

Implementasi *Statistical Process Control* Pada Operasi Pengisian Produk Pangan Bubuk

Implementation of *Statistical Process Control* in Filling Operation of Powdered Food Product

Winiati Pudji Rahayu^{1,2}, Galih Nugroho¹, Andro Frando Situmorang¹

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

² South East Asian Food and Agricultural Sciences and technology (SEAFAST) Center, Institut Pertanian Bogor

Abstract. *Weight variability at pengisian operation of a food manufacturing company is a significant quality problem. Weight variability causes consumers get varied amount of products in each package. This research aims to implement statistical process control to reduce weight variability. Three sources of variability were analyzed: gage method, operator performance, and packaging weight. Analysis toward gage method using gage Repeatability and Reproducibility (R&R) analysis shows that gage method in sachet and box contributes to 3.55 and 1.30% variance of end product respectively. Analysis toward operator performance using weight adjustment analysis shows underadjustment (operator missed knob adjustment while average weight is out of control) is a significant variability source. Analysis toward packaging weight using consistency analysis in \bar{X} -R chart shows supplier B has out of control weight consistency. Tightening of product weight monitoring by operator with 15 minutes interval shows reduction in standard deviation from 0.0407 to 0.0298 and changes average product weight from 2.028 to 2.001 g, closer to target weight 2.000 g. Feasibility study for the solution is conducted by mapping operator's activity in Gantt chart and shows that solution to tighten product weight monitoring by operator is feasible.*

Keywords: *Variability, statistical process control, pengisian, gage R&R, control chart*

Abstrak. Variabilitas berat produk pada operasi pengisian yang terjadi pada pangan bubuk dalam kemasan merupakan masalah kualitas yang signifikan karena pembeli akan mendapat jumlah produk yang bervariasi dalam setiap kemasan yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan *statistical process control* untuk mereduksi variabilitas tersebut. Tiga sumber variabilitas yang dianalisis adalah metode penimbangan, kinerja operator, dan berat kemasan. Analisis terhadap metode penimbangan yang dilakukan dengan uji *gage Repeatability and Reproducibility* (R&R) menunjukkan bahwa metode penimbangan pada pengukuran berat produk pada *sachet* dan *box* berdampak terhadap 3.55 dan 1.30% variasi produk akhir. Analisis terhadap kinerja operator yang dilakukan dengan uji ketepatan pengaturan berat menunjukkan bahwa *under-adjustment*, yaitu terlewatnya pengaturan *knob* mesin pengisian saat beratnya diluar batas kontrol, merupakan sumber variabilitas yang signifikan. Analisis terhadap berat kemasan yang dilakukan dengan uji konsistensi menggunakan bagan kendali \bar{X} -R menunjukkan bahwa konsistensi berat kemasan 1 diantara 2 suplier berada diluar batas kontrol. Pengetatan prosedur monitoring berat produk dengan interval 15 menit mampu mengubah rata-rata berat produk dari 2.028 menjadi 2.001 g, mendekati target berat produk 2.000 g.

Kata kunci: Variabilitas, *Statistical Process Control*, pengisian, *gage R&R*, *control chart*

Aplikasi Praktis: Metode uji kinerja metode penimbangan, uji kinerja operator pada pengaturan berat produk, dan uji konsistensi berat kemasan mampu mengkuantifikasi dampak dari faktor metode, manusia, dan material terhadap variabilitas produk pangan bubuk dalam kemasan. Pendekatan formulasi solusi untuk perbaikan prosedur monitoring oleh operator dapat digunakan sebagai acuan dalam mengatasi variabilitas berat produk pada manufaktur produk pangan lainnya.

PENDAHULUAN

Departemen manajemen mutu memegang peran sentral terhadap konsistensi kualitas produk seiring perubahan strategi perusahaan dari *niche products* menjadi *mass products*. Manajemen mutu dilakukan pada seluruh lini operasi, mulai dari bahan baku, *work-in-process*,

hingga produk akhir. Peningkatan jumlah produksi akibat perubahan strategi meningkatkan variabilitas mutu produk. Variabilitas mutu menandakan risiko tidak tercapainya harapan konsumen pada produk yang menyebabkan kerugian perusahaan. Maka dari itu, diperlukan metode yang sistematis untuk mengatasi variabilitas produk.

Perusahaan memilih *statistical process control* (SPC), yaitu alat reduksi variabilitas dengan teknik statistik menggunakan prinsip six sigma (Schroeder *et al.* 2008), untuk menjaga variabilitas produk. Prinsip *six sigma* adalah reduksi variabilitas nilai rata-rata proses (Kanji 2008) yang efektif menjaga kualitas produk untuk memenuhi ekspektasi konsumen (Drohomeretski *et al.* 2013).

Mengacu pada *European Business Excellence Model*, implementasi SPC pada beberapa jenis industri telah berkembang pesat (Lim 2014). Pada perusahaan manufaktur pesawat terbang, SPC mereduksi variasi kualitas komponen produk sehingga meningkatkan penjualan dari US \$30 juta menjadi US \$205 juta per tahun setelah 12 tahun implementasi (Akbulut-Bailey 2012). Pada perusahaan manufaktur panel sentuh, SPC mereduksi jumlah produk cacat dari 32 menjadi 15% sehingga mereduksi biaya produksi dan peningkatan kepuasan konsumen (Chen 2009). Pada perusahaan aksesoris elektronik otomotif, SPC mereduksi jumlah komponen cacat sebesar 18% dalam waktu 16 minggu sehingga mereduksi biaya produksi (Yi 2012).

Meskipun implementasi SPC pada industri lain telah berkembang pesat, implementasi SPC pada industri pangan masih perlu dikembangkan (Lim 2014). Hal ini disebabkan karena terbatasnya referensi tentang implementasi SPC pada industri pangan yang karakternya beragam dan kebanyakan penelitian SPC masih bersifat teoritis. Oleh karena itu, dilakukan penelitian implementasi SPC untuk sebuah kasus terapan, yaitu variabilitas berat produk pangan bubuk dalam operasi pengisian.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

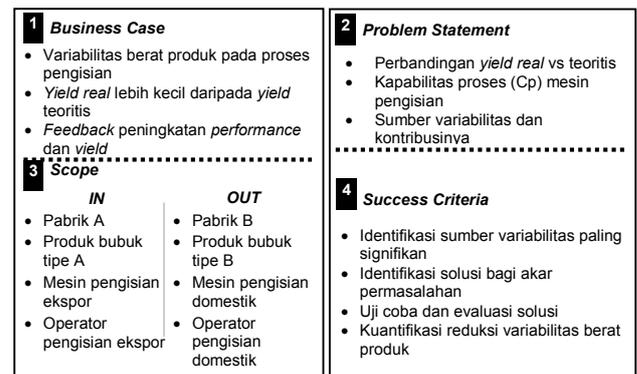
Alat yang digunakan meliputi pengisian *machine twin lane powder sachet with volumetric dosing group*, penimbang digital, penampang meja dan kursi, alarm, *personal computer*, dan *software Minitab 17*. Bahan yang digunakan adalah bubuk pemanis rendah kalori, *sachet* dengan bahan baku *metalized plastic*, dan *box* dengan bahan baku kertas dupleks.

Metode Penelitian

Implementasi SPC pada proses pengisian dilakukan untuk mensintesis solusi operasional yang mengacu pada prinsip *Six Sigma*, yaitu mereduksi variasi kualitas produk. Prinsip *Six Sigma* yang dipakai adalah *define measure improve analyze control* (DMAIC) yang merupakan prosedur *problem-solving* terstruktur dalam peningkatan kualitas dan proses (Chakraborty dan Shah 2012). Metode DMAIC terdiri dari lima langkah berikut yang mengacu pada Montgomery (2013).

Pembuatan Project Charter

Pembuatan *project charter* berguna untuk menjelaskan latar belakang masalah, mendefinisikan masalah dan cakupannya, serta menentukan kriteria keberhasilan proyek seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan proyek

Pengukuran Kinerja Proses Pengisian

Sampling dilakukan dengan menimbang berat produk dalam *sachet* hasil produksi dua mesin pengisian ekspor, yaitu mesin pengisian 1 dan 2. Sampling dilakukan di 9 outlet masing-masing sebanyak 30 sampel. Pengambilan sampel diulang sebanyak lima ulangan. Interval pengambilan sampel dilakukan setiap 15 menit. Kemudian sampel ditimbang beratnya menggunakan timbangan *digital analytical semi-micro balances* tipe GR yang diproduksi oleh A&D Company.

Selain itu, langkah *measure* juga mengevaluasi kinerja operator pada mesin pengisian. Evaluasi kinerja operator dilakukan dengan mencatat setiap pengaturan berat produk oleh dua orang operator.

Identifikasi Akar Masalah Variabilitas Berat Produk

Akar masalah diidentifikasi dengan melakukan dua tahap berikut: (1) menghitung indeks kapabilitas proses (C_p) setiap mesin pengisian; (2) mengidentifikasi dan menganalisis setiap sumber variabilitas pada mesin pengisian. Indeks C_p dihitung dengan terlebih dahulu membuat bagan kendali \bar{X} -R sesuai data sampling dari langkah *measure*. Setelah membuat bagan kendali, diketahui nilai USL, LSL, dan σ untuk menghitung C_p seperti pada persamaan (1).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \tag{1}$$

dimana: C_p = Indeks kapabilitas proses; USL = *Upper specification limit*; LSL = *Lower specification limit*; σ = Standar deviasi

Identifikasi sumber variabilitas terhadap faktor metode, manusia, mesin, dan material dilakukan dengan diagram Ishikawa. Analisis setiap sumber variabilitas dilakukan sebagai berikut.

Analisis terhadap faktor metode

Analisis metode penimbangan dilakukan terhadap produk dalam dua jenis kemasan, yaitu *sachet* dan *box* seperti berikut:

Analisis kapabilitas metode penimbangan produk dalam sachet (Montgomery 1993). Sampel bubuk dalam kemasan *sachet* diambil dari hasil penimbangan dari dua operator pada dua mesin pengisian (A dan B), masing-masing sebanyak 20 sampel dengan dua kali ulangan.

Kemudian sampel ditimbang beratnya menggunakan timbangan *digital analytical semi-micro balances* tipe GR yang diproduksi oleh A&D Company.

Analisis kapabilitas metode penimbangan produk dalam *sachet* dilakukan dengan uji *gage R&R classic* yang terdiri dari tiga tahap: (1) menghitung variasi yang disebabkan penimbangan ($\sigma^2_{\text{penimbangan}}$); (2) menghitung variasi total (σ^2_{total}) dan variasi yang disebabkan produk (σ^2_{produk}); (3) menghitung persentase variasi penimbangan ($\% \sigma^2_{\text{penimbangan}}$) dan persentase variasi produk ($\% \sigma^2_{\text{produk}}$).

Pertama, $\sigma^2_{\text{penimbangan}}$ dihitung dengan menjumlahkan variasi *repeatability* ($\sigma^2_{\text{repeatability}}$) dan variasi *reproducibility* ($\sigma^2_{\text{reproducibility}}$) menggunakan persamaan (2)-(6). Kedua, variasi total (σ^2_{total}) diperoleh dengan menghitung varian dari data *sampling* variabilitas berat akibat penimbangan pada *sachet* sedangkan variasi yang disebabkan produk (σ^2_{produk}) dihitung dengan persamaan (7). Ketiga, persentase variasi penimbangan ($\% \sigma^2_{\text{penimbangan}}$) dengan persentase variasi produk ($\% \sigma^2_{\text{produk}}$) dibandingkan menggunakan persamaan 8-9. Perbandingan $\% \sigma^2_{\text{penimbangan}}$ dengan $\% \sigma^2_{\text{produk}}$ bertujuan untuk mengetahui kontributor terbesar pada variabilitas berat produk dalam kemasan *sachet*, yaitu metode penimbangan atau produk.

$$\sigma_{\text{repeatability}} = \bar{R}/d_2 \tag{2}$$

$$\sigma^2_{\text{repeatability}} = (\sigma_{\text{repeatability}})^2 \tag{3}$$

$$\sigma_{\text{reproducibility}} = R\bar{X}/d_2 \tag{4}$$

$$\sigma^2_{\text{reproducibility}} = (\sigma_{\text{reproducibility}})^2 \tag{5}$$

$$\sigma^2_{\text{penimbangan}} = \sigma^2_{\text{repeatability}} + \sigma^2_{\text{reproducibility}} \tag{6}$$

$$\sigma^2_{\text{produk}} = \sigma^2_{\text{total}} - \sigma^2_{\text{penimbangan}} \tag{7}$$

$$\% \sigma_{\text{penimbangan}} = \frac{\sigma^2_{\text{penimbangan}}}{\sigma^2_{\text{total}}} \times 100\% \tag{8}$$

$$\% \sigma^2_{\text{produk}} = \frac{\sigma^2_{\text{produk}}}{\sigma^2_{\text{total}}} \times 100\% \tag{9}$$

dimana: \bar{R} = Nilai rata-rata $\bar{R}_{\text{operator 1}}$ dan $\bar{R}_{\text{operator 2}}$; $R\bar{X}$ = *range* rata-rata $\bar{X}_{\text{operator 1}}$ dan $\bar{X}_{\text{operator 2}}$; d_2 = konstanta bagan kendali untuk mengkonversi *range* menjadi standar deviasi; $d_2 (n=2) = 1.128$; σ = standar deviasi; σ^2 = varian

Analisis kapabilitas metode penimbangan produk dalam box (Montgomery 1993). Sampel produk dalam *box* diambil dengan perlakuan dua alas penimbangan (di atas meja dan diatas kursi) dan dua kondisi lingkungan (dengan dan tanpa ekspos angin), masing-masing sebanyak 20 sampel dengan dua kali ulangan. Kemudian sampel ditimbang beratnya menggunakan timbangan *digital precision industrial balances* tipe GX-K yang diproduksi oleh A&D Company.

Analisis kapabilitas metode penimbangan produk dalam *box* dilakukan seperti pada analisis kapabilitas metode penimbangan produk dalam *sachet*. Selanjutnya dilakukan uji *extended gage R&R* untuk menguji pengaruh interaksi perlakuan pada berat produk akhir (Johnson

2014) dengan melakukan uji ANOVA menggunakan software Minitab 17.

Analisis terhadap faktor manusia dan mesin (Rai 2008)

Analisis dilakukan dengan menggunakan data pengaturan berat produk oleh operator dari langkah *measure*. Setiap pengaturan berat produk yang dilakukan operator pada subgrup *n* dicatat dan dibandingkan dengan berat rata-rata produk pada subgrup *n+1*. Perbandingan tersebut menentukan kinerja pengaturan berat produk oleh operator.

Kinerja pengaturan berat oleh operator diklasifikasikan menjadi dua, yaitu pengaturan tepat dan tidak tepat. Pengaturan tepat dibagi menjadi dua: (1) tepat efektif apabila berat rata-rata subgrup setelah pengaturan berada di dalam batas kontrol; (2) tepat tidak efektif apabila berat rata-rata subgrup setelah pengaturan berada di luar batas kontrol. Batas kontrol ditentukan dengan bagan kendali \bar{X} -R yang dibuat pada langkah *analyze* – perhitungan Cp mesin pengisian. Apabila pengaturan tepat tidak efektif memiliki frekuensi terbanyak, maka penelitian dilanjutkan dengan analisis faktor mesin. Pengaturan tidak tepat dibagi menjadi tiga: (1) *under-adjustment* apabila berat rata-rata subgrup berada di luar batas kontrol namun operator tidak melakukan pengaturan; (2) *over-adjustment*, apabila berat rata-rata subgrup di dalam batas kontrol namun operator melakukan pengaturan; (3) *misadjustment* apabila berat rata-rata diatas batas kontrol atas namun operator justru meningkatkan berat dan sebaliknya.

Analisis terhadap faktor material (Montgomery 2013)

Analisis dilakukan dengan menguji konsistensi berat 4 jenis lembaran *box* dari 2 suplier. Uji konsistensi berat dilakukan pada lembaran *box* seluas 100 cm² dengan bagan kendali \bar{X} -R. Lembaran dari suplier A memiliki dimensi kecil, sedang, dan besar sedangkan lembaran dari suplier B hanya memiliki dimensi sedang. Berat rata-rata setiap tipe *box* juga dibandingkan terhadap spesifikasi perusahaan, yaitu 2.98, 3.84, 3.84, dan 3.36 g/100cm² secara berturut-turut untuk *box* tipe satu, dua, tiga, dan empat.

Uji Coba dan Uji Kelayakan Solusi Peningkatan Kinerja Operator

Uji coba dilakukan untuk menguji efektivitas solusi pada faktor manusia yang diduga menjadi faktor signifikan pada variabilitas berat. Solusi yang diuji adalah meningkatkan kinerja pengaturan berat produk oleh operator dengan memperketat pengawasan terhadap *monitoring* berat produk dalam *sachet*. Interval *monitoring* berat adalah 15 menit yang mengacu pada dugaan *shifting* kinerja mesin mengacu pada hasil langkah *measure* dan *analyze*. Hasil *monitoring* berat diuji dengan *sampling* pada 9 outlet masing-masing sebanyak 15 sampel. Setiap sampel diambil dengan lima ulangan. Interval pengambilan sampel dilakukan setiap 15 menit. Pengambilan sampel dilakukan setelah operator melakukan *monitoring* berat produk. Kemudian sampel ditimbang beratnya menggunakan timbangan *digital analytical semi-micro balances* tipe GR yang diproduksi oleh A&D Company. Hasil uji coba solusi ditampilkan dengan histogram dan bagan ken-

dali \bar{X} -R kemudian dibandingkan terhadap hasil evaluasi kinerja mesin pengisian pada langkah *measure*.

Studi kelayakan terhadap solusi *monitoring* berat produk dalam *sachet* dengan interval 15 menit dilakukan dengan *sampling* aktivitas operator. *Sampling* aktivitas setiap menit operator dilakukan selama 45 menit terhadap dua operator (operator A dan B) yang bekerja pada dua jenis periode *batch* (periode awal dan akhir) untuk menganalisis pola aktivitas operator akibat perbedaan periode *batch*. Hasil *sampling* pola aktivitas operator dipetakan dengan *Gantt chart*.

Pembuatan Counteraction Plan

Tujuan pembuatan *counteraction plan* adalah mengintegrasikan semua solusi bagi setiap masalah yang diidentifikasi pada langkah *analyze* (Hung 2011). *Counteraction plan* terhadap masalah variabilitas berat produk dalam operasi pengisian mengidentifikasi solusi terhadap empat faktor, yaitu faktor metode, manusia, mesin, dan material.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Kinerja Proses Pengisian

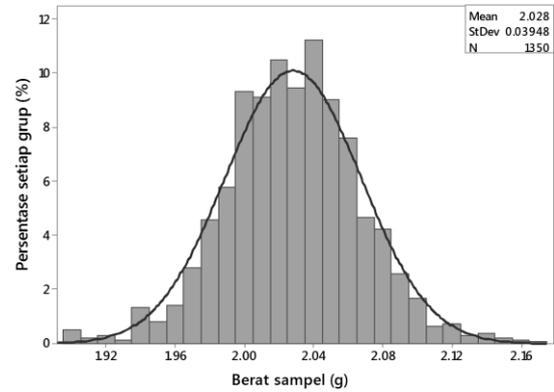
Hasil *sampling* terhadap dua buah mesin pengisian merupakan *baseline performance* yang menjadi acuan kinerja proses (Gambar 2). Rata-rata berat produk dari mesin pengisian 2 (2.012 g) lebih mendekati spesifikasi perusahaan (2.000 ± 0.050 g) dibandingkan rata-rata berat produk dari mesin pengisian 1 (2.028 g) dengan standar deviasinya (0.0351) juga lebih kecil dibandingkan dengan standar deviasi mesin pengisian 1 (0.0395). Histogram mesin pengisian 1 menunjukkan bentuk distribusi normal dengan frekuensi berat produk terbanyak 2.040 g yang menyebabkan rata-rata berat produk melewati spesifikasi perusahaan sehingga secara keseluruhan produk kelebihan isi. Histogram mesin pengisian 2 menunjukkan bentuk condong ke kanan dengan frekuensi berat produk terbanyak 2.000 g menyebabkan rata-rata berat produk juga melewati spesifikasi perusahaan, namun lebih kecil dibandingkan berat rata-rata mesin pengisian 1.

Akar Masalah Variabilitas Berat Produk

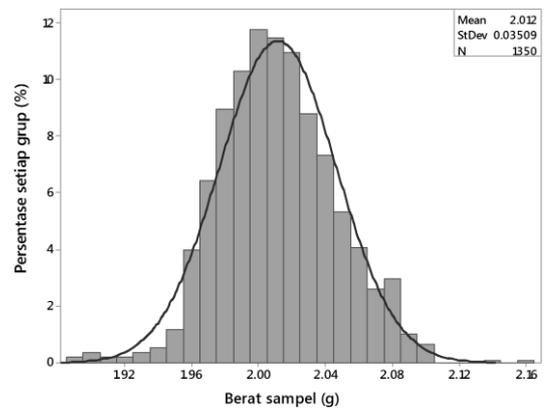
Kapabilitas proses mesin pengisian

Hasil uji kapa-bilitas proses ditampilkan pada Gambar 3a dan 3b. Mesin pengisian 1 memiliki C_p 1.04 dan mesin pengisian 2 memiliki C_p 1.35. Mesin pengisian 1 memiliki kapabilitas proses yang baik namun membutuhkan pengendalian karena C_p mendekati 1.00 sedangkan mesin pengisian 2 tidak membutuhkan pengendalian karena $C_p > 1.33$. Kedua hasil uji menunjukkan $C_p > 1.00$ yang berarti bahwa proses pengisian masih mampu untuk mengisi produk dengan presisi yang baik. Kapabilitas proses mesin pengisian 2 (1.35) yang lebih besar daripada mesin pengisian 1 (1.04) menunjukkan bahwa kinerja mesin pengisian 2 lebih baik daripada kinerja mesin pengisian 1. Hal ini juga ditunjukkan oleh jumlah subgrup diluar batas kendali pada mesin pengisian 2 (lima subgrup) lebih sedikit daripada mesin pengisian 1 (enam subgrup) yang berarti terdapat lebih sedikit sampel pada mesin pengisian 2 yang berat rata-ratanya diluar batas kendali. Selain itu, *range* rata-rata mesin pengisian 2

(0.0287) yang lebih kecil daripada mesin pengisian 1 (0.0242) juga menunjukkan variasi berat sampel pada mesin pengisian 2 lebih kecil daripada mesin pengisian 1. Maka dari itu, kesimpulan dari evaluasi kinerja operasi pengisian adalah kinerja operasi mesin pengisian 2 lebih baik daripada kinerja operasi mesin pengisian 1.



a. Mesin pengisian 1



b. Mesin pengisian 2

Gambar 2. Histogram berat produk mesin pengisian

Identifikasi dan analisis sumber variabilitas

Hasil identifikasi sumber variabilitas dengan diagram Ishikawa ditampilkan pada Gambar 4. Sumber variabilitas mencakup empat faktor, yaitu faktor metode, manusia, mesin, dan material. Faktor metode mencakup variabel pada metode penimbangan, yaitu permukaan timbang dan kondisi lingkungan. Faktor manusia mencakup kinerja pengaturan operator terhadap *knob* mesin pengisian. Faktor mesin mencakup efektivitas *knob* dan stabilitas *feeder*. Faktor material mencakup variasi berat kemasan dan bahan baku.

Hasil analisis terhadap sumber variabilitas berat adalah sebagai berikut.

Kinerja metode penimbangan produk. Hasil uji *gage R&R classic* pada metode penimbangan produk dalam *sachet* dan *box* dengan ditampilkan pada Tabel 1. Metode penimbangan bukan merupakan sumber variabilitas signifikan karena hanya menyebabkan 3.55 dan 1.30% variasi pada *sachet* dan *box*. Variasi disebabkan pengulangan penimbangan ditunjukkan oleh $\sigma^2_{repeatability}$ sedangkan variasi disebabkan perbedaan prosedur penimbangan disebabkan oleh $\sigma^2_{reproducibility}$. Penyebab variasi penimbangan terbesar pada *sachet* adalah pengulangan penim-

bangun sedangkan pada *box* adalah perbedaan prosedur penimbangan. Variasi akibat pengulangan penimbangan diatasi dengan peningkatan kalibrasi timbangan sedangkan variasi akibat perbedaan prosedur penimbangan dapat diatasi dengan mengeliminasi faktor pengganggu, yaitu angin dan permukaan kursi.

Tabel 1. Uji gage R&R pada metode penimbangan

Deskripsi	Penimbangan	Produk	Total
Sachet			
Standar deviasi (σ)	0.005319	0.028098	0.028600
Variasi (σ^2)	0.000029	0.000789	0.000818
Repeatability	0.000028	-	-
Reproducibility	0.000001	-	-
Persen variasi ($\% \sigma^2$)	3.55	96.45	100.00
Box			
Standar deviasi (σ)	0.076463	1.051841	1.058800
Variasi (σ^2)	0.014594	1.106371	1.120965
Repeatability	0.005847	-	-
Reproducibility	0.008748	-	-
Persen variasi ($\% \sigma^2$)	1.30	98.70	100.00

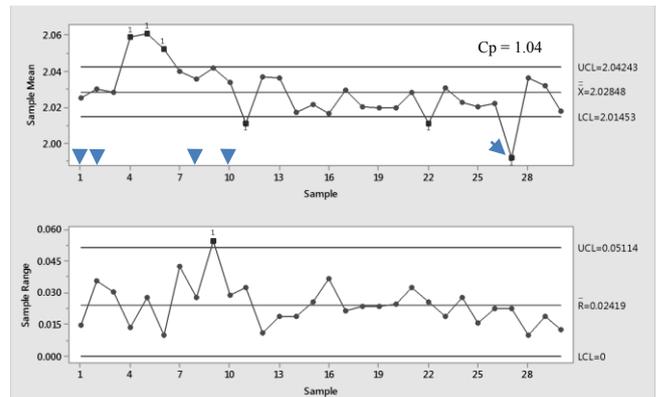
Tabel 2. Hasil uji ANOVA metode penimbangan pada box

Source	DF ^a	Seq SS ^b	Adj SS ^c	Adj MS ^d	F	P
Sampel	19	132.7846	132.7846	6.9887	8.59	0.000
Angin	1	0.5772	0.5772	0.5772	0.61	0.508
Permukaan	1	0.0446	0.0446	0.0446	0.05	0.848
Sampel*Angin	19	8.4500	8.4500	0.4447	4.10	0.000
Sampel*Permukaan	19	9.0645	9.0645	0.4771	4.40	0.000
Angin*Permukaan	1	0.6163	0.6163	0.6163	5.69	0.019
Repeatability	99	162.2674	10.7302	0.1084		
Total	159					

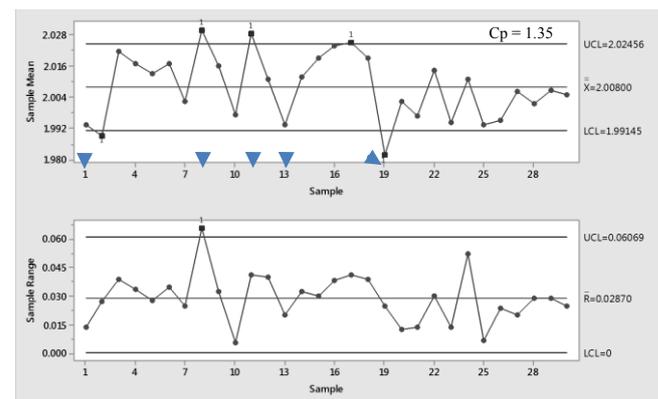
Keterangan: ^aDegree of Freedom; ^bSequential Sum of Squares; ^cAdjusted Sum of Squares; ^dAdjusted Mean Squares; *interaksi

Hasil uji *extended gage R&R* pada *box* ditunjukkan pada Tabel 2. Sumber variabilitas yang memiliki nilai $p < 0.05$ merupakan sumber signifikan sehingga sampel, sampel*angin, sampel*permukaan, dan angin*permukaan merupakan sumber variabilitas signifikan. Namun, karena uji hanya mengamati penimbangan, maka setiap elemen sampel diabaikan sehingga hanya angin*permukaan yang merupakan sumber variabilitas signifikan pada faktor metode penimbangan. Faktor yang diduga menyebabkan variasi pada variabel angin dan permukaan adalah ekspos angin akibat *blower* dan permukaan kursi yang tidak stabil. Oleh karena itu, metode penimbangan harus mengeliminasi ekspos angin dan hanya menggunakan meja pada operasi penimbangan untuk mereduksi $\sigma^2_{\text{penimbangan}}$.

Pada penelitian di perusahaan manufaktur kromatografi gas, uji *gage R&R classic* berhasil mereduksi *defect rate* sebesar 60%. Perusahaan menguji tiga sumber, yaitu kolom kromatografi, operator, dan sampel. Hasil uji menunjukkan bahwa kolom kromatografi merupakan sumber signifikan yang ditunjukkan oleh *percent tolerance ratio* sebesar 47%. Kemudian diterapkan prosedur kalibrasi kolom kromatografi yang baru sehingga berhasil mereduksi *defect rate* (Johnson 2013). Selain itu, penelitian pada sebuah perusahaan manufaktur turbin energi terbarukan membuktikan bahwa uji *extended gage R&R* berhasil menemukan interaksi variabel yang menyebabkan variasi signifikan pada produk.



Gambar 3a. X-R chart berat produk mesin pengisian 1

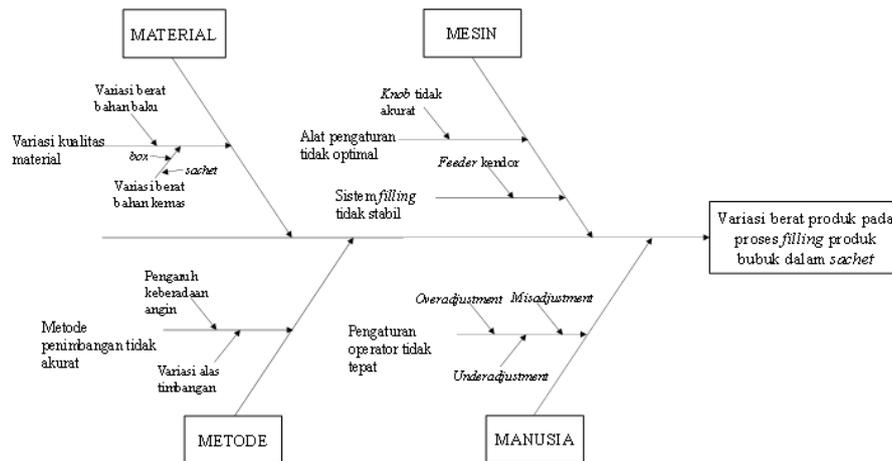


Gambar 3b. X-R chart berat produk mesin pengisian 2

Perusahaan menguji hasil pengukuran sebuah parameter turbin dengan rancangan percobaan mencakup 2 operator, 10 sensor, 6 *gage*, dan 2 ulangan. Hasil uji menunjukkan bahwa interaksi operator dengan *gage* merupakan sumber variabilitas signifikan. Kemudian diterapkan prosedur kalibrasi tunggal dengan lingkungan yang dijaga sama sehingga berhasil meningkatkan presisi pengukuran turbin (Johnson 2014). Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa uji *gage R&R* metode *classic* dan *extended* adalah efektif untuk menganalisis akar masalah pada faktor metode penimbangan. Uji *gage R&R* pada penelitian Johnson dan penelitian ini menghasilkan solusi yang sama terhadap masalah variabilitas akibat metode penimbangan, yaitu memperbaiki prosedur penimbangan. Perbaikan prosedur penimbangan pada penelitian Johnson adalah peningkatan kalibrasi alat timbang sedangkan pada penelitian ini adalah eliminasi faktor pengganggu pada area penimbangan, yaitu angin dan permukaan timbang yang tidak stabil.

Kinerja operator pada pengaturan berat produk.

Seperti ditampilkan pada Gambar 3a dan 3b, mesin pengisian 1 dan 2 memiliki masing-masing 10 dan 7 subgrup yang akan diuji kinerja pengaturan beratnya. Hasil uji ketepatan pengaturan berat oleh operator ditampilkan pada Tabel 3. Pengaturan berat produk oleh operator cenderung tidak tepat sehingga diduga operator merupakan sumber variabilitas signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh persentase pengaturan tidak tepat pada operator mesin pengisian 1 dan 2 yaitu 90 dan 57% yang lebih besar daripada persentase pengaturan tepat yaitu 10 dan 43%. Pada



Gambar 4. Diagram Ishikawa variasi berat pada proses pengisian

mesin pengisian 1, *under-adjustment* merupakan penyebab terbesar kesalahan pengaturan sedangkan pada mesin pengisian 2, *under-adjustment* dan *over-adjustment* memiliki kontribusi yang sama terhadap kesalahan pengaturan. Oleh karena itu, kesimpulan uji ketepatan pengaturan berat produk oleh operator adalah *under-adjustment* (terlewatnya pengaturan knob mesin pengisian saat berat rata-ratanya di luar batas kontrol) merupakan penyebab terbesar variabilitas yang disebabkan oleh operator.

Tabel 3. Ketepatan pengaturan operator mesin pengisian

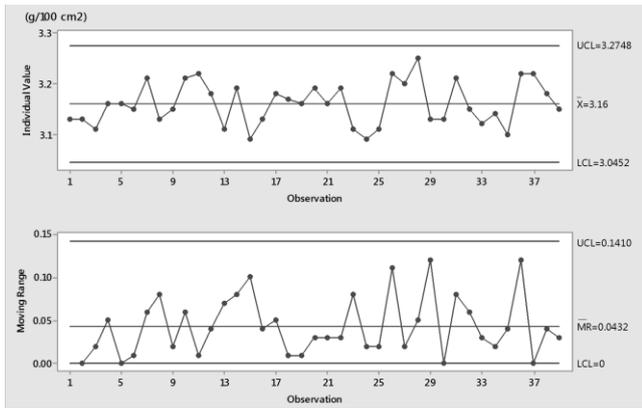
Hasil pengaturan	Mesin Pengisian		Mesin Pengisian (%)	
	1	2	1	2
Tidak tepat	9	4	90	57
<i>Under-adjustment</i>	5	2	50	28.5
<i>Over-adjustment</i>	4	2	40	28.5
<i>Misadjustment</i>	0	0	0	0
Tepat	1	3	10	43
Tidak efektif	0	0	0	0
Efektif	1	3	10	43
Total	10	7	100	100

Under-adjustment disebabkan oleh dua masalah, yaitu terdapatnya aktivitas lain dan operator tidak mengetahui jika berat rata-rata produk di luar kontrol. Solusi terhadap masalah pertama diidentifikasi dan diuji coba pada tahap implementasi. Solusi terhadap masalah kedua adalah penerapan otomatisasi *monitoring* berat produk sehingga operator dapat mengetahui rata-rata berat produk dengan cepat. Studi oleh Singh dan Gilbreath (2002) menyimpulkan bahwa operator mengalami kesulitan untuk menginterpretasi hasil *monitoring* berat produk yang dilakukan secara manual sehingga dibutuhkan sistem otomatis yang dapat menampilkan SPC secara *real-time* dengan tampilan pada *Graphical User Interface* (GUI) yang sederhana. Aplikasi SPC *real-time* tersebut telah terbukti efektif menjaga variasi kualitas pada dua studi, yaitu Young *et al.* (2007) pada perusahaan pemotongan kayu yang efektif menjaga konsistensi variabilitas ketebalan kayu dan Chiang dan Colegrove (2007) pada perusahaan produk kimia yang efektif menjaga kualitas *epoxy resin*. Namun, otomatisasi *monitoring* dengan SPC *real-time* membutuhkan analisis biaya dan keuntungan yang harus dikoordinasikan dengan direktur operasional

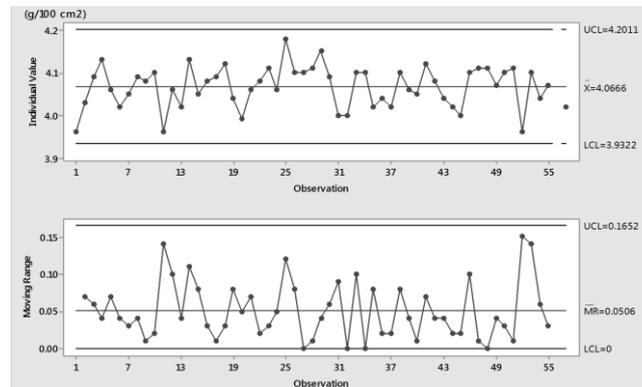
pabrik terlebih dahulu sehingga solusi bagi masalah kedua menjadi saran untuk penelitian lebih lanjut.

Seluruh pengaturan tepat pada mesin pengisian 1 dan 2 merupakan tepat efektif. Hal ini berarti knob pengaturan berat pada mesin pengisian bukan merupakan sumber variabilitas sehingga tidak dilakukan analisis terhadap faktor mesin. Analisis faktor mesin dapat dilakukan dengan uji sensitivitas dua knob pada setiap mesin pengisian, yaitu knob mayor dan knob minor. Analisis dilakukan dengan penimbangan masing-masing 30 sachet hasil pengisian pada tiga skala pengaturan setiap knob. Kemudian berat rata-rata hasil pengisian dari tiga skala pengaturan dibandingkan dengan berat pada skala knob untuk mengetahui ketepatan knob (Rai 2008).

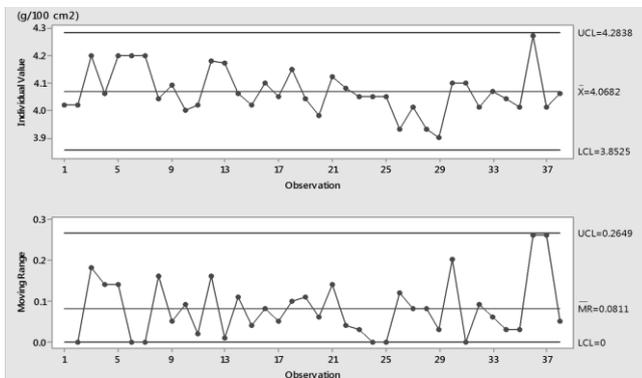
Pada penelitian di perusahaan pengepakan teh di India (Rai 2008), uji ketepatan pengaturan berat oleh operator berhasil mereduksi persentase subgroup diluar batas kontrol dari 66 menjadi 4%. Perusahaan menguji sebuah proses *packing* dengan menimbang 38 sampel teh yang masing-masing mencakup 5 kemasan setiap 10 menit dan mencatat setiap pengaturan berat yang dilakukan operator. Hasil uji menunjukkan persentase pengaturan tidak tepat dan tepat sebesar 75 dan 25%. Penyebab terbesar pengaturan tidak tepat adalah *underadjustment* sebanyak 62%. Pada pengaturan tepat, terdapat 71% pengaturan tepat tidak efektif sehingga dilakukan uji sensitivitas knob yang menunjukkan terdapat masalah sensitivitas pada knob mesin. Kemudian dilakukan dua langkah perbaikan, yaitu peningkatan kinerja pengaturan operator dengan penerapan *monitoring* berat menggunakan *X-sum control chart* dan peningkatan *maintenance knob* sehingga berhasil mereduksi persentase subgroup diluar batas kontrol (Rai 2008). Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa uji ketepatan pengaturan berat oleh operator adalah efektif untuk menganalisis akar masalah pada faktor manusia dan mesin. Uji ketepatan pengaturan berat oleh operator pada penelitian Rai dan penelitian ini menghasilkan dua solusi yang sama terhadap masalah *underadjustment*, yaitu peningkatan kinerja operator. Peningkatan kinerja operator pada penelitian Rai menggunakan *X-sum control chart* sedangkan penelitian ini menggunakan prosedur *monitoring* aktivitas operator.



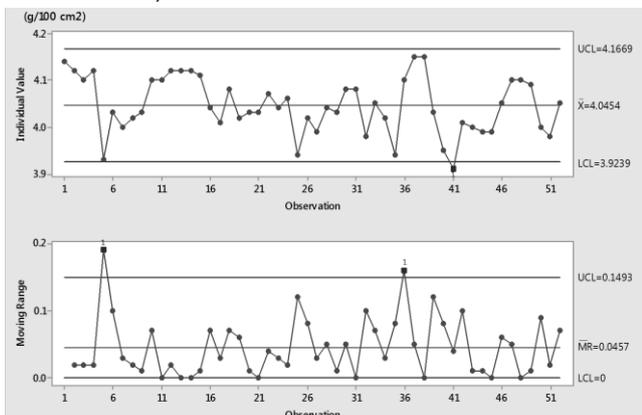
Gambar 5a. I-Moving range chart box tipe 1 (suplier A – dimensi kecil)



Gambar 5b. I-Moving range chart box tipe 2 (suplier A – dimensi sedang)



Gambar 5c. I-Moving range chart box tipe 3 (suplier A – dimensi besar)



Gambar 5d. I-Moving range chart box tipe 4 (suplier B – dimensi sedang)

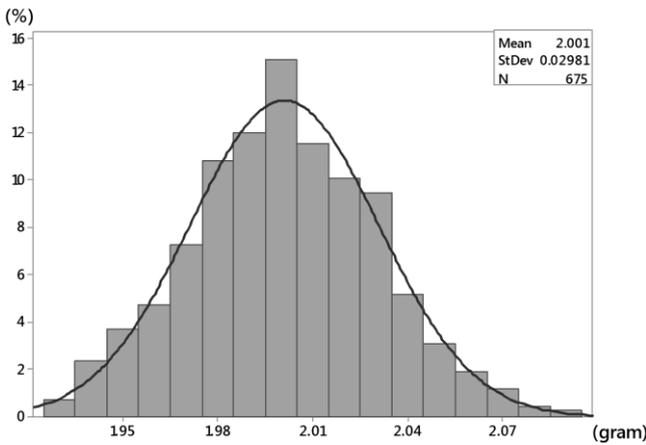
Kinerja suplier pada konsistensi berat box. Hasil uji konsistensi berat lembaran *box* ditampilkan pada Gambar 5a-5d. Berat lembaran *box* tipe satu, dua, dan tiga yang berasal dari suplier A berada di dalam batas kontrol sedangkan berat lembaran *box* tipe empat yang berasal dari suplier B berada diluar batas kontrol. Berat lembaran *box* suplier B berada diluar batas kontrol berarti terdapat berat *box* suplier B yang melebihi batas kontrol sebesar 3σ . Maka dari itu, perusahaan dapat mempercayai suplier A sedangkan perlu dipertimbangkan manajemen mutu yang lebih ketat terhadap suplier B. Namun, berat rata-rata sampel *box* tipe satu, dua, tiga, dan empat secara berturut-turut adalah 3.16, 4.07, 4.07, dan 4.05 g/100 cm² lebih besar dari spesifikasinya 2.98, 3.84, 3.84, dan 3.36 g/100 cm². Meskipun berat *box* tipe empat berada diluar batas kontrol, tetapi berat rata-rata semua tipe *box* melebihi spesifikasi perusahaan sehingga dapat disimpulkan bahwa kemasan *box* bukan sumber signifikan terhadap variabilitas berat produk.

Pada penelitian di perusahaan *extruded snack* di Irlandia (Cronin 2003), uji konsistensi berat *pack* berhasil mereduksi jumlah produk *overweight* sebesar 6.5%. *Overweight* pada perusahaan disebabkan kecenderungan operasi yang ingin menghindari risiko produk ilegal akibat berat bersih produk yang diklaim tidak tercapai. Persentase maksimal produk dengan berat bersih lebih kecil dari klaim diatur dalam peraturan EU Directive 79/1005/EEC. Perusahaan meneliti dampak variasi panjang, lebar, dan massa jenis *pack* terhadap variasi berat produk akhir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lebar *pack* merupakan variabel paling kritis dengan koefisien korelasi rata-rata 0.78 dibandingkan dengan panjang dan massa jenis *pack* yaitu 0.05 dan 0.12. Kemudian perusahaan menguji coba solusi, yaitu memperketat inspeksi lebar *pack* dan berhasil mereduksi jumlah produk *overweight* (Cronin 2003). Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa uji konsistensi berat kemasan adalah efektif untuk menganalisis akar masalah pada faktor material.

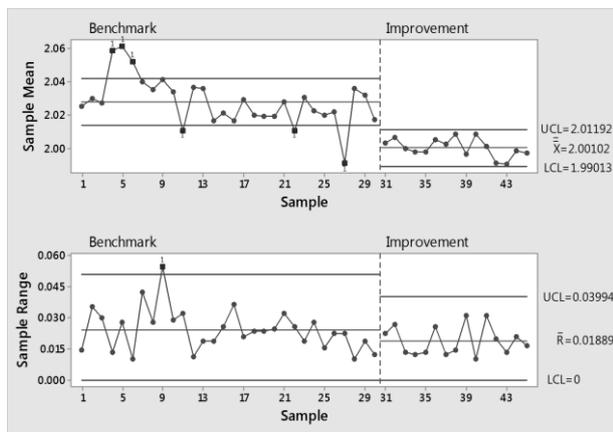
Uji konsistensi berat kemasan pada penelitan (Cronin 2003) dan penelitian ini menghasilkan solusi yang sama terhadap masalah inkonsistensi kualitas kemasan, yaitu pengetatan inspeksi mutu satu parameter fisik kemasan. Pengetatan inspeksi mutu yang diidentifikasi pada penelitian Cronin adalah lebar *pack* sedangkan pada penelitian ini adalah berat sampel kemasan dalam satuan g/100 cm².

Implementasi Peningkatan Kinerja Operator

Hasil analisis terhadap faktor metode, manusia, mesin dan material menunjukkan bahwa faktor manusia berkontribusi signifikan terhadap variabilitas berat produk. Sumber variabilitas pada faktor manusia adalah kinerja pengaturan berat oleh operator pada mesin pengisian. Maka dari itu, solusi yang diuji coba adalah memperketat monitoring berat produk untuk meningkatkan kinerja operator pada pengaturan berat. Penelitian hanya menguji coba solusi pada mesin pengisian 1 karena mesin tersebut memiliki $1.00 < C_p < 1.33$ yang berarti perlu dilakukan perbaikan.



Gambar 6. Histogram berat produk mesin pengisian 1



Gambar 7. \bar{X} -R chart berat produk mesin pengisian 1

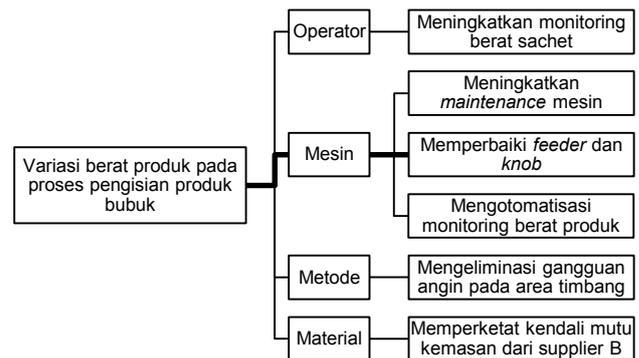
Hasil sampling terhadap uji coba solusi ditampilkan dengan histogram pada Gambar 6. Solusi berhasil mereduksi rata-rata berat produk dari 2.028 menjadi 2.001 g yang lebih mendekati target berat produk sesuai spesifikasi perusahaan yaitu 2.000 g. Solusi juga berhasil mereduksi standar deviasi sampel dari 0.0395 menjadi 0.0298. Uji coba juga menganalisis dampak solusi terhadap konsistensi berat produk seperti ditampilkan pada Gambar 7. Solusi berhasil mengeliminasi seluruh berat produk yang berada diluar kontrol, baik pada bagan kendali \bar{X} maupun R. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa solusi peningkatan kinerja operator sudah tepat untuk mereduksi variabilitas berat produk pada operasi pengisian.

Hasil studi kelayakan terhadap aktivitas operator ditunjukkan oleh Gantt chart pada Gambar 8. Rancangan implementasi solusi dibuat berdasarkan pola aktivitas yang telah diteliti seperti ditampilkan pada Gambar 9. Penelitian memilih pola aktivitas operator ke-2 dengan tujuan menangkap pola paling sibuk, yaitu saat operasi pengisian baru berjalan. Penelitian menggeser satu buah cek *sachet – printing, sealer* pada menit ke-16 dan menggabungkannya dengan menit ke-21. Setelah itu penelitian menyisipkan monitoring berat *sachet* yang ditampilkan dengan kotak oranye pada menit ke-15 hingga menit ke-17. Oleh karena itu, maka solusi memperketat monitoring berat produk dengan interval 15 menit dapat dilakukan oleh operator.

Pembuatan Counteraction Plan

Counteraction plan mengidentifikasi solusi pada seluruh faktor (operator, mesin, metode, dan material) seperti ditampilkan pada Gambar 9. Solusi peningkatan kinerja operator dalam *monitoring* berat produk merupakan solusi yang efektif untuk mereduksi variabilitas berat produk. Solusi lain yang tercantum juga berpotensi mereduksi variabilitas berat produk, namun dibutuhkan studi lanjut untuk membandingkan efektivitasnya. Hung (2011) membandingkan efektivitas beberapa solusi yang dihasilkan pada *counteraction plan* dalam sebuah penelitian implementasi SPC.

Penelitian dilakukan pada perusahaan pembuatan bakpau beku yang berhasil mereduksi laju penyusutan bakpau dari 0.405 menjadi 0.141%. Penelitian membandingkan lima buah solusi yang ditemukan, yaitu suhu pengisian, waktu penggulungan adonan, waktu fermentasi, volume air es, dan waktu penguapan dalam sebuah rancangan percobaan dengan lima faktor, dua level, dan dua ulangan. Hasil percobaan dibandingkan dengan nilai efek faktor pada diagram Pareto yang membuktikan bahwa volume air es memiliki nilai efek faktor terbesar yang berarti merupakan faktor paling kritis terhadap laju penyusutan bakpau.

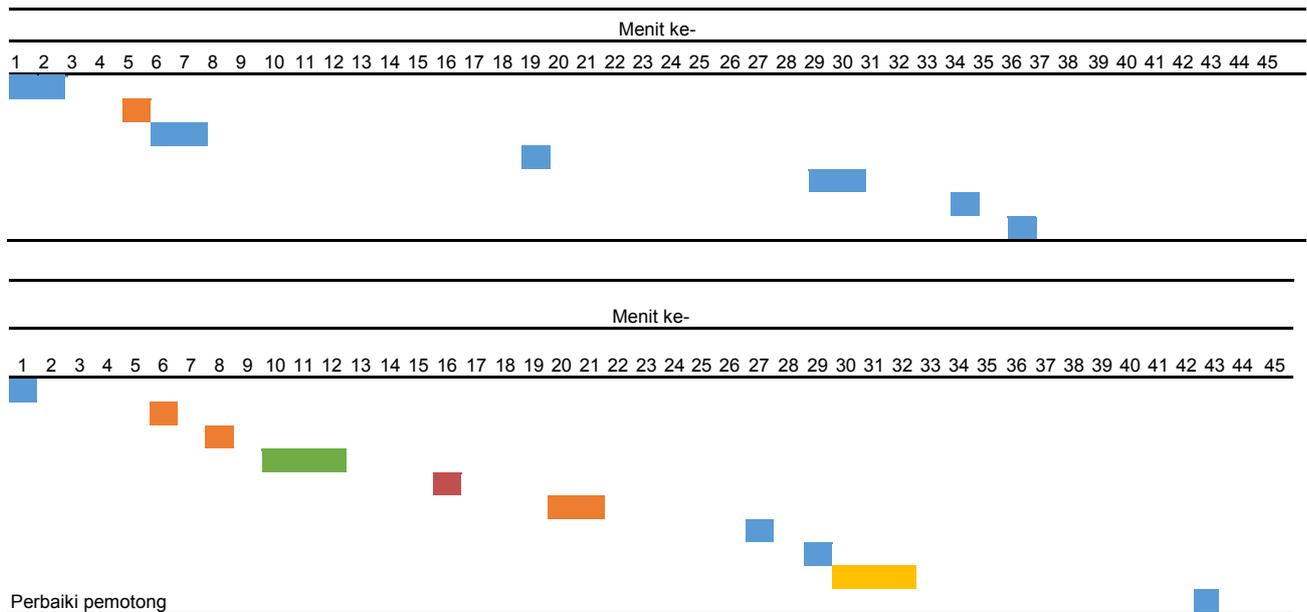


Gambar 9. Counteraction plan variabilitas berat produk pada proses pengisian

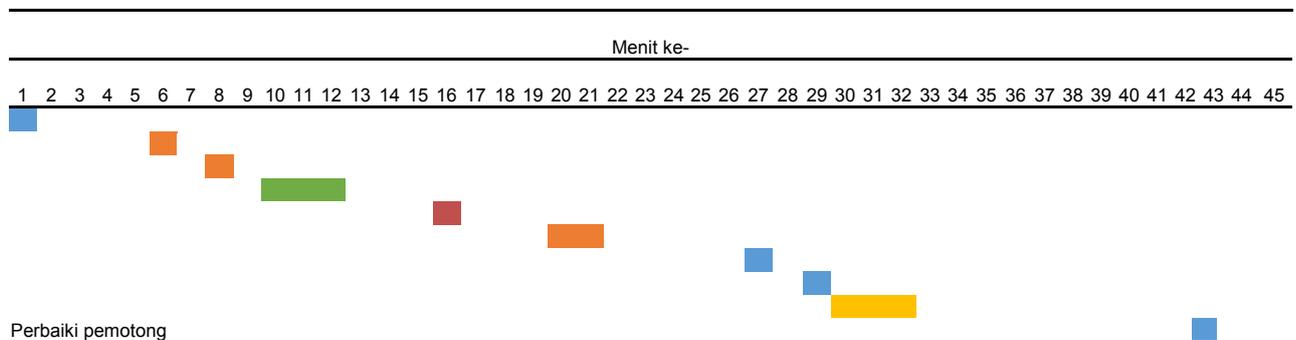
KESIMPULAN

Implementasi SPC berhasil mengidentifikasi dan menganalisis tiga sumber variabilitas yang menyebabkan variasi berat produk bubuk pada operasi pengisian, yaitu metode penimbangan, kinerja operator, dan konsistensi berat bahan pengemas. Analisis terhadap metode penimbangan dengan uji gage R&R menunjukkan bahwa titik penimbangan sachet dan titik penimbangan box secara berturut-turut berkontribusi terhadap 3.55 dan 1.30% variasi produk akhir.

Analisis terhadap kinerja operator menunjukkan bahwa *under-adjustment* (terlewatnya pengaturan knob mesin pengisian saat berat rata-rata melewati batas kontrol) merupakan kesalahan paling signifikan. Analisis terhadap konsistensi berat kemasan menunjukkan bahwa hanya suplier B yang memasok satu dari empat tipe box yang memiliki berat kemasan di luar batas kontrol. Hasil



Gambar 8. Gantt chart sampling aktivitas operator



Gambar 8. Gantt chart rancangan implementasi solusi

uji coba solusi terhadap faktor manusia yaitu pengetatan monitoring berat produk oleh operator dengan interval 15 menit menunjukkan reduksi standar deviasi dari 0.0395 menjadi 0.0298 dan perubahan rata-rata berat produk sampel dari 2.028 menjadi 2.001 g, mendekati target berat produk 2.000 g. Studi kelayakan solusi yang dilakukan menggunakan Gantt chart dan menunjukkan bahwa solusi pengetatan monitoring berat produk oleh operator dengan interval 15 menit layak dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Akbulut-Bailey AY, Motwani J, Smedley EM. 2012. When lean and six sigma converge: a case study of a successful implementation of lean six sigma at an aerospace company. *Int. J. Tech. Manage.* 75(1):18-32. DOI:10.1504/IJTM.2012.043949.

Chiang LH, Colegrove LF. 2007. Industrial implementation of on-line multivariate quality control. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems.* 88: 143–153. DOI: 10.1016/j.chemolab.2007.02.005.

Chen M, Lyu J. 2009. A lean six sigma approach to touch panel quality improvement. *Production Planning and Control.* 20(5): 445-454. DOI: 10.1080/09537280902946343.

Chakraborty SS, Shah AD. 2012. Lean six sigma (LSS): an implementation experience. *Eur. J. Industrial Eng.* 6(1): 118-137. DOI: 10.1504/EJIE.2012.044813.

Cronin K, Fitzpatrick J, McCarthy D. 2003. Packaging strategies to counteract weight variability in extruded food products. *J. Food Eng.* 56: 353-360. DOI:10.1016/S0260-8774(02)00161-9.

Drohomeretski E, da Costa GS, de Lima EP, da Rosa PA. 2013. Lean, six sigma and lean six sigma: an analysis based on operations strategy. *Int. J. Prod. Res.* 52(3): 804-824. DOI: 10.1080/00207543.2013.842015.

Hung SC, Sung MH. 2011. Applying six sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality cost. *Scientific Res. & Essays.* 6(3): 580-591. DOI:10.5897/SRE10.823.

Kanji GK. 2008. Reality check of six sigma for business excellence. *Total Quality Management.* 19(6): 575-582. DOI: 10.1080/14783360802024333.

Johnson LA, Bailey SP. 2013. Implementing an expanded gage R&R study, in Proceedings ASQ World Conference on Quality and Improvement 2013, Anaheim, CA.

Johnson LA, Deaner M. 2014. Necessary measures: expanded gage R&R to detect and control measurement system variation. *Quality Progress.* 47(7): 34-38.

- Lim SAH, Antony J, Albliwi S. 2014. Statistical process control (SPC) - a systematic review and future research agenda. *Trends in Food Sci. & Tech.* 37(2): 137-151. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.03.010.
- Montgomery DC, Runger GC. 1993. Gauge capability and designed experiments part 1: basic methods. *Quality Eng.* 6(1): 115-135. DOI: 10.1080/08982119308918710.
- Montgomery DC. 2013. *Introduction to Statistical Quality Control Seventh Edition*. New York (US): John Wiley and Sons, Inc. ISBN: 978-1-118-14681-1.
- Rai BK. 2008. Implementation of statistical process control in an Indian tea packaging company. *Int. J Business Excellence.* 1(2): 160-174. DOI: 10.1504/IJBEX.2008.017572.
- Schroeder RG, Linderman K, Liedtke C, Choo AS. 2008. Six Sigma: definition and underlying theory. *J. Operations Management.* 26(4):536-554. DOI: 10.1016/j.jom.2007.06.007.
- Singh R, Gilbreath G. 2002. A real-time information system for multivariate statistical process control. *International J. Production Economics.* 75: 161–172.
- Yi TP, Feng CJ, Prakash J, Ping LW. 2012. Reducing electronic component losses in lean electronics assembly with six sigma approach. *Int. J. Lean Six Sigma.* 3(3): 206-230. DOI: 10.1108/20401461211282718.
- Young TM, Bond BH, Wiedenbeck J. 2007. Implementation of a real-time statistical process control system in hardwood sawmills. *Forest Products J.* 57: 54–62.

JMP-08-15-001- Naskah diterima untuk ditelaah pada 1 Agustus 2015. Revisi makalah disetujui untuk dipublikasi pada 24 September 2015. Versi Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmp>