

**PENINGKATAN PRESTASI PROSES MELALUI
PERALATAN KUALITI BERSTATISTIK**
(Improving Process Performance through Statistical Quality Tools)

*MOHD NIZAM AB RAHMAN¹, ROSMAIZURA MOHD ZAIN¹, SURIANI ABDUL RAHMAN² &
ZULKIFLI MOHD NOPIAH³*

ABSTRAK

Persekitaran pasaran yang kompetitif pada hari ini memerlukan syarikat perusahaan kecil dan sederhana (PKS) menekankan kepada kualiti bagi meningkatkan proses dan prestasi pengeluaran. Matlamat ini boleh dicapai dengan mempraktikkan peralatan kualiti berstatistik melalui program-program proses kawalan statistik (SPC). Penggunaan peralatan kualiti seperti carta kawalan membenarkan pihak pengeluar membuat keputusan proses dan memenuhi kualiti produk yang tinggi. Bagaimanapun, terdapat sesetengah pihak PKS gemar menggunakan kaedah SPC secara manual (helaian kertas graf) yang lebih cenderung kepada beberapa kelemahan, seperti kesilapan manusia dan penggunaan masa untuk mengenal pasti masalah. Oleh itu, dalam kajian ini dibincangkan mengenai pembangunan terbaru kaedah SPC berasaskan komputer yang bertujuan untuk melakukan analisis statistik, dan menguruskan data kualiti. Konsep dan maklumat pembangunan sistem ini secara asasnya diperolehi daripada kaedah kajian kes yang dikendalikan ke atas syarikat pembuatan PKS, termasuklah temu ramah, soal selidik serta pemerhatian. Tambahan lagi, pembangunan sistem juga difokuskan kepada set data, operasi statistik yang mudah dan kumpulan pengguna tertentu. Hasil kajian menunjukkan bahawa sistem yang dinamakan *Small and Medium Enterprises - Statistical Process Control* (SMEs-SPC) adalah amat praktikal sebagai alat menganalisis data berbanding dengan penggunaan SPC secara manual. Di samping itu, sistem ini berpotensi tinggi untuk memberi galakan kepada operator atau pekerja pengeluaran dan jurutera perindustrian dalam memahami kepentingan pengumpulan data kualiti demi meningkatkan prestasi pengeluaran.

Kata kunci: kualiti; SPC; perusahaan kecil dan sederhana

ABSTRACT

Today's competitive market environment requires the small and medium enterprises (SMEs) companies to be concerned with the quality in improving their processing and production performances. This goal can be achieved through using practical statistical quality tools available in the statistical process control (SPC) programmes. The utilisation of quality tools such as the control charts enable manufacturers to lead in the process of decision making and as well as to meet with the high quality of their products. However, some SMEs prefer to use the manual SPC (graph paper sheet) which is tended to a several drawbacks such as creating human errors and time consumed in detecting problems. Therefore, this study highlights the latest development of SPC computer based system with the intention of performing statistical analysis, as well as in managing the quality data. The concept and information for the development of this system are based on the findings gathered from case studies conducted at the SME manufacturing companies through running interviews, questionnaires and observations. Moreover, the system development is also focused on particular data sets, simple statistical operations and user groups. The findings show that the system which is named the *Small and Medium Enterprises - Statistical Process Control* (SMEs-SPC) is a very practical tool for data analysis instead of using the manual SPC application. In addition, this system has the potential to encourage operators or production workers and industrial engineers to really understand the importance of collecting quality data for the purpose of enhancing their production performance.

Keywords: quality; SPC; small and medium enterprises

1. Pengenalan

Dalam persekitaran perniagaan, kebanyakan syarikat pembuatan di Malaysia mula mengambil langkah proaktif terhadap kualiti kerana ia merupakan salah satu strategi bagi memenuhi kepuasan pelanggan (Samat *et al.* 2006). Justeru itu, permintaan atau kehendak pelanggan sering kali menjadi tumpuan dalam menentukan kualiti barangan yang dikeluarkan (Mohamad Zailani *et al.* 2003). Menurut Xie dan Goh (1999), SPC merupakan sebahagian daripada kaedah kawalan kualiti melalui teknik carta kawalan. Selain itu, teknik-teknik asas SPC seperti histogram, rajah aliran dan carta Pareto banyak diguna pakai dalam organisasi besar dan juga PKS (Ahmed & Hassan 2003).

Perkembangan SPC dalam beberapa tahun kebelakangan ini berupaya mengatasi kewujudan permasalahan kualiti seperti kerja semula, sekerap, aduan pelanggan, dan pemeriksaan semula yang melibatkan pembaziran masa serta kos yang tinggi (Montgomery 2005). Tambahan lagi, penggunaan alatan-alatan dalam teknik proses kawalan statistik telah menjadi kaedah penting dalam amalan TQM dan pensijilan ISO bagi meningkatkan persaingan yang lebih kompetitif (Lewis *et al.* 2005; Eriksson 2004). Walau bagaimanapun, kaedah kawalan kualiti berstatistik tidak akan berjaya untuk mencapai matlamat dan objektif syarikat tanpa sokongan pihak pengurusan, penglibatan pekerja atau pasukan kumpulan (Krumwiede & Sheu 1996).

Sejajar dengan perkembangan ekonomi yang pesat, bidang pembuatan memerlukan transformasi kepada penggunaan teknologi termaju bagi memenuhi permintaan barangan yang berkost rendah serta penghantaran yang cepat kepada pelanggan (Dangayach & Deshmukh 2005). Sehubungan itu, komputer merupakan medium utama digunakan untuk menganalisis dan mengurus data kualiti melalui pakej perisian SPC. Menurut Das *et al.* (2008), perkembangan perisian SPC semakin bertambah dengan menawarkan pertambahan fungsi-fungsi statistik serta paparan grafik yang terkini. Terdapat pelbagai jenis perisian SPC seperti Statpack, Minitab dan *Microsoft Excel* yang digunakan oleh syarikat pengeluaran plastik, botol minuman dan sebagainya bagi mengenal pasti masalah kualiti dengan cepat. Namun begitu, tahap kemahiran pengguna terhadap perisian tersebut didapati berkurang, contohnya penggunaan perisian *Microsoft Excel* memerlukan kemahiran dan pemahaman yang baik terhadap fungsi atau bahasa program dalam menjalani pengiraan (West 2004). Menurut Chodos (2007), kebanyakan perisian yang diaplikasikan adalah khusus untuk pengguna tunggal sahaja. Begitu juga dengan perisian SPSS; walaupun berupaya menganalisis data kuantitatif dengan sistematik, namun perisian ini tidak dapat dikongsi oleh pengguna yang ramai (Bryman & Cramer 2005; Chodos 2007).

Menurut Jiao *et al.* (2007), sistem kawalan kualiti yang berasaskan maklumat atau data telah menjadi keperluan utama untuk membolehkan perkongsian maklumat, keputusan kebolehpayaan, had spesifikasi dan perubahan variasi dalam sesuatu proses. Walau bagaimanapun, dari sudut penggunaan di PKS, pembangunan sistem yang dikendalikan secara atas talian ini dipengaruhi oleh kos yang diperlukan. Sekiranya penggunaan kos melibatkan jangka masa yang panjang, ia tidak memberi tarikan kepada perusahaan kecil untuk mengaplikasikan sistem ini. Tambahan lagi, kaedah SPC juga dilaksanakan secara tradisional atau manual di bahagian pengeluaran, namun lebih cenderung kepada pengetahuan yang terhad, dan hanya melaksanakan sistem pengiraan yang ringkas. Oleh itu, ia tidak dapat memenuhi permintaan yang lebih kompleks pada masa akan datang (Pan 2006).

Perkara yang diperlukan adalah satu model yang lebih praktikal untuk membolehkan para jurutera menyasiat prestasi kualiti dengan cepat. Pelaksanaan sistem teknikal seperti SPC di PKS Malaysia masih mengalami kesukaran untuk diaplikasikan sepenuhnya disebabkan oleh beberapa faktor seperti kekurangan sumber dan sokongan oleh pihak atasan dalam menyediakan jurutera dan tenaga kerja yang berkebolehan; model pengurusan yang moden;

peralatan untuk memperoleh data tertentu, dan penyebaran maklumat yang kukuh dalam statistik (Ahmed & Hassan 2003). Sehubungan itu, didapati bahawa kajian SPC masih lagi terhad dalam penggunaan alat-alat pengurusan kualiti yang mudah difahami dan praktikal untuk pekerja di syarikat pembuatan PKS Malaysia, terutamanya operator pengeluaran.

Selaras dengan kajian yang dijalankan, makalah ini memfokuskan sepenuhnya kepada pembangunan sistem SPC. Sementara itu, idea dan maklumat pembangunan sistem telah diperolehi melalui kajian awal ke atas syarikat pembuatan, iaitu meliputi beberapa faktor penting seperti latar belakang syarikat, aspek umum dalam pelaksanaan SPC, masalah serta halangan pelaksanaan sistem atau perisian SPC yang efektif, dan berakhir dengan pemilihan sebuah syarikat untuk pembangunan sistem SPC. Oleh itu, kajian ini diharapkan dapat memberi penemuan baru melalui pembangunan sistem berasaskan komputer demi meningkatkan prestasi pengeluaran di syarikat PKS Malaysia.

2. Kepentingan SPC di PKS

PKS menjadi saluran untuk penempatan teknologi penting, bagi menggalakkan negara yang berpendapatan per kapital rendah memperbaiki tahap produktiviti (Robertson 2003). Pada 1990-an, Malaysia mengalami transformasi daripada negara pengeluar atau pertanian kepada negara perindustrian yang menggalakkan eksport. Oleh itu, kewujudan PKS telah melengkapkan aktiviti-aktiviti syarikat yang berskala besar (Idris *et al.* 1996). Menurut Ab. Rahman *et al.* (2008), kualiti menjadi peranan utama untuk PKS kerana sering menjadi pembekal barangan atau perkhidmatan kepada syarikat besar seperti automotif, makanan, elektrik dan elektronik. Keadaan ini membuktikan bahawa sumbangan PKS melalui kegiatan ekonomi adalah menggalakkan di Malaysia (Saleh & Ndubisi 2006).

Dalam bidang pembuatan, kualiti berupaya menjamin kebolehpercayaan terhadap sesuatu produk, meningkatkan produktiviti dan kepuasan pelanggan. Menurut Temtime dan Solomon (2002), TQM merupakan penyelesaian utama untuk memperbaiki kualiti produk dalam pembangunan ekonomi. Maka, kualiti dalam persekitaran pembuatan memerlukan kaedah atau praktis SPC yang lebih berkesan sebagai amalan kerja mereka untuk mampan dalam dunia perniagaan (Ab. Rahman *et al.* 2008). Selain daripada penekanan PKS terhadap kualiti pengeluaran, penggunaan sumber teknologi juga menjadi strategi utama PKS dalam meningkatkan persaingan dan pengeluaran, contohnya dengan memilih pelbagai teknologi termaju sebagai peralatan yang efektif. Oleh itu, PKS perlu bersaing dalam semua aspek perniagaan seperti reka bentuk, pengeluaran dan pemasaran produk (Marri *et al.* 2003).

Justeru, SPC sering kali menjadi keperluan untuk diguna pakai dalam PKS kerana berupaya meningkatkan kemajuan proses, pengurangan kos dan pembaziran bahan lebihan. Melalui SPC, pekerja dapat menjana pemahaman yang lebih baik tentang proses, memperbaiki kemahiran komunikasi dan meningkatkan pengetahuan (Antony & Taner 2003). Walaupun pelaksanaan SPC di PKS adalah terhad dari segi saiz dan jenis operasi, namun sebarang permasalahan yang wujud amat mudah diselesaikan secara bersemuka (O'Regan & Ghobadian 2002). Sementara itu, Talbot (2003) berpendapat bahawa penggunaan SPC dapat mengenal pasti kelemahan dalam pengeluaran dan memberi pemahaman yang jelas untuk membangunkan tahap teknologi.

Oleh itu, keperluan kepada penambahbaikan kualiti dalam sektor pembuatan perlu diberi perhatian sepenuhnya dalam menghadapi persaingan antara satu sama lain. Kesimpulannya, kajian literatur mengenai SPC jelas membuktikan kepentingan penggunaan kaedah ini dalam proses kawalan, penyelesaian masalah serta untuk penambahbaikan ekonomi. Program SPC perlu mempunyai perancangan yang baik dan lengkap bagi memenuhi matlamat sesebuah syarikat termasuklah kejayaan dalam perniagaan dan kepuasan pelanggan.

3. Pembangunan Sistem SMEs-SPC

Konsep dan maklumat untuk pembangunan sistem SMEs-SPC adalah berasaskan kepada kajian awal yang lebih cenderung menggunakan kaedah kajian kes. Beberapa sumber kajian kes yang diaplikasikan termasuklah soal selidik, temu ramah dan pemerhatian. Kombinasi di antara pelbagai sumber merupakan kekuatan utama dalam pendekatan kajian kes yang digunakan (Yin 2003). Menurut Kuo *et al.* (1999) dan Yin (1994), kajian kes menyediakan cara tertentu untuk mengumpul, mengelola, dan menganalisis data dengan lebih mendalam terhadap isu-isu yang dikaji.

Sebanyak 10 syarikat yang terpilih untuk menjalani kajian kes dengan memfokuskan kepada ciri-ciri perisian atau sistem SPC yang digunakan, kelebihan, permasalahan dan halangan pelaksanaan SPC secara efektif. Jenis syarikat pembuatan PKS yang terlibat termasuklah syarikat automotif, elektronik, perkakasan perubatan, komponen komputer, plastik, dan kimia. Oleh kerana kajian ini tertumpu pada bahagian pengeluaran, kebanyakan jurutera atau pengurus yang terlibat adalah daripada bahagian proses atau jabatan kualiti.

Berdasarkan kajian kes yang dijalankan, sebuah syarikat yang berpotensi telah terpilih untuk pembangunan sistem terbaru SPC. Seterusnya, kajian kes secara mendalam dijalankan ke atas syarikat tersebut dengan memfokuskan kepada ciri-ciri proses, data kualiti, helaian kawalan proses, kertas graf dan pekerja yang terlibat. Di samping itu, reka bentuk dan pembangunan sistem SPC juga berasaskan cadangan dan komen daripada ahli-ahli akademik. Das *et al.* (2008), menyatakan proses pembangunan dan pembinaan perlu dilaksanakan pada peringkat awal bagi membuat prototaip yang mempunyai fungsi-fungsi penting. Oleh itu, reka bentuk dan pembangunan sistem SPC juga merujuk kepada garis panduan yang dinyatakan oleh Das *et al.* (2008), serta Land dan Walz (2006) bagi menghasilkan satu sistem yang berkualiti untuk kegunaan PKS.

Secara ringkas, pembinaan sistem ini diintegrasikan dengan pelayan pangkalan data yang dibina daripada perisian tanpa lesen iaitu *MySQL* atau dikenali sebagai *Structured Query Language*. *MySQL* merupakan perisian pangkalan data yang berfungsi untuk menghantar arahan dari komputer pengguna ke komputer pelayan. Menurut Martina (2003) dan Ullman (2008), pangkalan data ialah tempat penyimpanan data. Ia tidak akan menampilkan data kepada pengguna secara terus, namun memerlukan aplikasi untuk mengakses data melalui bentuk persembahan yang mudah difahami. Oleh itu, semua alat atau model objek dalam *Visual Basic* diprogramkan untuk berhubung dengan bahasa *MySQL*. Berdasarkan nilai data dan maklumat yang disimpan dalam pangkalan data, *Visual Basic* berfungsi untuk melakukan operasi statistik, contohnya pengiraan had kawalan dan pembinaan carta kawalan. Antara muka yang dibangunkan dalam bahasa ini membekalkan butang grafik yang boleh dikawal oleh pengguna untuk menganalisis data.

Menurut Perry (1995), *Visual Basic* mempunyai cara kerja yang mudah, kerana pengguna hanya berinteraksi dengan program melalui cara klik dan menggerakkan tetikus. Susulan itu, *MySQL* disokong oleh perisian *phpMyadmin* untuk mengelola data dan komponen yang terlibat dalam *MySQL* seperti mencari, menghapuskan data, membina item dalam jadual, mengeksport dan mengimport data. Pembangunan sistem melalui aplikasi pelayan ini membenarkan ramai pengguna menggunakan perisian yang sama, berkongsi set data, maklumat mengenai indeks kebolehpayaan, had kawalan, carta kawalan dan keadaan di luar kawalan. Contohnya, syarikat dapat berkongsi maklumat dalam tiga konteks utama, iaitu bahagian pengeluaran - pengurusan kawalan - pengurusan atasan atau jurutera. Cara ini membolehkan pihak syarikat membuat keputusan yang cepat berkenaan dengan masalah kualiti semasa operasi dilaksanakan.

Kaedah pengesahan merupakan fasa terakhir dalam pembangunan sistem untuk menilai kebolegunaan sistem SPC yang terbina dan memberi cadangan penambahbaikan bagi

memantapkan lagi keperluan PKS. Kesimpulannya, pembangunan SMEs-SPC adalah bertujuan untuk mengatasi beberapa masalah seperti yang dinyatakan dalam kajian awal, khususnya untuk meningkatkan kecekapan pengurusan data dan memudahkan operator pengeluaran mengendalikan SPC berasaskan komputer. Oleh itu, pembangunan sistem ini direka bentuk dengan antara muka grafik dan butang yang menawarkan fungsi yang ringkas serta menarik berbanding dengan SPC secara manual dan perisian yang sedia ada.

4. Keputusan dan Perbincangan

Perbincangan dan penemuan kajian yang diperoleh diklasifikasikan kepada tiga bahagian utama. Bahagian pertama melibatkan analisis awal kajian kes yang mengulas secara keseluruhan mengenai jenis sistem atau perisian SPC, tahap pelaksanaan SPC, halangan dan masalah pembangunan SPC yang efektif di syarikat pembuatan PKS (dinamakan syarikat A sehingga syarikat J). Bahagian kedua memfokuskan kepada sebuah syarikat automotif (syarikat J) secara terperinci untuk mewakili pembangunan sistem SPC, dan bahagian ketiga merupakan bahagian terakhir yang menjelaskan kaedah pengesanan di syarikat J dan PKS lain. Rumusan terhadap penggunaan sistem SPC di PKS dan cadangan penambahbaikan untuk kajian akan datang turut dinyatakan di bahagian akhir kajian.

4.1. Kajian Kes Awal di Syarikat Pembuatan PKS

Kajian kes yang dijalankan berupaya untuk membezakan sejauh mana pelaksanaan SPC di PKS, ciri-ciri, kelemahan dan kelebihan perisian atau sistem SPC yang diaplikasikan. Secara umumnya, syarikat PKS telah memanfaatkan kaedah SPC sebagai cara untuk meningkatkan prestasi pengeluaran, contohnya mengenal pasti variasi atau kebolehubahan yang berlaku dalam proses, menyemak parameter yang kritikal dan mengekalkan kestabilan proses. Sebagai kesannya, syarikat PKS berupaya mengurangkan aduan pelanggan, meningkatkan produktiviti dan diikuti dengan penjimatan kos untuk jangka masa yang panjang. Dari sudut lain, kajian ini telah membuktikan bahawa pengurusan data kualiti dan penguasaan SPC di PKS masih berkurang, terutamanya di kalangan operator pengeluaran. Ini kerana, tugas mereka lebih tertumpu kepada aktiviti pengeluaran dan pengumpulan data sahaja.

Selain itu, kajian ini mendapati bahawa alat-alat kawalan kualiti yang diaplikasikan di PKS ialah carta kawalan jenis *X-bar* dan *R* (purata dan julat), indeks kebolehpayaan proses dan histogram. Menurut responden, alat-alat tersebut sudah memadai untuk pihak syarikat mengawal proses yang terlibat. Dipercayai bahawa carta kawalan *X bar* dan *R* paling meluas digunakan di PKS berbanding carta kawalan *X-bar* dan *s*, (purata dan sisihan piawai) walaupun carta kawalan tersebut mempunyai ciri-ciri yang hampir sama. Kajian kes yang dijalankan ke atas syarikat-syarikat PKS telah membuktikan bahawa penggunaan carta kawalan sangat berguna untuk mengesan kerosakan produk. Ia membenarkan pihak atasan menentukan masa untuk mengubahsuai sesuatu proses yang berada di luar kawalan. Namun begitu, bagi melaksanakan SPC dengan berjaya, pembudayaan SPC perlu diterap melalui kerja berpasukan dan semestinya melibatkan semua pekerja.

Secara keseluruhannya, daripada 10 syarikat yang dikaji, sebanyak lima syarikat (A, B, E, G dan I) mengaplikasikan perisian khusus SPC; tiga syarikat (D, F dan H) cenderung mengaplikasikan perisian *Microsoft Excel*, serta syarikat C dan J melaksanakan kaedah SPC secara manual untuk menganalisis data. Jadual 1 merumuskan secara ringkas mengenai jenis syarikat pembuatan dan perisian atau sistem SPC yang digunakan. Walaupun syarikat A, B, E, G dan I mengaplikasikan jenis perisian SPC yang berbeza berbanding dengan syarikat D, F dan H, namun syarikat-syarikat terbabit mempunyai matlamat yang sama, iaitu untuk mengenal pasti masalah yang wujud dan membuat penambahbaikan dengan cepat.

Jadual 1: Syarikat pembuatan dan perisian SPC

Syarikat pembuatan	Jenis perisian SPC
A (Automotif)	Minitab
B (Perubatan)	SPC XL 2000
C (Automotif)	Manual
D (Plastik)	<i>Microsoft Excel</i>
E (Elektronik)	e-SPC
F (Kimia)	<i>Microsoft Excel</i>
G (Automotif dan elektronik)	<i>Online database SPC</i>
H (Automotif)	<i>Microsoft Excel</i>
I (Automotif dan elektronik)	<i>QC Calculation</i>
J (Automotif)	Manual

Hasil kajian ini mendapati bahawa syarikat G mempunyai ciri-ciri yang menghampiri kepada sistem ideal SPC yang berupaya mengawal mutu produk pada tahap maksimum, iaitu berjaya meningkatkan prestasi proses; mengurangkan aduan pelanggan pada tahap yang maksimum; mengurangkan penggunaan masa, kertas, dan kesilapan manusia melalui sistem yang dibangunkan. Syarikat G sangat menitikberatkan penambahbaikan kualiti walaupun pembinaan sistem ini pada awalnya melibatkan kos yang tinggi. Namun begitu, dipercayai bahawa pelaburan ini menjanjikan keuntungan untuk tempoh masa yang panjang. Sementara itu, dipercayai bahawa pelaksanaan SPC di syarikat C dan J lebih berisiko kerana pengendalian SPC dilakukan oleh pekerja sepenuhnya dalam membuat pengukuran, kemasukan data, pembinaan carta kawalan, pengiraan had kawalan, dan penyediaan laporan kepada pihak atasan. Oleh itu, setelah menjalankan kajian kes terhadap 10 syarikat PKS, pemilihan ke atas syarikat J untuk pembangunan SPC secara atas talian adalah amat sesuai dalam kajian ini. Faktor-faktor pemilihan syarikat ini adalah berdasarkan kepada beberapa aspek iaitu masalah pengurusan data dan pelaksanaan SPC yang kurang memuaskan. Selain itu, pemilihan syarikat ini dibuat berdasarkan persetujuan atau kerjasama yang diberikan oleh pihak syarikat termasuklah maklumat dan data yang diperlukan di bahagian pengeluaran. Syarikat PKS yang terpilih ini adalah berlatar belakangkan sektor automotif, iaitu selari dengan objektif kajian yang memfokuskan dalam bidang ini.

Bahagian ini turut merumuskan bahawa pelaksanaan kaedah SPC yang lebih praktikal serta efektif untuk PKS menghadapi pelbagai halangan atau permasalahan kerana syarikat berskala kecil dan sederhana ini tidak berupaya membekalkan sistem berteknologi tinggi serta berkos tinggi termasuklah perisian, peralatan, rangkaian dan keselamatan. Keadaan ini menyebabkan sesetengah syarikat lebih cenderung untuk menjalani operasi SPC secara manual, iaitu berasaskan kertas graf. Oleh itu, syarikat yang berhasrat untuk memajukan penggunaan SPC memerlukan sumber dan tahap kemahiran yang mencukupi. Ia berbeza dengan syarikat besar yang tidak menghadapi sebarang masalah, contohnya dalam mengambil pekerja mahir serta mendidik pekerja yang belum mahir dalam SPC. Dapat disimpulkan bahawa halangan atau permasalahan yang dihadapi oleh syarikat-syarikat PKS dalam kajian ini adalah selari dengan laporan kajian terdahulu seperti yang dibincangkan sebelum ini, iaitu sumber kewangan yang terhad, kekurangan kemahiran, dan pendidikan.

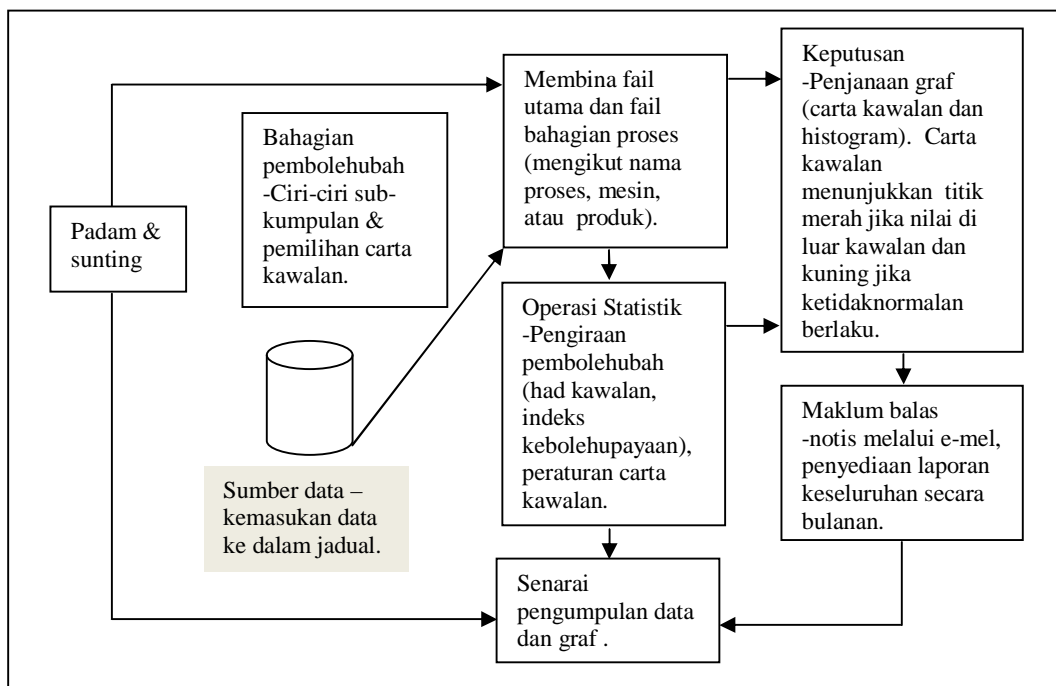
Halangan lain dalam pelaksanaan SPC termasuklah kekurangan sokongan oleh pihak pengurusan atasan. Mereka juga kurang menyedari kepentingan dalam penggunaan SPC. Tambahan lagi, kekurangan latihan dan pendidikan SPC menjadi isu utama dalam pelaksanaan kaedah ini. Fakta-fakta tersebut membuktikan bahawa pelaksanaan SPC dipercayai masih dalam peringkat sederhana oleh pihak PKS Malaysia. Oleh itu, didapati bahawa sistem SPC secara atas talian merupakan satu kaedah termaju untuk dimanfaatkan oleh pihak PKS untuk menganalisis masalah dengan berkesan. Masalah yang berlaku dalam

proses dapat dicegah atau diatasi untuk proses seterusnya dalam talian pengeluaran (Ab. Rahman *et al.* 2008).

4.2. Reka bentuk dan Pembangunan Sistem SPC

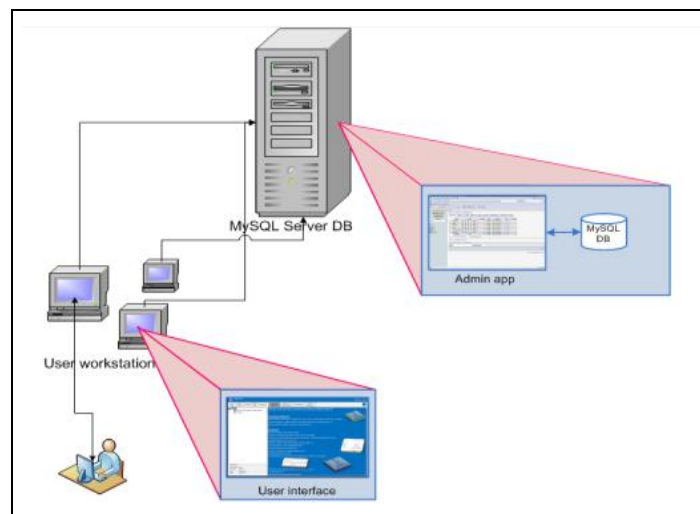
Sistem SPC ini dinamakan sebagai SMEs-SPC (*Small and Medium Enterprises-Statistical Process Control*). Reka bentuk dan pembinaan sistem ini lebih berasaskan kepada kertas graf yang diaplikasikan oleh syarikat J, berpandukan kepada operasi perancangan, serta melibatkan kerjasama dan penyiasatan ke atas syarikat J dengan memfokuskan kepada pengumpulan data-data terdahulu. Pembinaan sistem ini juga adalah berdasarkan keperluan oleh pihak syarikat PKS dan ahli akademik yang mahir dalam bidang SPC. Oleh itu, ciri-ciri dalaman yang diambil kira untuk pembangunan sistem ini ialah mempunyai pelayan utama yang berfungsi untuk menyimpan dan memanggil semula data yang telah direkodkan. Di antara fungsi utama sistem ini ialah berupaya diakses oleh semua pihak syarikat untuk penyebaran maklumat berkenaan dengan prestasi pengeluaran.

Struktur utama yang dibangunkan dalam sistem ini semestinya mempunyai butiran maklumat yang diisi lengkap oleh pekerja seperti nama proses, spesifikasi produk atau proses, nama produk, tarikh, masa, saiz sampel (n), dan bilangan kumpulan (k). Rajah 1 menunjukkan aliran operasi dalam sistem SPC yang direka bentuk pada peringkat awal. Berdasarkan rajah tersebut, sistem ini berfungsi untuk mengira dan membina graf setelah data-data pemboleh ubah dimasukkan sama ada mengikut proses, produk, jenis mesin dan lain-lain. Tambahan lagi, pemilihan jenis carta kawalan dan saiz sampel (n) dilaksanakan di bahagian pemboleh ubah data. Langkah ini disusuli dengan operasi lain seperti kemasukan data, pengiraan had kawalan, indeks kebolehpayaan, pemilihan jenis carta kawalan, graf dan isyarat di luar kawalan untuk pengguna.



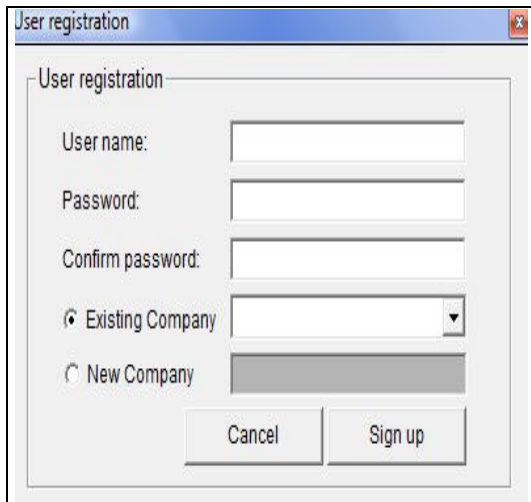
Rajah 1: Aliran dalam sistem SMEs-SPC

Sementara itu, Rajah 2 menunjukkan stesen kerja atau rangkaian setempat yang direka bentuk, iaitu melibatkan pangkalan data pelayan dan aplikasi pengelola (*phpMyadmin*). Ia berfungsi untuk mengendalikan data dengan berhubung terus ke rangkaian pengguna. Tambahan lagi, arahan yang dibekalkan melalui menu '*help button*' sangat mudah difahami dan dipraktikkan untuk semua peringkat pekerja. Sehingga kini, data pemboleh ubah bukan sahaja digunakan untuk memantau variasi proses, malah ia digunakan untuk mempersembahkan laporan yang seragam kepada pelanggan atau pihak syarikat. Melalui cara ini, pengguna atau pelanggan berupaya untuk membandingkan prestasi mengikut masa, nilai data dan jenis proses yang dijalankan.

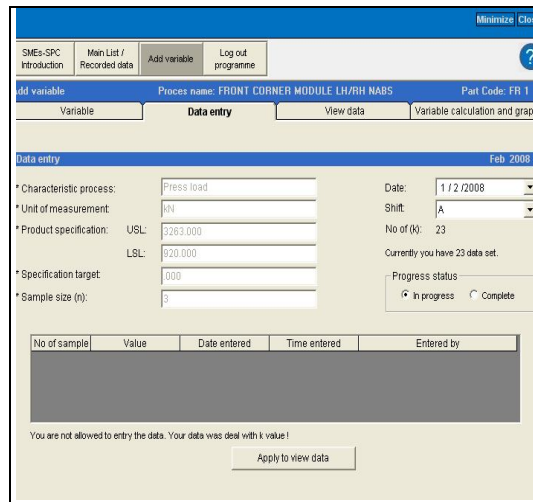


Rajah 2: Stesen kerja pengguna

Secara umumnya, carta kawalan yang dibina dalam sistem ini dibina dengan andaian bahawa proses dianggap stabil untuk mengaplikasikan SPC. Ini kerana, semua spesifikasi serta ciri-ciri kawalan kualiti telah ditetapkan oleh syarikat besar melalui lukisan kejuruteraan. Bagi memudahkan pihak pengeluaran, antara muka yang dibina dalam sistem ini menawarkan struktur yang menarik untuk pengguna menjalani pengiraan data secara sistematik. Rajah 3 sehingga Rajah 6 menunjukkan antara muka yang dibangunkan dan diterangkan secara terperinci. Pada permulaan, pengguna perlu mendaftar dan memasukkan kata laluan. Ia bertujuan untuk melindungi data dan maklumat penting (Rajah 3). Oleh itu, pengguna yang telah mendaftar boleh menggunakan sistem ini dengan memasukkan nama pengenalan dan kata laluan yang telah disahkan oleh sistem. Pengguna seharusnya memasukkan data-data mentah ke dalam sistem untuk menganalisis data dengan cepat dan mudah melalui antara muka kemasukan data (Rajah 4).



Rajah 3: Nama pengguna dan kata laluan

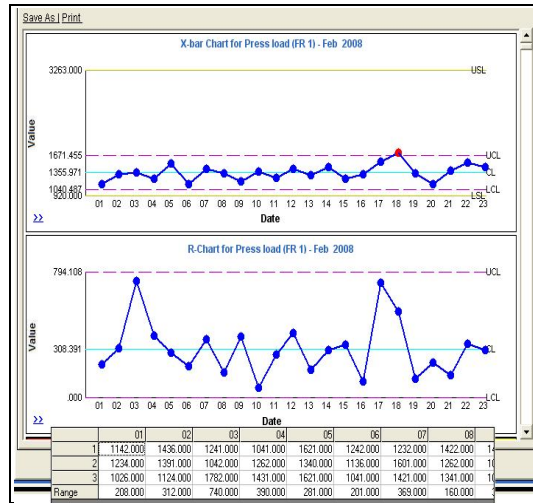


Rajah 4: Kemasukan data

Peraturan carta kawalan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5 membenarkan pengguna menentukan peraturan mengikut keperluan syarikat. Ia memberi isyarat kepada pengguna dalam bentuk kod berwarna merah atau kuning sekiranya peraturan tersebut tidak dipatuhi. Dalam antara muka ini, pengguna diberi pilihan sama ada untuk menganggap peraturan yang dipatuhi sebagai tidak bagus atau sebagai tanda amaran. Peraturan carta kawalan yang dibangunkan hanya mewakili carta purata atau min sahaja ($X\text{-bar}$). Untuk carta julat (R) dan sisihan piawai (s) kod berwarna merah akan muncul secara automatik jika titik tersebut berada di luar had kawalan (Rajah 6). Melalui penjanaan carta kawalan dan pengiraan had-had kawalan yang dipaparkan dalam Rajah 6, pengguna berupaya mengenal pasti keadaan variasi sama ada normal atau di sebaliknya. Pengiraan indeks kebolehpayaan turut dijanakan secara automatik bagi menentukan kestabilan proses. Sistem SPC terbina ini terdiri daripada dua jenis pilihan carta kawalan. Melalui kajian yang dijalankan, carta kawalan $X\text{-bar}$ dan R cenderung digunakan oleh kebanyakan syarikat pembuatan automotif dan pembuatan PKS lain. Label pada paksi- x atau mendatar mempunyai tiga pilihan utama, iaitu berdasarkan tarikh, bilangan sub-kumpulan atau frekuensi. Contohnya, jika pemilihan tarikh dibuat, maka label pada paksi- x adalah berdasarkan tarikh untuk data kualiti yang dimasukkan. Tambahan lagi, fungsi percetakan untuk carta kawalan, dan fungsi penyimpanan rajah dalam format imej turut dibangunkan dalam antara muka ini. Melalui carta kawalan yang terbina, nilai purata, julat atau sisihan piawai boleh dirujuk dengan mengklik ikon di bawah graf masing-masing bagi memaparkan nilai-nilai data yang dikira secara automatik.

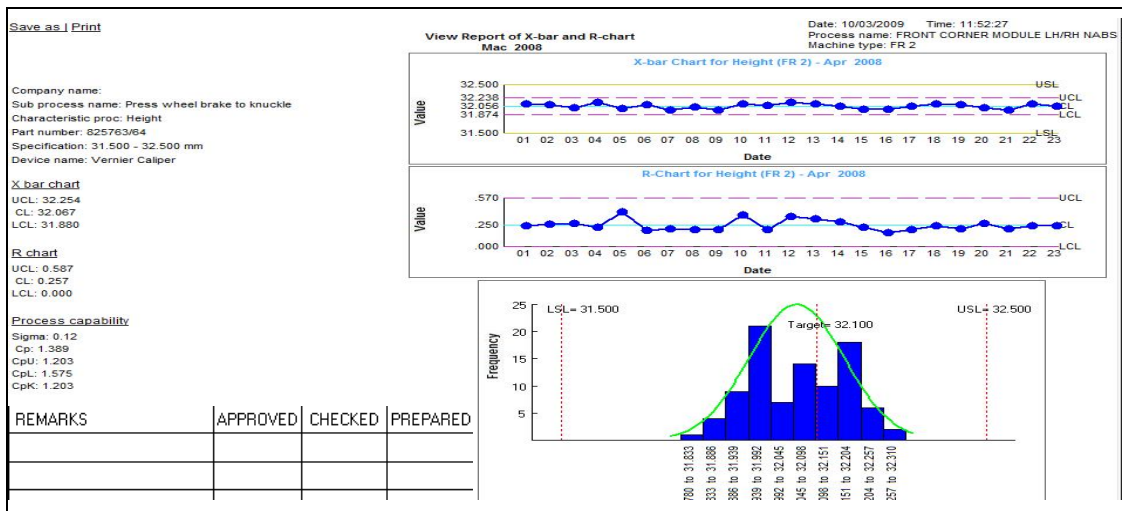
Add variable		Process name: FRONT CORNER MODULE LH/RH NABS		Part Code: FR	
Variable	Data entry	View data	Variable calculation and gr		
Process capability study		Control chart rules		View histogram	
Control chart rules					
Select the control chart rules					
<input checked="" type="checkbox"/>	1 point above Upper Control Limit	<input type="radio"/> Not good	<input type="radio"/> Warning		
<input type="checkbox"/>	7 points in a row above Center Limit	<input type="radio"/> Not good	<input type="radio"/> Warning		
<input type="checkbox"/>	7 points in a row increasing	<input type="radio"/> Not good	<input type="radio"/> Warning		
<input type="checkbox"/>	7 points in a row increasing above Center Limit	<input type="radio"/> Not good	<input type="radio"/> Warning		
<input checked="" type="checkbox"/>	1 point below Lower Control Limit	<input type="radio"/> Not good	<input type="radio"/> Warning		
<input type="checkbox"/>	7 points in a row below Center Limit	<input type="radio"/> Not good	<input type="radio"/> Warning		
<input type="checkbox"/>	7 points in a row decreasing	<input type="radio"/> Not good	<input type="radio"/> Warning		
<input type="checkbox"/>	7 points in a row decreasing below Center Limit	<input type="radio"/> Not good	<input type="radio"/> Warning		

Rajah 5: Peraturan carta kawalan



Rajah 6: Carta kawalan

Tambahan lagi, laporan untuk prestasi proses secara bulanan dipaparkan dalam satu bahagian yang sama (Rajah 7). Laporan tersebut merumuskan semua maklumat penting untuk dipersembahkan kepada pengurusan atasan atau pelanggan, seperti carta kawalan, histogram, kebolehpayaan proses. Ia boleh disimpan dalam fail elektronik atau dicetak sebagai rujukan; serta ruangan oleh pihak yang menyediakan, menyemak dan mengesahkan laporan turut dibekalkan dalam sistem ini. Pihak syarikat juga boleh membuat sebarang catatan dalam ruangan kotak yang disediakan, contohnya tindakan lanjutan terhadap permasalahan yang berlaku pada bulan tersebut.

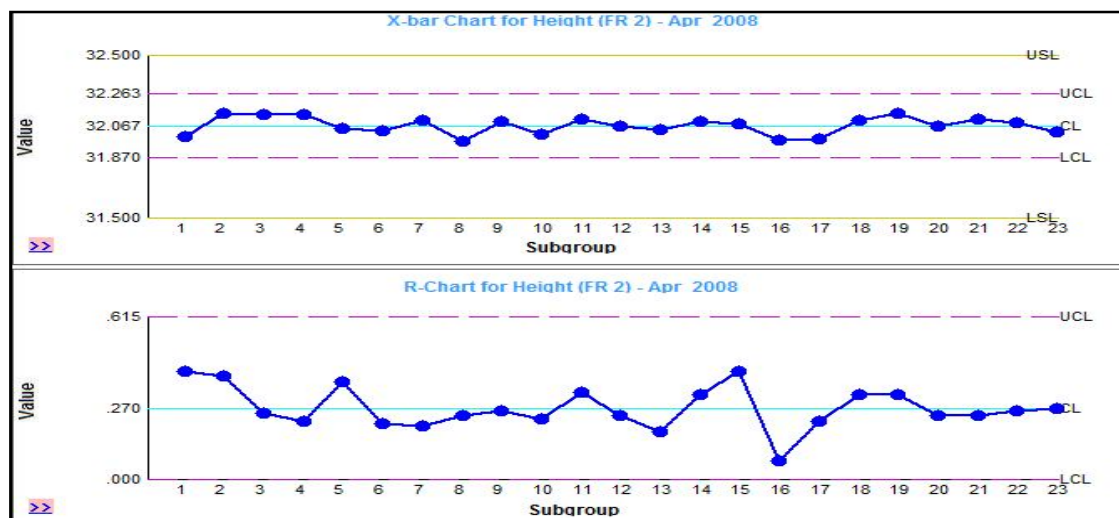


Rajah 7: Laporan bulanan

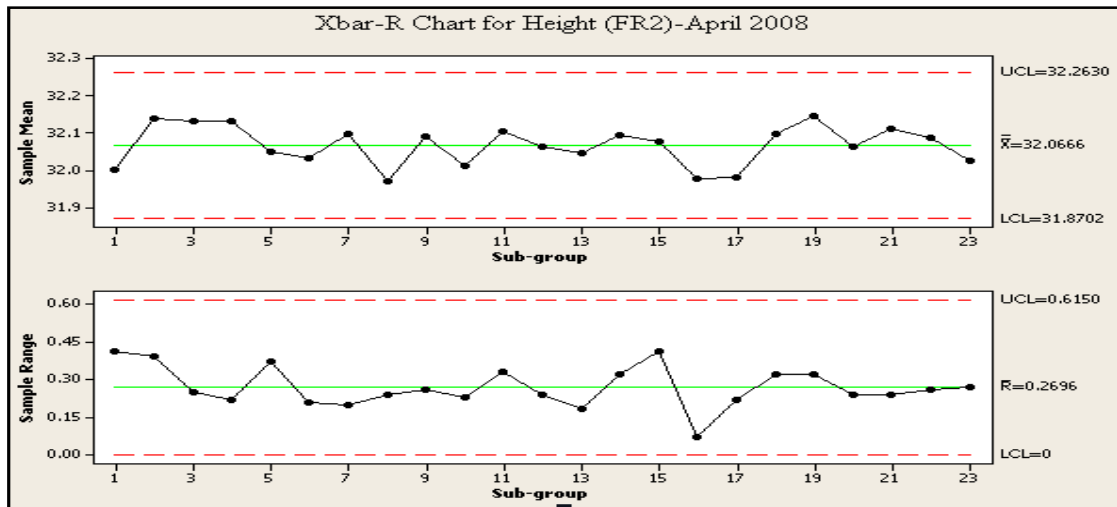
Kesimpulannya, SMEs-SPC adalah lebih ringkas berbanding dengan perisian SPC lain kerana sumber utama untuk pembangunan sistem ini adalah berasaskan kertas graf atau helaian kawalan proses yang diaplikasikan oleh syarikat J dan syarikat lain. Bahagian seterusnya membincangkan tentang aplikasi sistem SMEs-SPC yang melibatkan data syarikat J dan kaedah pengesahan untuk memantapkan lagi pembangunan sistem.

4.3. Pengesahan Sistem SPC

Pengesahan sistem SPC di syarikat PKS lebih memfokuskan terhadap kebolegunaan, reka bentuk antara muka, keperluan oleh pihak PKS, penilaian terhadap fungsi atau operasi dan pengendalian sistem ini secara praktikal. Kewujudan perisian khusus SPC dapat membantu dalam membuat perbandingan pengiraan dan pencartaan. Oleh itu, perisian yang dipilih ialah Minitab kerana ia merupakan perisian paling kerap digunakan oleh pengamal SPC di industri. Pembinaan carta kawalan dalam Minitab bertujuan untuk memperkukuhkan lagi keputusan pengiraan dan penjanaan melalui data yang dibekalkan oleh syarikat J. Berdasarkan kepada Rajah 8 dan Rajah 9, carta kawalan ini terdiri daripada garis-garis pemisah yang diwakili oleh 92 sampel. Secara bandingan, carta kawalan yang dibangunkan dalam sistem SMEs-SPC (Rajah 8) memberi keputusan sama dengan yang dibangunkan dalam Minitab (Rajah 9). Selain itu, perbandingan dengan helaian kawalan proses atau kertas graf yang sedia ada turut dilaksanakan untuk mengesahkan ketepatan sistem yang dibangunkan. Kesimpulannya, kaedah pengesahan telah menepati nilai keputusan yang dilaksanakan dalam sistem SMEs-SPC. Walaupun pengesahan ini memerlukan masa yang panjang untuk diuji pada semua data, namun ia memberikan nilai keputusan yang sama untuk proses-proses lain setelah ujian diselesaikan.



Rajah 8: Keputusan analisis carta kawalan *X-bar* dan *R* bagi ketinggian di antara sendi dan cakera brek melalui SMEs-SPC



Rajah 9: Keputusan analisis carta kawalan X -bar dan R bagi ketinggian di antara sendi dan cakera brek melalui Minitab

Peringkat akhir dalam proses pembangunan ialah penilaian ke atas sistem SMEs-SPC oleh responden syarikat J dan syarikat PKS lain. Menurut penilaian responden, keperluan alat kawalan kualiti SPC yang berasaskan komputer ini sudah memadai untuk diaplikasikan oleh pihak PKS. Ini kerana, tidak semua alat statistik diaplikasikan di bahagian pengeluaran bagi memantau proses secara atas talian. Maka input-input yang dibangunkan untuk penyimpanan data, pengiraan dan penjanaan graf seperti kemasukan data, paparan data, pemilihan jenis carta kawalan mampu memberi pemahaman kepada pekerja yang berpendidikan rendah untuk menggunakan sistem ini. Selain itu, seperti yang diterangkan sebelum ini, senarai data yang direkodkan dalam *main list* dan gambar rajah pokok (*tree diagram*) memudahkan pencarian atau pencapaian data dengan cepat berbanding dengan helaian kertas graf yang didokumenkan.

Secara umumnya, keperluan utama oleh pihak PKS dalam pelaksanaan SPC ialah carta kawalan X -bar dan R , dan semestinya mempunyai ciri perisian yang mesra pengguna untuk semua peringkat; berupaya untuk menyimpan data dengan mudah serta mengurangkan penggunaan helaian kawalan proses; berupaya menjana graf, menjalani pengiraan kebolehpayaan proses, purata, dan sisihan piawai secara automatik; mengemaskinikan data jika terdapat pengubahsuaian; menghasilkan laporan yang lengkap; memudahkan aktiviti semakan semula ke atas data yang direkodkan; menyimpan maklumat atau ciri-ciri proses yang direkodkan, dan akhir sekali boleh diakses oleh semua pihak untuk penyebaran maklumat. Semua keperluan utama PKS telah dipenuhi dalam sistem SMEs-SPC. Oleh itu, ia sangat sesuai untuk diaplikasikan dengan lebih praktikal oleh pihak pengeluaran. Reka bentuk yang dibangunkan juga menggambarkan susunan struktur yang mudah difahami tanpa memerlukan kemahiran komputer yang tinggi.

Pembangunan sistem ini telah membuktikan beberapa faktor yang mempengaruhi kebolegunaan sistem oleh pekerja pengeluaran yang tidak mempunyai latar belakang statistik yang kukuh, membenarkan pengguna berkongsi sistem, dan maklumat data pada masa yang fleksibel dalam ruangan syarikat. Antara muka grafik yang dibekalkan dalam sistem ini adalah cukup ringkas untuk mereka mengendalikan analisis statistik, yang mana memberi peluang kepada pihak syarikat membuat penyelesaian masalah dengan cepat. Sementara itu, responden daripada syarikat PKS lain menyatakan sistem SMEs-SPC sangat praktikal dengan mempunyai peralatan statistik yang ringkas, maka membenarkan pengguna

yang mempunyai latar belakang pendidikan berbeza terlibat dengan analisis. Secara keseluruhannya, mereka mempercayai bahawa sistem ini sangat sesuai untuk dipraktikkan di bahagian pengeluaran. Jadual 2 menunjukkan ringkasan keperluan atau spesifikasi utama yang terdapat dalam sistem SMEs-SPC yang selari dengan syarikat J dan PKS lain.

Jadual 2: Spesifikasi dalam SMEs-SPC

Spesifikasi sistem SMEs-SPC yang memenuhi keperluan PKS	
Carta kawalan \bar{X} -bar dan R .	✓
Mudah difahami dan mesra pengguna.	✓
Sesuai untuk pengguna berpendidikan rendah.	✓
Penyimpanan data secara sistematik.	✓
Penjanaan graf secara automatik.	✓
Pengiraan kebolehpayaan proses secara automatik.	✓
Pencarian data dan kemas kini data dengan mudah.	✓
Mudah untuk semakan data yang direkodkan.	✓
Merekod dan menyimpan data dan maklumat mengikut proses, mesin, produk atau lain-lain.	✓
Mempercepatkan operasi menganalisis data.	✓
Kemudahan mengakses data secara fleksibel	✓
Menghasilkan persembahan laporan yang lengkap.	✓

Di samping itu, sistem ini turut menyediakan beberapa fungsi tambahan kepada pihak PKS seperti kod laluan untuk tujuan perlindungan data dan maklumat penting; pemberitahuan atau amaran C_{pk} sekiranya nilai kebolehpayaan proses tidak dipatuhi, dan penghantaran laporan melalui fungsi e-mel. Di antara kelebihan lain ialah pengguna berupaya mengawal sendiri butang arahan untuk pengiraan, penjanaan graf dan penghantaran laporan; contohnya, menentukan nilai had kawalan, memilih carta kawalan dan peraturan carta kawalan untuk dibangunkan dalam sistem. Bagaimanapun, untuk menjadi lebih praktikal dan mencegah sebarang keputusan yang tidak konsisten bagi PKS lain, ujian kebolegunaan dan kesesuaian semestinya dijalankan secara berterusan bagi memenuhi permintaan pengguna.

5. Kesimpulan

Pembangunan sistem SMEs-SPC yang dicadangkan adalah bertujuan untuk meningkatkan prestasi proses yang berasaskan peralatan kualiti berstatistik. Secara keseluruhannya, kajian ini telah membincangkan permasalahan perisian atau sistem SPC dalam skop kekangan PKS sendiri, contohnya tahap pemahaman operator yang cenderung kepada kesilapan dan kelemahan dalam pelaksanaan SPC. Justeru itu, kajian ini akhirnya berjaya mengusahakan sistem SPC yang lebih praktikal untuk pengurusan data kualiti. Selain daripada menawarkan operasi statistik yang ringkas, ia membenarkan penyebaran maklumat, membantu pekerja memahami teknik SPC yang digunakan dan mengingatkan pekerja 'bila' untuk mengambil tindakan terhadap proses. Tambahan lagi, pembangunan sistem tersebut merupakan satu inisiatif untuk mendorong pekerja meningkatkan pemahaman sepenuhnya tentang proses. Selain itu, aplikasi sistem tidak memerlukan latihan yang menyukarkan pengguna kerana mereka tidak perlu bekerja dengan sebarang kod bahasa atau fungsi statistik yang rumit.

Cadangan penambahbaikan sistem perlu dikembangkan selanjutnya bagi menyelesaikan isu-isu kualiti yang kompleks oleh pihak PKS seperti memenuhi persembahan operasi yang tepat dan lengkap termasuklah spesifikasi dan input-input untuk direka bentuk dalam antara muka bagi mempengaruhi kebolegunaan sistem SPC di kalangan pekerja, dan menggabungkan semua alat kawalan kualiti agar menjadi lebih fleksibel untuk digunakan dalam persekitaran pembuatan. Seterusnya, adalah lebih baik jika sistem ini berupaya

menterjemahkan data dalam pelbagai bentuk graf dan membuat penyelesaian masalah dengan cepat. Di samping itu, membuat penambahan fungsi yang dapat merumuskan permasalahan kualiti berkaitan dengan pekerja, bahan, mesin atau kaedah bagi menganalisis proses, mencari punca masalah, menggambarkan masalah yang kritikal dan menghalang masalah yang berulang daripada berlaku.

Satu lagi aspek penting dalam pembangunan sistem ialah membekalkan fungsi yang ringkas, dan beroperasi dengan mudah, kedua-duanya sudah memenuhi skop kajian ini. Pengurusan data kualiti dalam sistem terbina ini didapati lebih baik berbanding dengan SPC secara manual, dan memberi dorongan kepada pekerja pengeluaran dalam aplikasi tersebut. Kesimpulannya, penyelidik mempercayai bahawa penggunaan sistem SPC berupaya membantu pihak organisasi melatih dan mendidik pekerja tentang SPC secepat mungkin, yang mana ia menjadi sebahagian daripada strategi untuk meningkatkan alat-alat pengurusan kualiti.

Penghargaan

Setinggi-tinggi penghargaan dan ribuan terima kasih dirakamkan kepada sumber kewangan penyelidikan utama iaitu Kementerian Sains Teknologi & Inovasi (MOSTI) dan Universiti Kebangsaan Malaysia di atas sokongan dan penajaan geran penyelidikan yang bertajuk “*Development of dynamic tool for the assessment of quality improvements within a cell-based automotive manufacturing company*” (Kod projek: 01-01-02-SF0035).

Rujukan

- Ab. Rahman M.N., Mohd Zain R., Mohd Nopiah Z., A. Ghani J., Mohd Deros B., Mohamad N. & Ahmad R. 2008. Statistical process controls in SMEs: A case study. Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on dynamical systems and control, Corfu Island, Greece.
- Ahmed S. & Hassan M. 2003. Survey and case investigations on application of quality management tools and techniques in SMEs. *International Journal of Quality & Reliability Management* **20**(7): 795-826.
- Antony J. & Taner T. 2003. A conceptual framework for the effective implementation of statistical process control. *Business Process Management Journal* **9**(4): 473-489.
- Bryman A. & Cramer D. 2005. *Quantitative Data Analysis with SPSS 12 and 13: A Guide for Social Science*. London: Routledge.
- Chodos D.L. 2007. A web-based statistical analysis framework. Thesis, Master of Mathematics, University of Waterloo.
- Dangayach G.S. & Deshmukh S.G. 2005. Advanced manufacturing technology implementation: Evidence from Indian small and medium enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Technology Management* **16**(5): 483-496.
- Das S.R., Yaylaccigi U. & Canel C. 2008. Using ISO 90003 for software design and development in large virtual teams. *Industrial Management & Data Systems* **108**(6): 775-793.
- Eriksson E. 2004. The organizational value of participating in a quality award process: Swedish study. *Emerald Group Publishing Limited* **16**(2): 78-92.
- Idris M.A., McEwan W. & Belavendram N. 1996. The adoption of ISO 9000 and total quality management in Malaysia. *The TQM Magazine* **8**(5): 65-68.
- Jiao R.J., Pokharel S., Kumar A. & Zhang L. 2007. Development of an online quality information system for e-manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management* **18**(1): 36-53.
- Krumwiede D. & Sheu C. 1996. Implementing SPC in a small organization: a TQM approach. *Integrated Manufacturing Systems* **7**(1): 45-51.
- Kuo C.H., Dunn K.D. & Randhawa S.U. 1999. A case study assessment of performance measurement in distribution centers. *Industrial Management Data Systems* **99**(2): 54-63.
- Land S.K. & Walz J.W. 2006. *Practical Support for ISO 9001 Software Project Documentation: Using IEEE Software Engineering Standards*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Lewis W.G., Pun K.F. & Lalla T.R.M. 2005. An AHP-based study of TQM benefits in ISO 9001 certified SMEs in Trinidad and Tobago. *The TQM Magazine* **17**(6):558-572.
- Marri H.B., Gunasekaran A. & Kobu B. 2003. Implementation of computer integrated manufacturing in small and medium enterprises. *Industrial and Commercial Training* **35**(5): 151-157.

- Martina I. 2003. *Microsoft SQL Server 2000*. Jakarta: PT Gramedia.
- Mohamad Zailani S.H., Lin S.K., Karia N. & Abdullah M.S. 2003. *Asas Pengurusan Operasi*. Ed. ke-2. Petaling Jaya: Penerbit Prentice Hall.
- Montgomery D.C. 2005. *Introduction to Statistical Quality Control*. Ed. ke-5. Hoboken: John Wiley & Sons.
- O'Regan N. & Ghobadian A. 2002. Effective strategic planning in small and medium sized firms. *Management Decision* **40**(7): 663-671.
- Pan X. 2006. Computer-aided SPC and cybernetic view on quality control. *International Journal of Quality & Reliability Management* **29**(9): 1192-1203.
- Perry G. 1995. *Visual Basic dalam 12 Pelajaran Mudah*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Robertson P.L. 2003. The role of training and skilled labour in the success of SMEs in developing economies. *Emerald Group Publishing Limited* **45**(8/9): 461-473.
- Saleh A.S. & Ndubisi N.O. 2006. An evaluation of SME development in Malaysia. *International Review of Business Research Papers* **2**(1): 1-14.
- Samat N., Ramayah T. & Saad N.M. 2006. TQM practices, service quality, and market orientation. *Management Research News* **29**(11): 713-728.
- Talbot N. 2003. The use of automated optical testing (AOT) in statistical process control (SPC) for printed circuit board (PCB) production. *Circuit World* **29**(4): 19-22.
- Temtime Z.T. & Solomon G.H. 2002. Total quality management and the planning behavior of SMEs in developing economies. *The TQM Magazine* **14**(3): 181-191.
- Ullman L. 2008. *PHP 6 and MySQL 5 for Dynamic Websites*. Berkeley: Peachpit Press.
- West J.K. 2004. *Excel Manual to Introductory Statistics*. Ed. ke-5. Somerset, NJ: Wiley.
- Xie M. & Goh T.N. 1999. Statistical technique quality. *The TQM Magazine* **11**(4): 238-241.
- Yin R.K. 1994. *Case Study Research: Design and Methods*. Ed. ke-2. London: Sage Publications.
- Yin R.K. 2003. *Case Study Research: Design and Methods*. Ed. ke-3. London: Sage Publications.

¹Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor D.E., MALAYSIA
Mel-e: mnizam@eng.ukm.my*; zurazain@vlsi.eng.ukm.my

²Fakulti Teknologi Maklumat & Sains Kuantitatif
Universiti Teknologi MARA (UiTM)
Bukit Ilmu, 18500 Machang, Kelantan D.N., MALAYSIA
Mel-e: surianiar@kelantan.uitm.edu.my

³Unit Pengajian Asas Kejuruteraan
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor D.E., MALAYSIA
Mel-e: zmn@eng.ukm.my

* Penulis untuk dihubungi