



TUGAS AKHIR - SS 145561

**ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI
FLANGE DI PT. IONUDA GEDANGAN - SIDOARJO**

Agnes Hidayati
NRP 1061150000045

Pembimbing
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT.

Program Studi Diploma III
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - SS 145561

**ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI
FLANGE DI PT. IONUDA GEDANGAN - SIDOARJO**

Agnes Hidayati
NRP 1061150000045

Pembimbing
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT.

Program Studi Diploma III
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - SS 145561

**CAPABILITY PROCESS ANALYSIS OF *FLANGE* IN
PT. IONUDA GEDANGAN - SIDOARJO**

Agnes Hidayati
NRP 1061150000045

Supervisor
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT.

Study Programme of Diploma III
Department of Bussiness Statistics
Faculty of Vocations
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI *FLANGE*
DI PT. IONUDA GEDANGAN - SIDOARJO**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AGNES HIDAYATI
NRP. 10611500000045

Surabaya, 04 Juni 2018

Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir

Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT

NIP. 19610311 198701 2 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi ITS



Wibowo, S.Si, M.Si
NIP. 19740528 199802 1 001

ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI *FLANGE* DI PT. IONUDA GEDANGAN - SIDOARJO

Nama Mahasiswa : Agnes Hidayati
NRP : 1061150000045
Program Studi : Diploma III
Departemen : Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS
Dosen Pembimbing : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT.

Abstrak

PT. IONUDA Gedangan - Sidoarjo yang merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang komponen knalpot mobil dimana salah satu komponen produk yang diproduksi adalah *flange* dengan karakteristik kualitas variabel yang akan diukur yaitu *diameter extrusion* dan *flatness*. Perusahaan mengumpulkan data karakteristik kualitas produk *flange* selama ini hanya menggunakan *checksheet* dengan spesifikasi yang telah ditentukan berdasarkan turunan *drawing product*. Dari hasil pemeriksaan tersebut belum pernah dilakukan evaluasi dengan menggunakan analisis kapabilitas proses sehingga tidak diketahui apakah hasil proses produksi sudah kapabel atau tidak, oleh karena itu dilakukan analisis kapabilitas proses pada produk *flange* yang memberikan hasil bahwa proses produksi *flange* pada tahap I tidak kapabel dengan nilai MP_p sebesar 1,0183 dan MP_{pk} sebesar 0,5379 begitu pula proses produksi *flange* pada tahap II tidak kapabel dengan nilai MP_p sebesar 1,0477 dan MP_{pk} sebesar 0,5071. Faktor penyebab pengamatan *out of control* adalah variabel *diameter extrusion* dan *flatness* yang disebabkan oleh ketidakteelitian petugas sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran, perubahan bahan baku dan setting mesin berubah.

Kata Kunci : *Flange*, Kapabilitas Proses

CAPABILITY PROCESS ANALYSIS OF *FLANGE* IN PT. IONUDA GEDANGAN - SIDOARJO

Name : Agnes Hidayati
NRP : 1061150000045
Study Programme : Diploma III
Department : Business Statistics Faculty of Vocations ITS
Supervisor : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT.

Abstract

PT. IONUDA Gedangan Sidoarjo is a manufacturing company engaged in the exhaust component of the car which one component of the product produced is a flange with variable quality characteristics of flange is diameter extrusion and flatness. The Company collects data of flange quality characteristics so far only using checksheets with specified specifications based on drawing product. From the results of the examination has not been evaluated by using capability process analysis so it is not known whether the production process is already capable or not. Therefore it will be analyzed using capability process, therefore the analysis of process capability on flange gives result that production process of flange in stage I is not capable with MP_p is 1,0183 and MP_{pk} is 0,5379 as well as production process of flange in stage II is not capable with MP_p is 1,0477 and MP_{pk} is 0,5071. Factors that cause the observation out of control are variable diameter extrusion and flatness caused by the inaccuracy of the officer causing errors in the measurement, changes in raw materials and machine settings changed.

Keywords : *Capability Process, Flange*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Kapabilitas Proses Produksi *Flange* di PT. IONUDA Gedangan-Sidoarjo**”. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT, selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam membimbing dan memberi arahan, saran, serta dukungan yang sangat besar bagi penulis hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, MT selaku dosen penguji dan Ibu Mike Prastuti, S.Si., M.Si selaku dosen penguji sekaligus validator yang telah memberikan motivasi dan saran untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Wahyu Wibowo, S.Si, M.Si, selaku Kepala Departemen Statistika Bisnis yang telah memberi dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Ibu Ir. Sri Pingit Wulandari, M.Si selaku Kepala Program Studi Diploma III yang telah memberi semua informasi dan memberi motivasi penulis selama menjadi mahasiswa.
5. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Departemen Statistika Bisnis ITS yang telah memberikan bekal ilmu dan memfasilitasi selama penulis menempuh masa perkuliahan, beserta seluruh karyawan Departemen Statistika Bisnis ITS yang telah membantu kelancaran dan kemudahan dalam pelaksanaan kegiatan perkuliahan.
6. Drs. H. Kamdjawi, MM selaku pembimbing lapangan di PT. IONUDA Gedangan-Sidoarjo yang selalu memberikan bimbingan dan membagi pengalaman bagi penulis selama pengambilan data untuk Tugas Akhir.

7. Ibu Asningati dan Bapak Sami'an, serta keluarga atas iringan doa, kasih sayang, teladan, kesabaran, dukungan, motivasi, semangat, rasa pantang menyerah dan segalanya yang senantiasa selalu diberikan kepada penulis hingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan mudah dan lancar.
8. Seseorang atas bantuan, dukungan dan kesetiiaannya kepada penulis hingga penulis selalu merasa bahagia dalam kehidupan sehari-hari.
9. Keluarga besar HIMADATA-ITS khususnya para fungsionaris periode 2017/2018 yang selalu memberikan toleransi dan mau mendengarkan keluh kesah penulis.
10. Keluarga HEROES ITS 2015 yang telah bekerja sama dengan baik selama penulis menempuh masa perkuliahan, serta memberikan pengalaman dan kenangan yang berharga bagi penulis.
11. Semua pihak yang telah memberikan dukungan kepada penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat dan dapat menambah wawasan keilmuan bagi semua pihak.

Surabaya, 04 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
TITTLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Peta Kendali <i>Improved Generalized Variance</i>	5
2.2 Peta Kendali T^2 Hotelling	6
2.3 Pengujian Distribusi Multivariat Normal.....	9
2.4 Uji <i>Bartlett Sphericity</i>	11
2.5 Homogenitas Matriks Varian Kovarians.....	12
2.6 <i>Multivariate Analysis of Variance</i> (MANOVA).....	13
2.7 Penetapan Indeks Kapabilitas Proses	15
2.8 Identifikasi Penyebab <i>Out of Control</i>	16
2.9 Diagram <i>Ishikawa</i>	17
2.10 <i>Flange</i>	18
2.11 Proses Produksi <i>Flange</i>	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Variabel Penelitian	23
3.2 Teknik Pengambilan Sampel	24
3.3 Langkah Analisis	25

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisis Kapabilitas Pada Tahap I	29
4.1.1	Karakteristik Kualitas <i>Flange</i>	29
4.1.2	Uji Asumsi Distribusi Multivariat Normal dan Uji <i>Bartlett Sphericity</i>	30
a.	Uji Distribusi Multivariat Normal	30
b.	Uji <i>Bartlett Sphericity</i>	30
4.1.3	Peta Kendali <i>Generalized Variance</i>	31
4.1.4	Peta Kendali <i>T²Hotelling</i>	32
4.1.5	Penetapan Indeks Kapabilitas Proses <i>Flange</i>	34
4.2	Membandingkan Proses Produksi <i>Flange</i> pada Tahap I dan Tahap II	35
a.	Uji Homogenitas	36
b.	Uji <i>Behrens-Fisher</i>	36
4.3	Analisis Kapabilitas Pada Tahap II	36
4.3.1	Karakteristik Kualitas <i>Flange</i>	37
4.3.2	Uji Asumsi Distribusi Multivariat Normal dan Uji <i>Bartlett Sphericity</i>	37
a.	Uji Distribusi Multivariat Normal	37
b.	Uji <i>Bartlett Sphericity</i>	38
4.3.3	Peta Kendali <i>Generalized Variance</i>	38
4.3.4	Peta Kendali <i>T²Hotelling</i>	39
4.3.5	Penetapan Indeks Kapabilitas Proses <i>Flange</i>	42
4.4	Diagram <i>Ishikawa</i>	43

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45

DAFTAR PUSTAKA	47
-----------------------------	----

LAMPIRAN	49
-----------------------	----

BIODATA PENULIS	67
------------------------------	----

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Organisasi Data Peta Kendali Multivariat	8
Tabel 2.2 MANOVA	13
Tabel 2.3 Distribusi <i>Wilks' Lambda</i>	14
Tabel 3.1 Struktur Data.....	25
Tabel 4.1 Statistika Deskriptif Karakteristik Kualitas <i>Flange</i> Tahap I.....	29
Tabel 4.2 Statistika Deskriptif Karakteristik Kualitas <i>Flange</i> Tahap II.....	37

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Contoh Diagram <i>Ishikawa</i> 18
Gambar 2.2	<i>Flange</i> 18
Gambar 2.3	Proses Produksi <i>Flange</i>.....20
Gambar 3.1	<i>Drawing Product Flange</i> .....24
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian .....27
Gambar 4.1	Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> Tahap I.....32
Gambar 4.2	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tahap I .....32
Gambar 4.3	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tahap I Revisi I.....34
Gambar 4.4	Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> Tahap II....39
Gambar 4.5	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tahap II .....40
Gambar 4.6	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tahap II Revisi I.....41
Gambar 4.7	Diagram <i>Ishikawa</i> .....43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Pengamatan Bulan Januari 2018.....	49
Lampiran 2. Uji Independensi Pengamatan Bulan Januari 2018	50
Lampiran 3. Uji Distribusi Multivariat Normal Pengamatan Bulan Januari 2018	51
Lampiran 4. Nilai $|s|$ dan T^2 Tahap I dan Tahap II	54
Lampiran 5. Identifikasi Penyebab Data <i>Out of Control</i>	55
Lampiran 6. Data Pengamatan Bulan Februari 2018	56
Lampiran 7. Uji Independensi Pengamatan Bulan Februari 2018.....	57
Lampiran 8. Uji Distribusi Multivariat Normal Pengamatan Bulan Februari 2018	58
Lampiran 9. Identifikasi Penyebab Data <i>Out of Control</i>	61
Lampiran 10. Uji Homogenitas	62
Lampiran 11. Uji <i>Behrens-Fisher</i>	63
Lampiran 12. Surat Keterangan Perusahaan.....	64
Lampiran 13. Surat Pernyataan Keaslian Data	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi otomotif di Indonesia pada tahun 2017 menurut data Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (GAIKINDO) semakin meningkat mencapai angka 597.522 unit dan kapasitas produksi otomotif mencapai 2,2 juta unit per tahun. Sedangkan pada tahun 2016 produksi otomotif di Indonesia hanya mencapai 200.000 unit dan kapasitas produksi otomotif mencapai 1,9 juta unit per tahun (GAIKINDO, 2017). Salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang otomotif yaitu PT. IONUDA Gedangan Sidoarjo.

PT. IONUDA Gedangan Sidoarjo adalah perusahaan yang memproduksi komponen-komponen knalpot mobil. Produk-produk komponen knalpot mobil yang diproduksi oleh PT. IONUDA Gedangan Sidoarjo adalah *flange*, *pipe*, *cover heat*, *muffler sub* dan *main resonator*. *Flange* merupakan part komponen knalpot mobil yang berhubungan langsung dengan mesin kendaraan yang berfungsi sebagai penyambung pipa knalpot dengan lubang buang asap dari mesin kendaraan, jika *flange* tidak sesuai dengan ukuran standar yang telah ditentukan maka akan terjadi kebocoran pada knalpot.

Karakteristik kualitas untuk memeriksa baik atau tidaknya *flange* adalah *diameter extrusion* dan *flatness* karena jika *diameter extrusion* dan *flatness* tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan maka akan terjadi kebocoran pada pipa knalpot. Hasil pengukuran *diameter extrusion* dan *flatness* dikumpulkan dengan menggunakan *checksheet* dengan spesifikasi yang telah ditentukan berdasarkan turunan *drawing product* yang telah ditentukan oleh pihak pemesan namun hasil pemeriksaan tersebut belum pernah dianalisis sehingga data yang sudah dikumpulkan tidak memberikan informasi yang optimal. Hasil pemeriksaan produk tersebut biasanya disimpan di bank data yang digunakan sebagai informasi dan pengambilan keputusan perusahaan.

Pengendalian kualitas yang dilakukan oleh perusahaan secara statistik masih dilakukan analisis deskriptif sederhana. Berdasarkan hal tersebut maka penerapan *Statistical Process Control* (SPC) dapat dilakukan dengan alat pengendali kualitas statistika dengan menggunakan peta kendali variabel. Sebelum melakukan analisis kapabilitas proses maka harus dilakukan pengendalian kualitas secara statistika dan hasil proses produksi harus terkendali secara statistika.

Penelitian tentang pengendalian kualitas produk knalpot pernah dilakukan oleh Singgih (2017) di PT. Sandy Globalindo Bandung diperoleh bahwa permasalahan di mesin las dan proses pengelasan yaitu masalah kondisi mesin yang mulai rusak karena tidak dilakukan perawatan mesin secara berkala dan proses pengelasan yang dilakukan kurang merata dan teliti sehingga menimbulkan terjadinya cacat keropos dan berlubang. Sedangkan pokok permasalahan di mesin perakitan yaitu kurang terampilnya melakukan proses perakitan sehingga dapat menyebabkan cacat berlubang. Penelitian yang lain dilakukan oleh Susanto (2014) tentang pengendalian kualitas statistika pada proses produksi *pipa electric resistance welded* (ERW) di PT. X diperoleh kesimpulan bahwa nilai indeks kapabilitas Cpm tahap II sebesar 2,63 lebih kecil daripada indeks kapabilitas tahap I sebesar 4,731 yang seharusnya indeks kapabilitas di tahap II harus lebih baik daripada tahap I. Penelitian-penelitian tersebut selanjutnya akan menjadi citasi dan referensi dalam penelitian tentang pengendalian kualitas *Flange* di PT. IONUDA dengan menggunakan peta kendali T^2 *Hotelling* dan peta kendali *Generalized Variance*.

1.2 Rumusan Masalah

Flange merupakan part yang berhubungan langsung dengan mesin kendaraan yang berfungsi sebagai penyambung pipa knalpot dengan lubang buang asap dari mesin kendaraan mobil. *Flatness* dan *diameter extrusion* merupakan variabel kualitas sebab jika tidak sesuai dengan batas spesifikasi yang telah ditentukan maka akan terjadi kebocoran pada pipa knalpot. Selama ini hasil pengukuran *flatness* dan *diameter extrusion* hanya disimpan di

bank data dan hanya dilakukan analisis menggunakan statistika deskriptif sehingga data yang sudah dikumpulkan tidak memberikan informasi yang optimal, oleh karena itu dilakukan penelitian dengan menggunakan analisis kapabilitas proses untuk mengetahui kemampuan proses produksi *flange* apakah sudah memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi dan mengetahui faktor penyebab hasil proses produksi *flange* keluar dari batas spesifikasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kapabilitas proses produksi *flange* di PT. IONUDA.
2. Mengetahui penyebab-penyebab terjadinya ketidaksesuaian pada proses produksi *flange*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pihak PT. IONUDA Gedangan Sidoarjo dapat meningkatkan kualitas produk *flange* yang diproduksi.
2. Perusahaan dapat melakukan perbaikan berkesinambungan berdasarkan akar penyebab terjadinya ketidaksesuaian tersebut sehingga perusahaan melakukan tindakan yang tepat untuk mengatasi penyebab terjadinya ketidaksesuaian.

1.5 Batasan Masalah

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil pada pemeriksaan produk *Flange* yang diproduksi di PT. IONUDA Gedangan Sidoarjo dari divisi *Quality Control (QC)* pada periode bulan Januari 2018 sampai dengan Februari 2018. Variabel pada *flange* terdapat 13 variabel namun variabel yang digunakan dalam penelitian ini hanya 2 variabel yaitu *diameter extrusion* dan *flatness* karena jika *diameter extrusion* dan *flatness* tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan maka akan terjadi kebocoran pada pipa knalpot.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk memenuhi spesifikasi rancangan yang telah ditetapkan. Terdapat dua pengukuran yang digunakan untuk menentukan untuk menentukan kapabilitas dari suatu proses secara kualitatif yaitu rasio kapabilitas proses (C_p) dan Indeks kapabilitas proses (C_{pk}) (Montgomery, 2013).

Sebelum melakukan kapabilitas proses terdapat syarat yang harus dipenuhi yaitu proses terkendali secara statistik. Untuk melihat apakah proses telah terkendali atau belum digunakan peta kendali. Peta kendali adalah salah satu metode statistik yang digunakan untuk mengetahui apakah telah terjadi perubahan proses produksi. Batas kendali didasarkan pada jenis karakteristik kualitas masing-masing peta kendali yang digunakan dimana terdapat batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB). Apabila karakteristik kualitas atribut maka digunakan peta kendali atribut antara lain peta p , np , c dan u , tetapi jika karakteristik kualitas variabel maka digunakan peta kendali variabel. Peta kendali variabel ada beberapa macam, jika karakteristik kualitas hanya satu maka digunakan peta kendali $\bar{x} - R$, $\bar{x} - S$ dan peta individu, tetapi jika karakteristik kualitas yang bersifat variabel lebih dari satu dan saling dependen serta berdistribusi multivariat normal maka digunakan peta kendali *Generalized Variance* dan T^2 Hotelling (Montgomery, 2013).

2.1 Peta Kendali *Improved Generalized Variance*

Peta kendali *improved generalized variance* merupakan salah satu alat untuk pengendali variabilitas proses dimana data bersifat multivariat (Montgomery, 2013). Variabilitas proses dinyatakan sebagai matriks varian kovarian berukuran $p \times p$. Diagonal utama dari matriks ini adalah variasi dari variabel proses secara individual dan data selain diagonal utama adalah kovarian. Matriks varian kovarian biasa ditaksir oleh matriks varian kovarian \mathbf{S} setiap subgrup pada Persamaan 2.10 berdasarkan analisis sampel

pendahuluan. Berikut adalah dugaan nilai ekspektasi (rata-rata) dan varians dari $|\mathbf{S}|$:

$$E(|\mathbf{S}|) = b_1 |\Sigma| \quad (2.1)$$

$$Var(|\mathbf{S}|) = b_2 |\Sigma|^2 \quad (2.2)$$

Dimana

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{j=1}^p (n-j) \quad (2.3)$$

dan

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{j=1}^p (n-j) \left[\prod_{i=1}^p (n-i+2) - \prod_{i=1}^p (n-i) \right] \quad (2.4)$$

Sehingga batas kendali peta kendali untuk $(|\mathbf{S}|)$ sebagai berikut.

$$BKA = |\Sigma| (b_1 + \sqrt{3b_2}) \quad (2.5)$$

$$\text{Garis Tengah} = GT = b_1 |\Sigma| \quad (2.6)$$

$$BKB = |\Sigma| (b_1 - \sqrt{3b_2}) \quad (2.7)$$

2.2 Peta Kendali T^2 Hotelling

Peta kendali T^2 Hotelling merupakan metode yang digunakan untuk mengendalikan rata-rata proses dengan dua atau lebih karakteristik kualitas yang diduga saling berhubungan (Montgomery, 2013). Peta kendali multivariat dengan pengamatan lebih dari satu biasa dijumpai di proses produksi dengan ukuran subgroup m , sampel pengamatan n dan jumlah variabel kualitas p .

Nilai parameter μ dan Σ tidak diketahui sehingga nilai parameter pada sampel berukuran n perlu dilakukan estimasi. Syarat untuk melakukan estimasi adalah semua proses telah terkendali. Berikut ini merupakan persamaan untuk estimasi parameter rata-rata dan varians.

$$\bar{X}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ik}, \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (2.8)$$

$$\bar{S}_k^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n S_{ik}^2, k = 1, 2, \dots, p \quad (2.9)$$

Dimana matriks varians kovarians \mathbf{S} setiap subgroup dapat dilihat pada Persamaan 2.10

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_1^2 & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1p} \\ & S_2^2 & S_{23} & \cdots & S_{2p} \\ & & S_3^2 & \cdots & S_{3p} \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & S_p^2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Setelah diketahui nilai dugaan parameter μ dan Σ maka dapat dihitung nilai T^2 Hotelling. Pada peta kendali T^2 Hotelling, matriks varians kovarian \mathbf{S} digunakan untuk mengestimasi Σ dan vektor $\bar{\bar{X}}$ digunakan sebagai nilai vektor rata-rata proses yang telah terkendali. Berikut persamaan untuk menghitung nilai statistik T^2 Hotelling yang ditampilkan pada Persamaan 2.11,

$$T_j^2 = m(\bar{X}_{jk} - \bar{\bar{X}}_k)^T \mathbf{S}^{-1} (\bar{X}_{jk} - \bar{\bar{X}}_k) \quad (2.11)$$

Batas kendali peta T^2 Hotelling fase I digunakan untuk mengetahui apakah *mean* proses pada fase I telah terkendali secara statistik atau tidak, jika telah terkendali secara statistik maka batas kendali yang digunakan pada fase II menggunakan batas kendali pada fase I yang dapat dilihat pada Persamaan 2.12,

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{\alpha, p, mn-n-p+1} \text{ dan } BKB = 0 \quad (2.12)$$

Batas kendali peta T^2 Hotelling fase II digunakan ketika *mean* proses pada fase I tidak terkendali secara statistik maka perlu dibuat batas kendali baru pada fase II untuk mengetahui apakah *mean* proses pada fase II telah terkendali secara statistik atau tidak. Batas kendali fase II dapat dilihat pada Persamaan 2.13,

$$BKA = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{\alpha, p, mn-n-p+1} \text{ dan } BKB = 0 \quad (2.13)$$

Tabel 2.1 merupakan tabel organisasi data yang sering digunakan pada pengamatan menggunakan peta kendali variabel multivariat.

Tabel 2.1 Organisasi Data Peta Kendali Multivariat

Subgrup	Sampel	Variabel					
		X_1	X_2	...	X_k	...	X_p
1	1	X_{111}	X_{112}	...	X_{11k}	...	X_{11p}
	2	X_{121}	X_{122}	...	X_{12k}	...	X_{12p}
	:	:	:	...	:	...	:
	i	X_{1i1}	X_{1i2}	...	X_{1ik}	...	X_{1ip}
	:	:	:	...	:	...	:
	n	X_{1n1}	X_{1n2}	...	X_{1nk}	...	X_{1np}
	\bar{X}	$\bar{X}_{1.1}$	$\bar{X}_{1.2}$	...	$\bar{X}_{1.k}$	...	$\bar{X}_{1.p}$
	S^2	$S_{1.1}^2$	$S_{1.2}^2$	...	$S_{1.k}^2$	...	$S_{1.p}^2$
	2	1	X_{211}	X_{212}	...	X_{21k}	...	$X_{21p}$
2		X_{221}	X_{222}	...	X_{22k}	...	X_{22p}
:		:	:	...	:	...	:
i		X_{2i1}	X_{2i2}	...	X_{2ik}	...	X_{2ip}
:		:	:	...	:	...	:
n		X_{2n1}	X_{2n2}	...	X_{2nk}	...	X_{2np}
\bar{X}		$\bar{X}_{2.1}$	$\bar{X}_{2.2}$	...	$\bar{X}_{2.k}$	...	$\bar{X}_{2.p}$
S^2		$S_{2.1}^2$	$S_{2.2}^2$	...	$S_{2.k}^2$	...	$S_{2.p}^2$
:		:	:	:	...	:	...
	1	X_{j11}	X_{j12}	...	X_{j1k}	...	X_{j1p}
	2	X_{j21}	X_{j22}	...	X_{j2k}	...	X_{j2p}
	:	:	:	...	:	...	:
	i	X_{ji1}	X_{ji2}	...	X_{jik}	...	X_{jip}
	:	:	:	...	:	...	:
	n	X_{jn1}	X_{jn2}	...	X_{jnk}	...	X_{jnp}
	\bar{X}	$\bar{X}_{j.1}$	$\bar{X}_{j.2}$	...	$\bar{X}_{j.k}$	...	$\bar{X}_{j.p}$
	S^2	$S_{j.1}^2$	$S_{j.2}^2$	...	$S_{j.k}^2$	...	$S_{j.p}^2$

Tabel 2.1 Organisasi Data Peta Kendali Multivariat Lanjutan

Subgrup	Sampe 1	Variabel					
		X_1	X_2	...	X_k	...	X_p
:	:	:	:	...	:	...	:
m	1	X_{m11}	X_{m12}	...	X_{m1k}	...	X_{m1p}
	2	X_{m21}	X_{m22}	...	X_{m2k}	...	X_{m2p}
	:	:	:	...	:	...	:
	i	X_{mi1}	X_{mi2}	...	X_{mik}	...	X_{mip}
	:	:	:	...	:	...	:
	n	X_{mn1}	X_{mn2}	...	X_{mnk}	...	X_{mnp}
	\bar{X}	$\bar{X}_{m.1}$	$\bar{X}_{m.2}$	...	$\bar{X}_{m.k}$	...	$\bar{X}_{m.p}$
	S^2	$S_{m.1}^2$	$S_{m.2}^2$	...	$S_{m.k}^2$	...	$S_{m.p}^2$
Rata-rata Keseluruhan Pengamatan	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}_{..1}$	$\bar{\bar{X}}_{..2}$	...	$\bar{\bar{X}}_{..k}$	...	$\bar{\bar{X}}_{..p}$
Varian Keseluruhan Pengamatan	\bar{S}^2	$\bar{S}_{..1}^2$	$\bar{S}_{..2}^2$	...	$\bar{S}_{..k}^2$	...	$\bar{S}_{..p}^2$

Sebelum melakukan analisis peta kendali *Generalized Variance* dan *T²Hotelling* terdapat asumsi yang harus dipenuhi yaitu data harus saling dependen serta berdistribusi multivariat normal.

2.3 Pengujian Distribusi Multivariat Normal

Pemeriksaan distribusi multivariat normal dilakukan untuk memperkuat dugaan bahwa data sudah berdistribusi multivariat normal dan sebagai asumsi dasar yang harus dipenuhi dalam analisis rata-rata antar sampel, analisis peta kendali multivariat dan analisis kemampuan proses multivariat (Johnson & Wichern, 2007). Variabel X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan berdistribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ jika mempunyai *probability density function* :

$$f(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{X}-\boldsymbol{\mu})^T \Sigma^{-1}(\mathbf{X}-\boldsymbol{\mu})} \quad (2.14)$$

Jika $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$ berdistribusi normal multivariat maka $(\mathbf{X}-\boldsymbol{\mu})^T \Sigma^{-1}(\mathbf{X}-\boldsymbol{\mu})$ berdistribusi χ_p^2 . Berdasarkan sifat ini maka pemeriksaan distribusi multinormal dapat dilakukan dengan cara membuat $q-q$ plot dengan menghitung nilai jarak kuadrat pengamatan ke- i pada Persamaan 2.15,

$$d_j^2 = (\mathbf{X}_{jk} - \bar{\mathbf{X}}_j)^T \mathbf{S}^{-1}(\mathbf{X}_{jk} - \bar{\mathbf{X}}_j) \quad (2.15)$$

dimana d_j^2 merupakan nilai jarak kuadrat pengamatan ke- j , \mathbf{X}_{jk} merupakan vektor pengamatan ke- j pada variabel ke- k , $\bar{\mathbf{X}}_j$ merupakan vektor rata-rata objek pengamatan ke- j dan \mathbf{S}^{-1} merupakan invers matrik varian kovarian yang berukuran $S_{p \times p}$.

Pada proporsi *Square Distance* menggunakan pemeriksaan data berdistribusi multivariat normal jika prosentase $d_j^2 \leq x_{(p;0,5)}^2$ mendekati 50%. Nilai $\chi_{(p;0,5)}^2$ diperoleh dari tabel χ^2 dimana $\chi_{(p;0,5)}^2$ adalah kontur *ellips* dengan probabilitas 0,5 dan p adalah jumlah variabel kualitas.

Untuk mempermudah pemeriksaan apakah suatu data mengikuti distribusi normal multivariat maka dilakukan pengujian distribusi normal multivariat dengan menggunakan uji hipotesis. Pemeriksaan asumsi distribusi normal multivariat dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : F_n(X_k) = F_0(X_k)$ (Data berdistribusi normal multivariat)

$H_1 : F_n(X_k) \neq F_0(X_k)$ (Data tidak berdistribusi normal multivariat)

Adapun prosedur untuk melakukan pengujian normal multivariat dengan membuat $q-q$ plot tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menghitung jarak euclidean d_j^2
2. Mengurutkan nilai d_j^2 dari nilai d_j^2 terkecil sampai nilai d_j^2 terbesar
3. Menentukan nilai q_j dimana $q_j = \chi^2_{(p, \frac{n-j+0,5}{n})}$ didapatkan dari tabel χ^2
4. Membuat *scatterplot* d_j^2 dengan q_j dengan titik koordinat

$$\left(d_j^2, \chi^2_{(p, \frac{n-j+0,5}{n})} \right)$$

Plot tersebut akan membentuk garis lurus jika data berdistribusi normal multivariat. H_0 ditolak atau data berdistribusi normal multivariat jika prosentase $d_j^2 \leq \chi^2_{(p, \frac{n-j+0,5}{n})}$ mendekati 50%.

2.4 Uji *Bartlett Sphericity*

Uji *Bartlett Sphericity* digunakan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antar variabel kualitas dalam kasus multivariat, dimana variabel X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan bersifat saling bebas (independen) jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas (Morrison, 1990). Pengujian kebebasan antar variabel ini dapat dilakukan dengan menggunakan hipotesis sebagai berikut.

H_0 : $\mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Variabel tidak berkorelasi)

H_1 : $\mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Variabel berkorelasi)

Statistik uji yang digunakan adalah

$$\chi^2 = - \left\{ k - 1 - \frac{2p-5}{6} \right\} \ln |\mathbf{R}| \quad (2.16)$$

Variabel dikatakan saling berkorelasi pada kasus multivariat jika nilai $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$, dimana p merupakan variabel kualitas dan

k merupakan jumlah karakteristik kualitas, sedangkan \mathbf{R} adalah matriks korelasi antar variabel.

Untuk melihat apakah ada pergeseran proses pada tahap I dan tahap II maka dilakukan pengujian MANOVA. Namun sebelum melakukan pengujian MANOVA terdapat asumsi matriks varian kovarians homogen. Jika matriks varian kovarians tidak homogeny maka dilakukan pengujian *Behren's-Fisher*.

2.5 Homogenitas Matriks Varian Kovarians

Homogenitas berarti bahwa varians dari eror bersifat konstan atau disebut juga identik. Pada uji homogenitas matriks varian kovarians digunakan untuk melihat homogenitas antar variabel. Uji homogenitas dapat menggunakan uji *Box's-M*. Pengujian menggunakan *Box's-M* merupakan pengujian homogenitas secara multivariat dengan hipotesis sebagai berikut (Johnson dan Wichern, 2007).

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_g \neq \Sigma_l, \text{ untuk } g \neq l$$

Statistik uji yang digunakan adalah

$$C = (1-u)M \quad (2.17)$$

Jika digunakan taraf signifikan sebesar α maka H_0 ditolak apabila $C > \chi^2_{p(p+1)(g-1)/2; \alpha}$.

Dimana :

$$u = \left[\frac{\sum_{l=1}^g 1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} - \frac{1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} \right] \left[\frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(g-1)} \right] \quad (2.18)$$

$$M = \left[\sum_{l=1}^g (n_l - 1) \right] \ln |S_{pooled}| - \sum_{l=1}^g \sum_{l=1}^g [(n_l - 1) \ln |S_l|] \quad (2.19)$$

$$S_{pooled} = \frac{1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} \{ (n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2 + \dots + (n_l - 1)S_l \} \quad (2.20)$$

p = banyaknya variabel

S_l = matriks varians kovarians dari kelompok ke- l

n_l = banyak pengamatan pada kelompok ke- l

2.6 Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)

Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) adalah teknik analisis yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dari dua populasi atau lebih dalam kasus multivariat random sampel yang diperoleh dari g populasi (Johnson & Wichern, 2007). Sebelum melakukan pengujian, terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi sebagai berikut.

1. $X_{\ell 1}, X_{\ell 2}, \dots, X_{\ell k}$ adalah sampel acak dengan ukuran n_l dari sebuah populasi dengan rata-rata μ_l dimana $\ell = 1, 2, \dots, g$. Sampel acak berasal dari populasi berbeda yang saling independen.
2. Mempunyai varians yang homogen
3. Setiap populasi memiliki distribusi multivariat normal.

Persamaan model MANOVA untuk vektor-vektor rata-rata g populasi ditunjukkan oleh Persamaan 2.21 sebagai berikut.

$$X_{\ell k} = \mu + \tau_l + e_{\ell k} \quad k = 1, 2, \dots, p \quad ; \quad l = 1, 2, \dots, g \quad (2.21)$$

Susunan tabel MANOVA dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 MANOVA

Sumber Variasi	Derajat Bebas	Matriks Jumlah Kuadrat
Perlakuan	$g - 1$	$\mathbf{B} = \sum_{l=1}^g n_l (\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}})(\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}})'$
Residual	$\sum_{l=1}^g n_l - g$	$\mathbf{W} = \sum_{l=1}^g \sum_{t=1}^{n_l} (\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\mathbf{x}}_l)(\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\mathbf{x}}_l)'$
Total	$\sum_{l=1}^g n_l - 1$	$\mathbf{B} + \mathbf{W} = \sum_{l=1}^g \sum_{t=1}^{n_l} (\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\mathbf{x}})(\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\mathbf{x}})'$

Dimana :

$\boldsymbol{\mu}$ = nilai matriks rata-rata

$\boldsymbol{\tau}$ = hasil dari pengaruh perlakuan dengan $\sum_{l=1}^g n_l \boldsymbol{\tau}_l = 0$

e_{ik} = variabel berdistribusi normal independen

g = perlakuan

\mathbf{W} = matrik *sum square of residual*

\mathbf{B} = matrik *sum square of treatment*

n_i = banyaknya baris pada masing-masing pengamatan

Setelah menyusun tabel MANOVA, maka selanjutnya menghitung nilai *Wilks' Lambda* dan menguji hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis :

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_l = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu pasang } \tau_l \neq 0, l = 1, 2, \dots, g$$

Statistik uji yang dapat digunakan untuk membuat keputusan adalah sebagai berikut.

$$\Lambda^* = \frac{|\mathbf{W}|}{|\mathbf{B} + \mathbf{W}|} \quad (2.22)$$

Jika sudah diperoleh nilai *wilks' Lambda* maka menghitung nilai F_{hitung} berdasarkan distribusi *wilks' Lambda* sebagai berikut.

Tabel 2.3 Distribusi *Wilks' Lambda*

Jumlah Variabel	Jumlah Grup	Distribusi Sampling untuk Data Multivariat Normal
$p = 1$	$g \geq 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - g}{g - 1} \right) \left(\frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \sim F_{g-1, \sum_{l=1}^g n_l - g}$
$p = 2$	$g \geq 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - g - 1}{g - 1} \right) \left(\frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\Lambda^*} \right) \sim F_{2(g-1), 2 \left(\sum_{l=1}^g n_l - g - 1 \right)}$
$p \geq 1$	$g = 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - p - 1}{p} \right) \left(\frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \sim F_{p, \sum_{l=1}^g n_l - p - 1}$
$p \geq 1$	$g = 3$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - p - 2}{p} \right) \left(\frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\Lambda^*} \right) \sim F_{2p, 2 \left(\sum_{l=1}^g n_l - p - 2 \right)}$

Jika menggunakan taraf signifikan sebesar α maka H_0 ditolak apabila $p\text{-value} < \alpha$ atau $F_{hitung} > F_{(\alpha; df1; df2)}$.

Asumsi homogenitas varians kovarians yang tidak terpenuhi maka analisis perbedaan *treatment* dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Behrens-Fisher* pada Persamaan 2.23 dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu pasang } \mu_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, g$$

Statistik uji yang digunakan adalah

$$T^2 = [\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2]' \left[\frac{1}{n_1} \mathbf{S}_1 + \frac{1}{n_2} \mathbf{S}_2 \right]^{-1} [\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2] \quad (2.23)$$

Dimana :

$\bar{\mathbf{x}}_1$ = matriks rata-rata pada *treatment* ke-1

$\bar{\mathbf{x}}_2$ = matriks rata-rata pada *treatment* ke-2

\mathbf{S}_1 = matriks varians kovarians *treatment* ke-1

\mathbf{S}_2 = matriks varians kovarians *treatment* ke-2

Jika digunakan taraf signifikan sebesar α maka H_0 ditolak apabila

$$T^2 > \chi^2_{(\alpha, p)} .$$

2.7 Indeks Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses adalah suatu teknik statistika yang tujuannya untuk menganalisis variabel yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengurangi variabilitas. Suatu proses dikatakan bekerja dalam kondisi kapabel apabila proses produksi dalam keadaan terkendali, memenuhi batas spesifikasi dan mempunyai akurasi dan presisi yang tinggi (Montgomery, 2013). Perhitungan indeks P_p (presisi) dan P_{pk} (akurasi) untuk data multivariat adalah sebagai berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} \quad (2.24)$$

$$P_{pk} = \min \left(\frac{BSA - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - BSB}{3\sigma} \right) \quad (2.25)$$

Sehubungan dengan digunakannya dua karakteristik kualitas pada penelitian ini, maka indeks *performance process* secara multivariat cocok digunakan terutama dengan mempertimbangkan tidak diketahuinya nilai pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.26 dan 2.27.

$$MP_p = \left(\prod_{k=1}^p P_{p(k)} \right)^{1/p} \quad (2.26)$$

$$MP_{pk} = \left(\prod_{k=1}^p P_{pk(k)} \right)^{1/p} \quad (2.27)$$

Dimana

$k = 1, 2, \dots, p$

p = banyaknya variabel

Kriteria penilaian MP_p yaitu apabila nilai MP_{pk} yang didapatkan kurang dari 1 maka kinerja proses tidak bagus atau tidak kapabel secara multivariat, jika lebih dari 1 maka proses tersebut mutlak bagus atau kapabel. Apabila nilai MP_{pk} lebih kecil daripada nilai MP_p menunjukkan bahwa proses pada variabel tersebut tidak terpusat dan tidak mencapai kapabilitas potensial.

2.8 Identifikasi Penyebab *Out of Control*

Pada saat pengontrolan proses jika terjadi sinyal tidak terkendali maka perlu dilakukan identifikasi variabel penyebab terjadinya sinyal tidak terkendali tersebut (Montgomery, 2013). Salah satu cara yang digunakan yaitu menguraikan statistik T_j^2 ke dalam komponen-komponen yang menunjukkan kontribusi dari masing-masing variabel individu, $T_{(k)}^2$ merupakan nilai statistik untuk semua variabel proses tanpa variabel ke- k sehingga dijelaskan pada Persamaan 2.28,

$$h_k = T_j^2 - T_{(k)}^2; k = 1, 2, \dots, p \quad (2.28)$$

h_k adalah sebuah indikator dari kontribusi variabel ke- k untuk keseluruhan statistik. Jika nilai $h_k > X_{(\alpha, n)}^2$, maka variabel ke- k tersebut adalah penyebab pengamatan yang *out of control*.

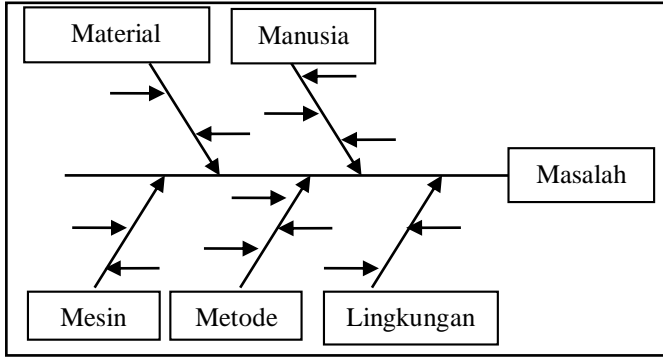
2.9 Diagram *Ishikawa*

Diagram *ishikawa* disebut juga dengan diagram tulang ikan atau diagram sebab akibat. Diagram *ishikawa* merupakan suatu grafik yang menggambarkan hubungan antara akibat dengan faktor-faktor yang menjadi penyebabnya. Diagram ini digunakan untuk memperlihatkan faktor-faktor utama yang dapat mempengaruhi kualitas suatu produk. Selain itu, diagram ini juga digunakan untuk memperlihatkan faktor-faktor terperinci yang berpengaruh dan mempunyai akibat pada faktor utama yang dapat mempengaruhi kualitas suatu produk. Pada umumnya di dalam proses produksi terdapat lima hal penyebab terjadinya masalah yaitu manusia, material, metode, mesin, dan lingkungan. Manfaat dari diagram *ishikawa* adalah dapat mengidentifikasi sebab terjadinya masalah dan membantu mengantisipasi timbulnya suatu masalah (Montgomery, 2013).

Langkah-langkah dalam membuat diagram *ishikawa* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan masalah yang dianggap kritis dan penting kemudian meletakkan pada bagian kepala ikan.
2. Menentukan faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya masalah atau akibat kritis tersebut.
3. Menuliskan faktor-faktor penyebab utama yang mempengaruhi masalah kualitas sebagai tulang besar. Kategori-kategori penyebab utama dapat dikembangkan ke dalam pengelompokan dari faktor-faktor yaitu manusia, material, metode, mesin, dan lingkungan.
4. Menuliskan penyebab-penyebab sekunder yang mempengaruhi penyebab utama yang dinyatakan sebagai tulang sedang.

Contoh diagram *ishikawa* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh Diagram *Ishikawa*

2.10 *Flange*

Flange adalah *part* yang berhubungan langsung dengan mesin kendaraan yang berfungsi sebagai penyambung pipa knalpot dengan lubang buang asap dari mesin kendaraan. *Flange* buatan PT. IONUDA umumnya digunakan di industri otomotif. *Flange* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Flange*

Proses produksi knalpot terdiri dari 3 bagian yaitu *muffler assy front*, *muffler assy centre* dan *muffler assy tail*. Pada bagian *muffler assy front* komponen yang dibutuhkan adalah *flange*, *pipe*,

cover heat dan *muffler sub*. Pada bagian *muffler assy centre* komponen yang dibutuhkan adalah *flange*, *pipe*, *muffler sub* dan *main resonator assy*. Pada bagian *muffler assy tail* komponen yang dibutuhkan adalah *flange* dan *pipe* (Utomo dkk, 2001).

2.11 Proses Produksi *Flange*

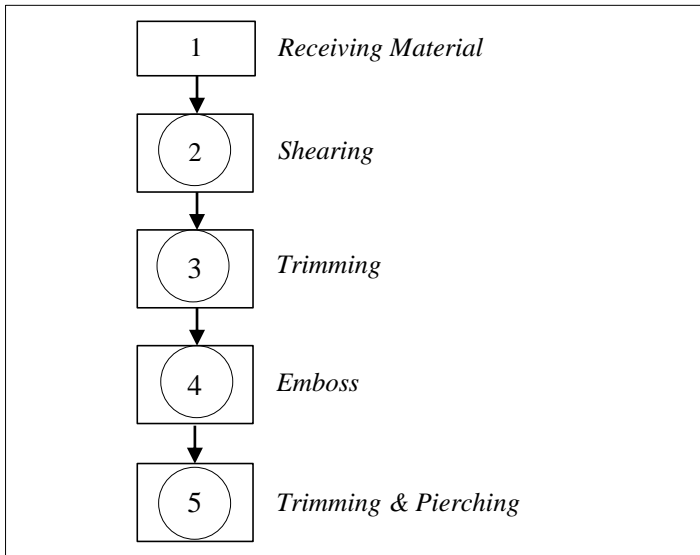
Berikut ini secara umum langkah-langkah produksi *flange*.

1. Penerimaan bahan baku yaitu lembaran baja SUS 304 dengan ukuran yang disesuaikan dan siap di proses. Pada penerimaan bahan baku sebelum diproses diambil sampel untuk dilakukan pemeriksaan apakah sudah sesuai dengan standar yang ditentukan atau tidak.
2. Setelah penerimaan bahan baku maka dilakukan proses *shearing* dimana lembaran baja akan dipotong menjadi lembaran yang lebih kecil sesuai ukuran yangtelah ditentukan. Pada proses *shearing* juga dilakukan inspeksi dengan mengambil sampel secara random.
3. Proses selanjutnya adalah proses *trimming*. Pada proses *trimming* lembaran baja dari proses *shearing* akan dilakukan *blanking* dan dipotong sesuai ukuran *flange* yang akan dibuat. Pada proses *trimming* dilakukan pemeriksaan dengan mengambil sampel pada awal proses.
4. Selanjutnya adalah proses *emboss* dimana proses *emboss* dilakukan dengan membuat cekungan pada lembaran baja yang telah dipotong sesuai dengan ukuran *flange*. Pada proses *emboss* dilakukan pemeriksaan secara visual.
5. Setelah itu proses *trimming* dan *pierching* dimana setelah di*emboss* lembaran baja dipotong sesuai dengan bentuk *flange* yaitu belah ketupat dan dihaluskan agar tidak ada *burry*. Pada proses *trimming* dan *pierching* dilakukan inspeksi secara visual.
6. Proses selanjutnya adalah proses *forming* dan *extrusion*. Pada proses *extrusion* bagian atas *flange* diangkat keatas sehingga membentuk lubang *extrusion* untuk tempat masuknya pipa. Pada proses *forming* bagian dasar *flange* dilipat ke atas sesuai dengan *setting* yang telah ditentukan. Proses inspeksi secara

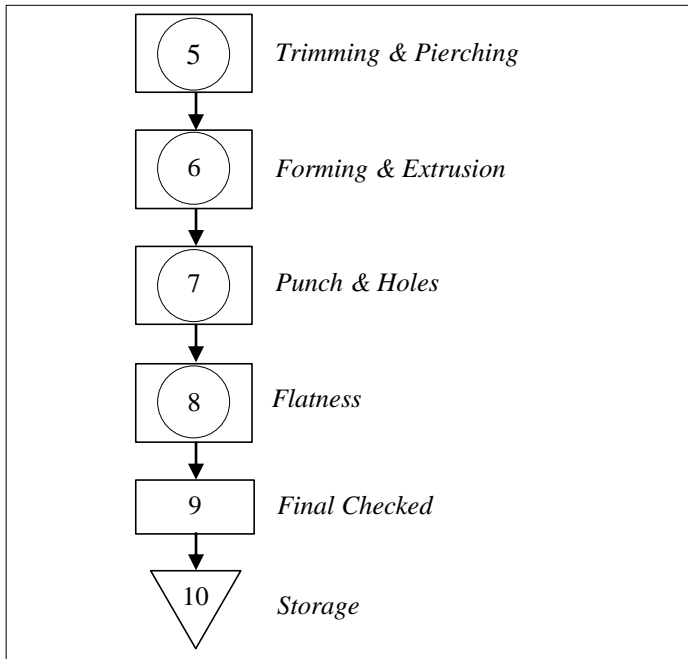
visual juga dilakukan pada tahap ini untuk menghindari adanya *crack* dan *burry*.

7. Proses selanjutnya adalah proses *punch* dan *holes* dimana melubangi *flange* untuk tempat baut yang ada disebelah kiri dan kanan lubang *extrusion*. Proses inspeksi pada tahap ini dilakukan secara visual dan dilakukan pengukuran.
8. Selanjutnya adalah proses *flatness*. Proses *flatness* merupakan proses yang berfungsi untuk meratakan bagian dasar *flange* dan untuk melebarkan lubang *extrusion*. Proses inspeksi pada tahap ini dilakukan secara visual dan dilakukan pengukuran.
9. Proses selanjutnya yaitu melakukan *final checked* hasil akhir secara visual dan melalui pengukuran sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
10. Terakhir yaitu menyimpan hasil produksi di gudang yang kemudian melakukan pengiriman kepada dipihak pemesan.

Proses produksi pada produk *flange* dapat digambarkan secara keseluruhan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Produksi *Flange*



Gambar 2.3 Proses Produksi *Flange* Lanjutan

Halaman ini sengaja dikosongkan

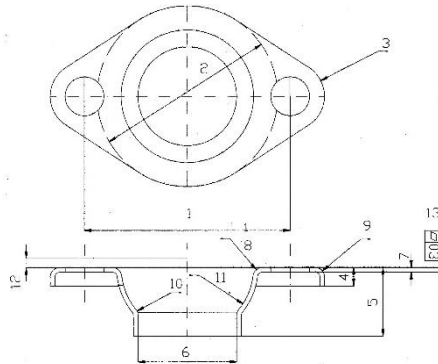
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. *Flatness* (X_1) merupakan suatu parameter untuk mengukur rata tidaknya bagian dasar *flange*, jika ukuran *flatness* tidak sesuai dengan batas spesifikasi yang diberikan maka *flatness* akan melengkung dan terjadi kebocoran. *Flatness* diukur dengan menggunakan *fuller* pada bagian dasar *flange* yang menghubungkan dengan mesin kendaraan. Batas spesifikasi variabel *flatness* yaitu 0 – 0,3 mm.
2. *Diameter Extrusion* (X_2) merupakan suatu parameter untuk mengukur sesuai tidaknya lubang masuk pipa, jika kurang dari batas spesifikasi maka pipa tidak akan bisa masuk ke lubang *extrusion* pada *flange* dan jika melebihi dari batas spesifikasi maka pipa akan longgar dan terjadi kebocoran. *Diameter extrusion* diukur dengan menggunakan *caliper* pada lubang atas yang menghubungkan dengan pipa kenalpot. Batas spesifikasi variabel *diameter extrusion* yaitu 43,2 – 43,5 mm.

Kedua karakteristik kualitas tersebut adalah variabel yang saling berhubungan karena jika ukuran *flatness* berubah maka akan mempengaruhi *diameter extrusion* dan merupakan variabel yang penting untuk menentukan baik buruknya suatu produk. Variabel *flatness* dan *diameter extrusion* dilakukan pengukuran pada tahap *flatness*. Berikut merupakan *drawing product* dari produk *flange* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dimana angka 13 menunjukkan karakteristik kualitas *flatness* dan angka 6 menunjukkan karakteristik kualitas *diameter extrusion*.



Gambar 3.1 Drawing Product Flange

3.2 Teknik Pengambilan Sampel

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari pemeriksaan produk *flange* dari divisi *Quality Control (QC)*. Teknik pengambilan sampel pada pemeriksaan produk *flange* adalah sebagai berikut.

1. Pengambilan sampel terbagi dalam 2 tahap, tahap pertama diambil pada periode bulan Januari 2018 dan tahap kedua diambil pada periode bulan Februari 2018. Penelitian fase I dilakukan pada periode bulan Januari 2018 dan fase II dilakukan pada periode bulan Februari 2018 karena untuk acuan kualitas produk *flange* pada tahun-tahun berikutnya apakah mengalami perbaikan proses produksi atau tidak.
2. Hari kerja di PT. IONUDA Gedangan Sidoarjo mulai dari hari Senin hingga Jumat dimana produk *flange* hanya diproduksi pada *shift* 1 pukul 07.00 – 16.00 WIB.
3. Subgrup yang digunakan yaitu *shift* dikarenakan terdapat produksi didalam *shift* 1. Struktur data yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pada Tabel 3.1 dengan variabel penelitian $p=2$ yaitu *flatness* sebagai X_1 dan *diameter extrusion* sebagai X_2 . Ukuran subgrup yang digunakan sebanyak 21 *shift* pada pengamatan fase pertama periode bulan Januari 2018 dan 19 *shift* pada pengamatan fase kedua periode bulan Februari

2018. Banyak sampel pada setiap grup sebanyak 5 sampel ($n=5$). Hari kerja sebanyak 21 hari pada bulan Januari dan 19 hari pada bulan Februari. Banyaknya sampel yang diambil setiap *shift* sebanyak 5 sampel.

Tabel 3.1 Struktur Data

<i>Shift</i>	Sampel	Variabel	
		X_1	X_2
1	1	X_{111}	X_{112}
	2	X_{121}	X_{122}
	:	:	:
	5	X_{151}	X_{152}
	\bar{X}	$\bar{X}_{1..1}$	$\bar{X}_{1..2}$
	S^2	$S^2_{1..1}$	$S^2_{1..2}$
:	:	:	:
20	1	X_{2011}	X_{2012}
	2	X_{2021}	X_{2022}
	:	:	:
	5	X_{2051}	X_{2052}
	\bar{X}	$\bar{X}_{20..1}$	$\bar{X}_{20..2}$
	S^2	$S^2_{20..1}$	$S^2_{20..2}$
Rata-rata Keseluruhan Pengamatan	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}_{..1}$	$\bar{\bar{X}}_{..2}$
Varian Keseluruhan Pengamatan	\bar{S}^2	$\bar{S}^2_{..1}$	$\bar{S}^2_{..2}$

3.3 Langkah Analisis

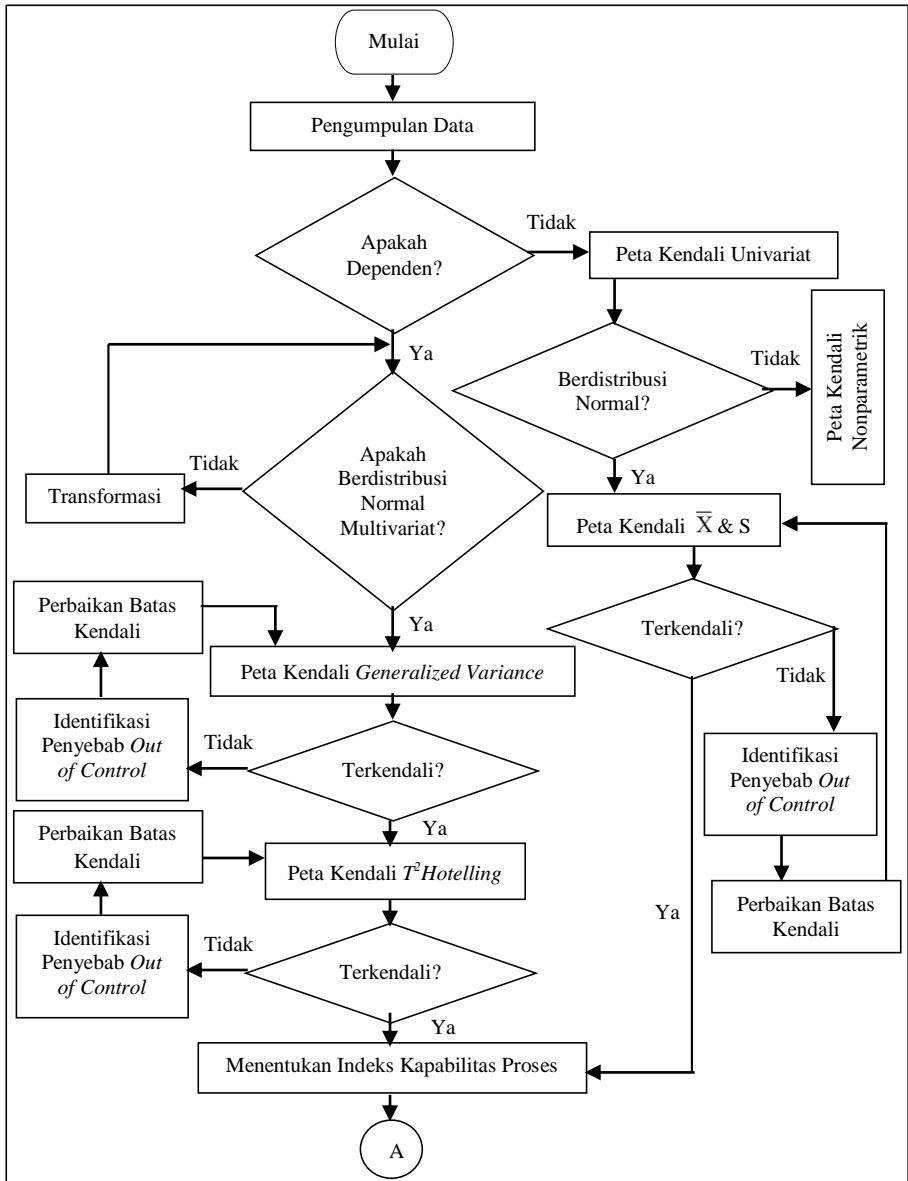
Langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Melakukan analisis secara deskriptif untuk mengetahui karakteristik variabel.
- Melakukan analisis pengendalian kualitas dengan melakukan pengujian asumsi multivariat yaitu dengan pengujian asumsi

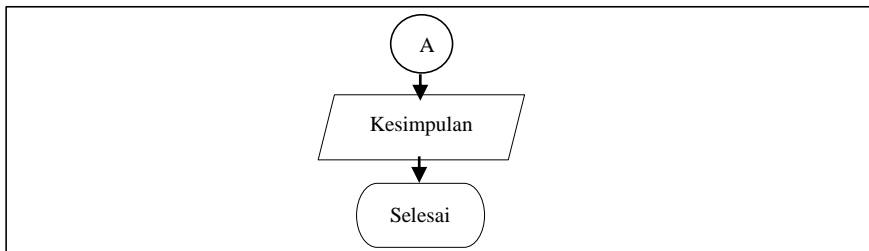
normal multivariat dan pengujian korelasi antar variabel. Dari pengujian asumsi tersebut dapat diketahui apakah menggunakan analisis peta kendali univariat atau menggunakan peta kendali multivariat.

- c. Melakukan analisis data dengan menggunakan peta kendali *Generalized Variance* untuk melihat dan mengontrol variabilitas proses peta kendali T^2 Hotelling untuk melihat vektor rata-rata dari proses dari keseluruhan karakteristik kualitas. Jika proses sudah terkendali secara statistik maka dapat dilanjutkan analisis selanjutnya, namun apabila proses tidak terkendali secara statistik maka variabel diidentifikasi penyebabnya kemudian menghilangkan data yang tidak terkendali kemudian mengulangi hingga proses terkendali.
- d. Melakukan perhitungan dan analisis dari indeks kapabilitas proses.
- e. Melakukan analisis dengan pengujian asumsi homogenitas yang kemudian dilanjutkan dengan pengujian MANOVA.
- f. Melakukan analisis data kedua dengan menggunakan hasil estimasi pada tahap sebelumnya.
- g. Melakukan analisis penyebab-penyebab terjadinya ketidaksesuaian pada proses produksi *flange* dengan menggunakan diagram *ishikawa*.
- h. Menarik kesimpulan dan memberikan rekomendasi dari hasil penelitian tersebut mulai analisis tahap pertama, kapabilitas proses tahap pertama, analisis tahap kedua, kapabilitas proses tahap kedua serta penyebab proses tidak terkendali bila ada proses yang tidak terkendali.

Diagram alir penelitian berdasarkan karakteristik kualitas variabel ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Lanjutan

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab IV akan membahas analisis terhadap karakteristik kualitas pada *flange* yaitu *diameter extrusion* dan *flatness* dengan mendeskripsikan variabel terlebih dahulu. Kemudian melakukan uji asumsi distribusi normal multivariat dan uji *Bartlett sphericity*. Setelah uji asumsi terpenuhi, maka dilanjutkan dengan analisis menggunakan peta kendali *Generalized Varians* dan T^2 Hotelling. Peta kendali *Generalized Variance* digunakan untuk mengendalikan varians, sedangkan peta kendali T^2 Hotelling digunakan untuk mengendalikan proses rata-rata.

4.1 Analisis Kapabilitas Pada Tahap I

Analisis statistika pada tahap I adalah analisis hasil proses produksi yang dilakukan pada bulan Januari 2018, dimana variabel yang dianalisis adalah *diameter extrusion* dan *flatness*.

4.1.1 Karakteristik Kualitas *Flange*

Analisis karakteristik secara umum dapat dilakukan dengan ringkasan statistika deskriptif untuk mencari rata-rata, varians, nilai minimum dan nilai maksimum dari data proses produksi *flange* pada tahap I seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Statistika Deskriptif Karakteristik Kualitas *Flange* Tahap I

Variabel	Mean	Varians	Nilai Min	Nilai Max	Batas Spesifikasi
<i>Diameter Extrusion</i> (mm)	43,24	0,0009	43,19	43,30	43,20 – 43,50
<i>Flatness</i> (mm)	0,14	0,0073	0,00	0,35	0 – 0,30

Tabel 4.1 menjelaskan tentang deskripsi karakteristik kualitas *Flange* tahap I. Rata-rata *diameter extrusion* sebesar 43,24 mm terletak diantara batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan, nilai varians sebesar 0,0009 dengan nilai minimum sebesar 43,19 mm dan nilai maksimum sebesar 43,30 mm. Rata-rata *flatness* sebesar 0,14 mm terletak diantara batas spesifikasi

yang telah ditentukan perusahaan, nilai varians sebesar 0,0073 dengan nilai minimum sebesar 0 mm dan nilai maksimum sebesar 0,35 mm.

4.1.2 Uji Asumsi Distribusi Multivariat Normal dan Uji *Bartlett Sphericity*

Asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan pengendalian kualitas menggunakan peta kendali multivariat adalah asumsi data berdistribusi normal multivariat dan asumsi antar variabel dependen.

a. Uji Distribusi Multivariat Normal

Untuk mengetahui data berdistribusi normal multivariat maka digunakan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : F_n(X_k) = F_0(X_k)$ (Data proses produksi *flange* tahap I berdistribusi normal multivariat).

$H_1 : F_n(X_k) \neq F_0(X_k)$ (Data proses produksi *flange* tahap I tidak berdistribusi normal multivariat).

Untuk mencari statistik uji digunakan Persamaan 2.15 dan hasilnya dapat dilihat pada Lampiran 3. Berdasarkan perhitungan jarak kuadrat (d_j^2) diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa nilai proporsi sebesar 0,4667 dengan nilai $\chi_{(0,0027,2)}^2$ sebesar 11,829 diperoleh nilai proporsi sebesar 46,67% untuk data yang lebih besar dari $\chi_{(0,0027,2)}^2$ artinya dari 105 titik pengamatan terdapat 48 titik di dalam *ellips* dan 57 titik berada diluar *ellips*. Berdasarkan perhitungan maka dapat diputuskan H_0 gagal ditolak sehingga disimpulkan bahwa data pengukuran karakteristik kualitas produksi *flange* bulan Januari 2018 memenuhi asumsi distribusi multivariat normal.

b. Uji *Bartlett Sphericity*

Untuk mengetahui antar variabel dependen maka digunakan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : R = I$ (antar variabel tidak berkorelasi)

$H_1 : R \neq I$ (antar variabel berkorelasi)

Untuk mencari statistik uji digunakan Persamaan 2.16. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan nilai χ^2 berdasarkan Lampiran 2 sebesar 90,418 lebih besar daripada nilai $\chi^2_{(0,0027,1)}$ sebesar 8,999 sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak artinya antar karakteristik kualitas *flange* tahap I dependen sehingga memenuhi asumsi untuk melakukan pengendalian kualitas menggunakan peta kendali multivariat.

Dikarenakan data proses produksi *flange* dengan dua karakteristik kualitas variabel yaitu *diameter extrusion* dan *flatness* telah memenuhi asumsi berdistribusi normal multivariat dan dependen maka dilanjutkan analisis peta kendali *Generalized Variance* dan *T²Hotelling*.

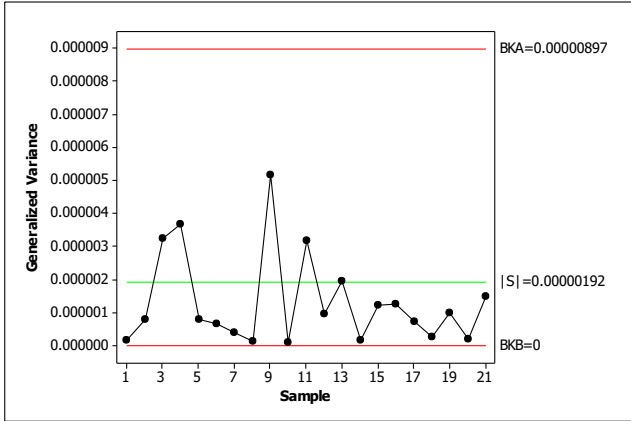
4.1.3 Peta Kendali *Generalized Variance*

Pengendalian variabilitas proses produksi *flange* menggunakan peta kendali *Generalized Variance*. Berdasarkan data pada Lampiran 1 diperoleh batas kendali peta kendali *Generalized Variance* tahap I dimana digunakan perhitungan sesuai Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 dimana nilai $|\mathbf{S}|$ dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut merupakan analisis pengendalian variabilitas proses produksi karakteristik kualitas *flange* tahap I.

Gambar 4.1 merupakan peta kendali *Generalized Variance* yang digunakan untuk memonitoring terhadap variabilitas proses produksi pada *flange*. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh batas kendali atas (*BKA*) sebesar 0,00000897 dan garis tengahnya nilai determinan matriks varians kovarians $|\mathbf{S}|$ yaitu 0,00000192.

Secara visual semua data berada dalam batas kendali batas kendali dan tidak terdapat data yang *out of control* sehingga peta kendali *Generalized Variance* telah terkendali secara statistika.

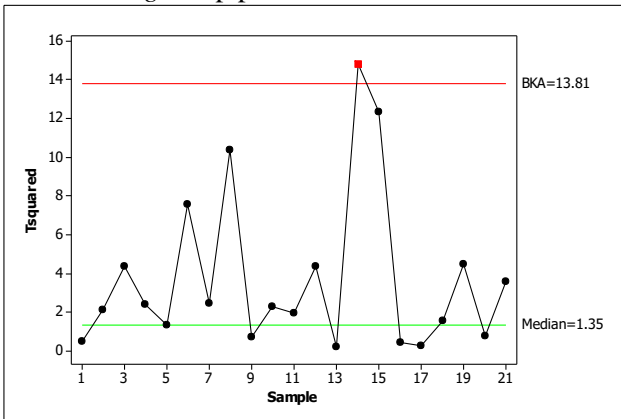
Untuk memastikan apakah proses sudah terkendali secara variabilitas proses atau belum maka dapat dilanjutkan dengan memonitoring rata-rata proses dengan peta kendali *T²Hotelling*.



Gambar 4.1. Peta Kendali *Generalized Variance* Tahap I

4.1.4 Peta Kendali T^2 Hotelling

Pengendalian rata-rata proses produksi *flange* dengan menggunakan peta kendali T^2 Hotelling. Berdasarkan data pada Lampiran 1 diperoleh batas kendali peta kendali T^2 Hotelling tahap I dimana digunakan perhitungan sesuai Persamaan 2.12 dimana nilai T^2 dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut ini merupakan peta kendali T^2 Hotelling tahap pertama.



Gambar 4.2 Peta Kendali T^2 Hotelling Tahap I

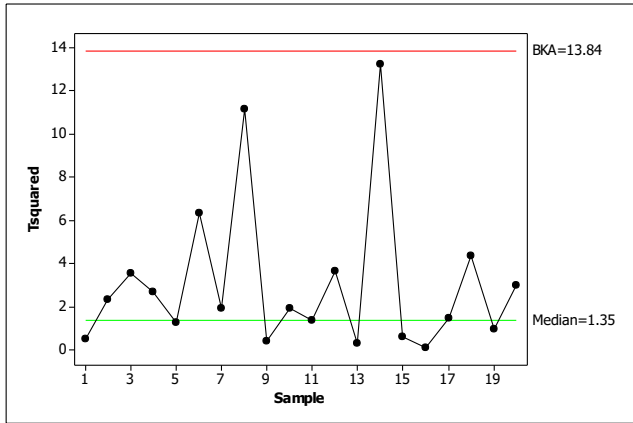
Gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai batas kendali atas (*BKA*) dari peta kendali $T^2_{Hotelling}$ sebesar 13,81 sehingga terdapat 1 pengamatan yang berada diluar batas kendali atas karena nilai T^2 lebih besar daripada nilai batas kendali atas, pengamatan yang *out of control* yaitu pada pengamatan ke-14 sehingga perlu diidentifikasi variabel yang menyebabkan pengamatan *out of control* dan mengidentifikasi faktor penyebab proses tidak terkendali.

Apabila dalam pengendalian proses rata-rata dengan peta kendali multivariat $T^2_{Hotelling}$ terdapat pengamatan yang *out of control* dapat diidentifikasi variabel penyebab. Terdapat 1 pengamatan yang *out of control* sehingga perlu diidentifikasi variabel penyebabnya. Berdasarkan hasil tersebut variabel *diameter extrusion* dan *flatness* merupakan variabel yang membuat pengamatan *out of control*.

Variabel *diameter extrusion* dan *flatness* menjadi penyebab utama pengamatan *out of control* karena menjadi penyebab semua pengamatan *out of control* hal ini dapat dilihat dari nilai h_k pada Lampiran 5 yaitu pada variabel *diameter extrusion* dan *flatness* mempunyai nilai yang cukup besar. Berdasarkan hasil tersebut maka perlu di evaluasi penyebab pengamatan *out of control*. Setelah diidentifikasi penyebab *out of control* maka perlu direvisi ulang dengan cara menghilangkan pengamatan yang *out of control*.

Berdasarkan data pada Lampiran 1 diperoleh batas kendali peta kendali $T^2_{Hotelling}$ tahap I revisi 1 dimana digunakan perhitungan sesuai Persamaan 2.13 dimana nilai T^2 dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut merupakan peta kendali yang direvisi.

Gambar 4.3 merupakan peta kendali $T^2_{Hotelling}$ yang digunakan untuk memonitoring terhadap rata-rata proses produksi pada *flange*. Peta kendali menunjukkan bahwa batas atas (*BKA*) sama dengan 13,84 dan garis tengahnya nilai median yaitu 1,35.



Gambar 4.3 Peta Kendali T^2 Hotelling Tahap I Revisi 1

Secara visual semua data berada dalam batas kendali batas kendali dan tidak terdapat data yang *out of control* sehingga peta kendali T^2 Hotelling telah terkendali secara statistika. Jika peta kendali T^2 Hotelling telah terkendali maka bisa dilanjutkan menghitung kapabilitas proses.

4.1.5 Indeks Kapabilitas Proses *Flange*

Indeks kapabilitas proses digunakan untuk mengukur kemampuan proses. Kapabilitas proses dilakukan apabila semua kondisi sudah terkendali baik dari variabilitasnya maupun rata-ratanya. Untuk melihat kapabilitas proses maka dihitung indeks kapabilitas. Berikut merupakan indeks kapabilitas proses secara multivariat *flange*.

Indeks P_p (presisi) dan P_{pk} (akurasi) dengan variabel *diameter extrusion* diperoleh sebagai berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} = \frac{43,5 - 43,2}{6(0,0239)} = 1,7605$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{BSA - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - BSB}{3\sigma}\right)$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{43,5 - 43,243}{3(0,0284)}; \frac{43,243 - 43,2}{3(0,0284)}\right)$$

$$P_{pk} = \min(3,0164; 0,5046) = 0,5046$$

Indeks P_p (presisi) dan P_{pk} (akurasi) dengan variabel *flatness* diperoleh sebagai berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} = \frac{0,3 - 0}{6(0,08489)} = 0,5889$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{BSA - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - BSB}{3\sigma}\right)$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{0,3 - 0,146}{3(0,08489)}; \frac{0,146 - 0,3}{3(0,08489)}\right)$$

$$P_{pk} = \min(0,6047; 0,5732) = 0,5732$$

Berdasarkan indeks P_p (presisi) dan P_{pk} (akurasi) dapat diperoleh indeks kapabilitas proses sebagai berikut.

$$MP_p = \left(\prod_{k=1}^p P_{p(k)}\right)^{1/p} = (1,7650 \times 0,5889)^{1/2} = 1,0183$$

$$MP_{pk} = \left(\prod_{k=1}^p P_{pk(k)}\right)^{1/p} = (0,5046 \times 0,5732)^{1/2} = 0,5379$$

Diperoleh nilai MP_p dan MP_{pk} sebesar 1,0183 dan 0,5379 artinya kinerja proses produksi *flange* pada tahap I tidak bagus atau tidak kapabel secara multivariat serta proses pada variabel *diameter extrusion* dan *flatness* tidak terpusat dan tidak mencapai kapabilitas potensial.

4.2 Membandingkan Proses Produksi *Flange* pada Tahap I dan Tahap II

Uji MANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata dari dua populasi atau lebih dalam kasus multivariat random sampel yang diperoleh dari 2 populasi.

a. Uji Homogenitas

Untuk melihat homogenitas antar variabel maka digunakan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2$ (matriks varians kovarians antar variabel homogen)

$H_1 : \Sigma_1 \neq \Sigma_2$ (matriks varians kovarians antar variabel tidak homogen)

Untuk mencari statistik uji digunakan Persamaan 2.17. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan nilai C pada Lampiran 10 sebesar 11,844 lebih besar daripada nilai $\chi^2_{(0,05;3)}$ sebesar 7,815 sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak artinya matriks varians kovarians antar variabel *flange* tidak homogen.

b. Uji Behrens-Fisher

Asumsi homogenitas varians kovarians yang tidak terpenuhi maka analisis perbedaan *treatment* dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Behrens-Fisher* pada Persamaan 2.23 dengan hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis :

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

H_0 ditolak jika $T^2 > \chi^2_{(0,05;2)}$ sebesar 5,991. Diperoleh statistik uji T^2 pada Lampiran 11 sebesar 3,0188 sehingga diperoleh keputusan H_0 gagal ditolak. Dapat disimpulkan bahwa rata-rata tahap I dan tahap II tidak berbeda yang artinya tidak terjadi pergeseran proses dari tahap I ke tahap II. Karena hasil proses produksi tahap I dan tahap II tidak berbeda sehingga pada tahap II menggunakan batas kendali tahap I.

4.3 Analisis Kapabilitas Pada Tahap II

Analisis statistika pada tahap II adalah analisis hasil proses produksi yang dilakukan pada bulan Februari 2018, dimana variabel yang dianalisis adalah *diameter extrusion* dan *flatness*.

4.3.1 Karakteristik Kualitas *Flange*

Analisis karakteristik secara umum dapat dilakukan dengan ringkasan statistika deskriptif untuk mencari rata-rata, varians, nilai minimum dan nilai maksimum dari data proses produksi *flange* pada tahap II seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Statistika Deskriptif Karakteristik Kualitas *Flange* Tahap II

Variabel	Mean	Varians	Nilai Min	Nilai Max	Batas Spesifikasi
<i>Diameter Extrusion</i> (mm)	43,24	0,00063	43,18	43,30	43,20 – 43,50
<i>Flatness</i> (mm)	0,15	0,0100	0	0,35	0 – 0,30

Tabel 4.2 menjelaskan tentang deskripsi karakteristik kualitas *Flange* tahap II. Rata-rata *diameter extrusion* sebesar 43,24 mm terletak diantara batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan, nilai varians sebesar 0,00063 dengan nilai minimum sebesar 43,18 mm dan nilai maksimum sebesar 43,30 mm. Rata-rata *flatness* sebesar 0,15 mm terletak diantara batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan, nilai varians sebesar 0,0100 dengan nilai minimum sebesar 0 mm dan nilai maksimum sebesar 0,35 mm.

4.3.2 Uji Asumsi Distribusi Normal Multivariat dan Uji *Bartlett Sphericity*

Asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan pengendalian kualitas menggunakan peta kendali multivariat adalah asumsi data berdistribusi normal multivariat dan asumsi data dependen.

a. Uji Distribusi Multivariat Normal

Untuk mengetahui data berdistribusi normal multivariat maka digunakan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : F_n(X_k) = F_0(X_k)$ (Data proses produksi *flange* tahap II berdistribusi normal multivariat).

$H_1 : F_n(X_k) \neq F_0(X_k)$ (Data proses produksi *flange* tahap II tidak berdistribusi normal multivariat).

Untuk mencari statistik uji digunakan Persamaan 2.15 dan hasilnya dapat dilihat pada Lampiran 8. Berdasarkan perhitungan jarak kuadrat (d_j^2) diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa nilai proporsi sebesar 0,4631 dengan nilai $\chi^2_{(0,0027,2)}$ sebesar 11,829 diperoleh nilai proporsi sebesar 46,31% untuk data yang lebih besar dari $\chi^2_{(0,5,2)}$ artinya dari 95 titik pengamatan terdapat 44 titik di dalam *ellips* dan 51 titik berada diluar *ellips*. Berdasarkan perhitungan maka dapat diputuskan H_0 gagal ditolak sehingga disimpulkan bahwa data pengukuran karakteristik kualitas produksi *flange* bulan Februari 2018 memenuhi asumsi distribusi multivariat normal.

b. Uji Bartlett Sphericity

Untuk mengetahui antar variabel dependen maka digunakan pengujian hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : R = I$ (antar variabel tidak berkorelasi)

$H_1 : R \neq I$ (antar variabel berkorelasi)

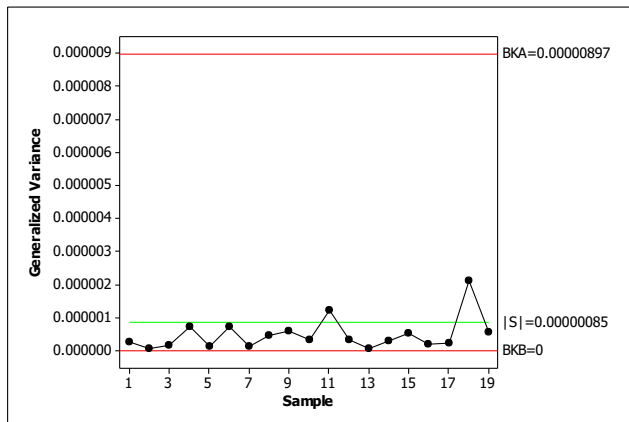
Berdasarkan hasil pengujian menggunakan Persamaan 2.16 menunjukkan nilai χ^2 pada Lampiran 7 sebesar 99,962 lebih besar daripada nilai $\chi^2_{(0,0027,1)}$ sebesar 8,999 sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak artinya antar karakteristik kualitas *flange* tahap II dependen sehingga memenuhi asumsi untuk melakukan pengendalian kualitas menggunakan peta kendali multivariat.

Dikarenakan data proses produksi *flange* dengan dua karakteristik kualitas variabel yaitu *diameter extrusion* dan *flatness* telah memenuhi asumsi berdistribusi normal multivariat dan dependen maka dilanjutkan analisis peta kendali *Generalized Variance* dan *T²Hotelling*.

4.3.3 Peta Kendali Generalized Variance

Pengendalian variabilitas proses produksi *flange* menggunakan peta kendali *Generalized Variance*. Berdasarkan data pada Lampiran 6 diperoleh batas kendali peta kendali *Generalized Variance* tahap II menggunakan batas kendali peta

kendali *Generalized Variance* tahap I yang telah terkendali secara statistika dimana nilai $|S|$ dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut merupakan analisis pengendalian variabilitas proses produksi karakteristik kualitas *flange* tahap II dengan menggunakan batas kendali pada tahap I dikarenakan peta kendali *Generalized Variance* pada tahap I telah terkendali secara statistika. Gambar 4.4 merupakan peta kendali *Generalized Variance* yang digunakan untuk memonitoring terhadap variabilitas proses produksi pada *flange*. Peta kendali menunjukkan bahwa batas atas (BKA) sama dengan 0,00000897 dan garis tengahnya nilai determinan matriks varians kovarians $|S|$ yaitu 0,00000085



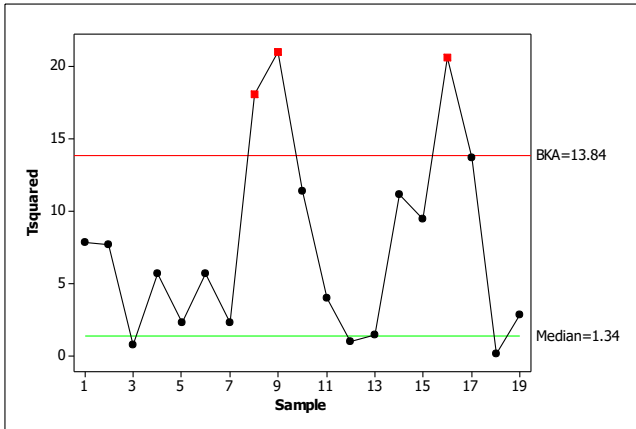
Gambar 4.4. Peta Kendali *Generalized Variance* Tahap II

Secara visual semua data berada dalam batas kendali batas kendali dan tidak terdapat data yang *out of control* sehingga peta kendali *Generalized Variance* telah terkendali secara statistika. Untuk memastikan apakah proses sudah terkendali secara variabilitas proses atau belum maka dapat dilanjutkan dengan memonitoring rata-rata proses dengan peta kendali T^2 Hotelling.

4.3.4 Peta Kendali T^2 Hotelling

Pengendalian rata-rata proses produksi *flange* dengan menggunakan peta kendali T^2 Hotelling. Berdasarkan data pada

Lampiran 7 diperoleh batas kendali peta kendali $T^2_{Hotelling}$ tahap II dimana batas kendali atas menggunakan batas kendali peta kendali $T^2_{Hotelling}$ tahap I yang sudah terkendali secara statistika dengan nilai T^2 dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut ini merupakan peta kendali $T^2_{Hotelling}$ tahap kedua.



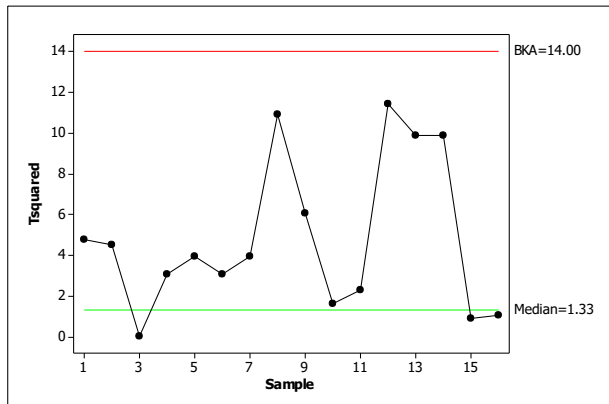
Gambar 4.5 Peta Kendali $T^2_{Hotelling}$ Tahap II

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai batas kendali atas (BKA) dari peta kendali $T^2_{Hotelling}$ sebesar 13,84 sehingga terdapat 3 pengamatan yang berada diluar batas kendali karena nilai T^2 lebih besar daripada nilai batas kendali atas, pengamatan yang *out of control* yaitu pada pengamatan ke-8, 9 dan 16 sehingga perlu diidentifikasi variabel yang menyebabkan pengamatan *out of control* dan mengidentifikasi faktor penyebab proses tidak terkendali.

Apabila dalam pengendalian proses rata-rata dengan peta kendali multivariat $T^2_{Hotelling}$ terdapat pengamatan yang *out of control* dapat diidentifikasi variabel penyebab. Terdapat 3 pengamatan yang *out of control* sehingga perlu diidentifikasi variabel penyebabnya. Berdasarkan hasil tersebut variabel *diameter extrusion* dan *flatness* merupakan variabel yang membuat pengamatan *out of control* pada pengamatan ke-8, 9 dan 16.

Variabel *diameter extrusion* dan *flatness* menjadi penyebab utama pengamatan *out of control* karena menjadi penyebab semua pengamatan *out of control* hal ini dapat dilihat dari nilai h_k pada Lampiran 10 yaitu pada variabel *diameter extrusion* dan *flatness* mempunyai nilai yang cukup besar. Berdasarkan hasil tersebut maka perlu di evaluasi penyebab pengamatan *out of control*. Setelah diidentifikasi penyebab *out of control* maka perlu direvisi ulang dengan cara melakukan menghilangkan pengamatan yang *out of control*. Berdasarkan data pada Lampiran 1 diperoleh batas kendali peta kendali T^2 Hotelling tahap II revisi 1 dimana digunakan perhitungan sesuai Persamaan 2.13 dimana nilai T^2 dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut merupakan peta kendali yang direvisi.

Gambar 4.6 merupakan peta kendali T^2 Hotelling yang digunakan untuk memonitoring terhadap rata-rata proses produksi pada *flange*. Peta kendali menunjukkan bahwa batas atas (*BKA*) sama dengan 14,00 dan garis tengahnya nilai median yaitu 1,33. Secara visual semua data berada dalam batas kendali batas kendali dan tidak terdapat data yang *out of control* sehingga peta kendali T^2 Hotelling telah terkendali secara statistika. Jika peta kendali T^2 Hotelling telah terkendali maka bisa dilanjutkan menghitung kapabilitas proses.



Gambar 4.6 Peta Kendali T^2 Hotelling Tahap II Revisi 1

4.3.5 Indeks Kapabilitas Proses *Flange*

Indeks kapabilitas proses digunakan untuk mengukur kemampuan proses. Kapabilitas proses dilakukan apabila semua kondisi sudah terkendali baik dari variabilitasnya maupun rata-ratanya. Untuk melihat kapabilitas proses maka dihitung indeks kapabilitas. Berikut merupakan indeks kapabilitas proses secara multivariat *flange*.

Indeks P_p (presisi) dan P_{pk} (akurasi) dengan variabel *diameter extrusion* diperoleh sebagai berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} = \frac{43,5 - 43,2}{6(0,0239)} = 2,0920$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{BSA - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - BSB}{3\sigma}\right)$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{43,5 - 43,235}{3(0,0239)}, \frac{43,235 - 43,2}{3(0,0239)}\right)$$

$$P_{pk} = \min(3,6959; 0,4881) = 0,4881$$

Indeks P_p (presisi) dan P_{pk} (akurasi) dengan variabel *flatness* diperoleh sebagai berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} = \frac{0,3 - 0}{6(0,953)} = 0,5246$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{BSA - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - BSB}{3\sigma}\right)$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{0,3 - 0,1506}{3(0,953)}, \frac{0,1506 - 0,3}{3(0,953)}\right)$$

$$P_{pk} = \min(0,5226; 0,5267) = 0,5267$$

Berdasarkan indeks P_p (presisi) dan P_{pk} (akurasi) dapat diperoleh indeks kapabilitas proses sebagai berikut.

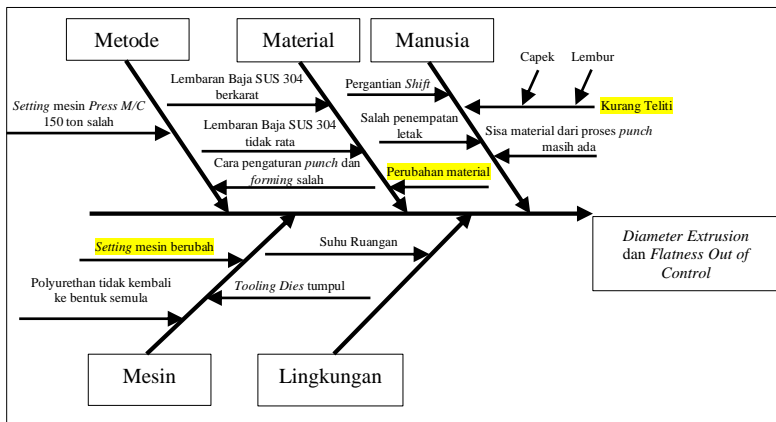
$$MP_p = \left(\prod_{k=1}^p P_{p(k)}\right)^{1/p} = (2,092 \times 0,5246)^{1/2} = 1,0477$$

$$MP_{pk} = \left(\prod_{k=1}^p P_{pk(k)} \right)^{1/p} = (0,4881 \times 0,5267)^{1/2} = 0,5071$$

Diperoleh nilai MP_p dan MP_{pk} sebesar 1,0477 dan 0,5071 artinya kinerja proses produksi *flange* pada tahap II tidak bagus atau tidak kapabel secara multivariat serta proses pada variabel *diameter extrusion* dan *flatness* tidak terpusat dan tidak mencapai kapabilitas potensial. Nilai MP_p dan MP_{pk} pada tahap I sebesar 1,0183 dan 0,5379 sedangkan nilai MP_p dan MP_{pk} pada tahap II sebesar 1,0477 dan 0,5071 sehingga tidak terjadi pergeseran proses yang artinya kemampuan proses produksi *flange* tahap I dan tahap II tidak berbeda.

4.4 Faktor-Faktor Penyebab *Out of Control*

Berdasarkan hasil analisis peta kendali T^2 Hotelling akar permasalahan dari proses produksi *flange* yang tidak sesuai standar yaitu *diameter extrusion* dan *flatness* dimana mempunyai nilai h_k yang lebih besar daripada batas kendali atas. Berikut merupakan Diagram Ishikawa.



Gambar 4.7 Diagram Ishikawa

Gambar 4.7 merupakan diagram *Ishikawa* dari penyebab karakteristik kualitas yang *out of control*. Faktor-faktor penyebab diperoleh dari informasi bagian *Quality Control* PT. IONUDA.

Faktor penyebab *out of control* berasal dari 5 faktor utama yaitu material, manusia, mesin, metode dan lingkungan. Faktor material disebabkan oleh karena lembaran baja SUS 304 berkarat, tidak rata, dan perubahan material dari SPCC menjadi SUS 304. Sedangkan pada faktor manusia disebabkan karena kelalaian petugas karena tidak teliti karena kelelahan dan lembur serta menimbulkan efek *human eror* karena proses produksi berlangsung setiap hari dan karena pergantian *shift* sehingga ada perbedaan kemampuan operator. Faktor mesin diduga disebabkan karena *setting* mesin berubah, *tooling dies* tumpul atau aus, dan polyurethan tidak kembali ke bentuk semula dikarenakan polyurethan bekerja hingga diluar kemampuannya dalam berdeformasi. Pada faktor lingkungan biasa disebabkan oleh suhu ruangan yang mempengaruhi. Sedangkan untuk faktor metode biasanya disebabkan oleh karena *setting* mesin *Press M/C* 150 ton salah dan cara pengaturan *punch* dan *forming* salah.

Berdasarkan identifikasi variabel penyebab menunjukkan bahwa variabel *diameter extrusion* dan *flatness* merupakan variabel penyebab proses tidak terkendali, setelah mendapatkan informasi dari pihak perusahaan hal yang menyebabkan variabel *diameter extrusion* dan *flatness* adalah ketidaktelitian petugas sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran, perubahan bahan baku dan *setting* mesin berubah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dari penelitian Tugas Akhir ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil proses produksi *flange* di PT. IONUDA pada tahap I diperoleh nilai MP_p sebesar 1,0183 dan MP_{pk} sebesar 0,5379 sedangkan pada tahap II diperoleh nilai MP_p sebesar 1,0477 dan MP_{pk} sebesar 0,5071 sehingga tidak terjadi pergeseran proses yang artinya kemampuan proses produksi *flange* tahap I dan tahap II tidak berbeda..
2. Faktor penyebab terjadinya ketidaksesuaian pada proses produksi *flange* adalah variabel diameter *extrusion* dan *flatness* yang disebabkan oleh ketidaktelitian petugas sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran, perubahan bahan baku dan *setting* mesin berubah.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan yaitu untuk perusahaan dan untuk kelanjutan penelitian mendatang.

1. PT. IONUDA perlu melakukan perbaikan berkesinambungan berdasarkan penyebab-penyebab *out of control* yaitu ketidaktelitian petugas sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran, perubahan bahan baku dan *setting* mesin berubah agar dapat meningkatkan produktivitas dan mempertahankan kemampuan proses.
2. Salah satu penyebab ketidaksesuaian *Flange* adalah mesin, maka sebaiknya melakukan pemeriksaan secara periodik sebelum proses produksi berjalan dan memonitoring kondisi mesin secara presisi.
3. Salah satu penyebab ketidaksesuaian *Flange* adalah karyawan, maka sebaiknya memberikan pelatihan khusus agar dapat

bekerja secara optimal dan terus memantau kinerja agar dapat meminimalisir produk yang tidak sesuai.

4. Salah satu penyebab ketidaksesuaian *Flange* adalah material, maka sebaiknya melakukan pemantauan material khususnya dari segi spesifikasi, kelas, tipe dan ukuran yang digunakan sehingga kualitas material tetap terjaga baik.

DAFTAR PUSTAKA

- GAIKINDO. 2017. *www.gaikindo.or.id*. Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia: Jakarta Pusat.
- Johnson, R.A & Wichern D.W. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis, Sixth Edition*. PT. Prentice Hall, Upper Saddle River: New Jersey.
- Montgomery, D. C. 2013. *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. John Wiley & Sons: United States of America.
- Morrison, D. F. 1990. “*Multivariate Statistical Methods*”. Second edition. New York: McGraw-Hill, 1990.
- Singgih. 2017. *Analisis Cacat Produk Pada Proses Produksi Knalpot di PT. Sandy Globalindo Bandung*. Bandung: Universitas Pasundan.
- Susanto, A.M. 2014. *Analisis Pengendalian Kualitas Statistika pada Proses Produksi Pipa Electric Resistance Welded (ERW) di PT. X. Surabaya* : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Utomo, R. S, dkk. 2001. *Laporan Kerja Praktek PT. IONUDA*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengamatan Bulan Januari

Subgrup	Diameter Extrusion	Flatness
1	43.25	0.15
	43.25	0.1
	43.27	0.15
	43.25	0.1
	43.22	0.1
2	43.27	0.15
	43.26	0.15
	43.24	0.15
	43.26	0.1
	43.21	0.3
3	43.22	0.15
	43.19	0.35
	43.23	0.1
	43.21	0.3
	43.26	0.15
-

21	43.26	0.15
	43.19	0.35
	43.23	0.15
	43.2	0.3
	43.25	0.1

Lampiran 2. Uji Independensi Pengamatan Bulan Januari 2018**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.500
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	90.418
	df	1
	Sig.	.000

Lampiran 3. Uji Distribusi Multivariat Normal Pengamatan Bulan Januari 2018

```
MTB > Name m1 "COVA1"
MTB > Covariance 'Diameter Extrusion' 'Flatness'
'COVA1'.
MTB > print m1
```

Data Display

```
Matrix COVA1

  0.0008675  -0.0019283
-0.0019283   0.0073136
```

```
MTB > invert m1 m2
MTB > mean c1 k1
```

Mean of Diameter Extrusion

Mean of Diameter Extrusion = 43.2452

```
MTB > mean c2 k2
```

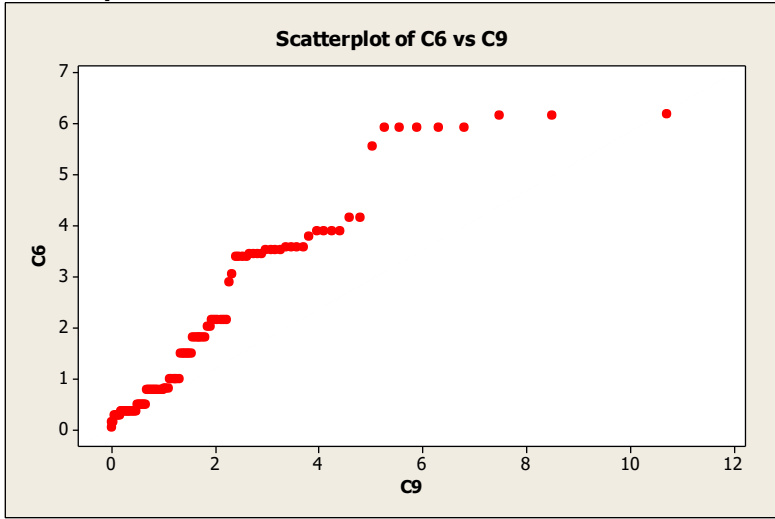
Mean of Flatness

Mean of Flatness = 0.141905

```
MTB > let c3=c1-k1
MTB > let c4=c2-k2
MTB > copy c3 c4 m3
MTB > mult m3 m2 m4
MTB > trans m3 m5
MTB > mult m4 m5 m6
MTB > diag m6 c5
MTB > sort c5 c6
MTB > set c7
DATA> (1:105)
DATA> end
MTB > let c8=1-((105-c7+0.5)/105)
MTB > invcdf c8 c9;
SUBC> chisquare 2.
MTB > plot c6*c9;
```

SUBC> symbol.

Scatterplot of C6 vs C9



```
MTB > let c10=c6<c9
MTB > let c11=sum(c10)/105
MTB > copy c11 m7
MTB > print m7
```

Data Display

Matrix M7
0.466667

Nilai dj^2

No	dj^2 urut	chisquare	No	dj^2 urut	chisquare	No	dj^2 urut	chisquare
1	0.035788	0.009547	36	0.763834	0.825267	71	2.164583	2.226002
2	0.141416	0.028777	37	0.763834	0.854253	72	2.903666	2.28483
3	0.141416	0.048195	38	0.763834	0.883666	73	3.060992	2.345441
4	0.278499	0.067803	39	0.763834	0.913517	74	3.405548	2.407946
5	0.278499	0.087605	40	0.763834	0.94382	75	3.405548	2.472467
6	0.278499	0.107605	41	0.763834	0.97459	76	3.405548	2.53914
7	0.278499	0.127808	42	0.763834	1.005841	77	3.405548	2.608113
8	0.278499	0.148216	43	0.804059	1.037588	78	3.452643	2.679549
9	0.278499	0.168835	44	0.804059	1.069846	79	3.452643	2.753631

Nilai d_j^2 Lanjutan

No	d_j^2 urut	chisquare	No	d_j^2 urut	chisquare	No	d_j^2 urut	chisquare
10	0.350179	0.189668	45	0.804059	1.102634	80	3.452643	2.830564
11	0.350179	0.210721	46	0.978874	1.135968	81	3.452643	2.910574
12	0.350179	0.231998	47	0.978874	1.169867	82	3.53318	2.99392
13	0.350179	0.253503	48	0.978874	1.204351	83	3.53318	3.08089
14	0.350179	0.275243	49	0.978874	1.239439	84	3.53318	3.171815
15	0.350179	0.297221	50	0.978874	1.275155	85	3.53318	3.267071
16	0.350179	0.319443	51	0.978874	1.311519	86	3.591399	3.367092
17	0.350179	0.341916	52	1.495576	1.348557	87	3.591399	3.472379
18	0.350179	0.364643	53	1.495576	1.386294	88	3.591399	3.583519
19	0.350179	0.387632	54	1.495576	1.424757	89	3.591399	3.7012
20	0.350179	0.410888	55	1.495576	1.463974	90	3.800389	3.826241
21	0.350179	0.434418	56	1.495576	1.503975	91	3.907307	3.959623
22	0.350179	0.458227	57	1.495576	1.544793	92	3.907307	4.102541
23	0.350179	0.482324	58	1.806184	1.586461	93	3.907307	4.256463
24	0.487175	0.506715	59	1.806184	1.629016	94	3.907307	4.423227
25	0.487175	0.531406	60	1.806184	1.672496	95	4.170732	4.60517
26	0.487175	0.556407	61	1.806184	1.716942	96	4.170732	4.805337
27	0.487175	0.581723	62	1.806184	1.762399	97	5.561926	5.027788
28	0.487175	0.607365	63	1.806184	1.808913	98	5.92132	5.278115
29	0.487175	0.633339	64	2.023717	1.856534	99	5.92132	5.564316
30	0.487175	0.659655	65	2.023717	1.905317	100	5.92132	5.898425
31	0.763834	0.686322	66	2.164583	1.955319	101	5.92132	6.299766
32	0.763834	0.71335	67	2.164583	2.006604	102	5.92132	6.802395
33	0.763834	0.740748	68	2.164583	2.059239	103	6.179166	7.475339
34	0.763834	0.768526	69	2.164583	2.113296	104	6.179166	8.49699
35	0.763834	0.796695	70	2.164583	2.168855	105	6.207046	10.69422

Lampiran 4. Nilai $|S|$ dan T^2 Tahap I dan Tahap II

Tahap I			Tahap II		
<i>Generalized Variance</i>	<i>T²Hotelling</i>		<i>Generalized Variance</i>	<i>T²Hotelling</i>	
$|S|$	T^2	T^2 Revisi 1	$|S|$	T^2	T^2
0.00000015	0.45	0.51	0.00000026	7.8	4.77
0.00000008	2.12	2.3	0.00000007	7.64	4.51
0.00000325	4.35	3.56	0.00000016	0.7	0.04
0.00000367	2.39	2.67	0.00000074	5.64	3.08
0.00000008	1.3	1.23	0.00000011	2.3	3.93
0.00000067	7.57	6.32	0.00000074	5.64	3.08
0.00000004	2.43	1.91	0.00000011	2.3	3.93
0.00000011	10.4	11.15	0.00000045	18.04	10.9
0.00000516	0.69	0.39	0.00000006	20.97	6.08
0.00000009	2.26	1.93	0.00000031	11.35	1.61
0.00000319	1.92	1.37	0.00000121	3.94	2.31
0.00000095	4.37	3.62	0.00000031	0.98	11.44
0.00000196	0.17	0.26	0.00000006	1.38	9.90
0.00000015	14.84	13.22	0.00000003	11.11	9.89
0.00000121	12.36	0.59	0.00000051	9.42	0.9
0.00000125	0.43	0.09	0.00000002	20.62	1.04
0.00000073	0.25	1.45	0.00000024	13.65	
0.00000026	1.54	4.36	0.00000212	0.13	
0.00000001	4.48	0.93	0.00000055	2.81	
0.00000018	0.75	3			
0.00000147	3.6				

Lampiran 5. Identifikasi Penyebab Data *Out of Control*

Subgrup	T_j^2	Variabel	$T_{(k)}^2$	$h_k = T_j^2 - T_{(k)}^2$
1	0.45	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.45
		<i>Flatness</i>	0	0.45
2	2.12	<i>Diameter Extrusion</i>	0	2.12
		<i>Flatness</i>	0	2.12
3	4.35	<i>Diameter Extrusion</i>	0	4.35
		<i>Flatness</i>	0	4.35
4	2.39	<i>Diameter Extrusion</i>	0	2.39
		<i>Flatness</i>	0	2.39
5	1.3	<i>Diameter Extrusion</i>	0	1.3
		<i>Flatness</i>	0	1.3
6	7.57	<i>Diameter Extrusion</i>	0	7.57
		<i>Flatness</i>	0	7.57
7	2.43	<i>Diameter Extrusion</i>	0	2.43
		<i>Flatness</i>	0	2.43
8	10.4	<i>Diameter Extrusion</i>	0	10.4
		<i>Flatness</i>	0	10.4
9	0.69	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.69
		<i>Flatness</i>	0	0.69
10	2.26	<i>Diameter Extrusion</i>	0	2.26
		<i>Flatness</i>	0	2.26
11	1.92	<i>Diameter Extrusion</i>	0	1.92
		<i>Flatness</i>	0	1.92
12	4.37	<i>Diameter Extrusion</i>	0	4.37
		<i>Flatness</i>	0	4.37
13	0.17	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.17
		<i>Flatness</i>	0	0.17
14	14.84	<i>Diameter Extrusion</i>	0	14.84
		<i>Flatness</i>	0	14.84
15	12.36	<i>Diameter Extrusion</i>	0	12.36
		<i>Flatness</i>	0	12.36
16	0.43	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.43
		<i>Flatness</i>	0	0.43
17	0.25	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.25
		<i>Flatness</i>	0	0.25
18	1.54	<i>Diameter Extrusion</i>	0	1.54
		<i>Flatness</i>	0	1.54
19	4.48	<i>Diameter Extrusion</i>	0	4.48
		<i>Flatness</i>	0	4.48
20	0.75	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.75
		<i>Flatness</i>	0	0.75
21	3.6	<i>Diameter Extrusion</i>	0	3.6
		<i>Flatness</i>	0	3.6

Lampiran 6. Data Pengamatan Bulan Februari 2018

Subgrup	Diameter Extrusion	Flatness
1	43.23	0.1
	43.18	0.35
	43.22	0.15
	43.23	0.15
	43.23	0.15
2	43.25	0.1
	43.23	0.1
	43.23	0.1
	43.21	0.15
	43.25	0.1
3	43.23	0.15
	43.25	0.1
	43.25	0.1
	43.24	0.1
	43.2	0.3
-

19	43.21	0.3
	43.23	0.1
	43.23	0.1
	43.24	0.1
	43.25	0.1

Lampiran 7. Uji Independensi Pengamatan Bulan Februari 2018**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.500
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	99.962
	df	1
	Sig.	.000

Lampiran 8. Uji Distribusi Multivariat Normal Pengamatan Bulan Februari 2018

```
MTB > Name m1 "COVA1"
MTB > Covariance 'Diameter Extrusion' 'Flatness'
'COVA1'.
MTB > print m1
```

Data Display

```
Matrix COVA1

    0.0006265  -0.0020348
-0.0020348    0.0100039
```

```
MTB > invert m1 m2
MTB > mean c1 k1
```

Mean of Diameter Extrusion

Mean of Diameter Extrusion = 43.2373

```
MTB > mean c2 k2
```

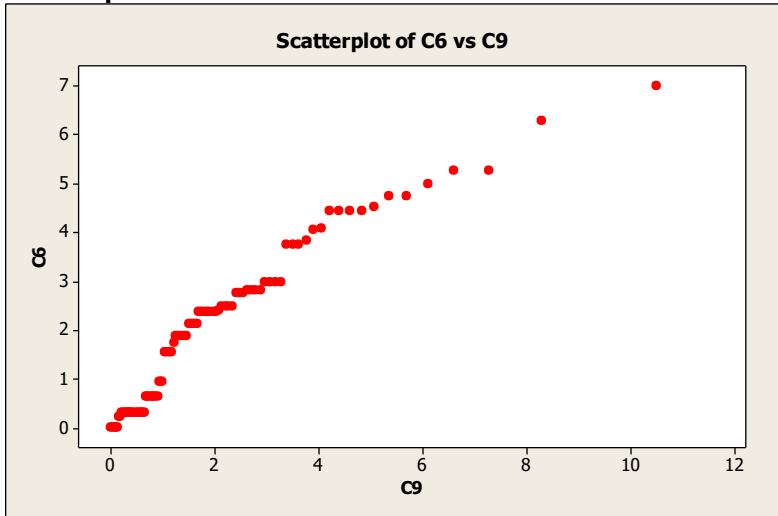
Mean of Flatness

Mean of Flatness = 0.154737

```
MTB > let c3=c1-k1
MTB > let c4=c2-k2
MTB > copy c3 c4 m3
MTB > mult m3 m2 m4
MTB > trans m3 m5
MTB > mult m4 m5 m6
MTB > diag m6 c5
MTB > sort c5 c6
MTB > set c7
DATA> (1:95)
DATA> end
MTB > let c8=1-((95-c7+0.5)/95)
MTB > invcdf c8 c9;
SUBC> chisquare 2.
MTB > plot c6*c9;
```

```
SUBC> symbol.
```

Scatterplot of C6 vs C9



```
MTB > let c10=c6<c9
MTB > let c11=sum(c10)/95
MTB > copy c11 m7
MTB > print m7
```

Data Display

Matrix M7

0.463158

Nilai dj^2

No	dj^2 urut	chisquare	No	dj^2 urut	chisquare	No	dj^2 urut	chisquare
1	0.017035	0.010554	33	0.654213	0.837421	65	2.494694	2.2723
2	0.017035	0.031831	34	0.654213	0.869679	66	2.494694	2.338973
3	0.017035	0.053336	35	0.654213	0.902467	67	2.752392	2.407946
4	0.017035	0.075076	36	0.932787	0.935801	68	2.752392	2.479382
5	0.017035	0.097054	37	0.932787	0.9697	69	2.752392	2.553464
6	0.017035	0.119277	38	0.932787	1.004184	70	2.818943	2.630397

Nilai d_j^2 Lanjutan

No	d_j^2 urut	chisquare	No	d_j^2 urut	chisquare	No	d_j^2 urut	chisquare
7	0.017035	0.141749	39	1.564805	1.039273	71	2.818943	2.710408
8	0.222557	0.164476	40	1.564805	1.074988	72	2.818943	2.793753
9	0.222557	0.187465	41	1.564805	1.111352	73	2.818943	2.880723
10	0.311589	0.210721	42	1.564805	1.14839	74	2.990163	2.971648
11	0.311589	0.234251	43	1.564805	1.186127	75	2.990163	3.066904
12	0.311589	0.258061	44	1.738368	1.22459	76	2.990163	3.166925
13	0.311589	0.282157	45	1.891318	1.263807	77	2.990163	3.272212
14	0.311589	0.306548	46	1.891318	1.303808	78	3.749753	3.383352
15	0.311589	0.331239	47	1.891318	1.344626	79	3.749753	3.501033
16	0.311589	0.35624	48	1.891318	1.386294	80	3.749753	3.626074
17	0.311589	0.381557	49	1.891318	1.428849	81	3.839575	3.759456
18	0.311589	0.407198	50	1.891318	1.472329	82	4.04457	3.902374
19	0.311589	0.433172	51	2.133827	1.516775	83	4.079188	4.056296
20	0.311589	0.459488	52	2.133827	1.562232	84	4.444767	4.22306
21	0.311589	0.486156	53	2.133827	1.608746	85	4.444767	4.405003
22	0.311589	0.513183	54	2.133827	1.656367	86	4.444767	4.60517
23	0.320566	0.540581	55	2.389419	1.70515	87	4.444767	4.827621
24	0.320566	0.568359	56	2.389419	1.755152	88	4.52011	5.077948
25	0.320566	0.596528	57	2.389419	1.806437	89	4.750694	5.364149
26	0.320566	0.6251	58	2.389419	1.859072	90	4.750694	5.698258
27	0.320566	0.654086	59	2.389419	1.913129	91	4.997309	6.099599
28	0.631099	0.683499	60	2.389419	1.968688	92	5.259509	6.602228
29	0.631099	0.71335	61	2.389419	2.025835	93	5.259509	7.275172
30	0.631099	0.743653	62	2.400923	2.084663	94	6.277456	8.296824
31	0.631099	0.774423	63	2.494694	2.145274	95	6.990767	10.49405
32	0.654213	0.805674	64	2.494694	2.207779			

Lampiran 9. Identifikasi Penyebab Data *Out of Control*

Subgrup	T_j^2	Variabel	$T_{(k)}^2$	$h_k = T_j^2 - T_{(k)}^2$
1	7.8	<i>Diameter Extrusion</i>	0	7.8
		<i>Flatness</i>	0	7.8
2	7.64	<i>Diameter Extrusion</i>	0	7.64
		<i>Flatness</i>	0	7.64
3	0.7	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.7
		<i>Flatness</i>	0	0.7
4	5.64	<i>Diameter Extrusion</i>	0	5.64
		<i>Flatness</i>	0	5.64
5	2.3	<i>Diameter Extrusion</i>	0	2.3
		<i>Flatness</i>	0	2.3
6	5.64	<i>Diameter Extrusion</i>	0	5.64
		<i>Flatness</i>	0	5.64
7	2.3	<i>Diameter Extrusion</i>	0	2.3
		<i>Flatness</i>	0	2.3
8	18.04	<i>Diameter Extrusion</i>	0	18.04
		<i>Flatness</i>	0	18.04
9	20.97	<i>Diameter Extrusion</i>	0	20.97
		<i>Flatness</i>	0	20.97
10	11.35	<i>Diameter Extrusion</i>	0	11.35
		<i>Flatness</i>	0	11.35
11	3.94	<i>Diameter Extrusion</i>	0	3.94
		<i>Flatness</i>	0	3.94
12	0.98	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.98
		<i>Flatness</i>	0	0.98
13	1.38	<i>Diameter Extrusion</i>	0	1.38
		<i>Flatness</i>	0	1.38
14	11.11	<i>Diameter Extrusion</i>	0	11.11
		<i>Flatness</i>	0	11.11
15	9.42	<i>Diameter Extrusion</i>	0	9.42
		<i>Flatness</i>	0	9.42
16	20.62	<i>Diameter Extrusion</i>	0	20.62
		<i>Flatness</i>	0	20.62
17	13.65	<i>Diameter Extrusion</i>	0	13.65
		<i>Flatness</i>	0	13.65
18	0.13	<i>Diameter Extrusion</i>	0	0.13
		<i>Flatness</i>	0	0.13
19	2.81	<i>Diameter Extrusion</i>	0	2.81
		<i>Flatness</i>	0	2.81

Lampiran 10. Uji Homogenitas**Box's Test of Equality of
Covariance Matrices^a**

Box's M	11.844
F	3.904
df1	3
df2	7321373.131
Sig.	.008

Tests the null hypothesis
that the observed
covariance matrices of the
dependent variables are
equal across groups.

a. Design: Intercept + Tahap

Lampiran 11. Uji Behrens-Fisher

$$\mathbf{T}^2 = [\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2] \left[\frac{1}{\mathbf{n}_1} \mathbf{S}_1 + \frac{1}{\mathbf{n}_2} \mathbf{S}_2 \right]^{-1} [\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2]$$

$$\bar{\mathbf{X}}_1 = \begin{pmatrix} 43,2431 \\ 0,146 \end{pmatrix}$$

$$\bar{\mathbf{X}}_2 = \begin{pmatrix} 43,237 \\ 0,155 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{S}_1 = \begin{pmatrix} 0,0008075 & -0,0018158 \\ -0,0018158 & 0,0072061 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{S}_2 = \begin{pmatrix} 0,000626473 & -0,00203477 \\ -0,00203477 & 0,010003919 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{\mathbf{n}_1} \mathbf{S}_1 = \begin{pmatrix} 0,000008075 & -0,000018158 \\ -0,000018158 & 0,000072061 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{\mathbf{n}_2} \mathbf{S}_2 = \begin{pmatrix} 0,00000659 & -0,00002142 \\ -0,00002142 & 0,000105304 \end{pmatrix}$$

$$\left[\frac{1}{\mathbf{n}_1} \mathbf{S}_1 + \frac{1}{\mathbf{n}_2} \mathbf{S}_2 \right]^{-1} = \begin{pmatrix} 171278 & 38219,7 \\ 38220 & 14166,2 \end{pmatrix}$$

$$(\bar{\mathbf{X}}_1 - \bar{\mathbf{X}}_2) = \begin{pmatrix} 0,005837 \\ -0,00874 \end{pmatrix}$$

$$\text{Transpose} (\bar{\mathbf{X}}_1 - \bar{\mathbf{X}}_2) = (0,005837 \quad -0,008737)$$

$$\mathbf{T}^2 = 3,0188$$

Lampiran 12. Surat Keterangan Perusahaan

P.T. IONUDA
AUTOMOTIVE PARTS & COMPONENTS INDUSTRY

No : 031/SK-ION/IV/18
Hal : Ijin Memperoleh data Tugas Akhir

Kepada Yth,
Kepala Fakultas Vokasi
Dep. Statistika Bisnis
ITS Sukolilo
Surabaya

Dengan hormat,

Sehubungan permohonan ijin memperoleh data tugas akhir dari Fakultas Vokasi ITS Surabaya untuk mahasiswa sbb :

Nama : Agnes Hidayati
Nrp : 10611500000045
Program Studi : Diploma III

Dengan ini kami sampaikan bahwa kami tidak keberatan untuk menerima permohonan tersebut dan waktu pelaksanaan berjalan secara fleksibel mengikuti kegiatan Perusahaan.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Sidoarjo, 25 April 2018
Pimpinan PT. IONUDA


P.T. IONUDA
Automotive parts & component
Manufacturer & Trading Co. Ltd.

Kamdjawi
Plant Manager

Lampiran 13. Surat Pernyataan Keaslian Data

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS :

Nama : Agnes Hidayati

NRP : 10611500000045

Menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan data sekunder yang diambil dari

Sumber : PT IONUDA Gedangan Sidoarjo

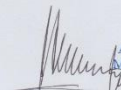
Keterangan : Data Pengamatan Proses Produksi *Flange* tipe D38A oleh Departemen *Quality Control*

Surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data, maka saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.


Surabaya, 23 April 2018

Mengetahui,
Pimpinan PT. IONUDA


Yang Membuat Pernyataan,


Drs. H. Kamdjawi, MM

PT. IONUDA
Automotive parts & component
Manufacturer & Trading Co. Ltd.


Agnes Hidayati
NRP. 10611500000045

Mengetahui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,


Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T
NIP. 19610311 198701 2 001

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Agnes Hidayati, biasa dipanggil Agnes. Penulis merupakan anak sulung dari dua bersaudara yang lahir di Sidoarjo pada tanggal 27 Februari 1997. Penulis telah menyelesaikan studi Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Kedung Bendo dan SDN Jedongcangkring tahun 2009, SMP Negeri 1 Krian Sidoarjo tahun 2012, SMA Negeri 1 Porong tahun 2015, dan melanjutkan studi Diploma III Departemen Statistika Bisnis ITS tahun 2015 dengan NRP 1061150000045. Penulis memiliki hobi menggambar dan mendengarkan musik.

Penulis aktif mengikuti organisasi, pelatihan dan kepanitiaan selama masa perkuliahan. Organisasi yang diikuti oleh penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Diploma Statistika ITS sebagai staf Departemen Dalam Negeri periode 2016/2017 dan sekretaris Departemen Dalam Negeri Periode 2017/2018. Penulis juga aktif dalam UKM IFLS (*ITS Foreign Language Society*) ITS sebagai anggota Divisi Korea Periode 2015/2016 dan staf Departemen Kewirausahaan Periode 2016/2017. Cukup banyak pelatihan dan kepanitiaan yang diikuti oleh penulis sehingga tidak bisa disebutkan satu per satu. Penulis memiliki motto dalam hidup yaitu “*Just Be Your Self*” .

Informasi dan komunikasi lebih lanjut dengan penulis dapat menghubungi :

Email : agneshidayati@gmail.com

ID Line : @agnehidayati

Phone, WA : +6285850052219