

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN
GRAFIK PENGENDALI p -MULTIVARIAT DAN KAPABILITAS
PROSES PRODUKSI BOTOL KECAP**

SKRIPSI

Oleh:
NOVA KHOIRUN NISA'
NIM. 10610008



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2014**

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN
GRAFIK PENGENDALI p -MULTIVARIAT DAN KAPABILITAS
PROSES PRODUKSI BOTOL KECAP**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
NOVA KHOIRUN NISA'
NIM. 10610008**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2014**

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN
GRAFIK PENGENDALI p -MULTIVARIAT DAN KAPABILITAS
PROSES PRODUKSI BOTOL KECAP**

SKRIPSI

**Oleh:
NOVA KHOIRUN NISA'
NIM. 10610008**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 4 September 2014

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Fachrur Rozi, M.Si
NIP. 19800527 200801 1 012

Dr. H. Imam Sujarwo, M.Pd
NIP. 19630502 198703 1 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Abdussakir, M.Pd
NIP. 19751006 200312 1 001

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN
GRAFIK PENGENDALI p -MULTIVARIAT DAN KAPABILITAS
PROSES PRODUKSI BOTOL KECAP**

SKRIPSI

**Oleh:
NOVA KHOIRUN NISA'
NIM. 10610008**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 11 September 2014

Penguji Utama	: <u>Ir. Nanang Widodo, M.Si</u> NIP. 19630210 198912 1 002	_____
Ketua Penguji	: <u>Abdul Aziz, M.Si</u> NIP. 19760318 200604 1 002	_____
Sekretaris Penguji	: <u>Fachrur Rozi, M.Si</u> NIP. 19800527 200801 1 012	_____
Anggota Penguji	: <u>Dr. H. Imam Sujarwo, M.Pd</u> NIP. 19630502 198703 1 005	_____

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Abdussakir, M.Pd
NIP. 19751006 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : NOVA KHOIRUN NISA'

NIM : 10610008

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Pengendalian Kualitas Proses Produksi Menggunakan Grafik
Pengendali p -Multivariat dan Kapabilitas Proses Produksi Botol
Kecap

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 4 September 2014
Yang membuat pernyataan,

Nova Khoirun Nisa'
NIM. 10610008

MOTO

❖ وَقَضَىٰ رَبُّكَ أَلَّا تَعْبُدُوا إِلَّا إِيَّاهُ وَبِالْوَالِدَيْنِ إِحْسَانًا ❖

Dan Tuhanmu telah memerintahkan supaya kamu jangan menyembah selain Dia dan hendaklah kamu berbuat baik pada ibu bapakmu dengan sebaik-baiknya



PERSEMBAHAN

Penulis persembahkan skripsi ini kepada:

Abah dan ibu tercinta, "H. Ya'qub & Hj. Khoiriyah" yang selalu mendo'akan, membimbing, mendukung dan memotivasi baik dari segi material maupun spiritual sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tak lupa untuk kakak-kakak penulis tersayang "Imron Rosyadi, Achmad Roichan, Muhlisa, Zuhriyah, Ali Ridho, dan Nur Laila" yang telah memberikan nasihat agar selalu menjadi lebih baik.

Keluarga besar Bani Toha & Bani Solikhin yang telah mendukung dan mendo'akan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah yang insyaallah penuh dengan barokah.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kepada Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat, taufik, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Keberhasilan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak, baik berupa pikiran, motivasi, tenaga, maupun do'a dan restu. Karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Abdussakir, M.Pd, selaku ketua Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Fachrur Rozi, M.Si, selaku dosen pembimbing skripsi yang dengan sabar telah meluangkan waktunya demi memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
5. Dr. H. Imam Sujarwo, M.Pd, selaku dosen pembimbing agama, yang telah memberikan banyak arahan dan bimbingannya.
6. Drs. H. Turmudi, M.Si, selaku dosen wali.
7. Segenap sivitas akademika Jurusan Matematika, terutama seluruh dosen, terima kasih atas segenap ilmu dan bimbingannya.

8. Teman-teman Jurusan Matematika angkatan 2010, terutama Dina Maria Munika dan Mayassaroh, terima kasih atas segala pengalaman berharga dan kenangan terindah saat menuntut ilmu bersama.
9. Abah Yahya Dja'far dan Ibu Syafiah Yahya, selaku Pengasuh Pondok Pesantren Putri (PPP) Al-Hikmah Al-Fathimiyyah yang senantiasa memberi pengarahan kepada penulis selama menjadi santri.
10. Keluarga besar PPP. Al-Hikmah Al-Fatimiyyah yang telah menjadi teman terdekat sekaligus keluarga dalam menuntut ilmu bersama terutama pegurus PPP. Al-Hikmah Al-Fatimiyyah periode 2012/2013, terima kasih atas kerjasamanya.
11. Nova Nefisa A.F., yang selalu memberikan motivasi dan inspirasi.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang turut mendukung kelancaran penyempurnaan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal 'Alamin.*

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Malang, September 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	
HALAMAN MOTO	
HALAMAN PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
ملخص.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Masalah.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
1.6 Sistematika Penulisan.....	9
BAB II KAJIAN TEORI	
2.1 Teori Dasar	11
2.1.1 Distribusi Peluang Diskrit	11
2.1.2 Ekspektasi dan Variansi	12
2.1.3 Distribusi Multinomial	16
2.2 Grafik Pengendali.....	19
2.2.1 Grafik Pengendali Atribut	21
2.2.2 Grafik Pengendali p -Multivariat	22
2.2.3 Penduga Parameter	23
2.2.4 Batas Kendali Grafik Pengendali p -Multivariat.....	25
2.3 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>	26
2.4 Karakteristik Kualitas	26
2.5 Kapabilitas Proses	27
2.6 <i>Defect Per Million Opportunities</i> (DPMO).....	30
2.7 Konversi DPMO ke Nilai Pencapaian Sigma.....	30
2.8 Profil Perusahaan.....	31
2.9 Proses Produksi Botol	32
2.8 Kajian Agama.....	32

BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Pendekatan Penelitian.....	37
3.2 Sumber Data dan Struktur Data.....	37
3.3 Variabel Penelitian	38
3.4 Metode Analisis.....	41
BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Grafik Pengendali p -Multivariat	45
4.1.1 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 1	45
4.1.2 Analisis Kapabilitas Proses Multivariat	54
4.2 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 2	57
4.3 DPMO dan Nilai Pencapaian Sigma	59
4.4 Kesesuaian Agama dengan Grafik Pengendali	61
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Grafik Pengendali Statistik.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian 1.....	43
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian 2.....	44
Gambar 4.1 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 1	48
Gambar 4.2 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 1 Kendali ke-1.....	53
Gambar 4.3 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 1 Kendali ke-2.....	54
Gambar 4.4 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 2	58



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat Pencapaian Sigma.....	30
Tabel 3.1 Struktur Data Jumlah Cacat	38
Tabel 3.2 Jumlah Proporsi Cacat dalam 1 Periode Tertentu.....	38
Tabel 3.3 Klasifikasi Jenis Cacat	39
Tabel 4.1 Data Cacat Produksi	46
Tabel 4.2 Subgrup yang Tidak Terkendali	48
Tabel 4.3 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>	50
Tabel 4.4 Variabel Penyebab Tidak Terkendali	50
Tabel 4.5 Data Cacat Produksi	58
Tabel 4.6 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>	59
Tabel 4.7 Variabel Penyebab Tidak Terkendali	59
Tabel 4.8 Perhitungan DPMO dan <i>Sigma Level</i>	60



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Cacat Produksi (tahap 1)	68
Lampiran 2. Data Cacat Produksi (tahap 2)	77
Lampiran 3. Program Grafik Pengendali dan Kapabilitas Proses	86
Lampiran 4. Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>	88
Lampiran 5. Tabel Distribusi <i>Chi-Square</i>	95



ABSTRAK

Nisa', Nova Khoirun. 2014. **Pengendalian Kualitas Proses Produksi menggunakan Grafik Pengendali p -Multivariat dan Analisis Kapabilitas Produksi Botol Kecap**. Skripsi. Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pembimbing: (I) Fachrur Rozi, M.Si
(II) Dr. H. Imam Sujarwo, M.Pd

Kata kunci: Grafik Pengendali p -Multivariat, Kapabilitas Proses

Grafik pengendali p -multivariat merupakan grafik pengendali atribut yang berguna untuk mengendalikan kualitas proses produksi berdasarkan banyaknya kecacatan dalam kategori multiatribut. Kualitas suatu produk akan menjadi tolok ukur konsumen untuk mengkonsumsinya. Bagus tidaknya kualitas produk bisa diketahui berdasarkan nilai Indeks Kapabilitas Proses (IKP). Analisis kapabilitas proses pernah dikaji dalam penelitian sebelumnya untuk data atribut. Jika dalam kenyataannya beberapa perusahaan mentargetkan beberapa kategori kecacatan atau bersifat multiatribut, maka analisis kapabilitas proses bisa dikaji menggunakan nilai IKP berdasarkan grafik pengendali p -multivariat. Dalam penerapan analisis kapabilitas proses multivariat diperlukan syarat bahwa grafik pengendali multivariat sudah dalam keadaan terkendali dan asumsi multivariat juga telah terpenuhi.

Dalam penelitian ini, grafik pengendali p -multivariat diterapkan pada produksi botol kecap yang terdiri dari 3 karakteristik jenis cacat yakni kritis, major dan minor. Penerapan grafik pengendali p -multivariat dibagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama bertujuan untuk mengidentifikasi *multivariat outlier* dan menentukan nilai penaksir parameter proporsi cacat untuk menentukan nilai batas pengendali yang digunakan dalam pengendalian pada tahap kedua. Pada tahap kedua, akan dilakukan pengendalian untuk pengamatan selanjutnya dengan menggunakan batas kendali pada tahap pertama.

Pada tahap kedua, kualitas botol kecap mengindikasikan proses dalam keadaan tidak terkendali. Hal ini dapat dilihat dari adanya 2 pengamatan yang menunjukkan sinyal *out of control*. Nilai kapabilitas proses produksi botol kecap sebesar 2.7778 sehingga proses produksi sudah *capable*, yang berarti proses produksi sudah memuaskan keinginan pelanggan. Kapabilitas proses juga dapat diketahui berdasarkan nilai pencapaian sigma yakni semakin tinggi nilai sigma, maka proses produksi semakin baik. Proses produksi botol kecap termasuk dalam tingkatan kualitas rata-rata industri di Indonesia.

ABSTRACT

Nisa', Nova Khoirun. 2014. **Quality Control of Production Processes using Multivariate p Control Charts and Analysis of Ketchup Bottle Production Capabilities**. Thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang.

Advisors: (I) Fachrur Rozi, M.Si
(II) Dr. H. Imam Sujarwo, M.Pd

Keywords: Multivariate p Control Charts, Capability Process

Multivariate p control chart is a control chart attribute that useful for controlling the quality of the production process based on the number of defects in the category of multiattribute. The quality of the goods will become the standard of consumer to consume. Whether the products are qualified or not, can be known based on the value of Process Capability Index (IKP). Process capability analysis has been studied in the previous research to the data attribute. In facts, some companies are targeting several categories of defects or multiattribute, then the process capability analysis can be studied using the value of IKP based on multivariate p control chart. In the application of multivariate process capability analysis, it is necessary condition that the multivariate control charts has been restrained and multivariate assumptions have also met.

In this research, multivariate p control chart is applied to the production of ketchup bottles which consists of three characteristics types of defects that is critical, major and minor. The application of multivariate p control chart is divided into 2 phases. The first stage aims to identify multivariate outliers and determine of estimate value of defect proportion to get control limit value, so it can be used to control the second stage. In the second stage, it will be controlled for further observations using the controller limit in the first stage.

In the second stage, the quality of the ketchup is indicating that the ketchup bottle in uncontrolled circumstances. It can be seen from the release of 2 observations that came out of the control limits. The value of ketchup bottle production capability process was 2.7778, then production capability process is *capable*. It means that the capability of the process absolutely satisfies the customer's requirement. Process capability is also used to determine the attainment of sigma. Capability of production process of ketchup bottle is included in the average quality level of Indonesian industry.

ملخص

النساء، نوناً خير . ٢٠١٤ . إنتاج عملية مراقبة الجودة باستخدام التحليل المتعدد المتغيرات -p " وحدة تحكم الرسومات " قدرة إنتاج وزجاجة صلصة الصويا . أطروحة. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا إبراهيم .
المشرف: (١) فخر الرازي، الماجستير
(٢) الدكتور الحاج امام سوجورو، الماجستير

الكلمات الرئيسية: تحكم الرسم البياني متعدد المتغيرات -p القدرة العملية ،

وحدة تحكم الرسومات فتحكم سمة المخططات متعدد المتغيرات مفيدة لمراقبة الجودة لعمليات الإنتاج على أساس العدد العجز فيفئة *multiattribute*. ستكون نوعية المنتج للمستهلك القياسي تستهلك منها. يمكن أن تعرف نوعية المنتجات جيدة أم لا تعتمد على مؤشر القدرة العملية (استخلاصها). تحليل القدرة العملية من أي وقت مضى النظر في الدراسات السابقة لبيانات صفة. إذا كان في واقع الأمر، بعض الشركات يتم استهداف فئات عدة من العجز، أو هو *multiattribute*، ثم يمكن أن يتم فحص قدرة عملية التحليل باستخدام قيمة الرسم البياني استناداً إلى استخلاصها تحكم فمتغير. مطلوب تطبيق تحليل القدرة متعدد المتغيرات العملية شريطة أن الرسم البياني وحدات التحكم متعدد المتغيرات مسبقاً في حالة افتراض الخاضعة للرقابة والمتغيرات قد استوفى أيضاً .

في هذه الدراسة، عيوب الرسومات تحكم فمتغير تطبيقها لإنتاج الزجاجات التي تألفت من ثلاثة أنواع هي: الخصائص الحرجة والرئيسية والثانوية. تطبيق مخططات التحكم متعدد المتغيرات -p مقسمة إلى المراحلان. المرحلة الأولى يهدف إلى تحديد المتغيرات الخارجة وتحديد قيمة المعلمة مقدّر نسبة العجز لتحديد قيمة وحدات التحكم بالحد الأقصى وتستخدم في التحكم في المرحلة الثانية. وفي المرحلة الثانية، سوف تكون تجري المراقبة التالية للتحكم باستخدام عنصر التحكم في المرحلة الأولى. ويشير إلى النوعية الزجاجات في المرحلة الثانية، العملية في دولة غير المنضبط. فإنه يتبين من وجود اثنين من الملاحظات التي تظهر من إشارات التحكم. قيمة زجاجة من قدرة عملية إنتاج صلصة الصويا هو *capable*، مما يعني أن عملية الإنتاج قد تم تلبية رغبات العملاء. يمكن أيضاً معرفة قيمة القدرة العملية استناداً إلى تحقيق قيمة أعلى من سيغما، عملية الإنتاج على نحو أفضل. زجاجة من عملية إنتاج صلصة الصويا المدرجة في مستوى جودة متوسط الصناعة في إندونيسيا.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Memasuki era globalisasi persaingan industri semakin ketat. Kondisi tersebut menuntut suatu perusahaan untuk selalu mengembangkan produk perusahaan agar dapat bertahan, berdaya saing, dan terus berkembang di tengah gencarnya persaingan industri. Dalam meningkatkan kinerja menghadapi tantangan persaingan tersebut dengan mengevaluasi hasil kinerja berdasarkan respon dari konsumen terhadap suatu produk yang dihasilkan oleh perusahaan. Penilaian konsumen terhadap suatu produk dilihat dari kualitasnya. Ketika respon konsumen positif (baik), maka kualitas produk baik sehingga produk bisa diterima. Ketika responnya negatif maka kualitas produk kurang baik sehingga produk masih belum bisa diterima. Diterima atau tidaknya produk akan berakibat pada keputusan konsumen untuk membelinya. Untuk itu, perusahaan harus mampu menghasilkan produk dengan kualitas tinggi supaya penjualan produk dapat meningkat sesuai dengan yang ditargetkan oleh masing-masing perusahaan. Dalam hal ini kualitas produk akan mempengaruhi volume hasil penjualan.

Konsep kualitas dalam Al-Qur'an dijelaskan dalam QS. Al-Mujadalah ayat 11. Firman Allah Swt:

... يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۗ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴿١١﴾

Artinya:

"... niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. dan Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan".

Dari surat dan ayat tersebut, implikasi yang berkaitan dengan kualitas adalah bahwa manusia akan lebih berkualitas hidupnya ketika dia beriman dan

berilmu. Poin penting yang dapat kita ambil dari kedua ayat di atas adalah bahwa kualitas di dalam Islam, khususnya yang telah tercantum dalam Al-Qur'an merupakan sesuatu yang sangat penting. Karena apabila manusia tidak memiliki kualitas maka akan terjebak pada kelalaian manusia akan kemanusiaanya, kesalahan manusia dalam mempersepsikan dirinya, dan kebodohan dalam memanfaatkan fitrahnya sebagai khalifah di bumi ini. Atau dengan kata lain semua itu terjadi ketika kualitas hidup manusia berada pada titik terendah.

Sebagaimana yang dijelaskan di atas, bahwa kualitas mempengaruhi volume penjualan hasil produksi. Konsep produksi dalam Al-Qur'an ditekankan terhadap manfaat dari barang yang diproduksi. Allah Swt menyebutkan dalam QS.

An-Nahl ayat 69 tentang produksi. Firman Allah Swt:

ثُمَّ كُلِيْ مِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ فَاسْلُكِيْ سُبُلَ رَبِّكِ ذُلُلًا ۗ تَخْرُجُ مِنْ بُطُوْنِهَا شَرَابٌ مُّخْتَلِفٌ اَلْوَانُهُ فِيْهِ شِفَاۗءٌ ۗ لِّلنَّاسِ ۗ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ ﴿٦٩﴾

Artinya:

“Kemudian makanlah dari tiap-tiap (macam) buah-buahan dan tempuhlah jalan Tuhanmu yang telah dimudahkan (bagimu). dari perut lebah itu ke luar minuman (madu) yang bermacam-macam warnanya, di dalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang memikirkan”.

Kalimat “تَخْرُجُ مِنْ بُطُوْنِهَا شَرَابٌ” bermakna dari perut lebah itu ke luar minuman (madu). Dari ayat tersebut menurut penulis mempunyai makna produksi dimana seekor lebah menghasilkan minuman yaitu madu. Madu yang dihasilkan lebah tidak semata-mata hanya diproduksi, namun madu yang dihasilkan lebah terdapat obat yang dapat menyembuhkan bagi manusia. Konsep produksi inilah yang dimaksud dalam Al-Qur'an bahwasanya menghasilkan suatu produk berkaitan dengan manfaat dari barang yang di produksi.

Jika kualitas suatu produk akan mempengaruhi volume hasil penjualan, maka untuk mengetahui peningkatan hasil penjualan produk dilihat berdasarkan pengendalian kualitas. Suatu alat yang digunakan dalam pengendalian kualitas secara statistik pada proses produksi adalah grafik pengendali (*control chart*). Kajian grafik pengendali dibahas dalam statistik yang dikaji pada bab *Statistical Quality Control* (SQC). SQC termasuk dalam cabang statistika. Grafik pengendali merupakan grafik yang digunakan untuk mengendalikan proses secara statistik dan mempertimbangkan proses terkendali secara statistik atau tidak. Grafik pengendali terdiri dari nilai karakteristik kualitas sampel, garis Batas Pengendali Atas (BPA), Garis Tengah (GT), dan garis Batas Pengendali Bawah (BPB). Proses dikatakan dalam keadaan terkendali jika setiap nilai karakteristik dari sampelnya berada dalam batas kendali yang telah ditentukan. Jika terdapat sampel yang berada di luar batas kendali, maka diinterpretasikan sebagai fakta bahwa proses tidak terkendali dan perlu dilakukan penyelidikan terhadap sebab-sebab yang menyebabkan proses tidak terkendali.

Secara umum, grafik pengendali dibedakan atas dua macam, yaitu grafik pengendali variabel dan atribut. Banyak karakteristik kualitas tidak dapat dengan mudah dinyatakan secara numerik. Dalam hal seperti ini biasanya tiap benda yang diperiksa akan diklasifikasikan sebagai sesuai spesifikasi atau tidak sesuai dengan spesifikasi pada karakteristik kualitas tersebut. Istilah “cacat” dan “tidak cacat” digunakan untuk mengidentifikasi kedua klasifikasi produk ini. Di sisi lain, istilah “sesuai” dan “tidak sesuai” juga digunakan untuk mengidentifikasi kedua klasifikasi. Karakteristik seperti inilah yang disebut dengan atribut (Montgomery, 1990).

Dalam sebuah produksi, perusahaan terkadang menargetkan kualitas produksinya berdasarkan beberapa variabel yang dinyatakan masing-masing variabel tergolong “cacat” dan “tidak cacat”. Jika variabel yang diteliti lebih dari 1 dan masing-masing variabel dinyatakan dalam kategori “cacat” dan “tidak cacat”, hal ini yang disebut dengan multiatribut. Grafik pengendali yang tepat untuk kasus multiatribut adalah grafik pengendali multivariat. Grafik pengendali untuk mengidentifikasi cacat suatu produk menggunakan grafik pengendali p . Jika dalam hal ini kasus yang digunakan adalah mutivariat, maka grafik yang digunakan adalah grafik pengendali p -multivariat yang merupakan pengembangan dari grafik pengendali p . Grafik pengendali p -multivariat sangat sensitif dalam mengidentifikasi peubah penyebab *out of control* sehingga perusahaan lebih fokus terhadap peubah tersebut dan untuk meminimalisir jumlah cacat dalam perbaikan proses berikutnya.

Kecacatan dalam produksi berakibat terjadinya 2 kemungkinan pada produksi tersebut. Kemungkinan pertama barang yang diproduksi masih tetap digunakan meskipun terjadi cacat. Cacat dalam hal ini termasuk dalam kategori cacat yang dapat diterima. Sedangkan kemungkinan kedua yakni barang tidak digunakan sama sekali sehingga mengakibatkan pemborosan terhadap bahan-bahan yang ada. Istilah seperti ini disebut dengan mubadzir. Konsep mubadzir dalam Al-Qur’an dijelaskan dalam surat QS. Al-Isra Ayat 26-27. Firman Allah SWT:

وَأْتِ ذَا الْقُرْبَىٰ حَقَّهُ وَالْمِسْكِينَ وَابْنَ السَّبِيلِ وَلَا تَبْذُرْ تَبْذِيرًا ۖ إِنَّ الْمُبْذِرِينَ كَانُوا
 إِخْوَانَ الشَّيْطَانِ ۖ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا ۖ

Artinya:

“Dan berikanlah kepada keluarga-keluarga yang dekat akan haknya, kepada orang miskin dan orang yang dalam perjalanan dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros. Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah Saudara-saudara syaitan dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya”.

PT. IGLAS (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dibidang pembuatan kemasan gelas. Pada saat ini PT. IGLAS (Persero) telah menguasai 35% pangsa pasar kemasan gelas di Indonesia dengan memproduksi berbagai jenis botol untuk memenuhi kebutuhan industri minuman ringan, bir, farmasi, makanan, dan kosmetika. Proses produksi botol melalui beberapa tahapan. Salah satunya yaitu tahap *sortir* yang berupa botol jadi. Pada tahap ini dilakukan inspeksi terhadap botol yang telah diproduksi. Botol yang di inspeksi, ditinjau dari beberapa karakteristik kualitas kecacatan. Pengendalian kualitas botol yang ditinjau dari beberapa karakteristik kualitas menggunakan grafik pengendali multivariat atribut.

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan grafik pengendali kasus multivariat yakni “Multivariate Attribute Control Chart Using Mahalanobis D2 Statistic” oleh Mukhopadhyay (2008) dan “Process Monitoring with Multivariate p -Control Chart” oleh Paolo C. Cozzucoli (2009). Dua peneliti tersebut mengembangkan konsep kajian grafik pengendali kategori atribut yang sebelumnya dikaji dalam grafik pengendali kasus univariat. Dalam penerapannya, grafik pengendali kasus multivariat diteliti oleh Yoyok Yuni Saputro (2010) dengan judul “Pengendalian Kualitas Proses Produksi Menggunakan Diagram Kontrol Multivariat p (Studi pada produksi botol sprite di PT.X Surabaya)”, dan “Pengontrolan Kualitas Produk PT IGLAS (Persero) Gresik Menggunakan Diagram p Multivariat” oleh Karina Mayananda (2011).

Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk beroperasi sesuai dengan standar yang ditentukan. Salah satu analisis kapabilitas proses adalah analisis kapabilitas proses multivariat. Dalam penerapan analisis kemampuan kapabilitas proses multivariat diperlukan syarat bahwa peta kendali multivariat sudah dalam keadaan terkendali dan asumsi multivariat juga telah terpenuhi (Kurnia, 2013).

Kapabilitas proses terkait dengan kemampuan dalam menghasilkan suatu produk sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Dalam hal ini nilai kapabilitas proses juga digunakan untuk mengetahui pencapaian sigma yang berakibat jika semakin tinggi nilai kapabilitas proses, maka semakin tinggi nilai sigma artinya kualitas produk semakin baik. Selain itu nilai pencapaian sigma juga bisa diketahui melalui *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) yang menunjukkan ukuran kegagalan per satu juta kesempatan. Jika industri kelas dunia mempunyai target 6 sigma, maka nilai DPMO mencapai 3,4. Semakin tinggi nilai DPMO berakibat semakin rendah nilai sigma, artinya kualitas produksi tidak semakin baik.

Indeks kemampuan/kapabilitas proses dalam pengendalian kualitas untuk data atribut pernah diteliti oleh Kun-Lin Hsieh dan Lee-Ing Tong (2006) dengan judul “Incorporating process capability index and *quality loss* function into analyzing the process capability for qualitative data”. Pada penelitian ini Kun-Lin dan Lee-Ing menganalisa kapabilitas untuk kasus univariat dengan fungsi kuadrat *quality loss* yang dikembangkan oleh Taguchi. Indeks kapabilitas proses dalam penerapannya pernah diteliti oleh Felix Wijaya Tiono dkk. (2009) dengan judul “Analisis Kapabilitas Proses Data Kualitatif dan Usulan Perbaikan di Industri

Sandal” dan Lellie Sulistyawati Darmawan dkk. (2010) dengan judul “Pengendalian Kualitas X Menggunakan Grafik Pengendali Hotelling T^2 Univariat dan Multivariat”.

Penelitian yang dilakukan Mukhopadhyay, Paolo C. Cozzucoli, Karina Mayananda, Yoyok Yuni Saputro, dan Felix Wijaya Tiono dkk. berkaitan dengan grafik pengendali atribut. Sedangkan Lellie Sulistyawati Darmawan dkk., penelitiannya berkaitan dengan grafik pengendali variabel. Kajian penerapan kinerja grafik pengendali p -multivariat yang diteliti oleh Karina Mayananda dan Yoyok Yuni Saputro hanya mengkaji tentang analisis produksi menggunakan diagram p -multivariat, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Felix Wijaya Tiono dkk. mengkaji tentang kapabilitas proses produksi data univariat. Lellie Sulistyawati Darmawan dkk., mengkaji penerapan grafik pengendali untuk data variabel multivariat serta menganalisa tentang kapabilitas proses produksi secara univariat dan multivariat.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis ingin melakukan penelitian tentang penerapan grafik pengendali p -multivariat dan menentukan kapabilitas proses produksi untuk kasus multivariat menggunakan fungsi kuadrat *quality loss*. Dalam penelitian ini akan dikaji tentang pengendalian dan kapabilitas proses produksi untuk kecacatan suatu produk pada kasus multivariat. Dari uraian tersebut peneliti melakukan penelitian dalam bentuk skripsi dengan judul “Pengendalian Kualitas Proses Produksi Menggunakan Grafik Pengendali p -Multivariat dan Kapabilitas Proses Produksi Botol Kecap”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penulisan ini adalah:

1. Bagaimana hasil pengendalian kualitas proses produksi botol kecap menggunakan grafik pengendali p -multivariat?
2. Bagaimana kapabilitas proses produksi botol kecap berdasarkan grafik pengendali p -multivariat?
3. Bagaimana kesesuaian kapabilitas proses produksi dengan agama?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas, tujuan penulisan ini adalah:

1. Untuk mengetahui hasil pengendalian kualitas proses produksi menggunakan grafik pengendali p -multivariat
2. Menentukan kapabilitas proses produksi botol kecap berdasarkan grafik pengendali p -multivariat
3. Untuk mengetahui kesesuaian kapabilitas proses produksi dengan agama

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Kualitas botol kecap ditinjau berdasarkan cacat produk
2. Menentukan nilai pencapaian sigma menggunakan nilai DPMO
3. Komputasi dilakukan dengan menggunakan bantuan software Ms.Excel 2007 dan Matlab R2010a

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pihak terkait. Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Bagi instansi

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk mengontrol proses produksi selanjutnya dalam kasus multivariat

2. Bagi pembaca

Penulis berharap penelitian ini mampu memberikan pengetahuan tentang grafik pengendali kualitas untuk kasus multivariat.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan penelitian ini, penulis menggunakan sistematika penulisan yang terdiri dari 5 bab, dan masing-masing bab dibagi dalam subbab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Kajian Teori

Pada bab ini penulis menjelaskan beberapa teori yang berhubungan dengan penelitian, yaitu mengenai grafik pengendali (*control chart*), grafik pengendali atribut, grafik pengendali p -multivariat, kapabilitas proses, dan kajian keagamaan.

Bab III Metode Penelitian

Pada bab ini penulis menjelaskan langkah-langkah dalam penelitian yang meliputi pendekatan penelitian, sumber data, dan struktur data yang digunakan serta metode analisis.

Bab IV Pembahasan

Pada bab ini penulis menjelaskan bagaimana membuat grafik pengendali p -multivariat dalam pengendalian kecacatan untuk data multiatribut dan analisis kapabilitas proses dengan langkah-langkah yang telah disebutkan dalam metode penelitian.

Bab V Penutup

Pada bab ini akan memaparkan kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Teori Dasar

2.1.1 Distribusi Peluang Diskrit

Definisi 1: Distribusi Peluang Diskrit

Fungsi $f(x)$ merupakan fungsi massa peluang peubah acak diskrit X jika untuk kemungkinan setiap hasil x , berlaku:

1. $f(x) \geq 0$
2. $\sum_x f(x) = 1$
3. $P(X = x) = f(x)$ (Walpole dan Myers, 1995).

Contoh:

Suatu pengiriman 8 komputer PC yang sama ke suatu toko mengandung 3 yang cacat. Bila suatu sekolah membeli 2 komputer ini secara acak, cari distribusi peluang banyaknya yang cacat!

Penyelesaian:

Misalkan X peubah acak dengan nilai x kemungkinan banyaknya komputer yang cacat yang dibeli sekolah tersebut. Maka x dapat memperoleh setiap nilai 0,1, dan 2.

$$\text{Sekarang, } f(0) = P(X = 0) = \frac{\binom{3}{0} \binom{5}{2}}{\binom{8}{2}} = \frac{10}{28}$$

$$f(1) = P(X = 1) = \frac{\binom{3}{1} \binom{5}{1}}{\binom{8}{2}} = \frac{15}{28}$$

$$f(2) = P(X = 2) = \frac{\binom{3}{2} \binom{5}{0}}{\binom{8}{2}} = \frac{3}{28}$$

Jadi distribusi peluang X adalah:

x	0	1	2
$f(x)$	$\frac{10}{28}$	$\frac{15}{28}$	$\frac{3}{28}$

2.1.2 Ekspektasi dan Variansi

Definisi 2: Ekspektasi

Misalkan X suatu peubah acak dengan distribusi peluang $f(x)$. Nilai ekspektasi atau rata-rata X adalah:

$$\mu = E[X] = \sum_x xf(x)$$

bila X diskrit, dan

$$\mu = E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)$$

bila X kontinu (Walpole dan Myers, 1995).

Contoh:

Carilah nilai ekspektasi banyaknya kimiawan dalam panitia. 3 orang yang dipilih secara acak dari 4 kimiawan dan 3 biolog!

Penyelesaian:

Misalkan X menyatakan banyaknya kimiawan dalam panitia. Distribusi peluang X adalah:

$$f(x) = \frac{\binom{4}{x}\binom{3}{3-x}}{\binom{7}{3}}, x = 0, 1, 2, 3$$

diperoleh untuk $f(0) = \frac{1}{35}$, $f(1) = \frac{12}{35}$, $f(2) = \frac{18}{35}$ dan $f(3) = \frac{4}{35}$. Sehingga,

$$\begin{aligned} \mu = E[X] &= (0) \left(\frac{1}{35}\right) + (1) \left(\frac{12}{35}\right) + (2) \left(\frac{18}{35}\right) + (3) \left(\frac{4}{35}\right) \\ &= \frac{12}{7} \\ &= 1,7 \end{aligned}$$

Jadi, bila suatu panitia beranggota 3 orang dipilih secara acak berulang-ulang dari 4 kimiawan dan 3 biolog, maka rata-ratanya akan beranggotakan 1,7 kimiawan.

Teorema 1:

Misalkan X suatu peubah acak diskrit dengan fungsi massa peluang $f_x(x)$ dan c adalah suatu konstanta. Misalkan $g(x)$, $g_1(x)$, dan $g_2(x)$ fungsi dari X yang memiliki ekspektasi, maka:

- i. $E[c] = c$
- ii. $E[cg(X)] = cE[g(X)]$
- iii. $E[g_1(X) + g_2(X)] = E[g_1(X)] + E[g_2(X)]$ (Dudewicz dan Mishra, 1995).

Bukti:

- i.
$$\begin{aligned} E[c] &= \sum_{i=1}^n c f_x(x_i) \\ &= c \sum_{i=1}^n f_x(x_i) \\ &= c \end{aligned}$$
- ii.
$$\begin{aligned} E[cg(X)] &= \sum_{i=1}^n c g(x_i) f_x(x_i) \\ &= c \sum_{i=1}^n g(x_i) f_x(x_i) \\ &= cE[g(X)] \end{aligned}$$
- iii.
$$\begin{aligned} E[g_1(X) + g_2(X)] &= \sum_{i=1}^n (g_1(x_i) + g_2(x_i)) f_x(x_i) \\ &= \sum_{i=1}^n g_1(x_i) f_x(x_i) + \sum_{i=1}^n g_2(x_i) f_x(x_i) \\ &= E[g_1(X)] + E[g_2(X)] \end{aligned}$$

Definisi 3: Variansi

Misalkan X suatu peubah acak dengan fungsi distribusi $f(x)$ dan rata-rata μ . Variansi X adalah:

$$\text{Var}(X) = \sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \sum_x (x - \mu)^2 f(x)$$

bila diskrit, dan

$$\text{Var}(X) = \sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) d(x)$$

bila kontinu (Walpole dan Myers, 1995).

Contoh:

Misalkan peubah acak X menyatakan banyaknya mobilyang digunakan untuk keperluan dinas kantor pada setiap hari kerja. Distribusi peluang untuk kantor A adalah:

x	1	2	3
$f(x)$	0.3	0.4	0.3

dan untuk kantor B adalah:

x	0	1	2	3	4
$f(x)$	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1

Tunjukkan bahwa variansi distribusi peluang kantor B lebih besar daripada variansi kantor A.

Penyelesaian:

Untuk kantor A, diperoleh:

$$\mu = E[X] = (1)(0.3) + (2)(0.4) + (3)(0.3) = 2.0$$

dan

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \sum_{x=1}^3 (x - 2)^2 f(x) \\ &= (1 - 2)^2(0,3) + (2 - 2)^2(0,4) + (3 - 2)^2(0,3) = 0.6 \end{aligned}$$

Untuk kantor B, diperoleh:

$$\mu = E[X] = (0)(0.2) + (1)(0.1) + (2)(0.3) + (3)(0.3) + (4)(0.1) = 2.0$$

dan

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \sum_{x=0}^4 (x - 2)^2 f(x) \\ &= (0 - 2)^2(0,2) + (1 - 2)^2(0,1) + (2 - 2)^2(0,3) + (3 - 2)^2(0,3) \\ &\quad + (4 - 2)^2(0,1) = 1.6 \end{aligned}$$

Jadi, variansi banyaknya mobil yang digunakan untuk keperluan dinas lebih besar untuk kantor B daripada untuk kantor A.

Teorema 2:

Misalkan X suatu peubah acak dengan fungsi distribusi $f(x)$ dan rata-rata μ . Variansi peubah acak X adalah:

$$\text{Var}(X) = \sigma^2 = E[X^2] - \mu^2$$

Bukti:

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] \quad (\text{definisi 3})$$

$$= \sum_x (x - \mu)^2 f(x)$$

$$= \sum_x (x^2 - 2\mu x + \mu^2) f(x)$$

$$= \sum_x (x^2) f(x) - 2\mu \sum_x x f(x) + \mu^2 \sum_x f(x)$$

$$= \sum_x (x^2) f(x) - 2\mu \cdot \mu + \mu^2 \cdot 1 \quad (\text{definisi 2})$$

$$= \sum_x (x^2) f(x) - 2\mu^2 + \mu^2$$

$$= \sum_x (x^2) f(x) - \mu^2 \quad (\text{definisi 2})$$

$$= E[X^2] - \mu^2$$

dapat ditulis dalam bentuk:

$$\begin{aligned} \text{Var}(X) &= \sigma^2 = E[X^2] - \mu^2 \\ &= E[X^2] - (E[X])^2 \end{aligned}$$

Teorema 3:

Jika a dan b adalah konstanta, dan X adalah peubah acak maka $\text{Var}(aX + b) = a^2 \text{Var}(X)$ (Dudewicz dan Mishra, 1995).

Bukti:

$$\begin{aligned} \text{Var}(aX + b) &= E[[aX + b] - E[aX + b]]^2 \\ &= E[[aX + b] - E[aX] - E[b]]^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Var}(aX + b) &= E[aX + b - aE[X] - b]^2 \\
 &= E[aX - aE[X]]^2 \\
 &= a^2 E[X - E[X]]^2 \\
 &= a^2 \text{Var}(X)
 \end{aligned}$$

2.1.3 Distribusi Multinomial

Jika pada distribusi binomial digunakan untuk sejumlah sukses dari n percobaan yang independen, dimana seluruh hasil (*outcomes*) dikategorikan ke dalam dua kelompok (sukses atau gagal). Maka distribusi multinomial digunakan untuk penentuan probabilitas hasil yang dikategorikan ke dalam lebih dari dua kelompok.

Percobaan binomial menjadi percobaan multinomial bila tiap usaha dapat memberikan lebih dari dua hasil yang mungkin. Umumnya, bila suatu usaha dapat menghasilkan k hasil yang mungkin E_1, E_2, \dots, E_k dengan peluang P_1, P_2, \dots, P_k , maka distribusi multinomial akan memberikan peluang bahwa E_1 terjadi sebanyak x_1 kali, peluang E_2 terjadi sebanyak x_2 kali, sampai peluang E_k terjadi sebanyak x_k kali dalam n usaha bebas dengan $x_1 + x_2 + \dots + x_k = n$.

Definisi 4: Distribusi Multinomial

Bila dari suatu percobaan diperoleh k macam hasil E_1, E_2, \dots, E_k , dengan peluang P_1, P_2, \dots, P_k , maka distribusi peluang dari suatu peubah acak x_1, x_2, \dots, x_k , yang menyatakan banyak terjadinya E_1, E_2, \dots, E_k dalam n kali percobaan adalah:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k; P_1, P_2, \dots, P_k; n) = \binom{n}{x_1, x_2, \dots, x_k} P_1^{x_1} P_2^{x_2} \dots P_k^{x_k}$$

dengan

$$\sum_{i=1}^k x_i = n \quad \text{dan} \quad \sum_{i=1}^k p_i = 1 \text{ (Dudewicz dan Mishra, 1995).}$$

Contoh:

Bila dua dadu dilantunkan 6 kali, berapakah peluang mendapat jumlah 7 atau 11 muncul 2 kali, sepasang bilangan yang sama satu kali, dan kombinasi lainnya 3 kali?

Penyelesaian:

Misalkan kejadian berikut menyatakan,

E_1 : jumlah 7 atau 11 muncul

E_2 : pasangan bila yang sama muncul

E_3 : baik pasangan yang sama maupun jumlah 7 atau 11 tidak muncul

Peluang masing-masing kejadian di atas ialah $P_1 = \frac{2}{9}$, $P_2 = \frac{1}{6}$, dan $P_3 = \frac{11}{18}$. Nilai ini tidak berubah selama keenam usaha dilakukan. Dengan menggunakan distribusi multinomial dengan $x_1 = 2$, $x_2 = 1$, dan $x_3 = 3$, maka diperoleh peluang yang dinyatakan:

$$\begin{aligned} f\left(2, 1, 3; \frac{2}{9}, \frac{1}{6}, \frac{11}{18}; 6\right) &= \binom{6}{2, 1, 3} \left(\frac{2}{9}\right)^2 \left(\frac{1}{6}\right)^1 \left(\frac{11}{18}\right)^3 \\ &= \frac{6!}{2!1!3!} \cdot \frac{2^2}{9^2} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{11^3}{18^3} = 0,1127 \end{aligned}$$

Teorema 4:

Nilai ekspektasi dan variansi untuk distribusi multinomial adalah:

$E[X_i] = np_i$ dan $\text{Var}(X_i) = np_i(1 - p_i)$; untuk $i = 1, 2, \dots, k$ (Dudewicz dan Mishra, 1995).

Bukti:

$$E[X_i] = \sum_{x=1}^n xP(X_i = x)$$

$$\begin{aligned}
E[X_i] &= \sum_{x=1}^n x \binom{n}{x} p_i^x (1 - p_i)^{n-x} \\
&= \sum_{x=1}^n x \frac{n!}{x!(n-x)!} p_i^x (1 - p_i)^{n-x} \\
&= \sum_{x=1}^n x \frac{n(n-1)!}{x(x-1)!(n-x)!} p_i p_i^{x-1} (1 - p_i)^{n-x} \\
&= np_i \sum_{x=1}^n \frac{(n-1)!}{(x-1)!(n-x)!} p_i^{x-1} (1 - p_i)^{n-x}
\end{aligned}$$

misalkan $m = n - 1$ dan $s = x - 1$, maka persamaan di atas menjadi:

$$E[X_i] = np_i \sum_{s=0}^m \frac{m!}{s!(m-s)!} p_i^s (1 - p_i)^{m-s}$$

Berdasarkan definisi 1, yaitu:

$$\sum_x f(x) = \sum_{x=0}^n \binom{n}{x} p_i^x (1 - p_i)^{n-x} = 1$$

sehingga,

$$\sum_{s=0}^m \frac{m!}{s!(m-s)!} p_i^s (1 - p_i)^{m-s} = 1$$

maka,

$$\begin{aligned}
E[X_i] &= np_i \sum_{s=0}^m \frac{m!}{s!(m-s)!} p_i^s (1 - p_i)^{m-s} \\
&= np_i \cdot 1 \\
&= np_i
\end{aligned}$$

dan variansi untuk distribusi multinomial adalah:

$$\text{Var}(X_i) = np_i(1 - p_i)$$

Bukti:

$$\text{Var}(X_i) = E[X_i^2] - (E[X_i])^2$$

Dalam mencari $\text{Var}(X_i)$, harus diketahui nilai dari ekspektasi dari X_i^2 :

$$\begin{aligned}
E[X_i^2] &= \sum_{x=1}^n x^2 P(X_i = x) \\
&= \sum_{x=1}^n x^2 \binom{n}{x} p_i^x (1 - p_i)^{n-x}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E[X_i^2] &= \sum_{x=1}^n x^2 \frac{n!}{x!(n-x)!} p_i^x (1-p_i)^{n-x} \\
&= \sum_{x=1}^n x^2 \frac{n(n-1)!}{x(x-1)!(n-x)!} p_i p_i^{x-1} (1-p_i)^{n-x} \\
&= np_i \sum_{x=1}^n x \frac{(n-1)!}{(x-1)!(n-x)!} p_i^{x-1} (1-p_i)^{n-x}
\end{aligned}$$

misalkan $m = n - 1$ dan $s = x - 1$, maka persamaan di atas menjadi:

$$\begin{aligned}
E[X_i^2] &= np_i \sum_{s=0}^m (s+1) \frac{m!}{s!(m-s)!} p_i^s (1-p)^{m-s} \\
&= np_i \sum_{s=0}^m (s+1) \binom{m}{s} p_i^s (1-p)^{m-s} \\
&= np_i \left(\sum_{s=0}^m s \binom{m}{s} p_i^s (1-p)^{m-s} + \sum_{s=0}^m 1 \binom{m}{s} p_i^s (1-p)^{m-s} \right) \\
&= np_i (mp_i + 1) \\
&= np_i ((n-1)p_i + 1) \\
&= np_i (np_i - p_i + 1)
\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
Var(X_i) &= E[X_i^2] - (E[X_i])^2 \\
&= np_i (np_i - p_i + 1) - (np_i)^2 \\
&= (np_i)^2 - np_i^2 + np_i - (np_i)^2 \\
&= -np_i^2 + np_i \\
&= np_i (1 - p_i)
\end{aligned}$$

2.2 Grafik Pengendali

Dalam proses produksi, selalu ada variabilitas dasar/gangguan dasar yang menjadi pengaruh kumulatif dari banyak sebab-sebab kecil yang pada dasarnya tidak terkendali. Suatu proses yang bekerja dengan adanya sebab-sebab terduga merupakan bagian dari tidak diterimanya suatu produk. Tujuan pokok pengendali kualitas statistik untuk menyidik dengan cepat terjadinya sebab-sebab terduga

atau pergeseran proses sedemikian hingga penyelidikan terhadap proses itu dan tindakan pembetulan dapat dilakukan sebelum terlalu banyak unit yang tidak sesuai dengan produksi. Ini berarti grafik pengendali sebagai alat yang efektif dalam mengurangi variabilitas sebanyak mungkin. Secara umum model grafik pengendali dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} BPA &= \mu_w + k\sigma_w \\ GT &= \mu_w \\ BPB &= \mu_w - k\sigma_w \end{aligned} \quad (2.1)$$

di mana:

BPA : Batas Pengendali Atas

GT : Garis Tengah

BPB : Batas Pengendali Bawah

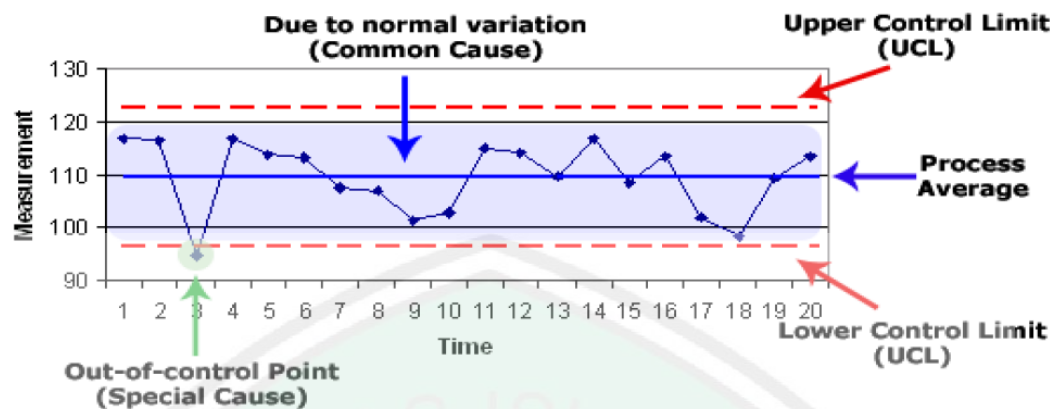
w : statistik sampel yang digunakan sebagai ukuran karakteristik kualitas proses produksi

k : jarak batas kendali dari garis tengah yang dinyatakan dalam unit standar deviasi

σ_w : standar deviasi dari w

μ_w : mean dari w (Montgomery, 1990).

Teori umum grafik pengendali ini pertama kali ditemukan oleh Dr. Walter A. Shewart dan grafik pengendali yang dikembangkan menurut asas-asas ini sering kali dinamakan grafik pengendali Shewhart (Montgomery, 1990).



Gambar 2.1 Contoh Grafik Pengendali Statistik

(Sumber: Yunita, 2010)

2.2.1 Grafik Pengendali Atribut

Karakteristik kualitas terkadang tidak dapat dinyatakan secara numerik. Dalam hal seperti ini, setiap benda yang diperiksa diklasifikasikan sebagai sesuai dengan spesifikasi pada karakteristik kualitas atau tidak sesuai dengan spesifikasi karakteristik kualitas. Karakteristik kualitas seperti ini dinamakan sifat (atribut). Menurut Besterfield (Ariani, 2003) data atribut digunakan ketika pengukuran tidak memungkinkan untuk dilakukan. Misalnya goresan, kesalahan warna, atau terdapat bagian yang hilang. Selain itu, data atribut digunakan apabila pengukuran dapat dilakukan tetapi tidak dilakukan karena alasan waktu, biaya, atau kebutuhan. Dengan kata lain, meskipun diameter suatu pipa dapat diukur, tetapi mungkin akan lebih tepat dan mudah menggunakan ukuran baik dan tidak baik untuk menentukan apakah produk tersebut sesuai dengan spesifikasi atau tidak sesuai dengan spesifikasi.

Terdapat tiga grafik pengendali atribut yang banyak digunakan. Yakni grafik pengendali p sebagai grafik pengendali untuk proporsi ketidaksesuaian, grafik pengendali c sebagai grafik pengendali untuk ketidaksesuaian, dan grafik

kendali u sebagai grafik pengendali untuk banyaknya ketidaksesuaian per unit (Montgomery, 1990).

Tiga grafik pengendali di atas merupakan grafik pengendali atribut untuk kasus univariat. Namun, dalam kenyatannya tidak jarang ditemui kasus untuk karakteristik atribut lebih dari satu. Jika terjadi demikian, maka grafik pengendali yang digunakan adalah grafik pengendali multivariat atribut.

2.2.2 Grafik Pengendali p -Multivariat

Untuk mengevaluasi tingkat cacat secara keseluruhan suatu produk didapatkan dari n sampel item. Masing-masing sampel diklasifikasikan $(k + 1)$ kelas cacat dan kategori kualitas cacat saling bebas. Diberikan $D = (D_0, D_1, \dots, D_i, \dots, D_k)$, dimana D_i adalah kategori tingkat cacat ke- i , D_0 kategori bebas cacat, dan D_k adalah tingkat cacat yang serius. Cacat yang berbeda tersebut membawa kerugian terhadap proses kualitas yang berhubungan dengan vektor D . Dapat didefinisikan bahwasanya vektor pembobot merupakan penilaian secara numrik terhadap cacat suatu produk guna mencari penaksir parameter dari tingkat cacat keseluruhan. Diagram p -multivariat memiliki nilai pembobot sebesar $0 < d_i < 1, d_i < d_{i+1}, d_0 = 0$ dan $d_1 = 1$, dimana nilai pembobot ditentukan oleh besarnya tingkat kepentingan jenis cacat. Dalam hal ini peubah acak multivariat $x = (x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_k)$ memiliki sebaran multinomial dengan parameter n dan vektor probabilitas $p = (p_0, p_1, \dots, p_i, \dots, p_k)$, dimana $0 \leq p_i \leq 1$ dan $\sum_{i=0}^k p_i = 1$ (Cozzucoli, 2009).

Diagram p -multivariat dibagi dalam 2 tahap. Tahap 1 digunakan dalam pembuatan diagram kendali sebagai acuan terhadap pengendalian produk selanjutnya. Dalam hal ini, semua data yang diperiksa berada dalam batas kendali.

Jika terdapat data yang berada di luar batas kendali, maka dilakukan pemeriksaan terhadap sebab terduga. Setelah ditemukan sebab terduga, nilai karakteristik sampel yang berada diluar batas kendali dihilangkan dan dilakukan perhitungan kembali batas kendali dengan data yang ada sehingga ditemukan batas kendali baru dengan semua nilai karakteristik sampel berada dalam batas kendali. Pengendalian tahap 1 bertujuan untuk mengidentifikasi *multivariate outlier*, sehingga nilai batas kendali dari pengendalian tahap 1 cukup akurat untuk pengendalian tahap 2. Pada tahap 2, data yang digunakan adalah data baru atau data yang akan dievaluasi dengan m pengamatan. Tahap 2 bertujuan untuk mengevaluasi apakah proses berikutnya masih dalam keadaan terkendali dengan batas kendali yang digunakan adalah batas kendali pada tahap 1.

2.2.3 Penduga Parameter

Acceptable Quality Level (AQL) merupakan batasan kualitas yang dapat diterima antara pihak produsen dengan pelanggan. Semakin besar nilai AQL maka pembobot semakin kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa AQL dan pembobot berbanding terbalik. Oleh karena itu, besarnya pembobot dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut (Karina, 2011).

$$d_i = \frac{1}{\frac{AQL_i}{\sum_{i=1}^3 AQL_i}} \quad (2.2)$$

dimana d_i : pembobot kelas cacat ke- i

AQL_i : AQL kelas cacat ke- i , untuk $i = 1$ kelas kritis

$i = 2$ kelas major

$i = 3$ kelas minor

Diasumsikan klasifikasi cacat berdasarkan tingkat cacat keseluruhan sebagai berikut.

$$\delta = \sum_{i=0}^k d_i p_i \quad (2.3)$$

dimana d_i : vektor pembobot dari kelas cacat ($0 \leq d_i \leq 1$)

p_i : proporsi item kelas cacat ke- i

δ : tingkat cacat keseluruhan ($0 \leq \delta \leq 1$)

i : karakteristik kualitas

Diberikan $x = (x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_k)$ penaksir dari parameter $p = (p_0, p_1, \dots, p_i, \dots, p_k)$ adalah:

$$\hat{p}_i = \frac{x_i}{n} \quad (2.4)$$

dengan x berdistribusi binomial. Setelah didapatkan dugaan rata-rata proporsi, untuk memantau parameter cacat δ digunakan statistik sampel sebagai berikut.

$$\hat{\delta} = \sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_i \quad (2.5)$$

Nilai ekspektasi dari $\hat{\delta}$ adalah

$$\begin{aligned} E(\hat{\delta}) &= \mu = E\left(\sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_i\right) \\ &= \sum_{i=0}^k E[d_i \hat{p}_i] \\ &= \sum_{i=0}^k E[d_i] E[\hat{p}_i] \end{aligned} \quad (\text{Teorema 1})$$

$$= \sum_{i=0}^k d_i p_i \quad (2.6)$$

Variansi dari $\hat{\delta}$ adalah

$$\begin{aligned} \text{Var}(\hat{\delta}) &= \text{Var}\left(\sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_i\right) \\ &= \sum_{i=0}^k \text{Var}(d_i \hat{p}_i) \\ &= \sum_{i=0}^k d_i^2 \text{Var}\left(\frac{x_j}{n}\right) \end{aligned} \quad (\text{Teorema 3})$$

$$\begin{aligned}
 \text{Var}(\hat{\delta}) &= \sum_{i=0}^k \left(d_i^2 \frac{1}{n^2} n p_i (1 - p_i) \right) \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=0}^k d_i^2 p_i (1 - p_i) \\
 \sigma^2(\hat{\delta}) &= \frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=0}^k d_i^2 p_i \right) - \left(\sum_{i=0}^k d_i p_i \right)^2 \right] \tag{2.7}
 \end{aligned}$$

dan estimasi dari $\sigma^2(\hat{\delta})$ adalah

$$S^2(\hat{\delta}) = \frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=0}^k d_i^2 \hat{p}_i \right) - \left(\sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_i \right)^2 \right] \tag{2.8}$$

Vektor p berdistribusi normal multivariat, sehingga estimasi δ berdistribusi normal. Berdasarkan Gold (1963) dalam Cozzucoli diperoleh selang kepercayaan $(1 - \alpha)$ untuk statistik sampel cacat keseluruhan sebagai berikut.

$$\delta = \sum_{i=0}^k d_i p_i \in \left\{ \sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_i \pm \sqrt{\chi_{k,\alpha}^2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=0}^k d_i^2 \hat{p}_i \right) - \left(\sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_i \right)^2 \right]} \right\} \tag{2.9}$$

dimana $\chi_{k,\alpha}^2$ merupakan batas atas dari distribusi χ^2 dengan derajat bebas k .

2.2.4 Batas Kendali Grafik Pengendali p -Multivariat

Proses X multinomial diklasifikasikan dalam $(k + 1)$ kelas cacat, sehingga asumsi pembobot yang sama dapat digunakan untuk kategori cacat dalam diagram kendali *Chi-Square*. Biasanya, vektor $p_0 = (p_{00}, p_{10}, \dots, p_{i0}, \dots, p_{k0})$ tidak diketahui dan perlu ditaksir berdasarkan m pengamatan dengan masing-masing pengamatan berukuran n sampel dari proses yang terkendali. Misalkan $x_j = (x_{j0}, x_{j1}, \dots, x_{ji}, \dots, x_{jk})$ dimana $j = 1, 2, \dots, m$ dengan n sampel tiap pengamatan dari x_{ji} berdistribusi multinomial dengan parameter (n, p_i) sehingga x_j adalah jumlah cacat pada pengamatan ke- j yang diklasifikasikan dalam kategori cacat D_i . Oleh karena itu, penaksir parameter tak bias p_i adalah:

$$\bar{\hat{p}}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \hat{p}_{ij} \tag{2.10}$$

dimana $\hat{p}_{ij} = \frac{x_{ij}}{n}$, dengan statistik sampel:

$$\hat{\delta}_j = \sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_{ij} \quad (2.11)$$

dan batas kendali untuk grafik pengendali p -multivariat adalah

$$\begin{aligned} BPA &= \sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i + \sqrt{\chi_{k,\alpha}^2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=0}^k d_i^2 \bar{p}_i \right) - \left(\sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i \right)^2 \right]} \\ GT &= \sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i \\ BPB &= \sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i - \sqrt{\chi_{k,\alpha}^2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=0}^k d_i^2 \bar{p}_i \right) - \left(\sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i \right)^2 \right]} \end{aligned} \quad (2.12)$$

2.3 Identifikasi Variabel Penyebab *Out Of Control*

Dalam Taleb (2009) bahwa suatu pendekatan yang dapat digunakan dalam mendiagnosis variabel yang menyebabkan proses tidak terkendali adalah dengan pendekatan jarak probabilitas, dimana prosesnya melibatkan proses multinomial, sehingga prosedur statistik yang benar berdasarkan statistik sampel adalah

$$Z_i = n_0 n_i \sum_{j=0}^k \frac{(\hat{p}_{ji} - \hat{p}_{0i})^2}{X_{ji} + X_{0i}} \quad (2.13)$$

Z_i merupakan indikator kontribusi relatif dari variabel ke- i untuk keseluruhan statistik, n_0 dan n_i merupakan ukuran sampel periode ke-0 dan ke- i serta j adalah subgrup yang *out of control*. Perbaikan proses difokuskan pada variabel yang memiliki nilai Z_i lebih besar dari $\lambda_{(k-1,\alpha)}^2$ (Cozzucoli, 2009).

2.4 Karakteristik Kualitas (*Critical To Quality/CTQ*)

Karakteristik kualitas (*Critical To Quality/CTQ*) adalah atribut-atribut yang sangat penting untuk diperhatikan karena berkaitan langsung dengan kebutuhan dan kepuasan pelanggan. CTQ merupakan elemen dari suatu produk,

proses, atau praktek-praktek yang berdampak langsung pada kepuasan pelanggan (Wahyani, dkk., 2011).

2.5 Kapabilitas Proses

Kemampuan/kapabilitas proses merupakan alat ukur suatu proses apakah proses produksi sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan. Proses dikatakan *capable* jika penyebaran proses aktual lebih kecil dari sebaran yang diijinkan perusahaan dengan data berdistribusi normal. Perbandingan antara penyebaran spesifikasi produk dengan penyebaran proses sebenarnya disebut IKP.

Jika suatu produk keluar dari batas spesifikasi sehingga produk tersebut tidak memenuhi target, maka hal ini yang menyebabkan terjadinya *quality loss*. Taguchi mengembangkan fungsi kuadrat *quality loss* untuk menghitung biaya dari *quality loss*. Fungsi kuadrat *quality loss* didefinisikan sebagai berikut.

$$L(y) = k(y - T)^2 \quad (2.14)$$

dan ekspektasi *quality loss* dapat dideskripsikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} QL &= E[L(y)] = E[k(y - T)^2] \\ &= E[k(y - \mu + \mu - T)^2] \\ &= kE[(y - \mu + \mu - T)^2] \quad (\text{Teorema 1}) \\ &= kE[(y - \mu + \mu - T)(y - \mu + \mu - T)] \\ &= kE[y^2 - \mu y + \mu y - Ty - y\mu + \mu^2 - \mu^2 + T\mu + y\mu - \mu^2 + \mu^2 - T\mu + \\ &\quad yT + \mu T - \mu T + T^2] \quad (2.15) \end{aligned}$$

Untuk respon data kualitatif, target harus *zero defect* ($T = 0$), yang berarti tidak ada kecacatan. Maka persamaan (2.15) menjadi

$$\begin{aligned} QL &= kE[y^2 - \mu y + \mu y - y\mu + \mu^2 - \mu^2 + y\mu - \mu^2 + \mu^2] \\ &= kE[y^2 - \mu^2 + \mu^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
QL &= k(E[y^2] - E[\mu^2] + E[\mu^2]) \\
&= k(E[y^2] - \mu^2 + \mu^2) && \text{(Teorema 1)} \\
&= k((E[y^2] - \mu^2) + \mu^2) \\
&= k(\sigma^2 + \mu^2) && \text{(Teorema 2)} \\
&= k(\mu^2 + \sigma^2) && (2.16)
\end{aligned}$$

dimana y melambangkan respon data, T melambangkan nilai target, k melambangkan konstanta dari *quality loss* yang dipakai selama proses masih berada dalam batasan spesifikasi, μ melambangkan rata-rata proses dan σ melambangkan deviasi standar dari proses (Kun & Lee, 2006).

Fungsi *quality loss* dapat dipresentasikan sebagai $QL = QL(\theta)$. Untuk data kualitatif, berdasarkan konsep fungsi *quality loss*, pengukuran kuantitatif dari kemampuan proses dapat dibangun. Yakni dengan memakai rasio *quality loss* yang diperbolehkan oleh pelanggan dan *quality loss* aktual. Sehingga IKP data atribut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$IKP = \frac{QL(\theta_c)}{QL(\theta)} \quad (2.17)$$

dimana θ melambangkan parameter proses dari proses sebenarnya dan θ_c melambangkan parameter dari proses yang diharapkan oleh pelanggan. Pada kenyataannya, data kualitatif dapat dideskripsikan dengan baik oleh beberapa macam distribusi seperti distribusi binomial.

Peubah acak Y berdistribusi bernouli jika untuk $0 \leq p \leq 1$ didefinisikan sebagai berikut.

$$P[Y = y] = P_y(y) = \begin{cases} p^y(1-p)^{1-y} & y=0,1 \\ 0 & y \text{ lainnya} \end{cases}$$

Sehingga IKP untuk Y dengan $\theta_c = p_c, \theta = p, \mu = p, \sigma^2 = p(1-p)$ dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$IKP = \frac{QL(\theta_c)}{QL(\theta)} = \frac{k[p_c^2 + (p_c - p_c^2)]}{k[p^2 + (p - p^2)]} = \frac{p_c}{p} \quad (2.18)$$

dimana p melambangkan proporsi produk cacat (parameter dari distribusi Binomial), p_c melambangkan level kualitas yang dapat diterima (AQL) oleh pelanggan untuk proporsi kecacatan produk, jika:

1. $p_c < p$, maka kapabilitas proses belum dapat memenuhi keinginan pelanggan (proses dalam keadaan buruk), $IKP < 1$
2. $p_c = p$, maka kapabilitas proses memenuhi keinginan pelanggan, $IKP = 1$
3. $p_c > p$, maka kapabilitas proses sudah memuaskan keinginan pelanggan, $IKP > 1$

Kemudian, jika setiap pengamatan yang diperiksa adalah sejumlah n , maka parameter yang dihubungkan dapat dinotasikan sebagai berikut.

$$D = \sum_i^n y_i \sim B(n, p)$$

dengan $\theta_c = p_c$, $\theta = p$, $\mu = np$, $\sigma^2 = np(1 - p)$

$B(n, p)$ melambangkan distribusi binomial, maka persamaan untuk nilai IKP sebagai berikut.

$$IKP = \frac{K[(np_c)^2 + n(p_c - p_c^2)]}{k[np^2 + n(p - p^2)]} = \frac{[(n-1)p_c^2 + p_c]}{[(n-1)p^2 + p]} \quad (2.19)$$

Jika:

1. $p_c < p$, maka kapabilitas proses belum dapat memenuhi keinginan pelanggan, nilai IKP akan berkurang seiring dengan bertambahnya n produk yang diperiksa setiap pengamatan
2. $p_c = p$, maka kapabilitas proses tepat memenuhi keinginan pelanggan, $IKP = 1$

3. $p_c > p$, maka kapabilitas proses sudah memuaskan keinginan pelanggan, nilai *IKP* akan bertambah seiring dengan bertambahnya n produk yang diperiksa setiap pengamatan (Kun & Lee, 2006).

2.6 Defect Per Million Opportunities (DPMO)

Defect merupakan kegagalan dalam suatu produksi. Sedangkan *Defect per Oppurtunities* (DPO) merupakan ukuran kegagalan yang dihitung dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*, yang menunjukan banyaknya cacat atau kegagalan per satu kesempatan dengan perhitungan DPO sebagai berikut.

$$DPO = \frac{\text{banyakcacatyangditentukan}}{\text{banyakunityangdiperiksa} \times \text{jumlah hCTQ}} \quad (2.20)$$

Jika nilai DPO dikalikan dengan 1.000.000, maka akan menghasilkan nilai DPMO. Tingkat sigma sering dihubungkan dengan kapabilitas proses yang dihitung dalam DPMO. Berdasarkan *Vincent Gaspersz* (2002) dalam Suteyo, beberapa tingkat pencapaian sigma sebagai berikut.

Tabel 2.1 Tingkat Pencapaian Sigma

Prosentase yang Memenuhi Spesifikasi	DPMO	Level Sigma	Keterangan
31%	691.462	1 – sigma	Sangat tidak kompetitif
69.20%	308.538	2 – sigma	Rata-rata industri Indonesia
93.32%	66.807	3 – sigma	
99.379%	6.210	4 – sigma	Rata-rata industri USA
99.977%	233	5 – sigma	
99.9997%	3.4	6 – sigma	Industri kelas dunia

2.7 Konversi DPMO ke Nilai Pencapaian Sigma

Perhitungan nilai sigma dapat dilakukan dengan beberapa metode. Adapun metode tersebut adalah sebagai berikut.

- a. Dengan menggunakan *software Ms.Excel*, nilai pencapaian sigma dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\text{Normsinv}(1-\text{DPO})+1,5.$$

- b. Menggunakan tabel konversi nilai DPMO ke nilai sigma berdasarkan konsep Motorola oleh Vincent Gaspersz (Putri, 2010).

2.8 Profil Perusahaan

PT. IGLAS (Persero) merupakan BUMN yang bergerak dibidang pembuatan kemasan gelas. PT. IGLAS (Persero) berada di bawah Departemen Perindustrian Direktorat Jenderal Industri Kimia. PT. IGLAS (Persero) didirikan pada 10 Nopember 1941 (sebelum merdeka) dengan nama PN IGLAS (*Nederlands Indische Fabriken*). Pada tanggal 02 Nopember 1955, Bank Indonesia mengadakan kontrak dengan *Le Havre* untuk mendatangkan mesin-mesin dan mendidik tenaga-tenaga Indonesia selama 3 bulan. Berdasarkan UU No. 19/1960 tentang Perusahaan Negara untuk pemerintah dikeluarkan PP. No. 130/1961 tanggal 17 April 1961 yang berlaku surat tanggal 01 Januari 1961 tentang pendirian PN IGLAS. Pada tanggal 01 Nopember 1979 PN IGLAS berubah menjadi PT. IGLAS dan berdasarkan surat keputusan direksi PT. IGLAS (Persero), ditetapkan hari jadi IGLAS tanggal 29 Oktober 1956 dan penyalan dapur leburan pertama dilakukan pada tahun 1959.

Pada saat ini PT. IGLAS (Persero) telah menguasai 35% pangsa pasar kemasan gelas di Indonesia dengan memproduksi berbagai jenis botol untuk memenuhi kebutuhan industri minuman ringan, bir, farmasi, makanan, dan kosmetika. Total kapasitas yang dimiliki PT. IGLAS (Persero) adalah 340 ton/hari atau 78.205 ton/tahun. Pabrik PT. IGLAS (Persero) berada di Gresik dengan luas area \pm 14,5 ha yang memiliki Dapur Peleburan dengan kapasitas masing-masing 200 ton/hari dan 140 ton/hari. Produk yang dihasilkan di PT. IGLAS (Persero) memiliki tiga warna utama yaitu hijau (UVA hijau emerald), flint (putih jernih),

dan amber (coklat). Peningkatan kualitas kinerja dengan bantuan tenaga ahli lokal dan asing mampu meningkatkan kualitas produksi sehingga memenuhi standar internasional dengan pengakuan internasional yaitu memiliki sertifikat ISO 9002. Kebijakan kualitas PT. IGLAS (Persero) adalah “Gelas IGLAS Lebih Berkualitas” membuat tekad PT. IGLAS (Persero) untuk menghasilkan kamasan gelas yang memiliki daya saing tinggi dalam kualitas, harga, maupun pelayanan yang berorientasi kepada pelanggan.

2.9 Proses Produksi Botol

Proses pembuatan botol di PT. IGLAS (Persero) secara garis besar meliputi beberapa tahap, yakni:

- i. Tahap pencampuran bahan baku
- ii. Tahap peleburan botol (*forming*)
- iii. Tahap peleburan botol (*forming*)
- iv. Tahap annealing
- v. Tahap *sortir* dan pengawasan mutu
- vi. Pengemasan produk

2.10 Kajian Keagamaan

Konsep produksi dalam Al-Qur'an ditekankan terhadap manfaat dari barang yang diproduksi. Dalam hal ini memproduksi suatu barang untuk kebutuhan manusia, bukan untuk memproduksi barang mewah secara berlebihan yang tidak sesuai dengan kebutuhan manusia. Ketika hal tersebut terjadi, maka tenaga kerja yang memproduksi barang tidak sesuai dengan kebutuhan manusia dianggap tidak produktif. Konsep produksi terdapat dalam surat An-Nahl ayat 66-69. Firman Allah Swt:

وَأَنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۖ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهِمْ مِنْ بَيْنِ فَرْثٍ وَدَمٍ لَبَنًا خَالِصًا سَائِغًا
 لِلشَّرْبِ ۖ وَمِنْ ثَمَرَاتِ النَّخِيلِ وَالْأَعْنَابِ تَتَّخِذُونَ مِنْهُ سَكَرًا وَرِزْقًا حَسَنًا ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً
 لِقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ۝ وَأَوْحَىٰ رَبُّكَ إِلَى النَّخْلِ أَنْ اتَّخِذِي مِنَ الْجِبَالِ بُيُوتًا وَمِنَ الشَّجَرِ وَمِمَّا يَعْرِشُونَ ۝
 ثُمَّ كُلِي مِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ فَاسْلُكِي سُبُلَ رَبِّكِ ذُلُلًا ۗ تَخْرُجُ مِنْ بُطُونِهَا شَرَابٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ فِيهِ شِفَاءٌ
 لِلنَّاسِ ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ۝

Artinya:

“Dan sesungguhnya pada binatang ternak itu benar-benar terdapat pelajaran bagi kamu. Kami memberimu minum dari pada apa yang berada dalam perutnya (berupa) susu yang bersih antara tahi dan darah, yang mudah ditelan bagi orang-orang yang meminumnya. Dan dari buah korma dan anggur, kamu buat minuman yang memabukkan dan rezki yang baik. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang memikirkan. Dan Tuhanmu mewahyukan kepada lebah: "Buatlah sarang-sarang di bukit-bukit, di pohon-pohon kayu, dan di tempat-tempat yang dibikin manusia". kemudian makanlah dari tiap-tiap (macam) buah-buahan dan tempuhlah jalan Tuhanmu yang telah dimudahkan (bagimu). Dari perut lebah itu ke luar minuman (madu) yang bermacam-macam warnanya, di dalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang memikirkan”.

Menurut Ahmad Musthafa Al-Maraghi dalam tafsir Al-Maraghi, dalam ayat-ayat ini Allah menyajikan beberapa dalil tauhid, mengingat ia merupakan poros segala permasalahan di dalam agama Islam dan seluruh agama samawi. Maka diterangkan bahwa dia telah menurunkan hujan dari langit agar dengan hujan itu bumi yang tadinya mati menjadi hidup, kemudian mengeluarkan susu dari binatang ternak, menjadikan khamar, cuka, dan manisan dari anggur dan buah kurma, serta mengeluarkan madu dari lebah yang didalamnya terdapat obat yang menyembuhkan manusia. Seiring dengan penjelasan itu, Allah menjelaskan bahwa dia mengilhamkan kepada lebah agar membuat sarang dan mencari rizkinya dari segala penjuru bumi.

Tafsir surat An-Nahl dalam tafsir Jalalain menyatakan:

66. (Dan sesungguhnya pada binatang ternak itu benar-benar terdapat pelajaran bagi kalian) bahan pelajaran. (Kami memberi kalian minum) lafal ini berfungsi sebagai penjelas daripada pengertian pelajaran tadi (daripada apa yang ada dalam perutnya) dalam perut binatang ternak itu (di) huruf *mim* di sini menunjukkan makna ibtida dan bertalluq kepada lafal *musqiikum* (antara kotoran) yakni lemak ususnya (dan darah berupa air susu yang bersih) sedikitpun tidak bercampur kotoran dan darah baik dari segi rasa, bau, warnanya, atau campuran diantara keduanya (yang mudah ditelan bagi orang-orang yang meminumnya) lewat dengan mudah di tenggorokan mereka dan tidak sulit untuk ditelan.

67. (Dan dari buah kurma dan anggur) terdapat jenis buah-buahan (yang dapat membuat minuman yang memabukkan daripadanya) dimaksud khamar yang dapat memabukkan. Di sini kata *muskiran* disebutkan dengan memakai mashdarnya, yaitu *sakaran*. Hal ini diturunkan sebelum adanya pengharaman khamar (dan rezeki yang baik) seperti selai kurma, anggur kering, cuka, dan sirup. (Sesungguhnya pada yang demikian itu) hal yang telah disebutkan itu (benar-benar terdapat tanda) yang menunjukkan kekuasaan Allah Swt. (bagi orang-orang yang berakal) yang memikirkannya.

68. (Dan Rabbmu mewahyukan kepada lebah) dalam bentuk ilham (hendaknya) huruf *an* di sini dapat diartikan sebagai *an mashdariyah* atau *an mufassirah* (buatlah sarang-sarang di bukit-bukit) tempat kamu berdiam (dan di pohon-pohon) sebagai tempat tinggal (dan di tempat-tempat yang dibikin manusia) sarang-sarang buatan manusia untuk kamu, jika kamu tidak suka kepada sarang buatan manusia, kamu boleh menempati tempat yang lainnya.

69. (Kemudian makanlah dari setiap buah-buahan dan tempuhlah) masukilah (jalan Rabbmu) jalan-jalan yang telah ditunjukkan oleh-Nya kepadamu di dalam mencari rezekimu (yang telah dimudahkan) lafal *dzululan* ini adalah bentuk jamak dari lafal tunggal *dzaluulun*, berkedudukan menjadi hal dari lafal *subula rabbiki*. Artinya jalan yang telah dimudahkan bagimu sehingga amat mudah ditempuh sekali pun sangat sulit dan kamu tidak akan sesat untuk kembali ke sarangmu dari tempat itu betapa pun jauhnya. Akan tetapi menurut pendapat yang lain dikatakan bahwa lafal *dzululan* ini menjadi hal daripada dhamir yang terdapat di dalam lafal *usluhiy* sehingga artinya menjadi: “yang telah ditundukkan untuk memenuhi kehendakmu”. (Dari perut lebah itu keluar minuman) yakni berupa madu (yang bermacam-macam warnanya di dalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia) dari berbagai macam penyakit. Menurut suatu pendapat dikatakan dari sebagian penyakit saja karena ditunjukkan oleh pengertian ungkapan lafal *syifaaun* yang memakai nakirah. Atau sebagai obat untuk berbagai macam penyakit bila digabungkan dengan obat-obat lainnya. Aku katakan bila tidak dicampur dengan obat yang lain, maka sesuai dengan niat peminumnya. Sungguh Nabi Saw telah memerintahkan untuk meminum madu bagi orang yang perutnya kembung demikianlah menurut riwayat yang telah dikemukakan oleh Imam Bukhari dan Muslim. (Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda kebesaran Allah bagi orang-orang yang memikirkan) ciptaan-Nya (Al-Mahalli, 1990).

Jika dalam produksi terdapat kecacatan produk yang tidak dapat diterima, maka produk yang cacat tersebut akan dibuang sehingga terjadi pemborosan

bahan sehingga barang menjadi mubadzir. Dalam QS. Al-Isra ayat 26-27 dijelaskan tentang mubadzir. Firman Allah Swt:

وَأْتِ ذَا الْقُرْبَىٰ حَقَّهُ وَالْمِسْكِينَ وَابْنَ السَّبِيلِ وَلَا تُبَذِّرْ تَبْذِيرًا ﴿٢٦﴾ إِنَّ الْمُبَذِّرِينَ كَانُوا
إِخْوَانَ الشَّيْطَانِ ۗ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا ﴿٢٧﴾

Artinya:

“Dan berikanlah kepada keluarga-keluarga yang dekat akan haknya, kepada orang miskin dan orang yang dalam perjalanan dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros. Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah Saudara-saudara syaitan dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya”.

Nabi Muhammad Saw bersabda:

لَا تَزُولُ قَدَمَا عَبْدٍ يَوْمَ الْقِيَامَةِ حَتَّى يُسْأَلَ عَنْ عُمُرِهِ فِيمَا أَفْنَاهُ وَعَنْ عِلْمِهِ فِيمَا فَعَلَ وَعَنْ مَالِهِ مِنْ أَيْنَ اكْتَسَبَهُ
وَفِيمَا أَنْفَقَهُ وَعَنْ جِسْمِهِ فِيمَا أَبْلَاهُ»

Artinya:

“Tidak akan bergeser dua telapak kaki seorang hamba pada hari kiamat sampai dia ditanya (dimintai pertanggungjawaban) tentang umurnya kemana dihabiskannya, tentang ilmunya bagaimana dia mengamalkannya, tentang hartanya; dari mana diperolehnya dan ke mana dibelanjakannya, serta tentang tubuhnya untuk apa digunakannya”.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan pendekatan penelitian kepustakaan dan deskriptif kuantitatif. Untuk menganalisis pengendalian kualitas dan kapabilitas proses produksi data multiatribut, terlebih dulu dikaji tentang konsep dasar grafik pengendali multiatribut yang dikhususkan terhadap jumlah cacat produk serta kapabilitas proses produksi. Dalam penelitian ini data yang akan digunakan adalah data sekunder, yakni data yang sudah tersedia dalam perusahaan tempat penelitian dilakukan.

3.2 Sumber Data dan Struktur Data

1. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari PT IGLAS (PERSERO) GRESIK Divisi Pengendali Mutu Produksi (PMP). Data yang digunakan adalah data cacat produksi dari beberapa karakteristik yang tersedia dan difokuskan pada produksi botol kecap. Data ini di inspeksi pada tanggal 27 Maret sampai dengan 11 Mei 2014 yang terdiri dari 46 subgrup dengan pengamatan setiap subgrup sebanyak 768 botol.

2. Struktur Data

Adapun struktur data dapat diuraikan dalam tabel jumlah cacat dalam 1 periode tertentu sebagai berikut:

Tabel 3.1 Struktur Data Jumlah Cacat

No pengamatan (j)	Karakteristik Kualitas (i)				
	1	...	I	...	k
1	x_{11}	...	x_{1i}	...	x_{1k}
2	x_{21}	...	x_{2i}	...	x_{2k}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
m	x_{j1}	...	x_{mi}	...	x_{mk}

Setiap karakteristik kualitas terbagi atas 3 jenis cacat sebagai berikut:

Tabel 3.2 Jumlah Proporsi Cacat dalam 1 Periode Tertentu

No pengamatan (j)	Klasifikasi Cacat (i)			
	Baik	Cacat Kritis	Cacat Major	Cacat Minor
1	\hat{p}_{10}	\hat{p}_{11}	\hat{p}_{12}	\hat{p}_{13}
2	\hat{p}_{20}	\hat{p}_{22}	\hat{p}_{22}	\hat{p}_{23}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots
m	\hat{p}_{m0}	\hat{p}_{m1}	\hat{p}_{m2}	\hat{p}_{m3}
\bar{p}	$\bar{\hat{p}}_0$	$\bar{\hat{p}}_1$	$\bar{\hat{p}}_2$	$\bar{\hat{p}}_3$

3.3 Variabel Penelitian

Data atribut sampel produksi botol kecap dalam satu hasil produksi terdiri atas 59 karakteristik yang diklasifikasikan menjadi 3 tingkatan jenis cacat. Adapun 3 tingkatan jenis cacat tersebut adalah:

1. Kritis (*Critical Defect*)

Suatu cacat botol yang membahayakan orang lain/pengguna dan dapat mengakibatkan kegagalan dalam proses pada pelanggan.

2. Major/Fungsional (*Major Defect*)

Suatu cacat botol yang dapat mengakibatkan kegagalan dalam proses pada pelanggan.

3. Minor/Rupa (*Minor Defect*)

Suatu cacat botol yang secara nampak/rupa kurang baik sehingga dapat mempengaruhi penampilan tidak bagus.

Tabel 3.3 Klasifikasi Jenis Cacat

Jenis Cacat	Karakteristik Kualitas	Keterangan
Kritis	Pres Over (X1)	Permukaan gelas yang menaik dibagian sisi dalam dari finish
	Bird Swing (X2)	Sebentuk gelas yang melintang didalam botol
Major / Fungsional	Splith Finish (X3)	Bibir botol yang retak membelah dari bibir botol kebawah
	Cr On Ring (X4)	Retak pada ring / kepala botol
	Cr Und Ring (X5)	Retak dibawah ring / kepala botol
	Cr Shoulder (X6)	Retak pada pundak botol
	Cr Bottom (X7)	Retak pada dasar botol
	Bad Finish (X8)	Bagian atas / garis ulir(<i>thread</i>) yang tidak sempurna bentuknya
	Sunken Sambungan 1 (X9)	Sambungan botol yang tepos kategori major
	Cr Body P (X10)	Retak pada body p
	Cr Body (X11)	Retak pada body
	Chipped Ring (X12)	Gupil pada ring
	Chipped Finish (X13)	Bibir botol gupil
	Splith ring (14)	Ring botol yang retak membelah dari ring botol kebawah
	Chocked Neck (X15)	Lubang leher yang sempit / tersumbat
Minor / Rupa	Blow Pp Mark (X16)	Bayangan kelebihan gelas dipermukaan botol
	Bad Glass (X17)	Ketebalan gelas pada dinding botol tidak rata
	Blank Seam (X18)	Noda blank yang kasar
	Cold Mold (X19)	Distribusi gelas tampak bergelombang karena cetakan dingin
	Bent Neck (X20)	Leher tidak lurus
	Offsed Body (X21)	<i>Body</i> bengkok
	Baffle Seam (X22)	Noda baffle yang kasar
	Sunken Sambungan 2 (X23)	Sambungan botol yang tepos kategori minor
	Tegangan (X24)	Tegangan
	Seam Und Ring (X25)	Kasar dibawah ring
	Oval Body (X26)	Badan botol yang lonjong
	Seam On Ring (X27)	Cincin botol yang kasar
	Air Mark (28)	Gelembung udara kecil
	Wrinkle Bottom (X29)	Kerutan pada dasar botol
	Loading Mark (X30)	Noda kerutan karena loading pada permukaan botol
	Thin Bottom (X31)	Bagian bawah yang tipis
	Offsed Shoulder (X32)	Lengan botol yang tidak lurus
Sunken Body (X33)	Body botol yang tepos	
Seam Bottom (X34)	Tonjolan pada dasar botol	

Phinched Neck (X35)	Tepos pada leher
Crizzle On Neck (X36)	Noda kerutan pada leher botol
Seam Body (X37)	Tonjolan botol pada badan
Bulged ring (X38)	Tonjolan pada ring
Pecah Di Leher (X39)	Pecah di leher botol
Blister (X40)	Gelembung udara (besar) pada dinding gelas
Crizzle (X41)	Lipatan gelas tidak teratur pada permukaan gelas
Mold Seam (X42)	Kerusakan akibat cetakan permukaan gelas menjadi kasar
Dirty Mold (X43)	Noda pada permukaan botol karena cetakan kotor
Check Bottom (X44)	Dasar botol retak
Wrinkle (X45)	Kerutan pada permukaan botol
Bent Ring (X46)	Ring botol Nampak posisis miring
Shear Mark On Neck (X47)	Noda bekas gunting pada leher botol
Shear Mark (X48)	Dapat disebabkan karena pisau potong kotor dan tumpul / piring pisau tak sesuai
Shear Mark On Ring (X49)	Noda bekas gunting pada bibir botol
Oil Mark (X50)	Noda bintik bintik pada permukaan botol karena minyak
Seam On Neck (X51)	Permukaan kasar pada leher botol
Shear Mark Bottom (X52)	Noda bekas gunting pada dasar botol
Out Of Round (X53)	Tonjolan keluar lapisan(bundaran) botol
Swung Baffle (X54)	Goresan pada alas dari botol
Push Up Bottom (X55)	Tonjolan kedalam pada dasar botol
Bottom Seam (X56)	Dasar botol yang kasar
Stuck Ware (X57)	Botol yang lengket dengan botol lain
Sunken Shoulder (X58)	Pundak botol yang tepos
Warna Kehijauan (X59)	Warna kehijauan pada botol

Karena setiap jenis cacat memiliki efek yang berbeda maka perlu dilakukan pembobotan. Pembobotan kerusakan didasarkan oleh kebijakan perusahaan dengan menggunakan Military Standart 105 D sebagai berikut:

- a. Cacat kritis (*Critical Defect*) dengan AQL 0.065%
- b. Cacat major (*Major Defect*) dengan AQL 1%

- c. Cacat Minor (*Minor Defect*) dengan AQL 6.5%

Total AQL 7.565%

3.4 Metode Analisis

1. Studi Literatur

Studi literatur dalam pendekatan metode analisis yakni membahas tentang teori dasar grafik pengendali atribut yang dikhususkan pada grafik pengendali kecacatan untuk kasus multivariat, kapabilitas proses, dan sebagainya.

2. Analisis

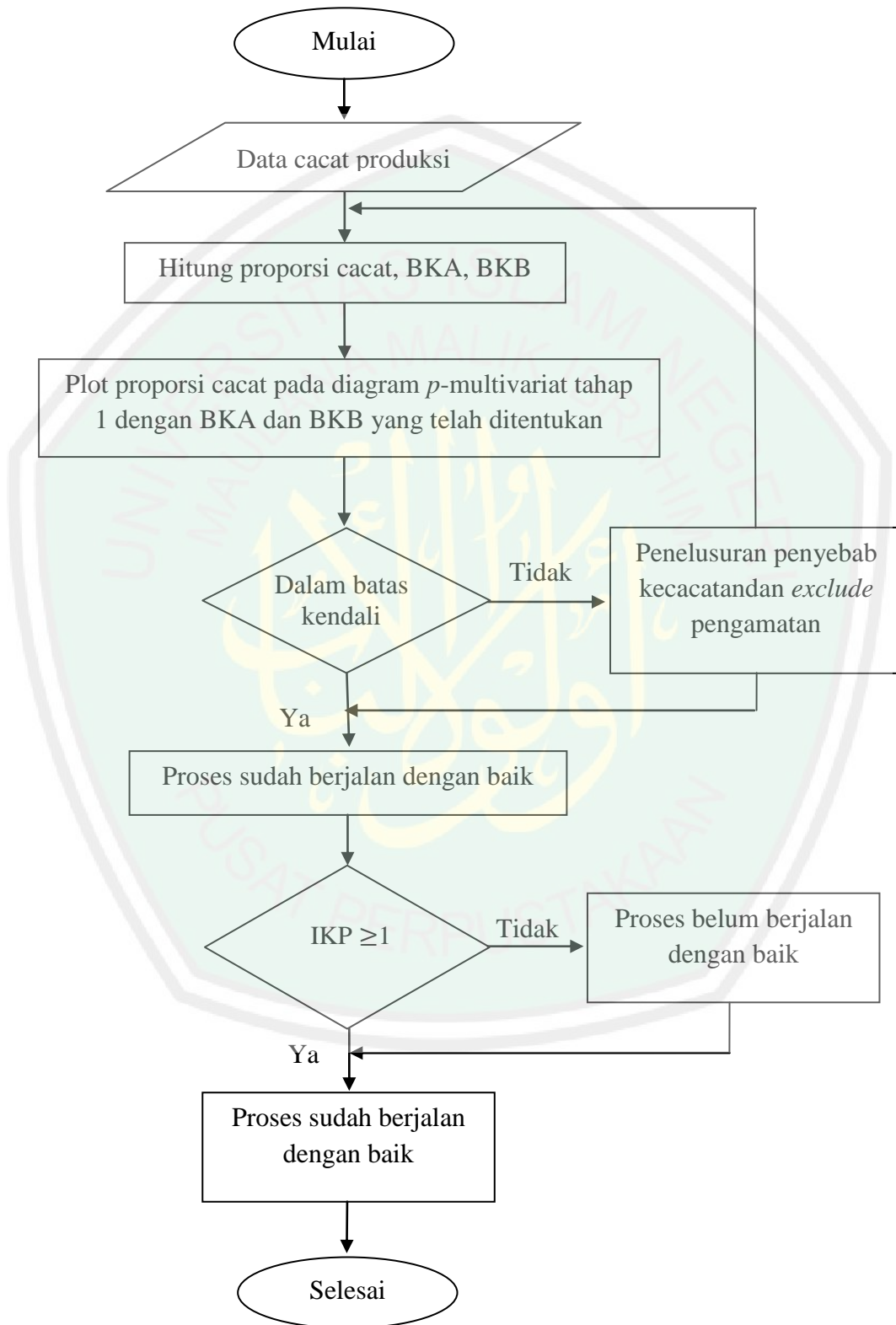
Analisis yang dilakukan pada penelitian ini melalui langkah-langkah sebagai berikut:

- (i) Pengumpulan data dengan cara identifikasi karakteristik kualitas (variabel) apa saja yang dianggap cacat dalam proses produksi. Setelah dilakukan identifikasi karakteristik kualitas, maka karakteristik kualitas akan dikelompokkan berdasarkan jenis cacat yang telah ditentukan.
- (ii) Membangun grafik pengendali p -multivariat tahap 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Mendefinisikan statistik w untuk menggambarkan parameter μ_w
 - b. Menentukan BPA, GT, dan BPB
 - c. Analisis grafik pengendali dengan membuat plot proporsi cacat dengan batas kendali yang telah ditentukan. Jika terdapat titik yang berada diluar batas kendali, maka titik tersebut akan dihilangkan dan dilakukan pembuatan grafik pengendali yang baru sampai tidak ada titik yang berada diluar batas kendali. Grafik ini yang akan menjadi acuan untuk proses pengendalian selanjutnya.

- d. Menentukan persamaan IKP multivariat menggunakan fungsi kuadrat *quality loss* dan menentukan nilai IKP
- (iii) Penerapan grafik pengendali p -multivariat dengan langkah-langkah sebagai berikut:
- a. Pengumpulan data baru yang akan dikendalikan dan membuat grafik pengendali dengan batas pengendali yang telah ditentukan pada langkah ke-ii (b)
 - b. Menghitung nilai DPMO
 - c. Menentukan nilai pencapaian sigma dengan konversi nilai DPMO ke nilai sigma
- (iv) Analisis kesesuaian kapabilitas proses produksi dengan agama
- (v) Menarik kesimpulan

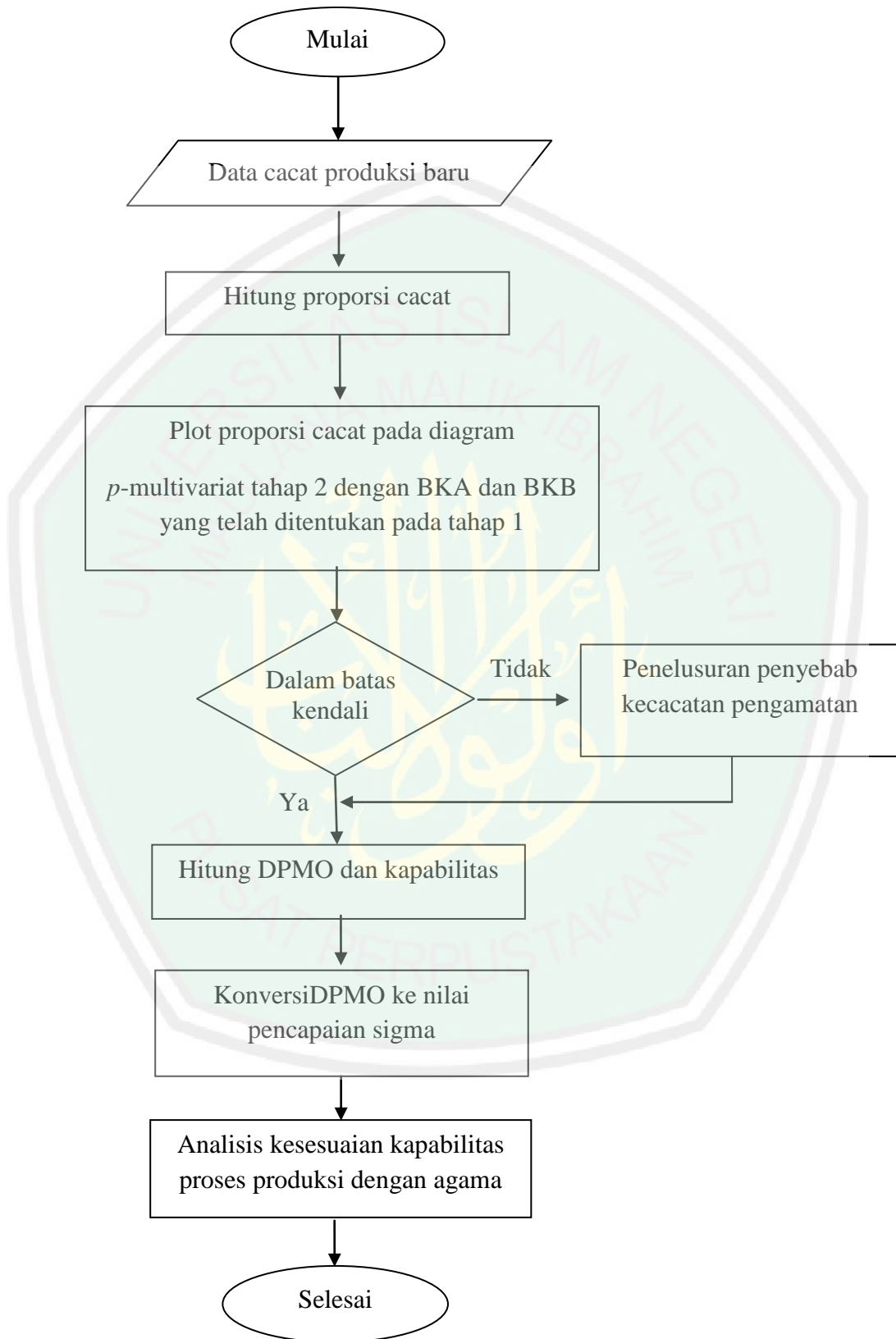
Berikut diagram alur (*flowchart*) penelitian,

Diagram Alur Untuk Tahap 1



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian1

Diagram Alur Untuk Tahap 2



Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian 2

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Grafik Pengendali p -Multivariat

Grafik pengendali yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu grafik pengendali p -multivariat yang terbagi atas dua tahap. Tahap pertama adalah membuat plot proporsi cacat dengan batas kendali yang telah ditentukan. Jika terdapat nilai karakteristik setiap sampel yang berada di luar batas kendali, maka karakteristik sampel tersebut akan dihilangkan dan dilakukan pembuatan grafik pengendali yang baru sampai tidak ada karakteristik sampel yang berada di luar batas kendali. Grafik ini yang akan menjadi acuan untuk proses pengendalian selanjutnya. Tahap kedua adalah penerapan grafik pengendali p -multivariat pada tahap pertama untuk memonitoring pengamatan selanjutnya yakni mengetahui apakah proses produksi masih dalam keadaan terkendali atau tidak terkendali.

Grafik pengendali p -multivariat dalam penelitian ini mengklasifikasikan kecacatan dalam tiga kelas cacat, yakni cacat kritis, cacat major (fungsional), dan cacat minor (rupa). Setiap jenis cacat memiliki pembobot masing-masing berdasarkan kebijakan perusahaan yang menggunakan Military Standart 105D.

4.1.1 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 1

Pada tahap 1, grafik pengendali p -multivariat menggunakan data produksi botol kecap yang telah diinspeksi pada periode pertama yakni 27 Maret 2014 sampai dengan 25 April 2014 tahap *sortir*. Data yang digunakan terdiri atas 59 karakteristik cacat yang terbagi atas 3 jenis cacat. Banyak subgrup yang

digunakan terdiri atas 30 subgrup, masing masing subgrup terdapat 768 sampel.

Data cacat produksi bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Data Cacat Produksi

n pengamatan	Sampel	Jenis Cacat							
		Kritis		Mayor			Minor		
		Press Over	Bird Swing	Splith Finish	...	Chocked Neck	Blow Pp Mark	...	Warna kehijauan
1	768	0	0	4	...	0	46	...	0
2	768	8	0	6	...	0	62	...	0
3	768	0	0	50	...	0	38	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	768	0	0	10	...	0	33	...	0

Untuk selengkapnya tabel ditunjukkan pada lampiran 1.

Jika jumlah kecacatan dinotasikan dengan $x_1, \dots, x_i, \dots, x_k$ yang terbagi atas tiga kelas cacat dengan notasi x_{ij} sebagai kelas cacat ke- i pada pengamatan ke- j dimana $i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, m$, sehingga didapatkan proporsi kelas cacat kualitas ke- i sebagai berikut:

$$\hat{p}_{ij} = \frac{x_{ij}}{n} \quad (4.1)$$

Diperoleh vektor proporsi cacat dari pengamatan pengamatan ke- j , kelas cacat kualitas ke- i untuk data produksi botol kecap sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{p}_{ij} &= \left(\frac{x_{1j}}{n}, \frac{x_{2j}}{n}, \frac{x_{3j}}{n} \right) \\ &= (\hat{p}_{1j}, \hat{p}_{2j}, \hat{p}_{3j}) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Maka untuk rata-rata vektor proporsi cacat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \bar{p}_i &= \left(\frac{x_{1j}}{nm}, \frac{x_{2j}}{nm}, \frac{x_{3j}}{nm} \right) \\ &= (\bar{p}_1, \bar{p}_2, \bar{p}_3) \end{aligned} \quad (4.3)$$

dengan pembobot masing masing kelas dinotasikan dengan d_i . Berdasarkan persamaan (2.2) didapatkan nilai pembobot untuk masing-masing kelas cacat sebagai berikut:

- a. Cacat kritis (*Critical Defect*) dengan AQL 0.065% dan Total AQL 7.565%

$$d_1 = \frac{1}{\frac{0.065\%}{7.565\%}} = 92.99\%$$

- b. Cacat major (*Major Defect*) dengan AQL 1%

$$d_2 = \frac{1}{\frac{1\%}{7.565\%}} = 6.07\%$$

- c. Cacat Minor (*Minor Defect*) dengan AQL 6.5%

$$d_3 = \frac{1}{\frac{6.5\%}{7.565\%}} = 0.94\%$$

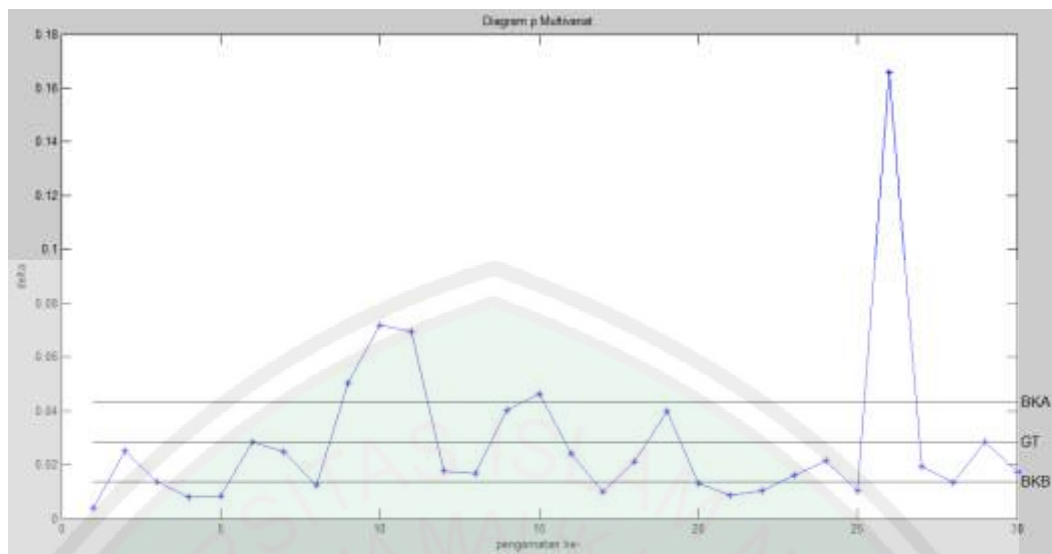
Berdasarkan persamaan (2.11) untuk nilai statistik yakni $\hat{\delta}_j = \sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_{ij}$ dan persamaan (2.12) untuk batas kendali yakni:

$$BPA = \sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i + \sqrt{\chi_{k,\alpha}^2 \sqrt{\frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=0}^k d_i^2 \bar{p}_i \right) - \left(\sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i \right)^2 \right]}}$$

$$GT = \sum_{i=1}^k d_i \bar{p}_i$$

$$BPB = \sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i - \sqrt{\chi_{k,\alpha}^2 \sqrt{\frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=0}^k d_i^2 \bar{p}_i \right) - \left(\sum_{i=0}^k d_i \bar{p}_i \right)^2 \right]}}$$

Sehingga grafik pengendali p -multivariat tahap 1 diperoleh sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 1

Gambar 4.1 merupakan grafik pengendali p -multivariat tahap 1. Sumbu vertikal menunjukkan nilai pengamatan ke- i dengan titik-titik yang digambarkan merupakan nilai statistik $\hat{\delta}$ untuk setiap pengamatan. Dengan BPA sebesar 0.0432, GT sebesar 0.0285, dan BPB sebesar 0.0138 dapat diketahui dari grafik pengendali p -multivariat di atas terdapat 16 titik yang berada di luar batas kendali, yakni pada pengamatan ke 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 15, 17, 20, 21, 22, 25, 26, dan 28 dengan nilai statistik $\hat{\delta}$ masing-masing untuk pengamatan di luar batas pengendali sebagai berikut:

Tabel 4.2 Subgrup yang Tidak Terkendali

Pengamatan Tidak Terkendali	$\hat{\delta}$
1	0.0038
3	0.0137
4	0.0081
5	0.0081
8	0.0123
9	0.0503
10	0.0717
11	0.0696
15	0.0462
17	0.0099
20	0.0128

21	0.0086
22	0.0104
25	0.0104
26	0.1658
28	0.0133

Keluarnya beberapa titik dari batas kendali mengindikasikan proses produksi belum berjalan dengan baik. Sehingga perlu dilakukan identifikasi variabel yang berada di luar batas pengendali. Pada tahap 1, diagram p -multivariat akan menghilangkan titik-titik yang berada di luar batas pengendali sampai didapatkan grafik pengendali yang menunjukkan semua titik dalam keadaan terkendali. Identifikasi variabel yang berada di luar batas pengendali bertujuan untuk perbaikan dalam proses produksi selanjutnya. Identifikasi variabel tidak terkendali terdiri atas 59 karakteristik cacat dengan menggunakan metode pendekatan jarak probabilitas yang melibatkan proses multinomial dengan menggunakan persamaan (2.13). Nilai Z_i didapatkan dari hasil perkalian ukuran sampel ke-0 dan sampel ke- i dengan jumlah proporsi kuadrat dibagi dengan jumlah banyaknya cacat setiap karakteristik kualitas. Variabel yang perlu dilakukan perbaikan adalah variabel yang mempunyai nilai Z_i lebih besar dari $\lambda_{(k-1, \alpha)}^2$.

Misal dalam pengamatan ini akan dilakukan identifikasi variabel pada subgrup yang berada di luar batas pengendali. Subgrup yang diambil adalah pada pengamatan ke-1 dan karakteristik yang diambil adalah variabel X4 (Cr On Ring). Dengan n_0 adalah sampel ke-0 sebesar 768 dan n_i adalah sampel ke- i yakni jumlah total sampel yang mengandung kecacatan X4 (Cr On Ring) sebesar 608. Adapun kuadrat proporsi untuk keseluruhan karakteristik pada pengamatan ke-1 sebesar sebesar 0.07335 dan jumlah cacat keseluruhan pada pengamatan ke-1

adalah sebanyak 208 sehingga diperoleh Z_i untuk variabel X4 (Cr On Ring) pada pengamatan ke-1 sebagai berikut:

$$Z_i = n_0 n_i \sum_{i=0}^k \frac{(\hat{p}_{ji} - \hat{p}_{0i})^2}{X_{ji} + X_{0i}}$$

$$Z_1 = 768 \times 608 \times \left(\frac{0.07335}{208} \right) = 164.6667$$

$$\text{Dengan } \lambda_{(k-1, \alpha)}^2 = \lambda_{(58, 0.05)}^2 = 76.7778$$

Sehingga $Z_1 > \lambda_{(58, 0.05)}^2$ yang berarti pada variabel X4 (Cr On Ring) pengamatan ke-1 merupakan salah satu variabel penyebab tidak terkendali sehingga perlu dilakukan perbaikan.

Proses identifikasi variabel penyebab tidak terkendali bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Identifikasi Variabel Penyebab *Out Of Control*

$\lambda_{(58, 0.05)}^2$	No Pengamatan	z1	z2	...	z59
76.7778	1	64.1875	0	...	0
76.7778	3	128.0664063	0	...	0
76.7778	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
76.7778	28	119.734375	0	...	0

Untuk selengkapnya tabel ditunjukkan pada lampiran 4. Berikut ini merupakan hasil identifikasi variabel penyebab tidak terkendali.

Tabel 4.4 Variabel Penyebab Tidak Terkendali

Pengamatan Tidak Terkendali	Variabel Penyebab Tidak Terkendali
1	X3, X4, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X54
3	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X35, X39, X42, X54
4	X1, X3, X4, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X39, X42, X54
5	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X29, X35, X39, X42, X54
8	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X29, X35, X39, X42, X54
9	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X35, X39, X42, X54

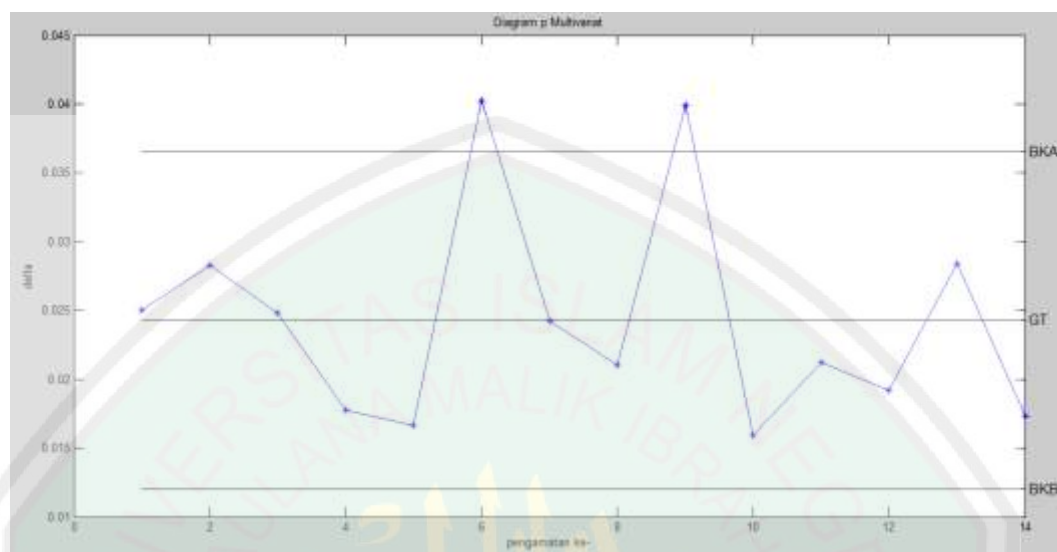
10	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
11	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
15	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X39, X42, X54
17	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
20	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
21	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
22	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X42, X54
25	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
26	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X42, X54
28	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54

Berdasarkan tabel 4.3 bahwa variabel yang tidak terkendali pada pengamatan ke-1 adalah Splith Finish (X3), Cr On Ring (X4), Blow Pp Mark (X16), Bad Glass (X17), Blank Seam (X18), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), Baffle Seam (X22), dan Swung Baffle (X54). Sedangkan pada pengamatan ke-3 variabel penyebab tidak terkendali adalah Press Over (X1), Splith Finish (X3), Cr On Ring (X4), Cr Und Ring (X5), Bad Finish (X8), Blow Pp Mark (X16), Bad Glass (X17), Blank Seam (X18), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), Baffle Seam (X22), Sunken Sambungan 2 (X23), Tegangan (X24), Seam Und Ring (X25), Air Mark (28), Phinched Neck (X35), Pecah Di Leher (X39), Mold Seam (X42), dan Swung Baffle (X54). Variabel penyebab tidak terkendali pada pengamatan ke- 4, 22, dan 28 yakni Press Over (X1), Splith Finish (X3), Cr On Ring (X4), Bad Finish (X8), Blow Pp Mark (X16), Bad Glass (X17), Blank Seam (X18), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), Baffle Seam (X22), Sunken Sambungan 2 (X23), Tegangan

(X24), Air Mark (28), Pecah Di Leher (X39), Mold Seam (X42), dan Swung Baffle (X54). Untuk pengamatan ke- 5 dan 8 penyebab tidak terkendali adalah variabel Press Over (X1), Splith Finish (X3), Cr On Ring (X4), Cr Und Ring (X5), Bad Finish (X8), Blow Pp Mark (X16), Bad Glass (X17), Blank Seam (X18), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), Baffle Seam (X22), Sunken Sambungan 2 (X23), Tegangan (X24), Air Mark (28), Wrinkle Bottom (X29), Phinched Neck (X35), Pecah Di Leher (X39), Mold Seam (X42), dan Swung Baffle (X54). Pada pengamatan ke-9 dan 15 variabel penyebab tidak terkendali adalah Press Over (X1), Splith Finish (X3), Cr On Ring (X4), Cr Und Ring (X5), Bad Finish (X8), Blow Pp Mark (X16), Bad Glass (X17), Blank Seam (X18), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), Baffle Seam (X22), Sunken Sambungan 2 (X23), Tegangan (X24), Air Mark (28), Phinched Neck (X35), Pecah Di Leher (X39), Mold Seam (X42), dan Swung Baffle (X54). Pengamatan ke- 10, 11, 17, 20, 21, 25, dan 28 variabel penyebab tidak terkendali yakni Press Over (X1), Splith Finish (X3), Cr On Ring (X4), Cr Und Ring (X5), Bad Finish (X8), Blow Pp Mark (X16), Bad Glass (X17), Blank Seam (X18), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), Baffle Seam (X22), Sunken Sambungan 2 (X23), Tegangan (X24), Seam Und Ring (X25), Air Mark (28), Wrinkle Bottom (X29), Phinched Neck (X35), Pecah Di Leher (X39), Mold Seam (X42), dan Swung Baffle (X54).

Dari 16 subgrup yang menunjukkan berada di luar batas kendali, akan dieliminasi sehingga tersisa 14 subgrup dan dibuat grafik pengendali p -multivariat tahap 1 kendali ke-1. Dengan menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12)

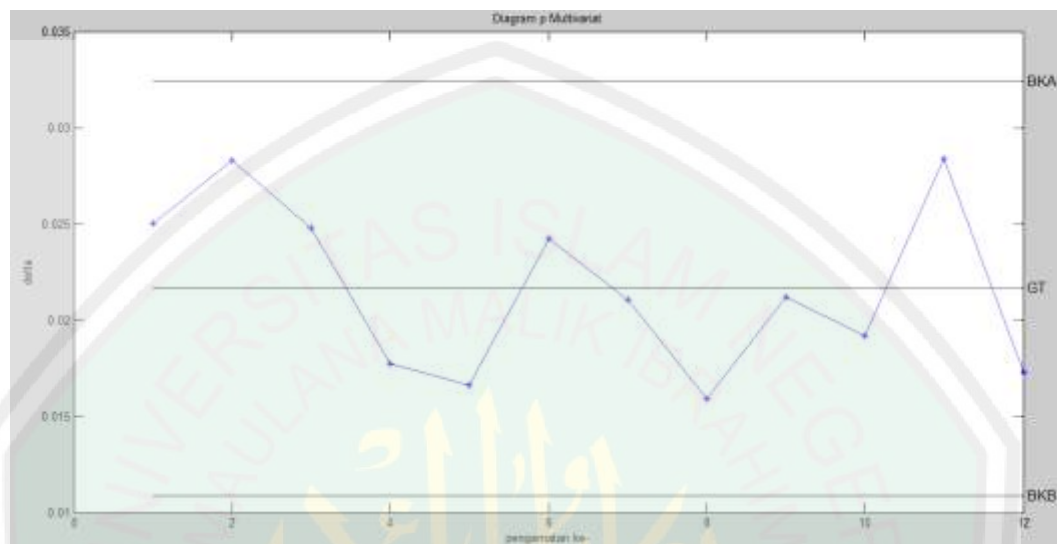
sehingga grafik pengendali p -multivariat tahap 1 kendali ke-1 diperoleh sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 1 Kendali ke-1

Gambar 4.2 merupakan grafik pengendali p -multivariat tahap 1 kendali ke-1. Dengan BPA sebesar 0.0365, GT sebesar 0.0243, dan BPB sebesar 0.0120 dapat diketahui berdasarkan grafik pengndali p -multivariat di atas bahwa terdapat 2 titik yang berada di luar batas kendali, yakni pada pengamatan ke 6 dan 9 dengan nilai statistik $\hat{\delta}$ berturut-turut sebesar 0.0403 dan 0.0399. Pada pengamatan ke-6 akan diidentifikasi variabel yang menyebabkan di luar batas pengendali dengan $\lambda_{(58,0.05)}^2 = 76.7778$ didapatkan variabel yang menyebabkan di luar batas pengendali yakni Splith Finish (X3), Cr On Ring (X4), Blow Pp Mark (X16), Bad Glass (X17), Blank Seam (X18), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), Baffle Seam (X22), dan Swung Baffle (X54). Untuk pengamatan ke-9 penyebab variabel tidak terkendali adalah), Cr On Ring (X4), Blow Pp Mark (X16), Bad Glass (X17), Blank Seam (X18), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), dan Swung Baffle (X54).

Karena dalam tahap 1 grafik pengendali p -multivariat harus dalam keadaan terkendali, maka pengamatan yang ke-6 dan 9 akan dihilangkan sehingga didapatkan grafik pengendali p -multivariat tahap 1 kendali ke-2 sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 1 Kendali ke-2

Gambar 4.3 merupakan grafik pengendali p -multivariat tahap 1 kendali ke-2. Dengan BPA sebesar 0.0324, GT sebesar 0.0216, dan BPB sebesar 0.0109 dapat diketahui berdasarkan grafik pengendali p -multivariat di atas bahwa tidak ada titik yang berada di luar batas pengendali yang berarti proses produksi botol kecap sudah terkendali secara statistik, sehingga BPA dan BPB pada grafik p -multivariat tahap 1 kendali ke-2 ini yang akan dijadikan grafik acuan untuk mengontrol proses produksi selanjutnya pada tahap 2.

4.1.2 Analisis Kapabilitas Proses Multivariat

Kapabilitas proses merupakan kemampuan suatu proses untuk beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Dalam hal ini, analisis kapabilitas proses harus memenuhi proses produksi dalam keadaan terkendali. Karena pada tahap 1 kendali ke-2 sudah memenuhi asumsi proses dalam keadaan terkendali, maka untuk selanjutnya dapat diketahui kapabilitas proses produksi. Dalam kasus

multivariat, IKP digunakan untuk data variabel. Untuk kasus multivariat kategori atribut biasanya digunakan IKP univariat. Akan dicari persamaan untuk IKP multivariat. Sebelum menentukan IKP, perlu diketahui bahwasanya distribusi yang digunakan. Pada data tersebut, datanya berdistribusi multinomial, sehingga persamaan untuk proporsi cacat adalah:

$$\hat{p}_{ij} = \frac{x_{ij}}{n},$$

dan tingkat cacat secara keseluruhan dengan persamaan (2.11):

$$\hat{\delta}_j = \sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_{ij}$$

Dengan menggunakan fungsi kuadrat *quality loss*, terlebih dahulu akan dicari persamaan kapabilitas proses multivariat atribut. Berdasarkan persamaan (2.14) dengan statistik $\hat{\delta}$ yakni:

$$L(\hat{\delta}) = k(\hat{\delta} - T)^2$$

Didapatkan nilai ekspektasi *quality loss* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} QL &= E[L(\hat{\delta})] = E[k(\hat{\delta} - T)^2] \\ &= E[k(\hat{\delta} - \mu + \mu - T)^2] \\ &= kE[(\hat{\delta} - \mu + \mu - T)^2] \quad (\text{Teorema 1}) \\ &= kE[(\hat{\delta} - \mu + \mu - T)(\hat{\delta} - \mu + \mu - T)] \\ &= kE[\hat{\delta}^2 - \mu\hat{\delta} + \mu\hat{\delta} - T\hat{\delta} - \hat{\delta}\mu + \mu^2 - \mu^2 + T\mu + \hat{\delta}\mu - \mu^2 + \mu^2 - T\mu + \\ &\quad \hat{\delta}T + \mu T - \mu T + T^2] \end{aligned}$$

Untuk respon data kualitatif, target harus *zero defect* ($T = 0$), yang berarti tidak ada kecacatan. Sehingga,

$$QL = kE[\hat{\delta}^2 - \mu\hat{\delta} + \mu\hat{\delta} - \hat{\delta}\mu + \mu^2 - \mu^2 + \hat{\delta}\mu - \mu^2 + \mu^2]$$

$$\begin{aligned}
QL &= kE[\hat{\delta}^2 - \mu^2 + \mu^2] \\
&= k(E[\hat{\delta}^2] - E[\mu^2] + E[\mu^2]) \\
&= k(E[\hat{\delta}^2] - \mu^2 + \mu^2) && \text{(Teorema 1)} \\
&= k((E[\hat{\delta}^2] - \mu^2) + \mu^2) \\
&= k(\sigma^2 + \mu^2) && \text{(Teorema 2)} \\
&= k(\mu^2 + \sigma^2) && (4.2.1)
\end{aligned}$$

Fungsi *quality loss* dapat dipresentasikan sebagai $QL = QL(\theta)$. Untuk data kualitatif, berdasarkan konsep fungsi *quality loss*, pengukuran kuantitatif dari kemampuan proses dapat dibangun. Yakni dengan memakai rasio *quality loss* yang diperbolehkan oleh pelanggan dan *quality loss* aktual. Sehingga IKP data atribut dapat dituliskan berdasarkan persamaan (2.17) sebagai berikut:

$$IKP = \frac{QL(\theta_c)}{QL(\theta)}$$

dimana θ melambangkan parameter proses dari proses aktual dan θ_c melambangkan parameter dari proses yang diharapkan oleh pelanggan. Pada kenyataannya, data kualitatif dapat dideskripsikan dengan baik oleh beberapa macam distribusi. IKP untuk $Y \sim B(n, p)$ dengan $\theta_c = p_c, \theta = p, \bar{\mu} = p, \sigma^2 = p(1 - p)$ dapat ditulis dalam persamaan (2.14) berikut:

$$IKP = \frac{QL(\theta_c)}{QL(\theta)} = \frac{K[p_c^2 + (p_c - p_c^2)]}{k[p^2 + (p - p^2)]} = \frac{p_c}{p}$$

Untuk data berdistribusi multinomial, maka parameter yang digunakan berdasarkan grafik pengendali p -multivariat yakni statistik sampel $\hat{\delta}$ dengan $\theta_c = p_{ic}, \theta = p_i, \bar{\mu} = \sum_{i=1}^k d_i p_i, \sigma^2 = \frac{1}{n} [(\sum_{i=1}^k d_i^2 \bar{p}_i) - (\sum_{i=1}^k d_i \bar{p}_i)^2]$

dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$IKP = \frac{QL(\theta_c)}{QL(\theta)} = \frac{\sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_{ci} + \frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=1}^k d_i^2 \overline{p_{ci}} \right) - \left(\sum_{i=1}^k d_i \overline{p_{ci}} \right)^2 \right]}{\sum_{i=0}^k d_i \hat{p}_i + \frac{1}{n} \left[\left(\sum_{i=1}^k d_i^2 \overline{p_i} \right) - \left(\sum_{i=1}^k d_i \overline{p_i} \right)^2 \right]} \quad (4.2.2)$$

dimana p_i melambangkan proporsi produk cacat (parameter dari distribusi Binomial), p_{ic} melambangkan level kualitas yang dapat diterima (AQL) oleh pelanggan untuk proporsi kecacatan produk, jika;

1. $IKP < 1$, maka kapabilitas proses belum dapat memenuhi keinginan pelanggan
2. $IKP = 1$, maka kapabilitas proses tepat memenuhi keinginan pelanggan
3. $IKP > 1$, maka kapabilitas proses sudah memuaskan keinginan pelanggan

Dengan menggunakan persamaan (4.2.2) didapatkan nilai IKP sebesar $2.7778 \geq 1$. Berdasarkan teori tentang IKP, nilai IKP lebih besar dari 1, maka proses produksi adalah *capable*. Hal ini pada proses produksi botol kecap periode 27 Maret 2014 sampai dengan 25 April 2014 tahap *sortir* sudah *capable*. Artinya proses produksi sudah memuaskan keinginan *customer*.

4.2 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 2

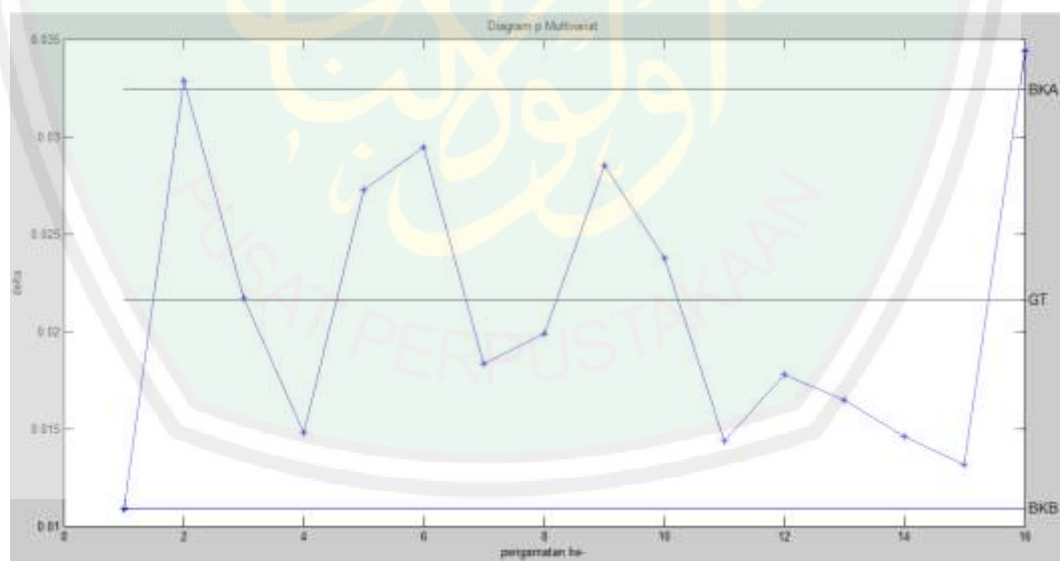
Penerapan grafik pengendali p -multivariat tahap 2 menggunakan data produksi botol kecap yang telah diinspeksi pada 26 April 2014 sampai dengan 11 Mei 2014 tahap *sortir*. Data yang digunakan terdiri atas 59 karakteristik cacat yang terbagi atas 3 jenis cacat. Banyak subgrup yang digunakan terdiri atas 16 subgrup, masing masing subgrup terdapat 768 sampel. Data cacat produksi bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.5 Data Cacat Produksi

n pengamatan	sampel	Jenis Cacat							
		Kritis		Mayor			Minor		
		Press Over	Bird Swing	Splith Finish	...	Chocked Neck	Blow Pp Mark	...	Warna kehijauan
1	768	0	0	5	...	0	50	...	0
2	768	8	0	18	...	0	17	...	0
3	768	2	0	9	...	0	38	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	768	16	14	8	...	0	3	...	0

Untuk selengkapnya tabel ditunjukkan pada lampiran 2.

Nilai statistik $\hat{\delta}$ masing-masing dari tiap subgroup didapatkan berdasarkan persamaan (2.11) dengan BPA, GT, dan BPB yang digunakan adalah batas pengendali pada grafik p -multivariat tahap 1 yakni BPA sebesar 0.0324, GT sebesar 0.0216, dan BPB sebesar 0.0109 sehingga diperoleh hasil diagram p -multivariat tahap 2 sebagai berikut:

Gambar 4.4 Grafik Pengendali p -Multivariat Tahap 2

Dari grafik pengendali p -multivariat tahap 2 di atas terdapat 2 titik sampel yang terdapat di luar batas pengendali yaitu pada pengamatan ke- 2 dan 16. Keluarnya beberapa titik dari batas pengendali mengindikasikan proses yang terjadi dalam keadaan tidak terkendali secara statistik. Adapun nilai statistik $\hat{\delta}$

masing-masing berturut-turut sebesar 0.0329 dan 0.0344. Keluarnya beberapa titik sampel dari batas kendali mengindikasikan proses produksi belum berjalan dengan baik. Sehingga perlu dilakukan identifikasi variabel yang berada di luar batas pengendali. Seperti halnya pada tahap 1, identifikasi penyebab variabel tidak terkendali menggunakan metode pendekatan jarak probabilitas yang melibatkan proses multinomial menggunakan persamaan (2.13).

Adapun nilai $\lambda_{(k-1,\alpha)}^2 = \lambda_{(58,0.05)}^2 = 76.7778$ dan nilai Z_i untuk proses identifikasi variabel penyebab tidak terkendali bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Identifikasi Variabel Penyebab *Out Of Control*

$\lambda_{(58,0.05)}^2$	No Pengamatan	z1	z2	...	z59
76.7778	2	31.64583	1.130208	...	40.6875
76.7778	16	29.45833	1.052083	...	37.875

Untuk selengkapnya tabel ditunjukkan pada lampiran 4 dan variabel penyebab tidak terkendali sebagai berikut:

Tabel 4.7 Variabel Penyebab Tidak Terkendali

Pengamatan Tidak Terkendali	Variabel Penyebab Tidak Terkendali
2	X4, X5, X6, X16, X19, X20, X21, X29, X30, X39
16	X4, X5, X6, X16, X19, X20, X21, X29, X30, X39

Berdasarkan tabel 4.5 bahwa variabel yang tidak terkendali pada pengamatan ke-1 dan 3 adalah Cr On Ring (X4), Cr Und Ring (X5), Cr Shoulder (X6), Blow Pp Mark (X16), Cold Mold (X19), Bent Neck (X20), Offsed Body (X21), Wrinkle Bottom (X29), Loading Mark (X30), dan Pecah Di Leher (X39).

4.3 DPMO dan Nilai Pencapaian Sigma

Nilai kapabilitas proses juga bisa diketahui berdasarkan nilai pencapaian sigma yang berakibat jika semakin tinggi nilai kapabilitas proses, maka semakin tinggi nilai sigma artinya kualitas produk semakin baik. Dalam hal ini, nilai

pencapaian sigma didapatkan dari nilai *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) yang menunjukkan ukuran kegagalan per satu juta kesempatan. Misalkan pada pengamatan ke-1, akan ditentukan nilai pencapaian sigma. Dengan banyak cacat sebesar 305, banyak unit yang diperiksa sebesar 768, dan karakteristik kualitas sebesar 3, sehingga berdasarkan persamaan (2.20) didapatkan:

$$DPO = \frac{\text{banyakcacatyangditentukan}}{\text{banyakunityangdiperiksa} \times \text{jumla hCTQ}} = \frac{305}{768 \times 3} = 0.31238$$

Berdasarkan kajian tentang DPMO, jika nilai DPO dikalikan dengan 1.000.000, maka akan menghasilkan nilai DPMO. Sehingga didapatkan nilai DPMO sebesar 312378.472. Untuk menentukan nilai sigma level dengan menggunakan bantuan Ms.Excel 2007 dengan rumus $\text{Normsinv}(1-DPO)+1,5$. Dengan nilai DPMO sebesar 312378.472, maka nilai sigma level sebesar 2.61522. Untuk selengkapnya nilai sigma level bisa dilihat pada table berikut:

Tabel 4.8 Perhitungan DPMO dan *Sigma Level*

No	N	Jumlah produk cacat	Karkteristik kualitas	DPO	DPMO	Sigma
1	768	305	3	0.31238	312378.472	2.61522
2	768	434	3	0.18884	188368.056	2.38393
3	768	458	3	0.21050	210503.472	2.30468
4	768	394	3	0.17101	171006.944	2.45019
5	768	357	3	0.25495	154947.916	2.51544
6	768	400	3	0.17361	173611.111	2.43999
7	768	414	3	0.17969	179687.500	2.41656
8	768	373	3	0.16189	161892.361	2.48671
9	768	332	3	0.14410	144097.222	2.56209
10	768	292	3	0.12674	126736.111	2.64196
11	768	347	3	0.15061	150607.638	2.53383
12	768	516	3	0.22396	223958.333	2.25889
13	768	468	3	0.20313	203125.000	2.33051
14	768	339	3	0.14714	147135.416	2.54880
15	768	385	3	0.16710	167100.694	2.46569
16	768	404	3	0.17535	175347.222	2.43324
Rata-rata					169406.467	2.461733

Dari tabel di atas, dapat diketahui rata-rata nilai DPMO sebesar 169406.467 dengan *sigma level* sebesar 2.461733. Berdasarkan tabel 2.1 tentang keterangan nilai pencapaian sigma menurut Vincent Gaspersz (2002) dengan nilai pencapaian sigma pada table 4.6 rata-rata sebesar 2.461733, sehingga proses produksi termasuk dalam tingkatan kualitas rata-rata industri di Indonesia.

4.4 Kesesuaian Kapabilitas Proses Produksidengan Agama

Ibnu Mas'ud mengatakan bahwa istilah *tabzir* berarti membelanjakan harta bukan pada jalan yang benar. Hal yang sama dikatakan oleh Ibnu Abbas. Mujahid salah satu ulama tafsir periode tabi'in mengatakan, "Seandainya seseorang membelanjakan semua hartanya dalam kebenaran, dia bukanlah termasuk orang yang boros. Dan seandainya seseorang membelanjakan satu *mud* bukan pada jalan yang benar, dia termasuk seorang pemboros." Qatadah mengatakan bahwa *tabzir* ialah membelanjakan harta di jalan maksiat kepada Allah Swt pada jalan yang tidak benar serta untuk kerusakan (Katsir, 2000).

Dalam konsep grafik pengendali, terdapat beberapa kecacatan dalam setiap produksi. Hal ini yang menyebabkan suatu barang tidak dapat digunakan dan harus dibuang sehingga terjadi pemborosan dalam produksi. Pemborosan dalam suatu produksi mengakibatkan barang menjadi mubadzir. Seperti halnya yang dijelaskan dalam surat QS. Al-Isra Ayat 26-27. Firman Allah Swt:

وَأْتِ ذَا الْقُرْبَىٰ حَقَّهُ وَالْمِسْكِينَ وَابْنَ السَّبِيلِ وَلَا تَبْذِرْ تَبْدِيرًا ﴿٢٦﴾ إِنَّ الْمُبْذِرِينَ كَانُوا
إِحْوَانَ الشَّيْطَانِ ۗ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا ﴿٢٧﴾

Artinya:

"Dan berikanlah kepada keluarga-keluarga yang dekat akan haknya, kepada orang miskin dan orang yang dalam perjalanan dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros. Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah Saudara-saudara syaitan dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya".

Inti kandungan dari dua ayat tersebut adalah agar kita mengatur dan membelanjakan harta kita secara tepat, yaitu dengan membelanjakan di jalan Allah, memberikan bagian harta kita kepada yang berhak dan tidak menghamburkan harta kita atau boros. Kalimat “dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros. Sesungguhnya orang-orang yang pemboros itu adalah saudara setan dan setan itu sangat ingkar kepada Tuhannya”. Bagian itu menerangkan tentang peringatan dari Allah Swt agar kita tidak melakukan pemborosan, menghambur-hamburkan, dan menyalahgunakan harta yang kita miliki.

Pada ayat 26, kata لَا تُبَدِّرْ تَبْدِيرًا secara jelas Allah melarang kita melakukan pemborosan. Artinya berbuat boros adalah termasuk perbuatan yang dilarang oleh Allah. Perbuatan yang dilarang Allah berarti sesuatu yang tidak baik dan tidak membawa manfaat, terlebih lagi bila dilakukan kita akan mendapatkan dosa. Secara umum, segala bentuk pemborosan dan penghambur-hamburan harta adalah perbuatan yang dilarang dalam Islam.

Pada ayat selanjutnya yaitu di ayat 27, kita diberitahu oleh Allah Swt bahwa orang-orang yang melakukan pemborosan dan berbuat mubadzir adalah saudara setan. Padahal setan itu sangat ingkar kepada Tuhannya yaitu Allah Swt. Jika para pelaku pemborosan dan mubadzir itu adalah saudara setan, berarti mereka bersaudara dengan makhluk yang ingkar atau mengkafiri Allah Swt. Dikatakan demikian karena dia ingkar kepada nikmat yang telah diberikan kepada Allah serta berbuat maksiat kepada-Nya

Kecacatan dalam produksi berakibat terjadinya 2 kemungkinan pada produksi tersebut. Kemungkinan pertama barang yang diproduksi masih tetap

digunakan meskipun terjadi cacat. Cacat dalam hal ini termasuk dalam kategori cacat yang dapat diterima. Sedangkan kemungkinan kedua yakni barang tidak digunakan sama sekali tidak digunakan sehingga mengakibatkan pemborosan terhadap bahan-bahan yang ada. Istilah seperti ini disebut dengan mubadzir. Berdasarkan hal tersebut, maka penulis menginterpretasikan kesesuaian kajian QS. Al-Isra ayat 26-27 dengan konsep cacat dalam proses produksi, yang berarti semakin banyak barang yang cacat dan tidak bisa diterima, maka barang tersebut akan menjadi sia-sia (mubadzir). Nabi Muhammad Saw bersabda:

لَا تَزُولُ قَدَمَا عَبْدٍ يَوْمَ الْقِيَامَةِ حَتَّى يُسْأَلَ عَنْ عُمُرِهِ فِيمَا أَفْنَاهُ وَعَنْ عِلْمِهِ فِيمَا فَعَلَ وَعَنْ مَالِهِ مِنْ أَيْنَ اكْتَسَبَهُ وَفِيمَا أَنْفَقَهُ وَعَنْ جِسْمِهِ فِيمَا أَبْلَاهُ»

Artinya:

“Tidak akan bergeser dua telapak kaki seorang hamba pada hari kiamat sampai dia ditanya (dimintai pertanggungjawaban) tentang umurnya kemana dihabiskannya, tentang ilmunya bagaimana dia mengamalkannya, tentang hartanya; dari mana diperolehnya dan ke mana dibelanjakannya, serta tentang tubuhnya untuk apa digunakannya”.

Hadits yang agung ini menunjukkan kewajiban mengatur pembelanjaan harta dengan menggunakannya untuk hal-hal yang baik dan diridhai oleh Allah, karena pada hari kiamat nanti manusia akan dimintai pertanggungjawaban tentang harta yang mereka belanjakan sewaktu di dunia. Dalam hadits lain Rasulullah Saw bersabda, *“Sesungguhnya Allah tidak menyukai bagi kalian tiga perkara (di antaranya) idho’atul maal (menyia-nyiakan harta).*

Arti *“idho’atul maal”* (menyia-nyiakan harta) adalah menggunakannya untuk selain ketaatan kepada Allah Ta’ala, atau membelanjakannya secara boros dan berlebihan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa grafik pengendali untuk menginspeksi cacat produk dengan jenis data multiatribut digunakan grafik pengendali p -multivariat. Di sisi lain, kapabilitas proses produksi juga digunakan dalam pengendalian kualitas. Dalam hal ini kapabilitas proses merupakan kemampuan suatu proses untuk beroperasi sesuai dengan standar yang ditentukan. Untuk analisis kemampuan proses multivariat diperlukan syarat bahwa peta kendali multivariat sudah dalam keadaan terkendali dan asumsi multivariat juga telah terpenuhi.

Pada penerapan pengendalian kualitas botol kecap diketahui nilai kapabilitas proses produksi berdasarkan fungsi kuadrat *quality loss* sebesar 2.7778, yang berarti proses produksi *capable*. Artinya proses produksi sudah memuaskan keinginan *customer*. Dengan nilai DPMO sebesar 169406.467 dan *sigma level* sebesar 2.461733, maka berdasarkan tabel 2.1 proses produksi kecap pada periode 26 April 2014 sampai dengan 11 Mei 2014 tahap *sortir* termasuk dalam tingkatan kualitas rata-rata industri di Indonesia.

Jika dalam setiap produksi terjadi kecacatan yang mengakibatkan produk tidak digunakan dan mengakibatkan pemborosan terhadap bahan-bahan yang digunakan sehingga kemungkinan terjadinya kerugian dalam produksi. Hal ini, dalam konsep agama termasuk dalam kategori mubadzir. Mubadzir termasuk teman syaitan

yang ingkar terhadap Tuhannya. Seperti halnya yang dijelaskan dalam surat QS. Al-Isra Ayat 26-27 tentang mubadzir. Nabi Saw bersabda: *“Tidak akan bergeser dua telapak kaki seorang hamba pada hari kiamat sampai dia ditanya (dimintai pertanggungjawaban) tentang umurnya kemana dihabiskannya, tentang ilmunya bagaimana dia mengamalkannya, tentang hartanya dari mana diperolehnya dan kemana dibelanjakannya, serta tentang tubuhnya untuk apa digunakannya”*.

5.2 Saran

Pada penulisan penelitian selanjutnya dapat diteruskan dengan menggunakan pendekatan lain untuk analisis kemampuan proses multivariat menggunakan grafik pengendali np multivariat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mahalli, Jalaluddin dan As-Suyuthi, Jalaluddin, 1990. *Tafsir Al-Jalalai*. Bandung: Sinar baru
- Al-Maraghi, Ahmad Musthafa. 1988. *Tafsir Al-Maraghi*. Semarang: CV Toha Putra
- Ariani, D.W.. 2003. *Pengendalian Kualitas Statistik: Pengendalian Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas*. Yogyakarta: Andi
- Cozzucoli, P.C.. 2009. Process Monitoring with Multivariate p Control Chart. *Journal of Quality Statistic and Reliability*. Vol 2009, Article ID 707583
- Dudewicz, E.J. dan Mishra, S.N.. 1995. *Statistika Matematika Modern*. Bandung: ITB
- H. Taleb. 2009. Control Chart Applications for Multivariate Attribute Processes. *Computers and Industrial Engineering*. Vol 56 No.1, pp. 399 - 410
- Hsieh, K.L. dan Tong, L.I., 2006. Incorporating Process Capability Index And Quality Loss Function Into Analyzing The Process Capability For Qualitative Data. *Int J Adv Manuf Technol* 27:1217-1222
- Katsir, Ibnu. 2000. *Tafsir Ibnu Katsir*. Bandung. Sinar Baru Algensido
- Kurnia, J.D.. 2013. Analisis Kapabilitas Proses Produksi Monosodium Glutamat (MSG) di PT. Ajinomoto Indonesia. *Jurnal Sains dan Seni*. Vol 2 No.1
- Mayanda, K. dan Muhammad, M.. 2011. *Pengontrolan Kualitas Produk PT IGLAS (Persero) Gresik Menggunakan Diagram p Multivariat*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: ITS
- Montgomery, D.C.. 1990. *Pengantar Pengendali Kualitas Statistik*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Mukhopadhyay, A.R.. 2008. Multivariate Attribute Control Chart Using Mahalanobis D^2 . *Journal of Applied Statistic*. Vol 35 No.4, 421-429
- Putri, C.F.. 2010. Upaya Menurunkan Jumlah Cacat Produk Shuttlecock dengan Metode Six Sigma. *Widya Teknika*. Vol 18 No.2
- Suteyo, J., Winarmi, dan Hartanto, C.. 2011. Aplikasi Six Sigma DMAIC dan KAIZEN sebagai Metode Pengendalian dan Perbaikan Kualitas Produk. *Jurnal Teknologi*. Vol 4 No. 1

Tiono, F.W., Mulyono, I.G., dan Endah, D.SR., 2009. Analisa Kapabilitas proses data kualitatif Sandal dan Usulan Perbaikan di Industri Sandal. *Symposium Nasional RAPI VIII*

Walpole, E.R. dan Myers, R.H. 1995. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan Edisi Keempat*. Bandung: ITB

Wahyani, W., Abdul, C., Denny, D.R.. 2011. *Penerapan Metode Sig Sigma dengan Konsep DMAIC sebagai alat pengendali kualitas*. Surabaya: ITATS

Yunita, A.I.. 2010. Kajian Grafik Pengendali dan Analisis Kemampuan Proses Statistik Berbasis Distribusi Lognormal (Studi Kasus pada Data Kadar Air Gula di PG Krobot Baru II Malang). *Skripsi* tidak diterbitkan. Malang: Universitas Negeri Malang



Lampiran 1. Data Cacat Produksi (Tahap 1)

n Pengamatan	Sampel	JENIS CACAT					
		Cacat Kritis		Cacat Mayor			
		Press Over	Bird Swing	Splth Finish	Cr On Ring	Cr Und Ring	Cr Shoulder
1	768	0	0	4	0	0	0
2	768	8	0	6	44	0	18
3	768	0	0	50	18	8	2
4	768	0	0	14	6	10	0
5	768	0	0	8	4	11	6
6	768	12	0	7	0	6	6
7	768	8	0	12	37	0	4
8	768	0	0	4	38	0	14
9	768	26	0	0	33	0	0
10	768	38	0	6	4	23	12
11	768	34	0	0	36	16	0
12	768	4	0	20	14	0	0
13	768	0	0	0	53	0	0
14	768	16	0	78	2	0	9
15	768	22	0	51	0	0	8
16	768	8	0	12	11	10	0
17	768	0	0	0	11	6	6
18	768	4	0	25	48	4	0
19	768	20	0	4	12	2	4
20	768	2	0	12	12	0	0
21	768	0	0	0	6	14	0
22	768	0	0	0	33	18	6
23	768	0	0	0	74	11	12
24	768	6	0	12	34	0	2
25	768	4	0	12	0	10	0
26	768	7	0	0	18	0	0
27	768	8	0	0	2	4	0
28	768	0	0	0	28	6	0
29	768	10	0	12	0	21	0
30	768	0	0	10	30	0	0

Lanjutan Lampiran 1

n Pengamatan	JENIS CACAT					
	Cacat Mayor					
	Cr Bottom	Bad Finish	Sunken Sambungan1	Cr Body P	Cr Body	Chipped Ring
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	11	5	0	0	0	0
7	2	0	0	0	6	0
8	0	2	0	0	2	0
9	4	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	7	0	0	0	0
12	0	22	0	0	0	0
13	0	0	0	0	8	0
14	0	0	0	0	0	15
15	0	4	0	0	0	0
16	0	32	6	0	0	0
17	4	10	0	0	0	0
18	0	8	0	0	0	0
19	0	0	0	6		8
20	0	0	0	0	0	0
21	2	6	4	0	0	0
22	0	0	0	4	0	0
23	0	0	0	4	4	0
24	0	10	0	0	0	0
25	2	9	0	0	0	0
26	0	12	0	11	0	0
27	0	6	0	0	0	0
28	0	36	0	8	0	0
29	0	12	0	18	0	0
30	0	18	0	59	0	0

Lanjutan Lampiran 1

n Pengamatan	JENIS CACAT						
	Cacat Mayor			Cacat Minor			
	Chipped Finish	Splith Ring	Chocked Neck	Blow Pp Mark	Bad Glass	Blank Seam	Cold Mold
1	0	0	0	46	0	0	22
2	0	0	0	62	9	52	12
3	0	0	0	38	35	52	40
4	0	0	0	28	48	40	24
5	0	0	0	76	44	0	32
6	0	0	0	29	64	32	24
7	0	0	0	10	50	40	36
8	0	0	0	28	44	14	38
9	0	0	0	12	28	18	30
10	0	0	0	18	32	14	42
11	8	32	0	12	22	28	30
12	0	0	0	18	44	0	30
13	0	44	0	25	20	22	38
14	0	0	0	16	28	28	22
15	0	0	0	10	46	30	4
16	0	0	0	24	32	24	8
17	0	0	0	54	24	68	38
18	0	0	0	36	37	98	28
19	0	0	0	4	46	46	16
20	0	0	0	16	35	78	18
21	0	0	0	54	40	38	16
22	0	0	0	54	31	24	0
23	0	6	0	36	23	0	8
24	0	0	0	44	41	38	12
25	0	0	0	28	8	6	24
26	0	0	5	34	6	24	18
27	0	0	0	21	10	14	32
28	0	0	0	14	8	24	22
29	0	0	0	12	18	0	34
30	0	0	0	33	4	4	32

Lanjutan Lampiran 1

n Pengamat an	JENIS CACAT						
	Cacat Minor						
	Bent Nec k	Offse d Body	Baffl e Seam	Sunken Sambungan 2	Teganga n	Seam Und Ring	Oval Bod y
1	46	12	0	26	8	0	0
2	0	28	4	24	3	32	26
3	8	0	48	6	0	4	28
4	30	36	38	12	24	0	0
5	26	32	20	16	24	8	0
6	18	4	0	4	17	14	0
7	4	74	42	16	0	30	0
8	20	28	40	38	20	2	0
9	4	30	40	6	24	0	0
10	22	34	76	0	34	8	0
11	0	38	36	12	16	2	0
12	22	92	30	0	8	4	0
13	6	131	8	16	11	0	0
14	0	24	0	16	0	20	0
15	0	56	0	0	10	24	0
16	22	70	14	0	2	0	0
17	0	48	22	28	0	0	0
18	18	60	10	4	0	0	0
19	4	48	28	0	0	4	0
20	32	56	98	4	1	0	2
21	4	54	26	4	8	0	0
22	20	40	4	0	0	0	8
23	14	78	16	0	0	6	0
24	10	72	34	0	0	0	0
25	18	64	42	10	0	16	0
26	34	22	40	0	5	0	4
27	14	72	0	0	0	4	0
28	58	20	18	0	3	0	0
29	74	14	16	0	4	0	0
30	106	14	30	0	0	0	6

Lanjutan Lampiran 1

n Pengamatan	JENIS CACAT						
	Cacat Minor						
	Seam On Ring	Air Mark	Wrinkle Bottom	Loading Mark	Thin Bottom	Offsed Shoulder	Sunken Body
1	0	0	8	0	0	0	24
2	0	4	12	20	8	0	0
3	0	0	18	0	18	0	0
4	0	2	0	0	0	0	0
5	10	10	0	0	0	0	0
6	34	26	0	14	6	30	2
7	4	0	4	0	0	0	0
8	10	38	0	0	0	0	0
9	0	24	0	4	0	0	0
10	0	0	16	0	0	0	0
11	0	0	16	0	0	0	0
12	12	28	6	16	8	0	0
13	26	4	2	0	0	0	0
14	8	14	0	8	0	0	0
15	6	8	12	0	0	0	0
16	0	14	0	0	4	0	4
17	0	6	16	0	0	0	0
18	0	18	8	0	0	0	0
19	0	16	0	0	0	0	0
20	2	2	0	0	0	0	0
21	0	0	0	14	0	0	6
22	0	0	8	8	0	0	0
23	0	0	20	10	0	0	0
24	6	2	32	12	0	0	0
25	4	0	0	12	0	0	0
26	2	0	0	10	0	0	0
27	4	28	0	20	4	0	8
28	8	6	0	10	4	0	10
29	0	22	6	58	0	6	4
30	0	22	9	16	0	0	0

Lanjutan Lampiran 1

n Pengamatan	JENIS CACAT						
	Cacat Minor						
	Seam Bottom	Phinched Neck	Crizzle On Neck	Seam Body	Bulged Ring	Pecah di Leher	Blister
1	0	0	0	0	0	8	4
2	0	0	0	6	0	0	0
3	8	14	6	0	12	2	0
4	12	0	0	4	0	0	0
5	2	0	6	2	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	4	0	16	0	0	0
8	0	28	0	0	0	0	0
9	0	8	0	12	0	0	0
10	0	28	0	0	0	12	0
11	0	28	0	0	0	16	0
12	0	12	0	0	0	0	0
13	0	4	0	0	0	20	0
14	0	4	0	0	0	8	0
15	0	0	0	18	0	0	0
16	0	0	0	0	0	6	0
17	0	0	0	0	0	30	0
18	0	4	0	4	0	0	0
19	0	2	0	8	0	8	0
20	2	12	0	0	0	0	0
21	0	14	6	0	0	4	0
22	0	0	0	0	0	18	0
23	0	0	0	0	4	20	0
24	4	8	0	0	0	12	0
25	0	6	30	0	0	27	0
26	0	0	38	0	0	32	0
27	0	0	0	0	0	62	0
28	0	0	0	0	0	41	0
29	0	21	0	0	0	51	0
30	0	0	0	0	0	22	0

Lanjutan Lampiran 1

n Pengamatan	JENIS CACAT						
	Cacat Minor						
	Crizzle	Mold Seam	Dirty Mold	Check Bottom	Wrinkle	Bent Ring	Shear Mark On Neck
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	2	0	0	0	0	0
7	4	0	0	0	0	0	0
8	0	16	0	0	0	0	0
9	0	32	0	0	0	0	0
10	0	8	0	0	0	0	0
11	0	8	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	8	0	0	0	0	0
14	0	12	6	0	0	0	0
15	0	4	0	0	0	0	6
16	0	10	0	0	0	0	0
17	4	20	8	0	0	0	0
18	0	4	4	0	0	0	0
19	0	4	0	0	0	0	0
20	0	68	0	0	0	6	0
21	0	32	0	0	0	0	0
22	6	0	20	0	0	4	0
23	0	0	22	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	4	0
25	0	14	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0
27	0	10	0	0	0	0	0
28	0	0	6	0	0	58	0
29	0	0	0	0	0	0	0
30	0	2	0	0	0	0	0

Lanjutan Lampiran 1

n Pengamatan	JENIS CACAT					
	Cacat Minor					
	Shear Mark	Shear Mark On Ring	Oil Mark	Seam On Neck	Shear Mark Bottom	Out Of Round
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	14	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	12	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	4	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0

Lanjutan Lampiran 1

n Pengamatan	JENIS CACAT					
	Cacat Minor					
	Swung Baffle	Push Up Bottom	Bottom Seam	Stuckware	Sunken Shoulder	Warna Kehijauan
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	4	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	3	0	0

Lampiran 2. Data Cacat Produksi (Tahap 2)

n Pengamatan	Sampel	JENIS CACAT					
		Cacat Kritis		Cacat Mayor			
		Press Over	Bird Swing	Splth Finish	Cr On Ring	Cr Und Ring	Cr Shoulder
1	768	0	0	5	23	16	0
2	768	8	0	18	40	32	56
3	768	2	0	9	8	18	64
4	768	0	1	0	12	0	60
5	768	8	0	2	2	13	70
6	768	8	0	0	0	28	64
7	768	2	0	0	0	24	60
8	768	0	0	0	2	49	94
9	768	6	0	0	4	51	87
10	768	8	0	6	20	16	24
11	768	0	0	18	0	28	38
12	768	0	0	0	15	16	58
13	768	0	0	0	5	3	79
14	768	0	1	0	9	0	45
15	768	0	0	0	0	13	32
16	768	14	0	8	6	15	20

Lanjutan Lampiran 2

n Pengamatan	JENIS CACAT					
	Cacat Mayor					
	Cr Bottom	Bad Finish	Sunken Sambungan1	Cr Body P	Cr Body	Chipped Ring
1	0	10	0	6	6	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	20	0	0	0
4	0	4	0	0	0	0
5	0	8	0	0	2	0
6	6	0	0	0	16	0
7	0	0	0	0	10	0
8	0	0	0	0	8	0
9	0	10	0	0	0	0
10	0	4	0	0	0	0
11	0	14	0	0	0	0
12	0	16	0	0	0	0
13	0	4	0	0	6	0
14	0	20	0	0	10	0
15	0	30	0	0	2	0
16	0	12	0	0	0	0

Lanjutan Lampiran 2

n Pengamatan	JENIS CACAT						
	Cacat Mayor			Cacat Minor			
	Chipped Finish	Splith Ring	Chocked Neck	Blow Pp Mark	Bad Glass	Blank Seam	Cold Mold
1	0	0	0	50	17	0	12
2	0	0	0	17	13	0	14
3	0	0	0	38	4	0	24
4	0	0	0	0	23	0	10
5	0	0	0	12	10	0	10
6	0	0	0	14	0	0	16
7	0	0	0	14	10	0	50
8	2	0	0	24	22	0	14
9	0	0	0	28	4	0	20
10	0	0	0	4	0	0	24
11	0	0	0	0	4	0	12
12	0	0	0	28	0	8	0
13	2	0	0	28	0	0	0
14	0	0	0	16	2	6	15
15	0	0	0	8	0	34	28
16	0	0	0	3	0	24	16

Lanjutan Lampiran 2

n Pengamat an	JENIS CACAT						
	Cacat Minor						
	Bent Nec k	Offse d Body	Baffl e Seam	Sunken Sambungan 2	Teganga n	Seam Und Ring	Oval Bod y
1	58	32	0	0	0	0	0
2	78	20	0	4	0	2	0
3	92	94	0	20	0	0	0
4	76	16	0	0	0	20	0
5	100	16	0	16	0	0	2
6	134	36	0	0	0	0	0
7	106	0	0	20	0	2	0
8	90	6	0	0	0	0	0
9	32	18	8	0	0	7	0
10	52	32	0	0	0	0	6
11	82	14	0	0	0	0	0
12	202	20	0	0	0	12	0
13	188	58	0	0	0	0	0
14	100	36	18	0	0	7	0
15	114	48	0	0	0	2	0
16	139	20	4	0	0	0	0

Lanjutan Lampiran 2

n Pengamatan	JENIS CACAT						
	Cacat Minor						
	Seam On Ring	Air Mark	Wrinkle Bottom	Loading Mark	Thin Bottom	Offsed Shoulder	Sunken Body
1	0	32	0	0	2	0	0
2	0	16	14	31	5	0	0
3	0	0	0	0	0	0	4
4	0	0	0	34	28	0	8
5	0	0	0	4	10	0	0
6	0	12	0	2	6	0	8
7	2	0	27	22	12	0	4
8	0	3	12	8	12	0	0
9	0	0	14	2	16	0	0
10	0	4	8	16	8	0	0
11	14	6	0	24	4	0	0
12	10	0	14	4	20	0	0
13	4	0	25	2	2	0	0
14	0	0	4	4	2	0	0
15	0	0	28	20	0	0	0
16	0	0	10	49	8	0	0

Lanjutan Lampiran 2

n Pengamatan	JENIS CACAT						
	Cacat Minor						
	Seam Bottom	Pinched Neck	Crizzle On Neck	Seam Body	Bulged Ring	Pecah di Leher	Blister
1	0	20	0	0	0	4	0
2	0	0	0	2	0	20	0
3	0	14	0	0	0	26	0
4	0	12	0	10	0	34	0
5	0	12	0	0	0	36	0
6	0	0	0	0	0	30	0
7	0	0	0	0	0	35	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	3
10	0	0	0	0	0	30	0
11	0	0	0	0	0	58	0
12	0	0	0	8	0	47	0
13	16	0	0	0	0	30	0
14	0	0	0	0	0	26	0
15	0	0	0	0	0	10	0
16	0	0	0	0	0	28	0

Lanjutan Lampiran 2

n Pengamatan	JENIS CACAT						
	Cacat Minor						
	Crizzle	Mold Seam	Dirty Mold	Check Bottom	Wrinkle	Bent Ring	Shear Mark On Neck
1	0	0	4	0	0	8	0
2	10	34	0	0	0	0	0
3	0	28	0	0	0	0	0
4	6	34	0	0	0	0	0
5	0	4	20	0	0	0	0
6	0	2	6	0	0	0	0
7	0	0	14	0	0	0	0
8	15	0	6	0	0	0	0
9	16	0	0	0	0	0	0
10	6	12	4	0	0	0	0
11	4	0	0	0	0	0	3
12	0	14	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	6	2	0	0	0	0
15	6	0	10	0	0	0	0
16	0	0	28	0	0	0	0

Lanjutan Lampiran 2

n Pengamatan	JENIS CACAT					
	Cacat Minor					
	Shear Mark	Shear Mark On Ring	Oil Mark	Seam On Neck	Shear Mark Bottom	Out Of Round
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	10	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	6
9	0	0	6	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0

Lanjutan Lampiran 2

n Pengamatan	JENIS CACAT					
	Cacat Minor					
	Swung Baffle	Push Up Bottom	Bottom Seam	Stuckware	Sunken Shoulder	Warna Kehijauan
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	10	0	0	0	0	0
4	0	0	0	6	0	0
5	0	0	0		0	0
6	4	0	0	0	8	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	8
11	0	0	0	0	0	24
12	0	0	0	0	0	24
13	0	0	0	0	0	16
14	10	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0

Lampiran 3. Program Grafik Pengendali p -Multivariat dan Indeks Kapabilitas Proses

```

weight=[0.9299 0.0607 0.00940];           %y=banyak sampel
[n,q]=size(data)                          %j=karakteristik jenis cacat
sampai ke-q
for j=1:1:q
    for i=1:1:n                             %i=karakteristik sampai ke-n
        delta(i,j)=data(i,j)/y(i)*weight(j);
    end
    pj(j)=mean(data(:,j)/y(i));             %proporsi j
    dp(j)=pj(j)*weight(j);                 %proporsi*pembobot
    ddp(j)=dp(j)*weight(j);                %dkuadratp(Z)
end
for i=1:1:n
    ttp(i)=sum(delta(i,:));
    obs(i,1)=1;
end
rtjp=mean(data);                           %rata2proporsi
bka=sum(dp)+((sqrt(chi2inv(0.95,q))*sqrt((1/y(1)*(sum(ddp)-
sum(dp)*sum(dp))))))
gt=sum(dp)
bkb=sum(dp)-((sqrt(chi2inv(0.95,q))*sqrt((1/y(1)*(sum(ddp)-
sum(dp)*sum(dp))))))
for i=1:1:n
    bkai(i,1)=bka;
    bkbi(i,1)=bkb;
    bkti(i,1)=gt;
end
X=1:1:n;
Y=ttp
plot(X,Y,'b*-','X,bkai','k-','X,bkti','k-','X,bkbi','k-');
xlabel('pengamatan ke-');
title('Diagram p Multivariat');
ylabel('delta');
text(n,bkai(n),' BKA','FontSize',12);
text(n,bkbi(n),' BKB','FontSize',12);
text(n,bkti(n),' GT','FontSize',12);

%--*-----indeks kemampuan proses-----*--%
%AQL(i)*p-bar
AQL1pj=(0.00065*pj(1))
AQL2pj=(0.01*pj(2))
AQL3pj=(0.065*pj(3))
AB51=AQL1pj+AQL2pj+AQL3pj;
AB512=AB51^2           %V

%--kuadrat AQL(i)*p-bar(i)--%
pAQL1=pj(1)*(0.00065^2);
pAQL2=pj(2)*(0.01^2);
pAQL3=pj(3)*(0.065^2);
sumpAQL=pAQL1+pAQL2+pAQL3           %X

p1=AB512+((sumpAQL-AB512)/576)

```

Lanjutan Lampiran 3

```
%--*---kuadrat masing-masing pembobot---*---%
pembobot12=0.93^2;
pembobot22=0.06^2;
pembobot32=0.00940^2;

%kuadrat pembobot(i)*p-bar(i)%
pem1pj=(pembobot12*pj(1))
pem2pj=(pembobot22*pj(2))
pem3pj=(pembobot32*pj(3))
sumpemb2=pem1pj+pem2pj+pem3pj; %X

%--pemb(i)*p-bar(i)--%
pem11pj=pj(1)*0.93;
pem22pj=pj(2)*0.06;
pem32pj=pj(3)*0.00940;
sumpemb=pem11pj+pem22pj+pem32pj;
sumpembkuad=sumpemb^2 %V
p=sumpembkuad+((sumpemb2-sumpembkuad)/576)

IKP=p1/p
if IKP>1
    'proses baik sekali'
elseif IKP<1
    'proses buruk'
else
    'proses baik '
end

    'proses baik sekali'
elseif IKP<1
    'proses buruk'
else
    'proses baik '
end
```

Lampiran 4 . Identifikasi Variabel Penyebab *Out Of Control*

Tahap 1

	no pengamatan	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9
76.7778	1	64.1875	0	97.22917	164.6667	48.75	29.52083	6.770833	53.89583	2.708333
76.7778	3	128.0664063	0	193.9909	328.5417	97.26563	58.89974	13.50911	107.5326	5.403646
76.7778	4	101.8359375	0	154.2578	261.25	77.34375	46.83594	10.74219	85.50781	4.296875
76.7778	5	103.9960938	0	157.5299	266.7917	78.98438	47.82943	10.97005	87.32161	4.388021
76.7778	8	130.84375	0	198.1979	335.6667	99.375	60.17708	13.80208	109.8646	5.520833
76.7778	9	103.3789063	0	156.5951	265.2083	78.51563	47.54557	10.90495	86.80339	4.361979
76.7778	10	131.7695313	0	199.6003	338.0417	100.0781	60.60286	13.89974	110.6419	5.559896
76.7778	11	122.5117188	0	185.5768	314.2917	93.04688	56.34505	12.92318	102.8685	5.169271
76.7778	15	102.7617188	0	155.6602	263.625	78.04688	47.26172	10.83984	86.28516	4.335938
76.7778	17	124.3632813	0	188.3815	319.0417	94.45313	57.19661	13.11849	104.4232	5.247396
76.7778	20	141.3359375	0	214.0911	362.5833	107.3438	65.0026	14.90885	118.6745	5.963542
76.7778	21	108.625	0	164.5417	278.6667	82.5	49.95833	11.45833	91.20833	4.583333
76.7778	22	94.4296875	0	143.0391	242.25	71.71875	43.42969	9.960938	79.28906	3.984375
76.7778	25	108.625	0	164.5417	278.6667	82.5	49.95833	11.45833	91.20833	4.583333
76.7778	26	94.4296875	0	143.0391	242.25	71.71875	43.42969	9.960938	79.28906	3.984375
76.7778	28	119.734375	0	181.3698	307.1667	90.9375	55.06771	12.63021	100.5365	5.052083

Tahap 1 Kendali ke-1

	no pengamatan	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9
76.7778	6	45.22916667	0	86.10938	156.9974	25.22396	23.91927	5.653646	49.14323	2.609375
76.7778	9	39.27083333	0	74.76563	136.3151	21.90104	20.76823	4.908854	42.66927	2.265625

Tahap 2

	no pengamatan	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9
76.7778	2	31.64583333	1.130208	37.29688	82.50521	181.9635	480.9036	3.390625	74.59375	11.30208
76.7778	16	29.45833333	1.052083	34.71875	76.80208	169.3854	447.6615	3.15625	69.4375	10.52083

Lanjutan Lampiran 4

Tahap 1

no pengamatan	z10	z11	z12	z13	z14	z15	z16	z17	z18	z19
1	29.79167	5.416667	6.229167	2.166667	22.20833	0	210.7083	225.0625	213.9583	160.3333
3	59.4401	10.80729	12.42839	4.322917	44.3099	0	420.4036	449.043	426.888	319.8958
4	47.26563	8.59375	9.882813	3.4375	35.23438	0	334.2969	357.0703	339.4531	254.375
5	48.26823	8.776042	10.09245	3.510417	35.98177	0	341.388	364.6445	346.6536	259.7708
8	60.72917	11.04167	12.69792	4.416667	45.27083	0	429.5208	458.7813	436.1458	326.8333
9	47.98177	8.723958	10.03255	3.489583	35.76823	0	339.362	362.4805	344.5964	258.2292
10	61.15885	11.11979	12.78776	4.447917	45.59115	0	432.5599	462.0273	439.2318	329.1458
11	56.86198	10.33854	11.88932	4.135417	42.38802	0	402.1693	429.5664	408.3724	306.0208
15	47.69531	8.671875	9.972656	3.46875	35.55469	0	337.3359	360.3164	342.5391	256.6875
17	57.72135	10.49479	12.06901	4.197917	43.02865	0	408.2474	436.0586	414.5443	310.6458
20	65.59896	11.92708	13.71615	4.770833	48.90104	0	463.9635	495.5703	471.1198	353.0417
21	50.41667	9.166667	10.54167	3.666667	37.58333	0	356.5833	380.875	362.0833	271.3333
22	43.82813	7.96875	9.164063	3.1875	32.67188	0	309.9844	331.1016	314.7656	235.875
25	50.41667	9.166667	10.54167	3.666667	37.58333	0	356.5833	380.875	362.0833	271.3333
26	43.82813	7.96875	9.164063	3.1875	32.67188	0	309.9844	331.1016	314.7656	235.875
28	55.57292	10.10417	11.61979	4.041667	41.42708	0	393.0521	419.8281	399.1146	299.0833

Tahap 1 Kendali ke-1

no pengamatan	z10	z11	z12	z13	z14	z15	z16	z17	z18	z19
6	37.83594	7.828125	10.0026	0	21.74479	0	132.2083	171.349	165.2604	101.7656
9	32.85156	6.796875	8.684896	0	18.88021	0	114.7917	148.776	143.4896	88.35938

Tahap 2

no pengamatan	z10	z11	z12	z13	z14	z15	z16	z17	z18	z19
2	3.390625	33.90625	0	2.260417	0	0	160.4896	61.59635	40.6875	149.7526
16	3.15625	31.5625	0	2.104167	0	0	149.3958	57.33854	37.875	139.401

Lanjutan Lampiran 4

Tahap 1

no pengamatan	z20	z21	z22	z23	z24	z25	z26	z27	z28	z29
1	94.25	327.4375	183.0833	65.54167	56.875	47.125	17.33333	33.04167	58.5	48.20833
3	188.0469	653.3008	365.2865	130.7682	113.4766	94.02344	34.58333	65.92448	116.7188	96.1849
4	149.5313	519.4922	290.4688	103.9844	90.23438	74.76563	27.5	52.42188	92.8125	76.48438
5	152.7031	530.5117	296.6302	106.1901	92.14844	76.35156	28.08333	53.53385	94.78125	78.10677
8	192.125	667.4688	373.2083	133.6042	115.9375	96.0625	35.33333	67.35417	119.25	98.27083
9	151.7969	527.3633	294.8698	105.5599	91.60156	75.89844	27.91667	53.21615	94.21875	77.64323
10	193.4844	672.1914	375.849	134.5495	116.7578	96.74219	35.58333	67.83073	120.0938	98.96615
11	179.8906	624.9648	349.4427	125.0964	108.5547	89.94531	33.08333	63.0651	111.6563	92.01302
15	150.8906	524.2148	293.1094	104.9297	91.05469	75.44531	27.75	52.89844	93.65625	77.17969
17	182.6094	634.4102	354.724	126.987	110.1953	91.30469	33.58333	64.01823	113.3438	93.40365
20	207.5313	720.9922	403.1354	144.3177	125.2344	103.7656	38.16667	72.75521	128.8125	106.151
21	159.5	554.125	309.8333	110.9167	96.25	79.75	29.33333	55.91667	99	81.58333
22	138.6563	481.7109	269.3438	96.42188	83.67188	69.32813	25.5	48.60938	86.0625	70.92188
25	159.5	554.125	309.8333	110.9167	96.25	79.75	29.33333	55.91667	99	81.58333
26	138.6563	481.7109	269.3438	96.42188	83.67188	69.32813	25.5	48.60938	86.0625	70.92188
28	175.8125	610.7969	341.5208	122.2604	106.0938	87.90625	32.33333	61.63542	109.125	89.92708

Tahap 1 Kendali ke-1

no pengamatan	z20	z21	z22	z23	z24	z25	z26	z27	z28	z29
6	51.31771	296.1641	80.89063	34.79167	17.83073	47.83854	11.30729	39.14063	54.79688	36.53125
9	44.55729	257.1484	70.23438	30.20833	15.48177	41.53646	9.817708	33.98438	47.57813	31.71875

Tahap 2

no pengamatan	z20	z21	z22	z23	z24	z25	z26	z27	z28	z29
2	928.4661	263.3385	16.95313	33.90625	0	29.38542	4.520833	16.95313	41.2526	88.15625
16	864.2865	245.1354	15.78125	31.5625	0	27.35417	4.208333	15.78125	38.40104	82.0625

Lanjutan Lampiran 4

Tahap 1

no pengamatan	z30	z31	z32	z33	z34	z35	z36	z37	z38	z39
1	31.95833	11.91667	8.125	9.75	7.583333	47.66667	13	18.95833	4.333333	51.72917
3	63.76302	23.77604	16.21094	19.45313	15.13021	95.10417	25.9375	37.82552	8.645833	103.2096
4	50.70313	18.90625	12.89063	15.46875	12.03125	75.625	20.625	30.07813	6.875	82.07031
5	51.77865	19.30729	13.16406	15.79688	12.28646	77.22917	21.0625	30.71615	7.020833	83.8112
8	65.14583	24.29167	16.5625	19.875	15.45833	97.16667	26.5	38.64583	8.833333	105.4479
9	51.47135	19.19271	13.08594	15.70313	12.21354	76.77083	20.9375	30.53385	6.979167	83.3138
10	65.60677	24.46354	16.67969	20.01563	15.56771	97.85417	26.6875	38.91927	8.895833	106.194
11	60.9974	22.74479	15.50781	18.60938	14.47396	90.97917	24.8125	36.1849	8.270833	98.73307
15	51.16406	19.07813	13.00781	15.60938	12.14063	76.3125	20.8125	30.35156	6.9375	82.81641
17	61.91927	23.08854	15.74219	18.89063	14.69271	92.35417	25.1875	36.73177	8.395833	100.2253
20	70.36979	26.23958	17.89063	21.46875	16.69792	104.9583	28.625	41.74479	9.541667	113.9036
21	54.08333	20.16667	13.75	16.5	12.83333	80.66667	22	32.08333	7.333333	87.54167
22	47.01563	17.53125	11.95313	14.34375	11.15625	70.125	19.125	27.89063	6.375	76.10156
25	54.08333	20.16667	13.75	16.5	12.83333	80.66667	22	32.08333	7.333333	87.54167
26	47.01563	17.53125	11.95313	14.34375	11.15625	70.125	19.125	27.89063	6.375	76.10156
28	59.61458	22.22917	15.15625	18.1875	14.14583	88.91667	24.25	35.36458	8.083333	96.49479

Tahap 1 Kendali ke-1

no pengamatan	z30	z31	z32	z33	z34	z35	z36	z37	z38	z39
6	34.79167	11.30729	13.04688	2.609375	1.739583	16.52604	0	14.78646	1.739583	32.18229
9	30.20833	9.817708	11.32813	2.265625	1.510417	14.34896	0	12.83854	1.510417	27.94271

Tahap 2

no pengamatan	z30	z31	z32	z33	z34	z35	z36	z37	z38	z39
2	125.4531	76.28906	0	13.5625	9.041667	32.77604	0	11.30208	0	233.9531
16	116.7813	71.01563	0	12.625	8.416667	30.51042	0	10.52083	0	217.7813

Lanjutan Lampiran 4

Tahap 1

no pengamatan	z40	z41	z42	z43	z44	z45	z46	z47	z48	z49
1	1.083333	4.333333	65.54167	16.25	0	0	3.791667	1.625	0	0
3	2.161458	8.645833	130.7682	32.42188	0	0	7.565104	3.242188	0	0
4	1.71875	6.875	103.9844	25.78125	0	0	6.015625	2.578125	0	0
5	1.755208	7.020833	106.1901	26.32813	0	0	6.143229	2.632813	0	0
8	2.208333	8.833333	133.6042	33.125	0	0	7.729167	3.3125	0	0
9	1.744792	6.979167	105.5599	26.17188	0	0	6.106771	2.617188	0	0
10	2.223958	8.895833	134.5495	33.35938	0	0	7.783854	3.335938	0	0
11	2.067708	8.270833	125.0964	31.01563	0	0	7.236979	3.101563	0	0
15	1.734375	6.9375	104.9297	26.01563	0	0	6.070313	2.601563	0	0
17	2.098958	8.395833	126.987	31.48438	0	0	7.346354	3.148438	0	0
20	2.385417	9.541667	144.3177	35.78125	0	0	8.348958	3.578125	0	0
21	1.833333	7.333333	110.9167	27.5	0	0	6.416667	2.75	0	0
22	1.59375	6.375	96.42188	23.90625	0	0	5.578125	2.390625	0	0
25	1.833333	7.333333	110.9167	27.5	0	0	6.416667	2.75	0	0
26	1.59375	6.375	96.42188	23.90625	0	0	5.578125	2.390625	0	0
28	2.020833	8.083333	122.2604	30.3125	0	0	7.072917	3.03125	0	0

Tahap 1 Kendali ke-1

no pengamatan	z40	z41	z42	z43	z44	z45	z46	z47	z48	z49
6	0	1.739583	17.39583	13.91667	0	0	1.739583	0	0	0
9	0	1.510417	15.10417	12.08333	0	0	1.510417	0	0	0

Tahap 2

no pengamatan	z40	z41	z42	z43	z44	z45	z46	z47	z48	z49
2	1.695313	35.60156	75.72396	53.11979	0	0	4.520833	1.695313	0	0
16	1.578125	33.14063	70.48958	49.44792	0	0	4.208333	1.578125	0	0

Lanjutan Lampiran 4

Tahap 1

no pengamatan	z50	z51	z52	z53	z54	z55	z56	z57	z58	z59
1	7.041667	0	0	0	2488.688	0	0	0	0	0
3	14.04948	0	0	0	4965.41	0	0	0	0	0
4	11.17188	0	0	0	3948.398	0	0	0	0	0
5	11.40885	0	0	0	4032.152	0	0	0	0	0
8	14.35417	0	0	0	5073.094	0	0	0	0	0
9	11.34115	0	0	0	4008.223	0	0	0	0	0
10	14.45573	0	0	0	5108.988	0	0	0	0	0
11	13.4401	0	0	0	4750.043	0	0	0	0	0
15	11.27344	0	0	0	3984.293	0	0	0	0	0
17	13.64323	0	0	0	4821.832	0	0	0	0	0
20	15.50521	0	0	0	5479.898	0	0	0	0	0
21	11.91667	0	0	0	4211.625	0	0	0	0	0
22	10.35938	0	0	0	3661.242	0	0	0	0	0
25	11.91667	0	0	0	4211.625	0	0	0	0	0
26	10.35938	0	0	0	3661.242	0	0	0	0	0
28	13.13542	0	0	0	4642.359	0	0	0	0	0

Tahap 1 Kendali ke-1

no pengamatan	z50	z51	z52	z53	z54	z55	z56	z57	z58	z59
6	5.21875	0	0	0	1790.901	0	0	0	0	0
9	4.53125	0	0	0	1554.974	0	0	0	0	0

Tahap 2

no pengamatan	z50	z51	z52	z53	z54	z55	z56	z57	z58	z59
2	9.041667	0	0	3.390625	13.5625	0	0	3.390625	4.520833	40.6875
16	8.416667	0	0	3.15625	12.625	0	0	3.15625	4.208333	37.875

Lanjutan Lampiran 4

Tahap 1

no pengamatan	variabel penyebab tidak terkontrol
1	X3, X4, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X54
3	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X35, X39, X42, X54
4	X1, X3, X4, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X39, X42, X54
5	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X29, X35, X39, X42, X54
8	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X29, X35, X39, X42, X54
9	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X35, X39, X42, X54
10	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
11	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
15	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X39, X42, X54
17	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
20	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
21	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
22	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X42, X54
25	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54
26	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X28, X42, X54
28	X1, X3, X4, X5, X8, X16, X17, X18, X19, X20, X21, X22, X23, X24, X25, X28, X29, X35, X39, X42, X54

Tahap 1 Kendali ke-1

no pengamatan	variabel penyebab tidak terkontrol
6	X3, X4, X16, X17, X18, X19, X21, X22, X54
9	X4, X16, X17, X18, X19, X21, X54

Tahap 2

no pengamatan	variabel penyebab tidak terkontrol
2	X4, X5, X6, X16, X19, X20, X21, X29, X30, X39
16	X4, X5, X6, X16, X19, X20, X21, X29, X30, X39

Lampiran 5. Tabel Distribusi *Chi-Square* untuk d.f. = 1 - 60

Df	pr	0.05	df	pr	0.05
1		3.84146	31		44.9853
2		5.99146	32		46.1943
3		7.81473	33		47.3999
4		9.48773	34		48.6024
5		11.0705	35		49.8018
6		12.5916	36		50.9985
7		14.0671	37		52.1923
8		15.5073	38		53.3835
9		16.919	39		54.5722
10		18.307	40		55.7585
11		19.6751	41		56.9424
12		21.0261	42		58.124
13		22.362	43		59.3035
14		23.6848	44		60.4809
15		24.9958	45		61.6562
16		26.2962	46		62.8296
17		27.5871	47		64.0011
18		28.8693	48		65.1708
19		30.1435	49		66.3386
20		31.4104	50		67.5048
21		32.6706	51		68.6693
22		33.9244	52		69.8322
23		35.1725	53		70.9935
24		36.415	54		72.1532
25		37.6525	55		73.3115
26		38.8851	56		74.4683
27		40.1133	57		75.6237
28		41.3371	58		76.7778
29		42.557	59		77.9305
30		43.773	60		79.0819

(Sumber: *Microsoft Excel 2007*)