

PENINGKATAN PRESTASI PROSES MENGGUNAKAN KAEDAH REKA BENTUK UJI KAJI DALAM INDUSTRI BAHAN KIMIA

(Improvement of Process Performance by Application of Design of Experiment in Chemical Industry)

TENGGU ADLINA TENGGU MUDA & ZAINOL MUSTAFA

ABSTRAK

Industri Bahan Kimia merupakan industri yang makin berkembang dan mendapat permintaan yang tinggi dalam pasaran selaras dengan perkembangan teknologi yang kian pesat. Persaingan antara kilang sentiasa berlaku dan pihak pengurusan sentiasa mencari kaedah yang paling baik serta menjimatkan kos bagi meningkatkan produktiviti. Kajian ini dilakukan dengan menggunakan kaedah reka bentuk uji kaji bagi membantu kilang menentukan syif dan mesin yang terbaik yang menjadi panduan bagi penghasilan pigmen Titanium Dioksida yang berkualiti tinggi mengikut permintaan pelanggan. Kajian yang dilakukan ini dapat dijadikan panduan kepada pengusaha kilang untuk memahami kaedah reka bentuk uji kaji dan mengamalkan kaedah ini pada masa akan datang bagi mengurangkan sebarang kecacatan yang berlaku kepada produk yang dihasilkan. Mesin yang digunakan untuk menghasilkan hablur Titanium Dioksida ialah mesin *XSM Milling* yang memerlukan masa selama 90 minit bagi mendapatkan saiz hablur mengikut spesifikasi yang telah ditetapkan. Pihak kilang bercadang untuk menukarkan mesin *XSM Milling* ini kepada mesin *Speedmixer* yang hanya memerlukan masa selama 4 minit sekaligus membantu kilang untuk menghasilkan lebih banyak produk seiring dengan permintaan pelanggan yang sentiasa meningkat tanpa menjejaskan kualiti produk yang dihasilkan. Kajian ini adalah untuk melihat kemampuan mesin baharu dalam menghasilkan pigmen yang berkualiti tinggi sekaligus membantu menjimatkan masa pemprosesan bahan dan secara tidak langsung memberi keuntungan kepada kilang. Melalui kajian yang telah dibuat, didapati mesin *Speedmixer* merupakan mesin yang terbaik untuk digunakan bagi mendapatkan saiz hablur Titanium Dioksida yang diperlukan.

Kata kunci: reka bentuk uji kaji; industri bahan kimia; peningkatan prestasi proses

ABSTRACT

The Chemical Industry is a developing industry and has popularity in the market due to fast development of innovation. Competition between industrial facilities is normally occurred and administrations are continually searching for advantages and reducing cost to expand efficiency. This study is directed utilising the design of experiment (DoE) method to help the plant to decide the best machine and the best shift to maintain the production of high quality Titanium Dioxide pigment as per customer requirements. This study can be utilised as a guide for the plant to comprehend the DoE method and to apply this strategy later on to overcome any issues or imperfections that might occur in the product. XSM Milling machine is used to produce Titanium Dioxide crystal which takes 90 minutes to acquire the exact crystal size. Plant intended to change this XSM Milling machine to a Speedmixer machine which is capable to produce Titanium Dioxide crystal size accordingly in just 4 minutes. This will help the plant to produce more products in accordance with perpetually expanding customer requirement without influencing the Titanium Dioxide crystal size. This study is to observe the capacity of new machines to deliver the right size while sparing time on material handling and reducing processing cycle time. Through this study, it is found that the Speedmixer machine is the best machine to use to obtain the correct crystal size of Titanium Dioxide.

Keywords: design of experiment; chemical industry; improvement of process performance

1. Pengenalan

Peningkatan kualiti dan produktiviti menjadi satu strategi perniagaan dalam kalangan pelbagai organisasi termasuk pengeluar, perkhidmatan, kewangan dan juga agensi-agensi kerajaan. Strategi ini amat penting bagi memastikan sesebuah organisasi terus berdaya saing dan menjadi pilihan pelanggan bagi memenuhi keperluan dan kehendak mereka. Kawalan kualiti bertujuan untuk meningkatkan produk dengan menggunakan alat-alat statistik dalam proses pengeluaran. Peniaga yang mengawal kualiti produk mereka mempunyai peluang untuk menguasai pasaran. Salah satu inisiatif yang umum digunakan adalah inisiatif Enam Sigma yang menjadi pendorong utama dalam bidang perniagaan untuk peningkatan kualiti. Enam Sigma boleh ditakrifkan sebagai falsafah dan kaedah untuk meningkatkan keberkesanan dan kecekapan pada masa yang sama untuk memenuhi keperluan dan permintaan pelanggan (Nilesh *et al.* 2012).

Enam Sigma menggunakan pendekatan yang berstruktur untuk menguruskan aktiviti penambahbaikan, yang diwakili oleh DMAIC. DMAIC adalah singkatan bagi aktiviti aliran penambahbaikan proses yang terdiri daripada *define, measure, analyse, improve* dan *control* (kenal pasti, ukur, analisis, tingkatkan dan kawal). Prosedur ini akan membimbing pasukan untuk menyelesaikan masalah yang rumit dan meningkatkan produktiviti mereka (Nilesh *et al.* 2012). Kajian ini juga mengaplikasi pendekatan DMAIC dalam menyelesaikan masalah yang timbul dalam industri pembuatan Titanium Dioksida serta membantu pengusaha kilang untuk meningkatkan produktiviti dan kualiti produk yang dihasilkan.

Kaedah analisis yang digunakan bagi membantu pihak pengurusan untuk membuat keputusan yang terbaik bagi meningkatkan produktiviti ialah kaedah reka bentuk uji kaji (*design of experiment, DoE*). Kemajuan teknologi seperti penggunaan mesin dan pengurangan penggunaan tenaga buruh membantu organisasi untuk menjimatkan kos menjalankan perniagaan. Penggunaan mesin yang bagus juga membantu organisasi untuk menjadi lebih cekap dan berpotensi tinggi (Vijay *et al.* 2017). Kajian ini menggunakan kaedah reka bentuk uji kaji untuk melihat faktor-faktor yang memberi kesan kepada saiz hablur Titanium Dioksida. Kaedah reka bentuk uji kaji adalah prosedur yang berkesan untuk merancang uji kaji supaya data yang diperolehi boleh dianalisis untuk menghasilkan kesimpulan yang memenuhi objektif yang telah ditetapkan (Sunil 2014).

2. Kepentingan Reka Bentuk Uji Kaji dalam Industri

Membuat penambahbaikan dalam produk atau proses menjadi satu daripada tugas paling mencabar yang dihadapi oleh sesebuah syarikat pembuatan. Cara terbaik untuk mencapai kualiti serta kebolehpercayaan yang tinggi dalam kalangan pelanggan adalah dengan mengelakkan kecacatan pada produk (Dowlatshahi 2004). Bagi mengenal pasti kecacatan, punca kepada kecacatan yang berlaku harus dikaji dan diperbaiki. Reka bentuk uji kaji adalah salah satu kaedah yang boleh digunakan untuk meningkatkan kualiti produk serta produktiviti syarikat melalui kajian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi hasil yang dikeluarkan.

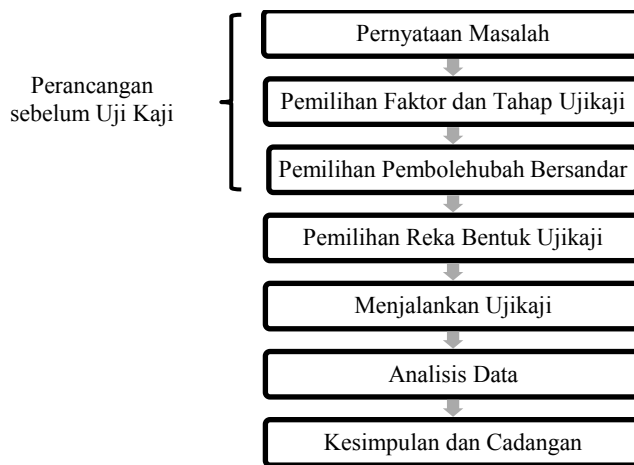
Reka bentuk uji kaji merupakan satu kaedah yang teratur untuk menentukan hubungan antara faktor-faktor yang mengganggu proses dengan output daripada proses (Dubois *et al.* 2009). Reka bentuk uji kaji boleh digunakan untuk mengkaji lebih daripada satu faktor dalam satu masa. Kajian ini menggunakan dua faktor yang mempengaruhi saiz hablur Titanium Dioksida iaitu jenis mesin dan syif yang terlibat. Output yang hendak diukur pula adalah saiz hablur Titanium Dioksida. Pemilihan mesin yang terbaik dibuat berdasarkan hasil yang diperolehi daripada analisis menggunakan perisian Minitab 14 bagi reka bentuk uji kaji faktorial.

Pendekatan reka bentuk uji kaji ini memberikan banyak kelebihan kepada organisasi yang menggunakannya. Antaranya ialah, ia membolehkan penyelidik untuk mengkaji faktor yang berbeza dan input dalam proses lebih difahami samada mempengaruhi output yang dihasilkan.

Melalui cara ini, faktor-faktor yang kritikal akan dikenal pasti. Di samping itu, ia boleh digunakan sebagai alat untuk menyelesaikan masalah proses pembuatan seperti menentukan punca kadar kerosakan produk yang tinggi. Pendekatan ini adalah lebih cekap dan memerlukan bilangan pengulangan uji kaji yang sedikit untuk mengkaji faktor-faktor yang memberi pengaruh terhadap tindak balas yang dikaji (Wahid & Nadir 2013).

3. Prosedur Reka Bentuk Uji Kaji

Langkah-langkah menjalankan reka bentuk uji kaji yang merangkumi perancangan sebelum membuat uji kaji sehingga proses melaksanakan uji kaji serta analisis data dan kesimpulan daripada yang diperoleh ditunjukkan dalam Rajah 1.



Rajah 1: Prosedur bagi reka bentuk uji kaji (Montgomery 2009)

Perancangan sebelum uji kaji adalah melibatkan Analisis Mod dan Kesan Kegagalan atau *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). FMEA merupakan alat yang digunakan untuk mengenalpasti faktor-faktor yang menyebabkan kecacatan produk. Apabila mod kegagalan dikenalpasti, tindakan untuk penambahbaikan proses atau produk perlu dilakukan untuk memastikan produk yang dihasilkan adalah berkualiti dan memenuhi permintaan pelanggan (Villacourt 1992). FMEA menggunakan *Risk Priority Number* (RPN) untuk menentukan risiko yang perlu diambil perhatian dan diperbaiki. RPN diperoleh dengan mendarabkan nilai keseriusan, kejadian dan pengesanan.

$$RPN = \text{Keseriusan} \times \text{Kejadian} \times \text{Pengesanan}$$

FMEA membantu untuk mengenal pasti faktor yang menyebabkan kegagalan dan kesan kegagalan kepada pengguna bagi produk yang dihasilkan. Selain itu, ia menilai risiko yang berkaitan dengan mod kegagalan, kesan dan sebab-sebab yang telah dikenal pasti, dan mengutamakan isu-isu yang perlu diambil tindakan pembedahan. Juga, mengenal pasti dan melaksanakan tindakan pembedahan untuk menangani risiko yang paling serius (Carlson 2014).

Hipotesis kajian:

- Hipotesis pertama : H_{01} : Jenis mesin tidak mempengaruhi saiz hablur Titanium Dioksida.
- Hipotesis kedua : H_{02} : Syif tidak mempengaruhi saiz hablur Titanium Dioksida.
- Hipotesis ketiga : H_{03} : Jenis mesin dan syif tidak mempengaruhi saiz hablur Titanium Dioksida.

Model Kajian :
$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

dengan
$$\sum_{i=1} \alpha_i = 0, i = 1,2, \quad \sum_{j=1} \beta_j = 0, j = 1,2,3$$

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$

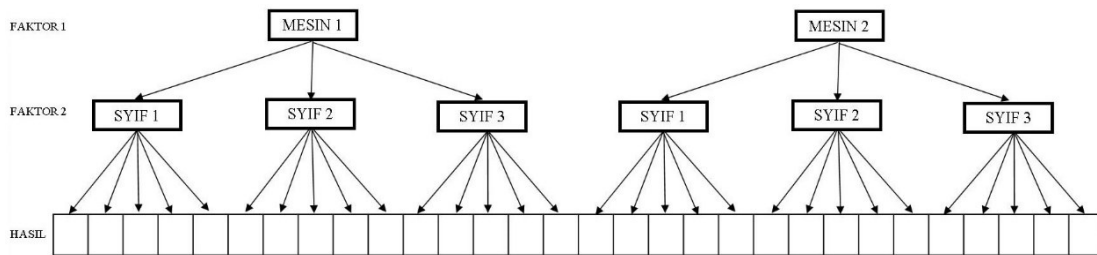
μ : Purata kombinasi keseluruhan bagi semua aras faktor 1 dan faktor 2

α : Faktor 1 (Jenis mesin)

β : Faktor 2 (Syif)

$\alpha\beta$: Interaksi antara faktor 1 dan faktor 2

$\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$



Rajah 2: Gambar rajah pokok reka bentuk uji kaji

Kawalan Proses Statistik atau *Statistical Process Control* (SPC) digunakan untuk menyokong operasi pengeluaran. Alat SPC yang biasa digunakan adalah carta kawalan yang menunjukkan sama ada proses berada di dalam kawalan statistik atau tidak (Skulj et al. 2013). Sekiranya terdapat proses yang melebihi had kawalan, tindakan pembetulan proses perlu diambil supaya produk yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

Pelbagai manfaat yang diperoleh dengan mengaplikasi alat seperti carta kawalan membantu memberikan maklumat yang diperlukan untuk membuat keputusan berdasarkan penetapan had kawalan serta pandangan untuk penambahbaikan proses (Madanhire & Mbohwa 2016). Dalam kajian ini, carta kawalan digunakan selepas mendapat penetapan yang terbaik melalui kaedah bagi memastikan keputusan yang dibuat berada dalam kawalan. Kebolehpayaan proses diukur sebelum dan selepas penambahbaikan dilakukan bagi memastikan proses berada di dalam kawalan.

Selain itu, indeks keupayaan proses atau *capability index* (C_p) juga dikira bagi menentukan keupayaan proses berdasarkan graf taburan normal yang diperoleh melalui analisis data yang dibuat (Simanova & Gejdos 2015).

4. Keputusan dan Perbincangan

Data yang telah dianalisis menggunakan perisian Minitab 14 memperoleh maklumat berikut:

- a) Kebolehpayaan Proses
- b) Statistik Deskriptif
- c) Analisis Varians (ANAVA)
- d) Plot Interaksi
- e) Plot Kotak
- f) Carta Kawalan

4.1 Kebolehpayaan Proses

Alat yang digunakan untuk menilai prestasi proses adalah analisis keupayaan proses yang mana nilai indeks kebolehpayaan proses, C_p dan C_{pk} bagi proses penghasilan hablur Titanium Dioksida diperoleh menggunakan perisian Minitab 14. Bagi kajian ini, nilai C_p yang diperoleh adalah 1.05 dan nilai C_{pk} ialah 0.55. Nilai $C_{pk} = 1.05$ menunjukkan kadar kecacatan proses adalah sebanyak 27 peratus. Nilai bagi had atas bagi saiz hablur adalah $0.2450\mu\text{m}$ manakala had bawah adalah $0.2150\mu\text{m}$. Masih banyak ruang penambahbaikan yang perlu dilakukan oleh pihak pengurusan bagi meningkatkan bacaan kedua-dua indeks ini.

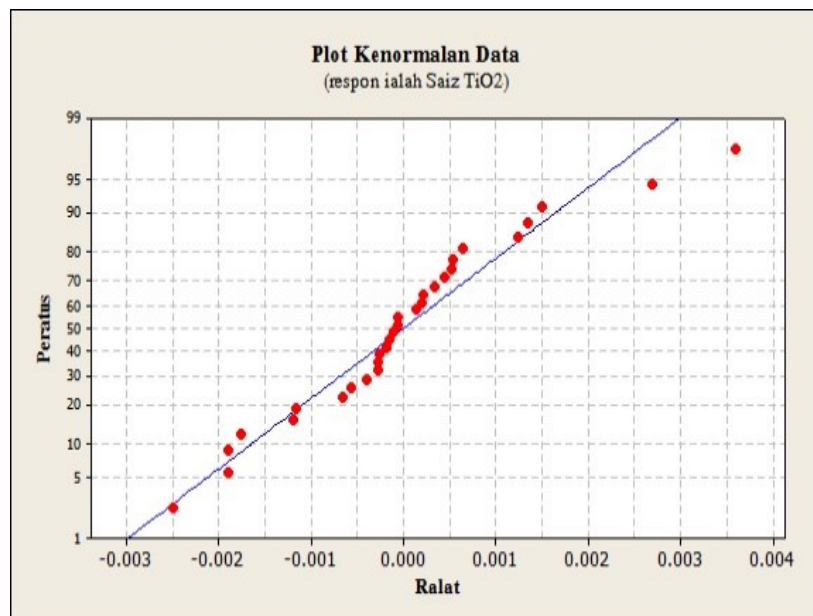
4.2 Statistik Deskriptif

Hasil statistik deskriptif yang dilakukan pada mesin *XSM Milling* merangkumi tiga syif. Bagi syif pertama, nilai maksimum ialah $0.2418\mu\text{m}$ dan nilai minimum ialah $0.2410\mu\text{m}$. Bagi syif kedua pula, nilai maksimum ialah $0.2327\mu\text{m}$ dan nilai minimum adalah $0.2315\mu\text{m}$. Bagi syif ketiga, nilai maksimum saiz hablur adalah $0.2388\mu\text{m}$ dan saiz minimum adalah $0.2333\mu\text{m}$.

Bagi mesin *Speedmixer* pula, saiz hablur $0.2355\mu\text{m}$ merupakan nilai maksimum dan minimum $0.2325\mu\text{m}$ untuk syif yang pertama. Syif kedua, nilai maksimum saiz hablur ialah $0.2283\mu\text{m}$ dan $0.2258\mu\text{m}$ merupakan nilai minimum. Syif ketiga pula, nilai $0.2342\mu\text{m}$ merupakan saiz maksimum hablur dan nilai minimum ialah $0.2254\mu\text{m}$. Dapatan ini diringkaskan dalam bentuk paparan plot kotak seperti di dalam Rajah 6.

4.3 Analisis Varians (ANOVA)

Data yang diperoleh diuji bagi memastikan taburan data adalah normal dan boleh digunakan untuk analisis varians. Plot data dalam Rajah 3 menunjukkan data berada pada garis lurus. Ini menunjukkan data tertabur secara normal dan boleh digunakan untuk analisis. Dengan ini, model serta hasil bagi uji kaji ini adalah boleh diterima.



Rajah 3: Plot Kenormalan Data

Ujian ANAVA yang dijalankan adalah dua hala dengan saiz hablur sebagai pemboleh ubah bersandar dan jenis mesin serta syif sebagai pemboleh ubah tidak bersandar.

Berdasarkan nilai- p yang diperoleh dalam Jadual 1, jenis mesin menunjukkan nilai- p menghampiri sifar dan membolehkan H_{01} ditolak kerana nilainya lebih kecil daripada nilai α (0.05) pada aras keertian 95%. Bagi syif pula, nilai- p yang diperoleh juga menghampiri sifar dan H_{02} ditolak kerana nilainya lebih kecil daripada nilai α (0.05) pada aras keertian 95%. Bagi interaksi antara jenis mesin dan syif, nilai- p adalah 0.217 dan lebih besar daripada nilai α (0.05) pada aras keertian 95%. Justeru itu, H_{03} tidak dapat ditolak dan ini menunjukkan tidak wujud saling tindak antara jenis mesin dan syif.

Jadual 1: Jadual ANAVA

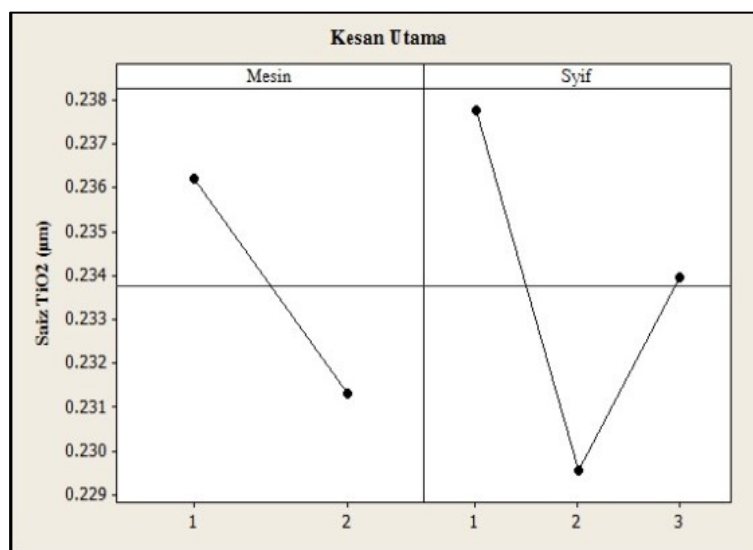
Punca perubahan	Darjah kebebasan	Jumlah kuasa dua	Min kuasa dua	Nilai- p
Jenis mesin	1	0.000233	0.000233	0.000
Syif	2	0.000340	0.000170	0.000
Jenis mesin*Syif	2	0.000009	0.000042	0.272
Ralat	24	0.000074	0.000003	
Jumlah	29	0.000656		

Analisis varians menggunakan perisian Minitab 14 dilakukan sekali lagi menggunakan data yang sama dengan faktor saling tindak antara mesin dan syif telah dibuang. Nilai- p bagi analisis yang baharu ditunjukkan dalam Jadual 2. Oleh yang demikian, model kajian baharu tanpa interaksi adalah:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

Jadual 2: Jadual ANAVA tanpa interaksi

Punca perubahan	Darjah kebebasan	Jumlah kuasa dua	Min kuasa dua	Nilai- p
Jenis mesin	1	0.000233	0.000233	0.000
Syif	2	0.000340	0.000170	0.000
Ralat	26	0.000082	0.000003	
Jumlah	29	0.000656		

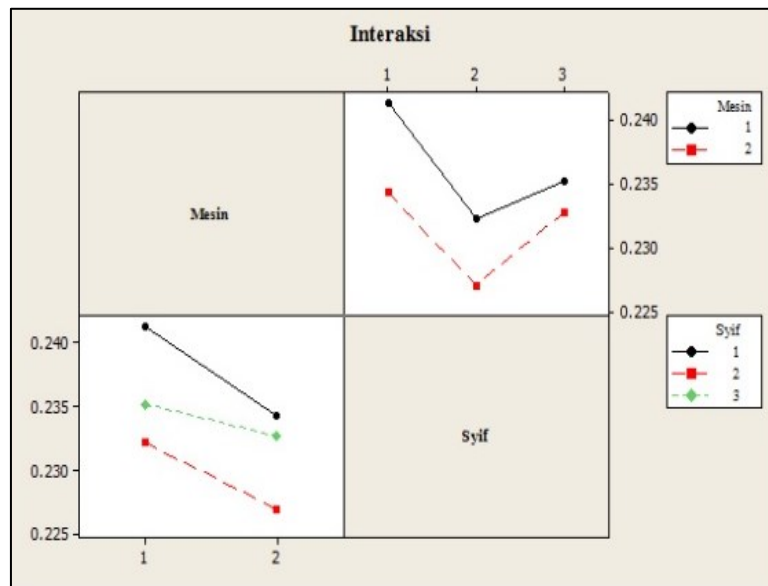


Rajah 4: Plot Kesan utama

4.4 Plot Kesan Utama

Rajah 4 menunjukkan plot kesan utama faktor bagi mesin dan syif. Berdasarkan plot yang diperoleh, mesin kedua iaitu *Speedmixer* dan syif yang kedua adalah pilihan terbaik untuk digunakan kerana menghasilkan saiz hablur yang paling kecil.

Melalui plot interaksi dalam Rajah 5 menunjukkan tiada interaksi antara jenis mesin dan syif kerana plot yang diperoleh tidak menunjukkan sebarang persilangan. Justeru itu, faktor interaksi antara jenis mesin dan syif tidak digunakan dalam kajian ini. Hasil ujian ANAVA hanya melibatkan faktor utama, yang mana saling tindak antara faktor tidak signifikan.



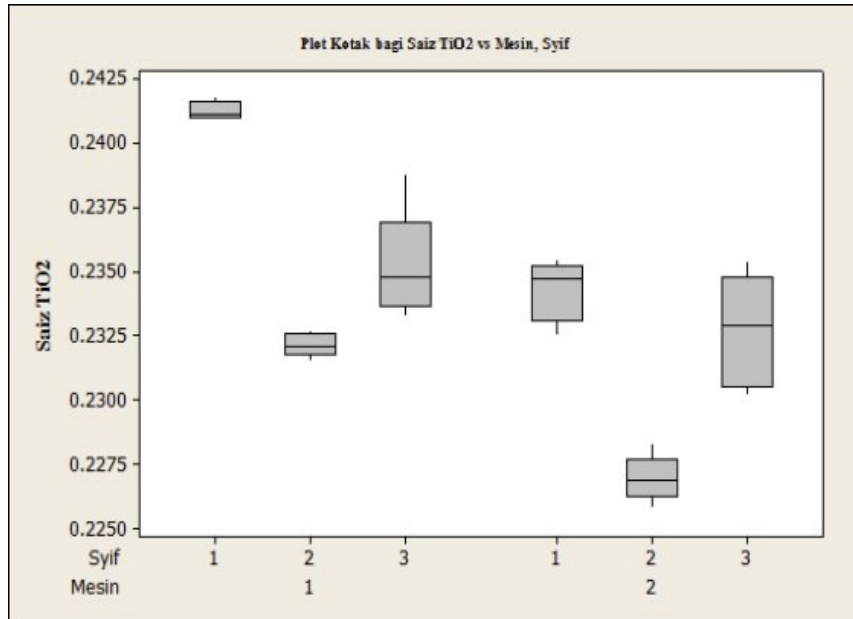
Rajah 5: Plot Interaksi

4.5 Plot Kotak

Berdasarkan Rajah 6, plot kotak menunjukkan mesin kedua iaitu *Speedmixer* dan syif kedua paling baik untuk dipilih serta memberikan variasi saiz hablur yang minimum. Mesin kedua dan syif kedua menghampiri saiz yang lebih kecil dan variasi yang ditunjukkan adalah rendah berbanding dengan syif pertama dan syif yang ketiga. Bagi mesin yang pertama iaitu mesin *XSM Milling* dan syif yang kedua, walaupun variasi adalah rendah tetapi ia tidak menghasilkan saiz hablur yang paling kecil. Oleh sebab itu, mesin pertama bukan mesin yang terbaik untuk digunakan.

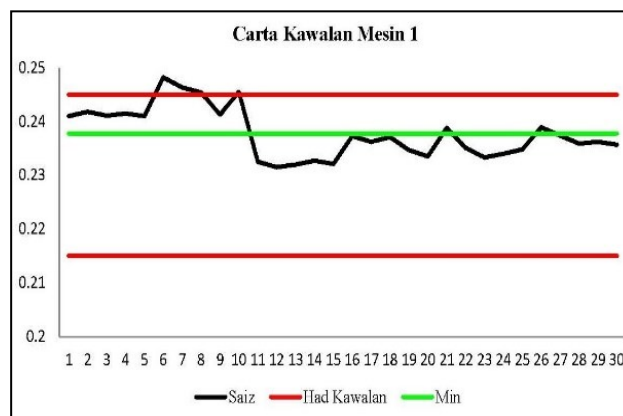
4.6 Carta Kawalan

Carta kawalan telah dibina menggunakan kedua-dua mesin untuk tempoh 30 data sepanjang kajian. Mesin *XSM Milling* sebagai mesin pertama dan *Speedmixer* sebagai mesin yang kedua. Berdasarkan Rajah 7, mesin *XSM Milling* menunjukkan terdapat data melebihi had kawalan atas dan nilai C_p adalah 1.05. Ini bersamaan sebanyak 27 peratus produk berpeluang untuk cacat atau bersaiz besar daripada keseluruhan hasil pengeluaran.



Rajah 6: Plot Kotak

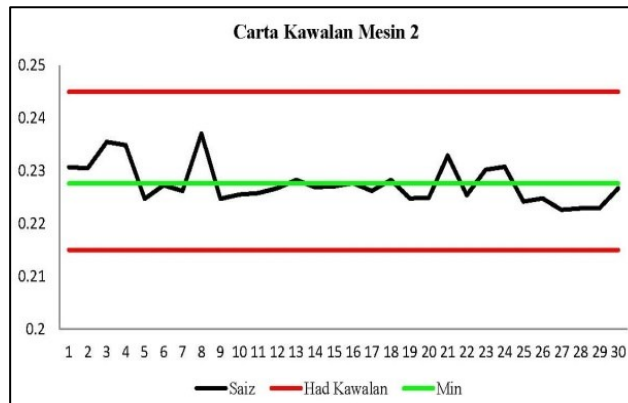
Manakala berdasarkan Rajah 8, mesin *Speedmixer* menunjukkan semua data berada dalam kawalan proses statistik. Nilai C_p dan C_{pk} juga telah dihitung. Nilai C_p telah meningkat daripada 1.05 kepada 1.33 manakala nilai C_{pk} pula 1.12. Ini menunjukkan kadar kecacatan produk telah berkurang dengan peningkatan bacaan nilai indeks C_p dan C_{pk} .



Rajah 7: Carta Kawalan bagi mesin *XSM Milling*

4.7 Penilaian Kos

Berdasarkan Jadual 3, jika dihitung untuk penghasilan hablur berdasarkan kos sumber elektrik yang digunakan, maka kos penghasilan yang diperlukan untuk mesin *XSM Milling* adalah sebanyak RM 257.81 sehari manakala bagi mesin *Speedmixer* hanya sebanyak RM 13.55 sehari. Ini hanyalah berdasarkan kepada kos tenaga elektrik untuk tempoh sehari, yang sudah tentu akan menghasilkan penjimatan berimpak jika dihitung untuk kos-kos lain untuk tempoh yang lebih lama yang sudah tentu bukan hanya sehari.



Rajah 8: Carta Kawalan bagi mesin *Speedmixer*

Jadual 3: Kos Elektrik bagi Mesin 1 dan Mesin 2

	Mesin 1	Mesin 2
Kuasa mesin	170 kWj	200kWj
Tarif Elektrik	0.337 sen	0.337 sen
Masa	1 jam 30 minit	4 minit
Kekerapan Penggunaan	3 kali sehari	3 kali sehari
Pengiraan	$0.337 \times 170 \times 3 \times 1.5$ jam	$0.337 \times 200 \times 3 \times 0.067$ jam
Jumlah	RM 257.81	RM 13.55

5. Kesimpulan

Hasil kajian ini mencadangkan kepada pihak pengusaha untuk menggunakan mesin baharu, iaitu *Speedmixer* untuk meningkatkan produktiviti syarikat dan seterusnya dapat menjimatkan masa proses daripada 90 minit kepada 4 minit.

Walau bagaimanapun proses untuk menukarkan mesin lama kepada mesin baharu memerlukan lebih kajian kerana ia melibatkan kos yang tinggi. Anggaran harga bagi mesin *Speedmixer* ialah antara RM 7000 - RM 8000 seunit manakala mesin *XSM Milling* pula adalah RM 3000 - RM 4000 seunit. Harga bagi mesin *Speedmixer* mengikut anggaran adalah dua kali ganda berbanding dengan mesin yang lama *XSM Milling*. Walaupun mesin *Speedmixer* lebih menjimatkan masa tetapi pihak pengusaha memerlukan modal yang besar untuk menukarkan mesin yang lama kepada mesin yang baharu.

Juga diperhatikan syif yang kedua masa kini merupakan syif yang terbaik dalam penghasilan saiz hablur Titanium Dioksida ini. Syif kedua ini juga menjalankan ujian pada setiap peringkat dengan lebih teratur dan membantu penghasilan produk yang berkualiti tinggi.

Rujukan

- Carlson C.S. 2014. Understanding and applying the fundamentals of FMEAs. *Reliability and Maintainability Symposium*, Januari, 2014.
- Dowlatshahi S. 2004. An Application of Design of experiments for optimization of plastic injection molding processes. *Journal of Manufacturing Technology Management* **15**(6): 445-454.
- Dubois S., Rasovska I. & De Guio R. 2009. Towards an automatic extraction of generalized system of contradictions out of solutionless design of experiments. Dlm. Tan R., Cao G. & León N. (pnyt) *Growth and Development of Computer-Aided Innovation. IFIP Advances in Information and Communication Technology* 304: 70-79. Berlin: Springer.

- Madanhire I. & Mbohwa C. 2016. Application of statistical process control (SPC) in manufacturing industry in a developing country. *South African Journal of CIRP* **40**: 580-583
- Montgomery D.C. 2009. *Statistical Quality Control: A Modern Introduction*. Ed. ke-7. Singapura: John Wiley & Sons Pte. Ltd.
- Nilesh V.F., Satish V.B. & Swati N.F 2012. Understanding the benefits and limitations of six sigma methodology. *International Journal of Scientific and Research Publications* **2**(1): 1-10.
- Simanova L. & Gejdos P. 2015. The Use of Statistical Quality Control Tools to Quality Improving in the Furniture Business. *Procedia Economics and Finance* **34**: 276-283.
- Skulj G., Vrabic R., Butala P. & Sluga A. 2013. Statistical process control as a service: an industrial case study. *Slovenian Journal of CIRP* **7**: 401-406.
- Sunil N.A. 2014. A case study in increasing productivity by doe in manufacturing sector. *International Journal of Advancement in Engineering Technology, Management & Applied Science* **1**(7): 32-48.
- Vijay S., Marcus M., Jayant G. & Jeremy B. 2017. 2017 Chemical industry trend: delivering profitable growth in a hypercompetitive, low-growth world. <http://www.strategyand.pwc.com> (4 Jun 2017).
- Villacourt M. 1992. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): a guide for continuous improvement for the semiconductor equipment industry. *International SEMATECH*, 30 September 1992.
- Wahid Z. & Nadir N. 2013. Improvement of one factor at a time through design of experiment. *World Applied Sciences Journal* **21** (*Mathematical Applications in Engineering*): 56-61.

*Pusat Pengajian Sains Matematik
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi
Selangor DE, MALAYSIA
Mel-e: tengku_adlina89@yahoo.com, zbhm@ukm.edu.my**

*Penulis untuk dihubungi