jenis separa-tetap lebih diutamakan. Namun demikian dalam hal, beberapa faktor akan diambil kira iaitu;

- (a) Kerosakan pada pengikat mahupun komponen itu sendiri.
- (b) Daya yang tinggi diperlukan untuk meleraikan komponen. Daya tinggi boleh diertikan sebagai proses peleraian yang memerlukan peralatan atau mesin tambahan, contohnya untuk membuka tayar kereta yang memerlukan spanar bulat yang dipacu oleh angin bertekanan tinggi.
- (c) Keperluan kepada proses sekunder, contohnya bagi pengikat jenis melekat seperti gam, proses sekunder diperlukan untuk membersihkan permukaan komponen bagi membolehkan pemasangan semula dilakukan.

Oleh itu untuk menginterpretasikannya ke dalam bentuk kuantitatif, maka skor 1 diberikan kepada proses peleraian yang mana tidak memenuhi ketiga-tiga faktor atau tidak berlaku kerosakan pada komponen atau pengikat dan daya yang diperlukan adalah rendah di samping tidak memerlukan proses sekunder semasa pemasangan semula. Manakala skor 3 diberikan bagi yang memenuhi sekurang-kurangnya satu daripada tiga faktor dan seterusnya skor 5 bagi yang memenuhi ketiga-tiga faktor tersebut.

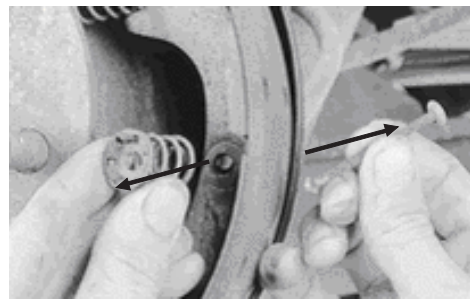
(iv) Arah pemasangan – Pemasangan yang ideal ialah keadaan di mana komponen itu dimasukkan atau dipasang dari atas atau dari paksi-z. Dengan cara menetapkan hanya satu arah pemasangan, banyak kelebihan akan diperolehi seperti penstabilan yang dibantu oleh daya graviti, malah operator dapat mencapainya dengan lebih mudah. Selain itu penyelenggaraan dan pembaikan lebih mudah dilakukan. Maka untuk pemasangan yang melibatkan satu arah (rujuk Jadual 2 dan Rajah 3(a)), skornya ialah 1 dan skor 3 pula diberikan untuk pemasangan dua arah seperti yang ditunjukkan oleh Rajah 3(b). Skor 5 pula diberikan untuk pemasangan yang melibatkan lebih daripada 2 arah.

Jadual 2 Skor bagi kriteria arah pemasangan

| Arah pemasangan | Skor |
|---------------------|------|
| Satu arah | 1 |
| Dua arah | 3 |
| Lebih dari dua arah | 5 |



(a)



(b)

Rajah 3 Contoh pemasangan (a) satu arah dan (b) dua arah, sepertimana yang ditunjukkan oleh anak panah

2.2.1 Pemberat Pemasangan

Setelah ditentukan kriteria pemasangan, maka proses seterusnya ialah penentuan pemberat pemasangan. Pemberat pemasangan diputuskan berdasarkan kepada kriteria pemasangan untuk setiap jenis pengikat seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 3. Daripada sepuluh jenis pemasangan mekanikal yang biasa digunakan, ia boleh dibahagikan kepada tujuh jenis. Jenis kimpalan, saduran dan pateri

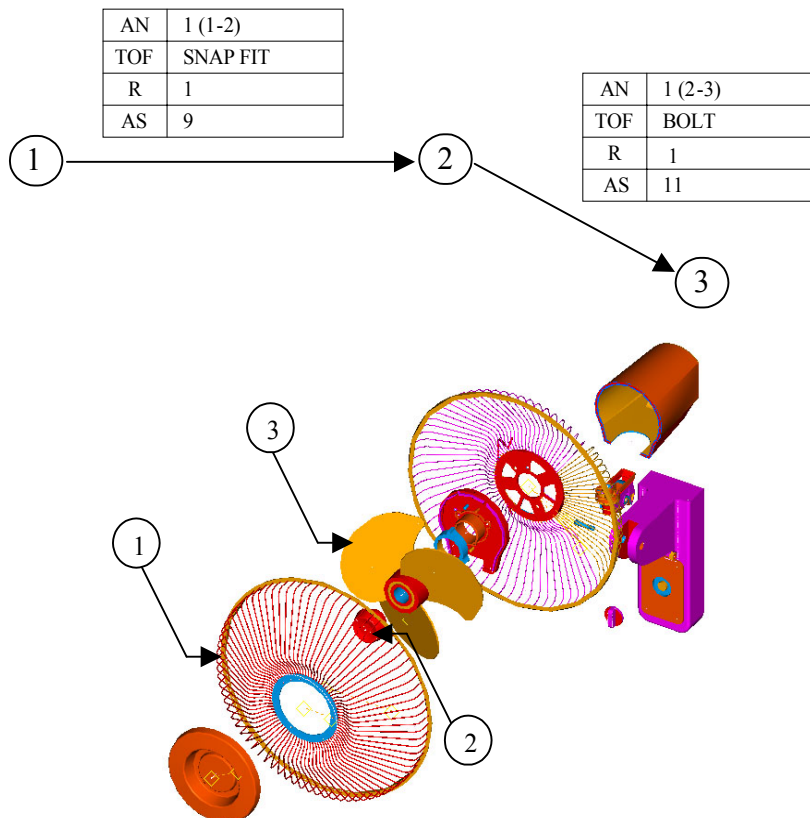
Jadual 3 Pemberat (*weightage*) untuk kesemua tujuh jenis pengikat

| Jenis pemasangan | Peralatan | Kebolehleraian | Arah pemasangan | Pemasangan semula |
|------------------|-----------|----------------|-----------------|-------------------|
| Skrew | Sederhana | Sederhana | Satu arah | Tinggi |
| Bolt dan nut | Sederhana | Sederhana | Dua arah | Tinggi |
| Rivet | Sederhana | Rendah | Satu arah | Sederhana |
| Sentap muat | Rendah | Tinggi | Satu arah | Tinggi |
| Jahitan | Rendah | Tinggi | Satu arah | Tinggi |
| Menjeleket | Tinggi | Rendah | Banyak arah | Rendah |
| Pelekat | Sederhana | Rendah | Banyak arah | Rendah |

dikumpulkan di dalam kumpulan menjeleket (*cohesive*), manakala klip spring dan nut bersayap pula di dalam kumpulan jahitan (*stitch*). Bagi pengikat jenis melekat seperti gam dikategorikan di dalam kumpulan pelekat (*adhesive*). Pembahagian ini adalah bagi memudahkan penentuan pemasangan yang mana kebanyakannya mempunyai ciri dan sifat yang hampir sama.

2.2.2 Digraf Peleraian

Digraf peleraian digunakan untuk menunjukkan proses peleraian komponen bagi sesuatu produk. Setiap komponen di dalam produk akan ditunjukkan dalam bentuk nombor dan anak panah pula mewakili arah pemasangan dan interaksi di antara komponen. Sebagaimana yang ditunjukkan di dalam Rajah 4, untuk membersihkan komponen 3 (bilah kipas) maka laluan yang diperlukan ialah dengan meleraikan komponen 1 dan juga komponen 2 iaitu grill depan dan pemutar terlebih dulu.



Rajah 4 Digraf peleraian yang mewakili proses peleraian komponen 3 untuk penyelenggaraan

Selepas ditentukan jenis pengikat yang digunakan bagi setiap antara-muka komponen, skor boleh diberikan kepada pemasangan tersebut dengan meringkaskannya di dalam carta di sebelah pemasangan tersebut dengan memperincikan turutan bilangan pemasangan (AN), jenis pengikat (TOF), pengulangan (R) dan jumlah skor pemasangan (AS). Ini akan dapat membantu di dalam pengiraan jumlah skor komponen tersebut.

2.3 Pengiraan Indeks Kebolehsenggaraan

Untuk melaksanakan sesuatu operasi penyelenggaraan, laluan atau kerja peleraian komponen yang paling singkat perlu ditentukan dan untuk itu Laluan Kritikal (CP) diperkenalkan. Parameter ini akan memilih laluan yang paling singkat untuk sampai kepada komponen yang dikehendaki. Berdasarkan skor yang telah ditetapkan pada setiap pemasangan, jumlah skor keseluruhan bagi laluan tersebut akan diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah Skor Pemasangan, } A_r = \sum_{i=1}^{CP} AS_i \quad (1)$$

Parameter lain yang juga diambil kira di dalam analisa kebolehsenggaraan ini ialah kekerapan sesuatu komponen atau bahagian perlu diselenggara. Ini amat bergantung kepada jumlah skor pemasangan. Oleh itu untuk mengukur darjah kebolehsenggaraan sesuatu komponen secara individu, persamaan berikut perlu digunakan;

$$\text{Darjah Penyelenggaraan, } M_d = \frac{M_r}{A_r} \quad (2)$$

Dengan mengambilkira semua pertimbangan ini maka indeks kebolehsenggaraan sesuatu produk boleh diukur dengan lebih sistematik. Daripada perhubungan ini, indeks kebolehsenggaraan bagi sesuatu komponen boleh diukur sebagai;

$$\text{Indeks Kebolehsenggaraan Komponen, } I_C = \frac{\sum_{i=1}^{CP} M_d}{C_{CP}} \quad (3)$$

Namun demikian indeks ini juga boleh digunakan untuk mengukur kebolehsenggaraan bagi sesuatu produk dengan menggunakan persamaan;

$$\text{Indeks Kebolehsenggaraan Produk, } I_P = \frac{\sum_{i=1}^{AN} M_d}{C_n} \quad (4)$$

Dengan

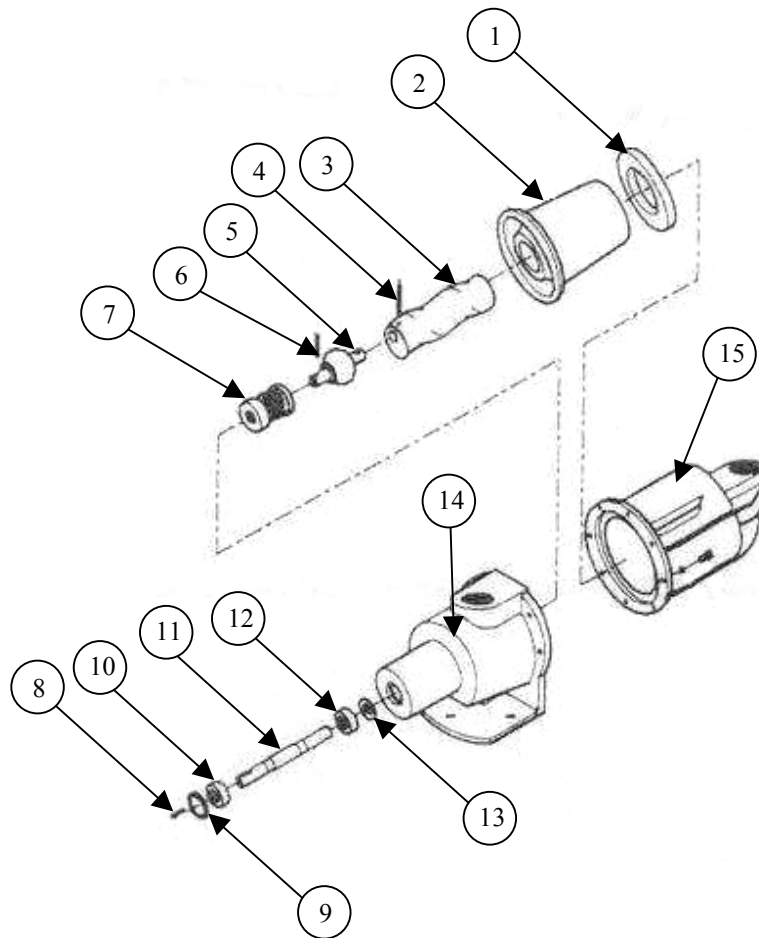
- M_r = Kekерapan penyelenggaraan (Amat Jarang = 1, Jarang = 2, Kerap = 3, Amat Kerap = 4)
 CP = Laluan kitikal (Nombor integer, $i = 1, 2, \dots, n$)
 AS_i = Skor pemasangan untuk pemasangan ke- i
 AN = Bilangan pemasangan
 C_n = Jumlah komponen keseluruhan produk
 C_{CP} = Jumlah komponen yang terlibat untuk sampai kepada komponen yang dikehendaki.

Darjah penyelenggaraan bagi setiap komponen diset supaya menunjukkan nilai 0 dan 1 di mana 0 mewakili darjah penyelenggaraan yang teruk manakala 1 mewakili darjah penyelenggaraan yang terbaik. Ia amat bergantung kepada kekerapan penyelenggaraan sesuatu komponen dan laluan kritikal untuk sampai kepada komponen tersebut serta jenis pengikat yang digunakan olehnya. Contohnya, komponen yang walaupun mempunyai kekerapan selenggaraan yang tinggi, namun kedudukan komponen ini yang agak terperosok menyebabkan darjah penyelenggaraannya menjadi rendah. Begitu juga di dalam pengiraan indek kebolehsenggaraan yang juga diukur berdasarkan purata darjah penyelenggaraan komponen yang terdapat di dalam sesuatu produk atau sistem. Oleh itu untuk menunjukkan kaedah yang telah dibangunkan, satu kajian kes sebuah sistem pam akan dijalankan.

3.0 KAJIAN KES

Kajian kes yang dijalankan adalah untuk menunjukkan kesan penukaran jenis pengikat pada kriteria pemasangan komponen untuk meningkatkan kecekapan penyelenggaraan sesuatu produk dan produk yang dipilih ialah pam. Secara umumnya pam mempunyai 15 komponen. Gambarajah terburai pam serta senarai nama komponen adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.

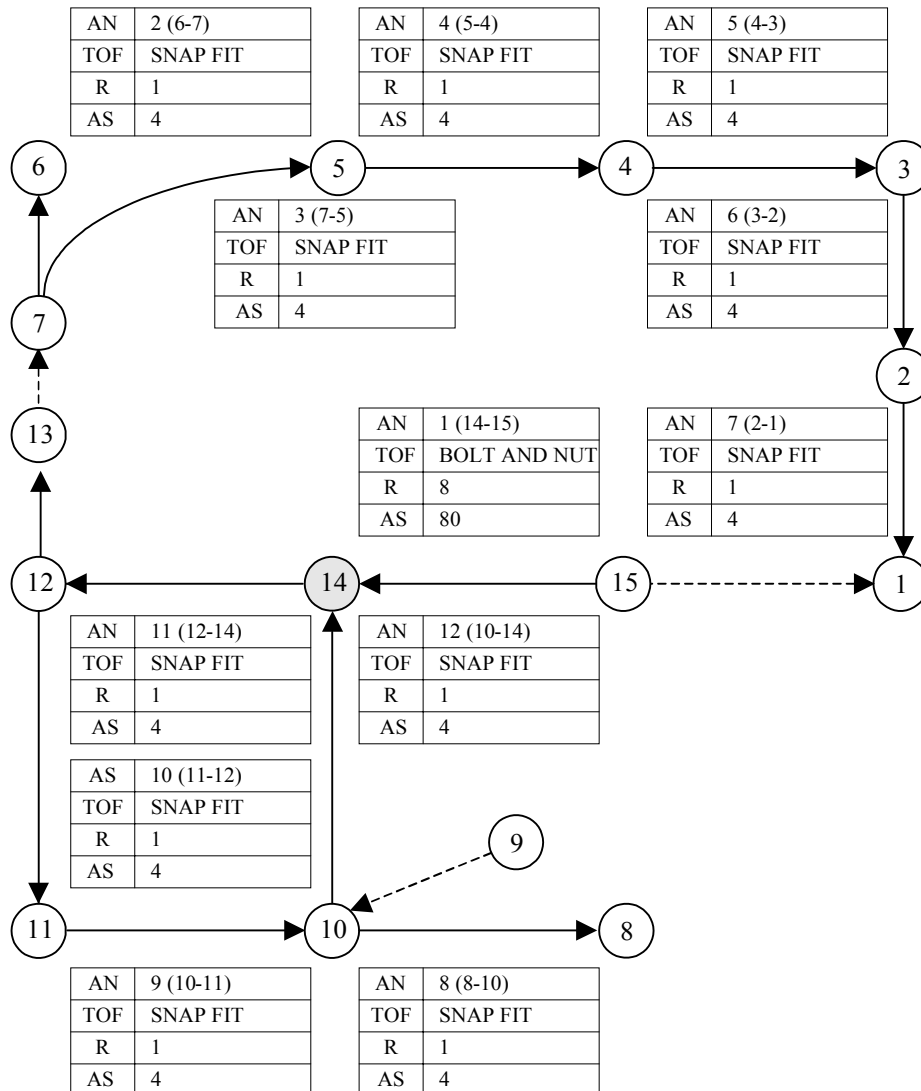
Seterusnya struktur pemasangan komponen akan ditunjukkan dalam bentuk digraf pemasangan sepertimana yang ditunjukkan di dalam Rajah 6. Garisan putus menunjukkan perhubungan antara komponen yang tidak melibatkan pemasangan contohnya komponen 12 dan komponen 13 yang secara umumnya ada perhubungan dari segi susun atur komponen tetapi tidak melibatkan pemasangan. Berdasarkan digraf peleraian ini, indek penyelenggaraan pam dapat diukur dengan lebih sistematik. Dengan menggunakan perhubungan, pertimbangan dan kriteria yang telah dibincangkan, maka keputusan daripada analisa diringkaskan di dalam Jadual 4. Carta Penilaian Penyelenggaraan (MEC) digunakan untuk menunjukkan secara keseluruhan prosedur penilaian analisis tersebut. Carta ini boleh digunakan sebagai carta atau jadual piawai penilaian kebolehsenggaraan sesuatu sistem atau produk.



Komponen

| | | | |
|---|-------------------|----|-----------------|
| 1 | Reruang stator | 9 | Gegelang muat |
| 2 | Stator | 10 | Galas 1 |
| 3 | Rotor | 11 | Batang pemacu |
| 4 | Pin rotor | 12 | Galas 2 |
| 5 | Pengganding anjal | 13 | Gegelang anduh |
| 6 | Pin batang | 14 | Perumah sedutan |
| 7 | Kedap mekanikal | 15 | Perumah nyahcas |
| 8 | Kekunci batang | | |

Rajah 5 Penamaan dan pandangan terburai komponen pam



Rajah 6 Digraf peleraian komponen-komponen pam. Bulatan yang diwarnakan menunjukkan komponen yang terakhir dipasang dan yang pertama dilaikan

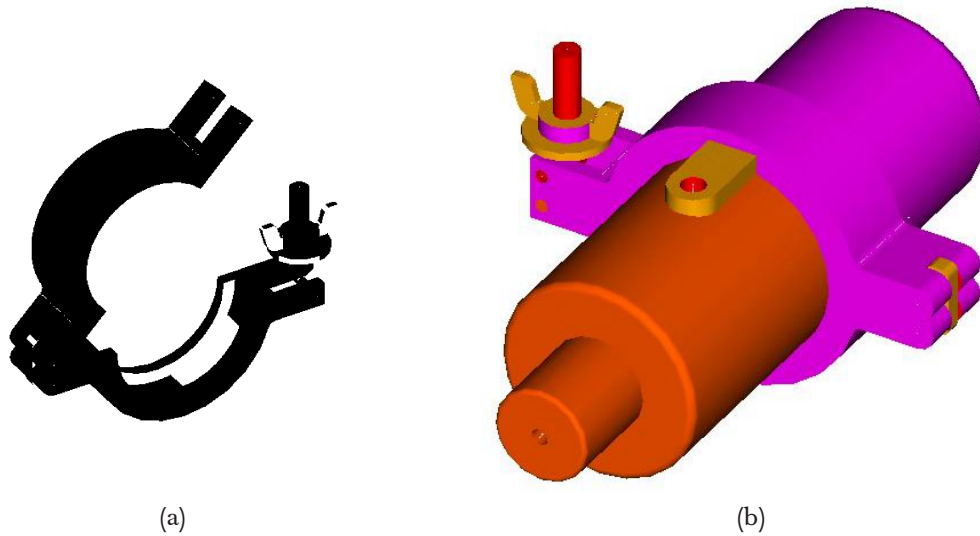
Daripada carta ini juga indeks kebolehsenggaraan sesuatu komponen di dalam sesuatu produk dapat dinilai dengan lebih terperinci.

Keputusan yang diperolehi menunjukkan indeks kebolehsenggaraan pam adalah rendah. Ini mungkin disebabkan oleh pengikat bagi beberapa pemasangan mempunyai skor yang tinggi. Kes ini amat ketara bagi pemasangan komponen 14 dan komponen 15. Untuk itu penggantian jenis pemasangan atau pengikat bagi komponen 14 dan komponen 15 yang sebelum ini menggunakan pengikat jenis

Jadual 4 Keputusan keseluruhan analisis kebolehsenggaraan sebelum rekabentuk semula menggunakan Carta Penilaian Penyelenggaraan (MEC)

| No. kom. | Nama komponen | Kekerapan penyelenggaraan, M_r | Laluan kritikal, CP | Skor pemasangan, A_r | Darjah penyelenggaraan, M_d |
|---------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1 | Reruang stator | 2 | 6 | 100 | 0.0200 |
| 2 | Stator | 1 | 5 | 96 | 0.0104 |
| 3 | Rotor | 1 | 4 | 92 | 0.0109 |
| 4 | Pin rotor | 2 | 3 | 88 | 0.0227 |
| 5 | Pengganding anjal | 1 | 2 | 84 | 0.0119 |
| 6 | Pin batang | 2 | 2 | 84 | 0.0238 |
| 7 | Kedap mekanikal | 3 | 1 | 80 | 0.0375 |
| 8 | Kekunci batang | 2 | 1 | 4 | 0.5000 |
| 9 | Gegelang muat | 2 | 2 | 8 | 0.2500 |
| 10 | Galas 1 | 1 | 3 | 88 | 0.0114 |
| 11 | Batang pemacu | 1 | 2 | 84 | 0.0119 |
| 12 | Galas 2 | 1 | 3 | 88 | 0.0114 |
| 13 | Gegelang anduh | 2 | 3 | 88 | 0.0227 |
| 14 | Perumah sedutan | 1 | 1 | 80 | 0.0125 |
| 15 | Perumah nyahcas | 1 | 1 | 80 | 0.0125 |
| Jumlah | | | | | 0.9696 |

bolt dan nat sebanyak 8 unit diperlukan. Ini telah menyebabkan jumlah skor menjadi tinggi yang seterusnya memberi kesan kepada penurunan indek penyelenggaraan. Maka reka bentuk semula perlu dilakukan sama ada dengan mengurangkan bilangan pengikat atau menukarkannya dengan pengikat jenis lain. Bagi melihat kesan penggunaan jenis pengikat terhadap penyelenggaraan, reka bentuk semula dilakukan dengan menukarkannya dengan pengikat jenis pengapit nut bersayap yang mempunyai kelebihan dari segi daya tahan yang tinggi serta dapat dipasang dan dilepaskan dengan mudah menggunakan tangan tanpa memerlukan sebarang jenis peralatan sepertimana yang ditunjukkan oleh Rajah 7. Nat bersayap ini akan memegang kedua-dua belah perumah dengan membuat sedikit perubahan pada badan perumah tersebut. Selain itu daripada pengikat asal yang memerlukan 8 (lapan) langkah sebelum perumah dapat dilepaskan kepada hanya satu langkah. Apabila indek penyelenggaraan dikira semula ia menunjukkan peningkatan yang amat ketara. Namun demikian di dalam pengkajian ini, faktor prestasi pam tidak dipertimbangkan dan akan hanya diambilkira pada kajian yang akan datang. Keputusan analisis kebolehsenggaraan setelah reka bentuk semula adalah seperti yang diringkaskan di dalam Jadual 5.



Rajah 7 (a) Pengikat jenis pengapit nut bersayap yang dicadangkan untuk digunakan menggantikan pengikat jenis bolt dan nat serta (b) pemasangan pengikat pada pam

Jadual 5 Keputusan keseluruhan analisis kebolehsenggaraan selepas reka bentuk semula dengan menggantikan jenis pengikat

| No. Kom. | Nama komponen | Kekerapan penyelenggaraan, M_r | Laluan kritikal, CP | Skor pemasangan, A_r | Darjah penyelenggaraan, M_d |
|---------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1 | Reruang stator | 2 | 6 | 32 | 0.0625 |
| 2 | Stator | 1 | 5 | 28 | 0.0357 |
| 3 | Rotor | 1 | 4 | 24 | 0.0417 |
| 4 | Pin rotor | 2 | 3 | 20 | 0.1000 |
| 5 | Pengganding anjal | 1 | 2 | 16 | 0.0625 |
| 6 | Pin batang | 2 | 2 | 16 | 0.1250 |
| 7 | Kedap mekanikal | 3 | 1 | 12 | 0.2500 |
| 8 | Kekunci batang | 2 | 1 | 4 | 0.5000 |
| 9 | Gegelang muat | 2 | 2 | 8 | 0.2500 |
| 10 | Galas 1 | 1 | 3 | 20 | 0.0500 |
| 11 | Batang pemacu | 1 | 2 | 16 | 0.0625 |
| 12 | Galas 2 | 1 | 3 | 20 | 0.0500 |
| 13 | Gegelang anduh | 2 | 3 | 20 | 0.1000 |
| 14 | Perumah sedutan | 1 | 1 | 12 | 0.0833 |
| 15 | Perumah nyahcas | 1 | 1 | 12 | 0.0833 |
| Jumlah | | | | | 1.8565 |

4.0 PERBINCANGAN

Jenis pengikat telah memberi pengaruh yang besar di dalam proses peleraian sesuatu komponen. Begitu juga di dalam penyelenggaraan yang mana dipercayai akan dapat meningkatkan jangka hayat sesuatu produk atau sistem. Untuk itu satu kaedah pengukuran yang lebih tepat dan mudah telah dibina. Kaedah ini dapat mengukur kesan pengikat dan pengaruhnya ke atas kecekapan penyelenggaraan. Kaedah ini juga mengambilkira kriteria pemasangan yang mempertimbangkan peralatan yang digunakan, proses peleraian dan pemasangan semula selain daripada arah pemasangan sepertimana yang telah dibincangkan sebelum ini. Faktor kekerapan penyelenggaraan dan kedudukan komponen juga turut diambilkira untuk memastikan pemberat sesuatu indek kebolehsenggaraan itu dapat diukur dan dinilai dengan lebih tepat terutamanya dengan penekanan kepada komponen yang lebih kritikal dari segi keperluan kepada kerja penyelenggaraan yang lebih kerap. Seterusnya struktur interaksi dan perhubungan antara komponen telah dipersembahkan dalam bentuk digraf peleraian, yang mana ia banyak membantu di dalam pengiraan skor pemasangan. Satu kajian kes telah dijalankan untuk mengulas kaedah yang dibangunkan.

Untuk menunjukkan kesan penukaran jenis pengikat, perbandingan keputusan dengan produk yang sedia ada telah dilakukan sepertimana yang telah diringkaskan di dalam Jadual 6. Keputusan menunjukkan jumlah skor pemasangan keseluruhan didapati telah berkurangan sebanyak 340% yang mana telah menghasilkan peningkatan indek kebolehsenggaraan produk tersebut sebanyak 90.8%. Keputusan ini menunjukkan dengan jelas, darjah kemudahan operasi penyelenggaraan dapat dipertingkatkan dengan menukar jenis pengikat.

Jadual 6 Indek penyelenggaraan sebelum and selepas reka bentuk semula

| | Reka bentuk sedia ada | Reka bentuk semula | Penambah-baik |
|---|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Jumlah keseluruhan skor pemasangan | 1144 | 260 | 340% |
| Jumlah keseluruhan darjah penyelenggaraan | 0.970 | 1.856 | 91.3% |
| Indek kebolehsenggaraan | 0.065 | 0.124 | 90.8% |

5.0 KESIMPULAN

Pengkajian ini bertujuan untuk melihat kesan penyelenggaraan akibat daripada reka bentuk semula yang menekankan kepada penukaran jenis pengikat, dan dari keputusan yang diperolehi menunjukkan kesan yang agak besar bagi kedua-dua analisis sepertimana yang telah ditunjukkan apabila jenis pengikat ditukar. Kaedah

yang dibangunkan ini adalah lebih mudah difahami dan prosedur yang perlu diikuti adalah lebih ringkas. Selain itu keputusan secara sistematik dapat diperolehi dengan tepat. Keputusan yang diperolehi menunjukkan penurunan yang amat banyak terhadap indek penyelenggaraan apabila ditukar jenis dan jumlah pengikat. Untuk penyelidikan masa depan, satu perisian mengukur indek kebolehsenggaraan menggunakan komputer akan dibangunkan dengan mengambilkira parameter atau faktor lain seperti prestasi produk serta kesan pemodularan kepada penyelenggaraan. Selain itu analisis unsur terhingga (FEA) akan dijalankan pada pengikat jenis ini untuk melihat keboleh-tahanan terhadap tekanan yang dihasilkan oleh pam.

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik, Kampus Kejuruteraan dan Universiti Sains Malaysia kerana telah memberikan kerjasama di dalam menjayakan projek ini.

RUJUKAN

- [1] Utez, H. 1983. Maintainability of Production System. *Maintenance Management International*. 455-68.
- [2] Balanchard, B. S., D. Verma, dan E. L. Peterson. 1995. *Maintainability*. New York: Wiley and Sons.
- [3] Cunningham, C. E., dan W. Cox. 1972. *Applied Maintainability Engineering*. New York: Wiley and Sons.
- [4] Vujesovic, R., R. Raskar, N. V. Yeturkuri, M. C. Jothishankar, dan S-H. Juang. 1995. Simulation, Animation and Analysis of Design Disassembly for Maintainability Analysis. *Int. J. Production Research*. 33(1): 2999-3022.
- [5] Tsai, Y. T., K. S. Wang, dan S. P. Lo. 2003. A Study of Modularity Operation of Systems Based on Maintenance Consideration. *J. Eng. Design*. 14(1): 41-56.
- [6] Ehud, K., B. Brent, dan P. Antony. 1996. Methodology to Evaluate Ease of Disassembly for Product Recycling. *IIE Transactions*. 28(28): 837-845.
- [7] Vujosevic, R. 1995. Maintainability Analysis in Concurrent Engineering of Mechanical System. *CERA*. 3(1): 61-73.
- [8] Clark, G. E., dan R. K. Paasch. 1996. Diagnostic Modeling and Diagnosability Evaluation of Mechanical Systems. *J. Mech. Design*. 118(1): 425-431.
- [9] Paasch, R. K., dan D. N. Ruff. 1997. Evaluation of Failure Diagnosis in Conceptual Design of Mechanical System. *J. Mech. Design*. 119(1): 57-67.
- [10] Wani, M. F., dan O. P. Gandhi. 2002. Maintainability Design and Evaluation of Mechanical Systems Based on Tribology. *Reliability Eng. and System Safety*. 77: 181-188.
- [11] Wani, M. F., dan O. P. Gandhi. 1999. Development of Maintainability Index for Mechanical Systems. *Reliability Eng. and System Safety*. 65: 259-270.
- [12] Kalpakjian, S. 1995. *Manufacturing Engineering and Technology*, 3rd Edition, New York: Addison Wesley Publishing Company.
- [13] Ulman, D. G. 1997. *The Mechanical Design Process*, 2nd edition. New York: Mc Graw Hill Co.
- [14] Brennan, L., S. M. Gupta, dan K. N. Taleb. 1994. Operational Issues in Assembly/Disassembly Environment. *Int. J. Operational and Production Management*. 14(9): 57-67.