



TUGAS AKHIR - SS 145561

**ANALISIS KUALITAS STATISTIKA
PRODUKSI BILLET DI PT. X**

**RAKHMAH WAHYU MAYASARI
NRP 1313 030 072**

**Dosen Pembimbing
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN STATISTIKA
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT - SS 145561

**QUALITY STATISTICAL ANALYSIS
OF BILLET PRODUCTION AT PT. X**

**RAKHMAH WAHYU MAYASARI
NRP 1313 030 072**

**Supervisor
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT**

**DIPLOMA III STUDY PROGRAM
DEPARTMENT OF STATISTICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KUALITAS STATISTIKA
PRODUKSI BILLET DI PT. X**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada

Jurusan Statistika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RAKHMAH WAHYU MAYASARI
NRP. 1313 030 072

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT
NIP. 19610311 198701 2 001



Mengetahui
Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS




Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JUNI 2016

**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : RAKHMAH WAHYU MAYASARI
Nrp. : 1313030072
Jurusan / Fak. : D3 STATISTIKA / FMIPA
Alamat kontak : Gang Ilc no:1, Keputih, Sukolilo
a. Email : wahyumaya00700@gmail.com
b. Telp/HP : 027755234401

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalti-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISIS KUALITAS STATISTIKA PRODUKSI BILLET DI PT. X

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

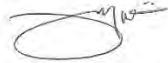
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Surabaya
Pada tanggal : 24 JUNI 2016
Yang menyatakan,

Dosen Pembimbing 1


(Dca. SRI MUMPUNI RETNANINGSIH, MT)

NIP. 19610311 198701 2 001


(RAKHMAH WAHYU MAYASARI)

Nrp. 1313030072

KETERANGAN :

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

ANALISIS KUALITAS STATISTIKA PRODUKSI BILLET DI PT. X

Nama Mahasiswa : Rakhmah Wahyu Mayasari
NRP : 1313 030 072
Program Studi : Diploma III
Dosen Pembimbing: Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT

ABSTRAK

PT. X adalah perusahaan yang memproduksi billet, dimana billet yang dihasilkan memiliki dua karakteristik yang saling berhubungan yaitu non metallic inclusion dan grain size. Pemeriksaan kualitas telah dilakukan oleh perusahaan ini, akan tetapi hanya berdasarkan batas spesifikasi, oleh karena itu dilakukan pengendalian kualitas statistika untuk mengetahui proses produksi billet telah stabil/terkendali secara statistik atau tidak, serta untuk menemukan penyebab ketidaksesuaian pada proses produksi. Pengendalian kualitas yang dilakukan adalah Generalized Variance untuk mengendalikan varians, T^2 Hotelling untuk mengendalikan rata-rata, serta kapabilitas proses untuk mengetahui apakah proses produksi telah kapabel atau tidak. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa proses produksi billet periode bulan Januari, Februari, dan Maret 2016 telah terkendali dengan asumsi tidak terjadinya penyebab out of control, serta hasil proses produksi billet tidak kapabel.

Kata kunci : *Generalized Variance, Kapabilitas Proses, T^2 Hotelling*

QUALITY STATISTICAL ANALYSIS OF BILLET PRODUCTION AT PT. X

Name : Rakhmah Wahyu Mayasari
NRP : 1313 030 072
Programme : Diploma III
Academic Supervisor : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT

ABSTRACT

PT. X is a company produces billet, where its product has two quality characteristics dependently, which are non metallic inclusion and grain size. Quality control has been done here, but based on its specification limits only, therefore by knowing the billet production is statistically in control or not and to find the cause of the unconforming products, statistical quality control is needed. Generalized variance is used for quality controlling based on the variance, T^2 Hotelling based on the mean, and also capability process to know whether the process is capable or not. Based on the analysis, it's given that the production process in January until March 2016 is statistically in control, with an assumption that there aren't out of control causes but the capability process shows that the production process isn't capable.

Keyword: *Capability Process, Generalized Variance, T^2 Hotelling*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Dependensi Antar Variabel.....	3
2.2 Distribusi Normal Multivariat.....	5
2.3 Peta Kendali <i>Generalized Variance</i>	5
2.4 Peta Kendali T^2 Hotelling.....	6
2.5 Identifikasi Variabel Penyebab Tidak Terkendalinya <i>Mean</i> Proses.....	9
2.6 Diagram Ishikawa.....	10
2.7 Kapabilitas Proses.....	11
2.8 Proses Produksi Billet di PT. X.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data.....	15
3.2 Variabel Penelitian.....	15
3.3 Struktur Data.....	17
3.4 Langkah Penelitian.....	17

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Statistika Deskriptif	21
4.2 Pemeriksaan Asumsi.....	21
4.3 Analisis Pengendalian Proses Produksi Billet	22
4.4 Identifikasi Penyebab Tidak Terkendalinya Proses	26
4.5 Diagram Ishikawa	26
4.6 Kapabilitas Proses.....	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN	33

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Struktur Data T^2 Hotelling	9
Tabel 2.2 Keterangan Peta Proses Operasi	13
Tabel 3.1 Struktur Data.....	17
Tabel 4.1 Deskripsi Variabel	21
Tabel 4.2 Identifikasi Penyebab Tidak Terkendalinya Proses .	26

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Contoh Diagram Ishikawa.....	10
Gambar 2.2 Peta Proses Operasi Produksi Billet.....	12
Gambar 2.3 Billet.....	14
Gambar 3.1 <i>Non Metallic Inclusion</i>	16
Gambar 3.2 <i>Grain Size</i>	16
Gambar 3.3 Diagram Alir	18
Gambar 4.1 <i>Generalized Variance</i>	23
Gambar 4.2 Peta Kendali T^2 Hotelling.....	24
Gambar 4.3 Peta Kendali T^2 Hotelling iterasi 1	25
Gambar 4.4 Peta Kendali T^2 Hotelling telah terkendali.....	25
Gambar 4.5 Diagram Ishikawa	27

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data proses produksi billet pada tahap <i>test piece</i> di PT. X periode bulan Januari, Februari, dan Maret 2016	33
Lampiran 2. Macro minitab pemeriksaan asumsu distribusi Normal multivariat	35
Lampiran 3. Macro minitab kapabilitas proses.....	36
Lampiran 4. <i>Output</i> pengujian asumsi dependensi.....	38
Lampiran 5. <i>Output</i> pemeriksaan asumsi distribusi normal multivariat.....	38
Lampiran 6. <i>Output T² Hotelling</i>	38
Lampiran 7. <i>Output</i> identifikasi penyebab <i>out of control</i>	39
Lampiran 8. <i>Output</i> kapabilitas proses	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. X adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri logam dan menghasilkan produk billet. Billet merupakan baja batangan dari hasil pengecoran bijih besi maupun besi daur ulang yang dilebur dengan temperatur tertentu yang kemudian dicetak dengan bentuk balok. Billet yang dapat dihasilkan kurang lebih 120.000 ton per tahun. Jumlah kapasitas produksi yang cukup besar memerlukan perhatian khusus agar kualitas billet yang dihasilkan dapat memenuhi standar yang telah ditentukan.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk menjaga kualitas dari produk yang dihasilkan yaitu inspeksi *chemical* dan *test piece*. Inspeksi *chemical* adalah inspeksi yang berguna untuk mengontrol kandungan-kandungan dalam leburan baja. Inspeksi *chemical* dilakukan berulang sampai kandungan leburan baja telah sesuai dengan standart sehingga proses dapat dilanjutkan. Inspeksi selanjutnya adalah *test piece* yaitu inspeksi saat leburan baja telah menjadi billet. Inspeksi ini yang menentukan hasil produksi billet dapat dijual atau tidak. Billet yang dapat dijual adalah billet yang lolos inspeksi *test piece*, dimana inspeksi ini memeriksa dua karakteristik kualitas yaitu *non metallic inclusion* dan *grain size*. Kedua kriteria tersebut memiliki standart masing-masing yang telah ditentukan perusahaan berdasarkan *Japanese Industrial Standards* (JIS). Pengontrolan yang dilakukan pada tahap *test piece* hanya berdasarkan batas spesifikasi, belum pernah dilakukan analisis secara statistika untuk mengetahui proses produksi berada pada kondisi terkendali atau tidak. Oleh karena itu akan dilakukan analisis pengendalian kualitas secara statistika pada proses produksi billet.

Karakteristik kualitas produk billet yang menjadi ukuran adalah *non metallic inclusion* dan *grain size*, dimana *non metallic inclusion* adalah pemeriksaan untuk mengetahui kandungan non logam yang ada dalam billet, sedangkan *grain size* digunakan

untuk mengukur ukuran atom dalam billet. Kedua karakteristik tersebut saling berhubungan karena kandungan yang berada pada billet akan berpengaruh pada ukuran atom yang ada di dalam billet tersebut.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Eko Sutanto dan Diah Riandari (2014) menghasilkan kesimpulan bahwa dari 3,9% cacat yang terjadi, persentase cacat menurut jenisnya yaitu cacat jenis rumbik 40,4%, retak 33,7%, dan patah 25,9%.

1.2 Rumusan Masalah

Selama ini *quality control* di PT. X belum pernah melakukan analisis secara statistika, oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian kualitas statistika untuk mengetahui apakah proses produksi billet telah stabil/terkendali secara statistik atau tidak.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan maka dapat dibuat tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui proses produksi billet di PT. X telah stabil/terkendali secara statistik atau tidak.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu mengetahui proses produksi billet telah terkendali secara statistik atau tidak. Jika proses tidak terkendali maka akan dicari penyebab-penyebabnya sehingga dapat melakukan perbaikan untuk produksi selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Terdapat dua tahap inspeksi yang dilakukan yaitu inspeksi *chemical* dan inspeksi *test piece*. Data yang digunakan dalam penelitian ini hanyalah data pada tahap inspeksi *test piece*, pada periode produksi bulan Januari, Februari, dan Maret 2016.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pengendalian kualitas merupakan suatu aktivitas yang digunakan untuk menjaga dan mengarahkan agar kualitas produk dapat dipertahankan sebagaimana yang telah direncanakan. Salah satu alat yang digunakan untuk pengendalian kualitas adalah peta kendali, dimana peta kendali merupakan alat yang digunakan untuk melihat kualitas hasil proses produksi, apakah proses produksi telah terkendali secara statistik atau tidak (Montgomery, 2009). Peta kendali dibedakan menjadi dua yaitu peta kendali variabel dan peta kendali atribut. Peta kendali variabel adalah peta kendali dengan kriteria kualitas yang dapat diukur, sedangkan peta kendali atribut adalah peta kendali dengan kriteria kualitas yang hanya membedakan produk cacat atau tidak cacat. Kriteria yang digunakan pada peta kendali variabel dibedakan menjadi dua yaitu peta kendali dengan satu variabel dan dua atau lebih dari satu variabel (multivariat). Peta kendali multivariat memiliki beberapa asumsi yang harus dipenuhi yaitu antar variabel harus dependen dan data yang digunakan berdistribusi normal multivariat. Pengujian asumsi yang akan dilakukan adalah uji dependensi dan uji distribusi normal multivariat, dimana uji independensi adalah uji yang digunakan untuk mengetahui hubungan antar variabel apakah saling berhubungan atau tidak, sedangkan uji distribusi normal multivariat adalah uji untuk mengetahui apakah data yang digunakan telah berdistribusi normal secara multivariat atau tidak.

2.1 Dependensi Antar Variabel

Suatu pengamatan dikatakan dependen atau saling berhubungan jika matriks korelasi antar variabel tidak sama dengan matriks identitas. Untuk mengetahui apakah dua variabel atau lebih saling dependen digunakan metode barlett's dengan hipotesis sebagai berikut (Morrison, 1990).

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Karakteristik kualitas tidak saling dependen)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (karakteristik kualitas saling dependen)

untuk pengujian hipotesis ini statistik uji yang digunakan adalah

$$\chi^2 = - \left[n - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right] \ln |\mathbf{R}| \quad (2.1)$$

dimana : n = jumlah observasi

p = jumlah variabel

$|\mathbf{R}|$ = determinan matrik korelasi

dengan menggunakan taraf signifikan 5% H_0 ditolak jika χ^2 hitung lebih besar dari $\chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antar variabel. Sampel dari matriks korelasi dapat dianalogkan menggunakan matriks korelasi pada kovarian (Walpole, 1995).

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$r_{jl} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_{ij} X_{il} - \left(\sum_{i=1}^n X_{ij} \right) \left(\sum_{i=1}^n X_{il} \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_{ij} \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n X_{il}^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_{il} \right)^2 \right]}} \quad (2.3)$$

dimana : \mathbf{R} = Matriks korelasi masing-masing variabel

r_{jl} = Nilai korelasi antara karakteristik kualitas ke- j dengan karakteristik kualitas ke- l

X_{ij} = Sampel ke- i karakteristik kualitas ke- j ($j=1,2,\dots,p$)

X_{il} = Sampel ke- i karakteristik kualitas ke- l ($l=1,2,\dots,p$)

2.2 Distribusi Normal Multivariat

Suatu pengamatan $x_1, x_2 \dots x_p$ mempunyai distribusi normal multivariat, untuk mengetahui apakah variabel-variabel tersebut berdistribusi normal multivariat maka dilakukan pemeriksaan asumsi menggunakan persamaan berikut.

$$d_i^2 = (\mathbf{x}_{ijk} - \bar{\mathbf{x}}_{.j.})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_{ijk} - \bar{\mathbf{x}}_{.j.}) \quad (2.4)$$

Dimana : \mathbf{x}_{ijk} = vektor pengamatan ke-i, karakteristik kualitas ke-j dan subgrup ke-k

$\bar{\mathbf{x}}_{.j.}$ = vektor rata-rata pada karakteristik kualitas ke-j

sedangkan nilai \mathbf{S}^{-1} adalah invers matrik varian kovarian \mathbf{S} berukuran $p \times p$ yang diperoleh dari persamaan 2.6 berikut

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_1^2 & s_{12} & \dots & s_{1p} \\ s_{21} & s_2^2 & \dots & s_{jp} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{p1} & s_{p2} & \dots & s_p^2 \end{bmatrix}$$

$$s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad (2.5)$$

$$s_{jl} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)(X_{il} - \bar{X}_l) \quad (2.6)$$

Sehingga apabila terdapat 50% nilai d_i^2 yang kurang dari nilai $\chi_{(p;0,50)}^2$ maka data berdistribusi multivariat normal (Johnson & Wichern, 2007).

2.3 Peta Kendali *Generalized Variance*

Pengendalian kualitas yang dilakukan pada suatu produk dengan jumlah karakteristik kualitas yang lebih dari satu adalah pengendalian kualitas multivariat. Terdapat dua jenis pengendalian

kualitas yang digunakan untuk mengontrol kualitas dengan karakteristik kualitasnya multivariat, yaitu mengontrol varian proses dan mean proses. Peta kendali untuk mengontrol varian adalah *generalized variance*. Varian proses digambarkan dari matriks varian kovarian dengan ukuran sesuai jumlah karakteristik kualitasnya, dimana elemen diagonal utama adalah varian dan elemen yang lainnya adalah kovarian. Peta kendali *generalized variance* ($|S|$) dimana determinan dari sampel kovarian matriks secara luas digunakan untuk mengukur penyebaran multivariat, sehingga dalam menaksir mean dan varian dari $|S|$ adalah sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma| \quad (2.7)$$

$$Var(|S|) = b_2 |\Sigma|^2 \quad (2.8)$$

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (2.9)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[\prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right] \quad (2.10)$$

$$W_k = -pn + pn \ln(n) - n \ln \left(\frac{|A_k|}{b_1} \right) + tr \left(\left(\frac{|S|}{b_1} \right)^{-1} A_k \right) \quad (2.11)$$

Dimana $A_k = (n-1)S_k$, yang mana S_k adalah matrik kovarian subgrup ke- k dan tr merupakan jumlah elemen diagonal utama. Berikut batas kendali pada peta kendali *Generalized Variance*.

$$\begin{aligned}
 BKA &= \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} (b_1 + \sqrt{3b_2}) \\
 GT &= |\mathbf{S}| \\
 BKB &= \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} (b_1 - \sqrt{3b_2})
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

2.4 Peta Kendali T^2 Hotelling

Peta Kendali T^2 Hotelling adalah alat yang digunakan untuk mengetahui apakah suatu proses produksi telah terkendali secara statistik atau tidak. T^2 Hotelling digunakan pada proses produksi dengan dua atau lebih karakteristik kualitas yang saling berhubungan. Peta Kendali T^2 Hotelling mempunyai sampel subgrup berukuran m , dengan anggota tiap-tiap sampel adalah n dan jumlah karakteristik kualitas yang diamati pada tiap-tiap sampel adalah p . Struktur data peta kendali T^2 Hotelling dapat dilihat pada Tabel 2.1. Nilai untuk peta kendali T^2 Hotelling ditunjukkan pada persamaan 2.13, sedangkan untuk batas kendalinya ditunjukkan pada persamaan 2.14.

$$T^2 = n(\bar{\mathbf{x}} - \bar{\bar{\mathbf{x}}})' \mathbf{S}^{-1} (\bar{\mathbf{x}} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}) \tag{2.13}$$

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{\alpha, p, mn - m - p + 1}$$

$$GT = \text{Median} \tag{2.14}$$

$$BKB = 0$$

Dimana: p = jumlah karakteristik kualitas
 m = jumlah subgrup
 n = jumlah sampel tiap subgrup
 i = ukuran subgrup, dimana $i = 1, 2, \dots, n$
 j = karakteristik kualitas, dimana $j = 1, 2, \dots, p$
 k = jumlah subgrup, dimana $k = 1, 2, \dots, m$

Untuk memperoleh matriks \mathbf{S} dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan-persamaan 2.15 sampai 2.18 berikut.

$$\bar{x}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad (2.15)$$

$$s_{jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})^2 \quad (2.16)$$

Dimana j tidak sama dengan l . Nilai x_{ijk} adalah sampel ke- i pada karakteristik kualitas ke- j dan subgroup ke- k . Sedangkan kovarians diantara karakteristik kualitas ke- j dan karakteristik ke- h pada subgroup ke- k adalah sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$s_{jlk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})(x_{ilk} - \bar{x}_{lk}) \quad (2.17)$$

Nilai \mathbf{S} (matriks kovarians) dapat dicari dengan rumus sebagai berikut.

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \bar{s}_1^2 & \bar{s}_{12} & \cdots & \bar{s}_{1p} \\ & \bar{s}_2^2 & \cdots & \bar{s}_{2p} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & \bar{s}_p^2 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Tabel 2.1 Struktur data T^2 Hotelling

Subgrup (k)	Sampel Setiap Subgrup (i)	Karakteristik Kualitas				
		X_1	...	X_j	...	X_p
1	1	X_{111}	...	X_{1j1}	...	X_{1p1}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	i	X_{i11}	...	X_{ij1}	...	X_{ip1}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	n	X_{n11}	...	X_{nj1}	...	X_{np1}
	\bar{x}	$\bar{x}_{.11}$	...	$\bar{x}_{.j1}$	...	$\bar{x}_{.p1}$
	s^2	$S^2_{.11}$	...	$S^2_{.j1}$	...	$S^2_{.p1}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	
k	1	X_{11k}	...	X_{1jk}	...	X_{1pk}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	i	X_{i1k}	...	X_{ijk}	...	X_{ipk}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	n	X_{n1k}	...	X_{njk}	...	X_{npk}
	\bar{x}	$\bar{x}_{.1k}$	...	$\bar{x}_{.jk}$	...	$\bar{x}_{.pk}$
	s^2	$S^2_{.1k}$	...	$S^2_{.jk}$	...	$S^2_{.pk}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	
m	1	X_{11m}	...	X_{1jm}	...	X_{1pm}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	i	X_{i1m}	...	X_{ijm}	...	X_{ipm}
	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
	n	X_{n1m}	...	X_{njm}	...	X_{npm}
	\bar{x}	$\bar{x}_{.1m}$	...	$\bar{x}_{.jm}$	...	$\bar{x}_{.pm}$
	s^2	$S^2_{.1m}$	...	$S^2_{.jm}$	...	$S^2_{.pm}$
Rata-rata keseluruhan tiap variabel		$\bar{x}_{.1.}$	...	$\bar{x}_{.j.}$	...	$\bar{x}_{.p.}$
Rata-rata varians tiap variabel		$S^2_{.1.}$	...	$S^2_{.j.}$	...	$S^2_{.p.}$

2.5 Identifikasi Variabel Penyebab Tidak Terkendalinya Mean Proses

Identifikasi yang dilakukan untuk mengetahui penyebab tidak

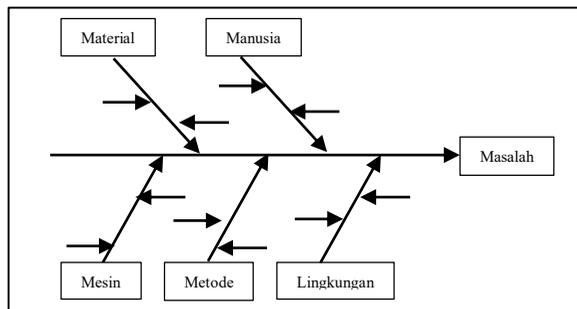
terkendalnya *mean* proses yaitu dengan menguraikan nilai T^2 menjadi komponen-komponen yang turut berkontribusi dari setiap variabel. Rumus yang digunakan untuk mengetahui variabel penyebab terjadinya sinyal tidak terkendali dituliskan pada persamaan 2.19 (Montgomery, 2009)

$$a_j = T^2 - T_{(j)}^2 \quad (2.19)$$

Dimana T^2 adalah nilai semua variabel proses dan $T_{(j)}^2$ adalah nilai statistik dari semua variabel kecuali variabel ke- i . Nilai a_j adalah indikator kontribusi relatif dari variabel ke- i untuk sekuruh statistik, j adalah $1, 2, \dots, p$. Ketika sinyal tidak terkendali maka disarankan menghitung nilai dari a_j dan lebih fokus pada nilai a_j yang lebih besar dari $\chi_{\alpha, 1}^2$, maka variabel yang memiliki nilai a_j tersebut yang menjadi penyebab tidak terkendali.

2.6 Diagram Ishikawa

Diagram Ishikawa ditemukan oleh orang Jepang yang bernama Ishikawa. Diagram ini disebut juga diagram tulang ikan dan diagram sebab akibat. Disebut diagram sebab akibat karena diagram ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menjadi penyebab dari suatu permasalahan (Montgomery, 2009). Terjadinya masalah pada proses produksi umumnya disebabkan oleh 4M + 1L yaitu Manusia, Material, Metode, Mesin dan Lingkungan.



Gambar 2.1 Contoh Diagram Ishikawa

2.7 Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses adalah teknik yang mempunyai penerapan dalam banyak bagian dari putaran produk, termasuk rancangan produk dan proses. Suatu proses dikatakan kapabel jika, proses terkendali secara statistik, memenuhi batas spesifikasi serta tingkat presisi dan akurasi yang tinggi ($C_p > 1$). Terdapat dua jenis analisis kapabilitas proses yaitu kapabilitas proses pada data satu variabel dan lebih dari satu variabel. Analisis kapabilitas proses dapat dilakukan jika peta kendali dan asumsi telah terpenuhi (Kotz & Johnson, 1993).

$$C_p = \frac{K}{\chi^2_{p, 0.9973}} \left[\frac{(m-1)p}{B} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

Dimana: m = jumlah pengamatan pada diagram kontrol yang sudah terkendali

p = jumlah karakteristik kualitas

$\chi^2_{p, 0.9973}$ = batas produk yang sebenarnya, dengan probabilitas tidak sesuai minimal 0.27%

Nilai B dan K dapat diperoleh sebagaimana persamaan 2.21 berikut.

$$B = \sum_{i=1}^m (X_j - \bar{X})^T A^{-1} (X_j - \bar{X})$$

$$K = \sqrt{(X_j - \xi)^T V_0^{-1} (X_j - \xi)} \quad (2.21)$$

Dimana A^{-1} adalah invers dari matriks $(X_j^T - X_j)$, dan V_0^{-1} adalah invers matriks varian kovarian. Nilai ξ diperoleh seperti pada persamaan 2.22 berikut.

$$\xi = \frac{1}{2} (BSA + BSB) \quad (2.22)$$

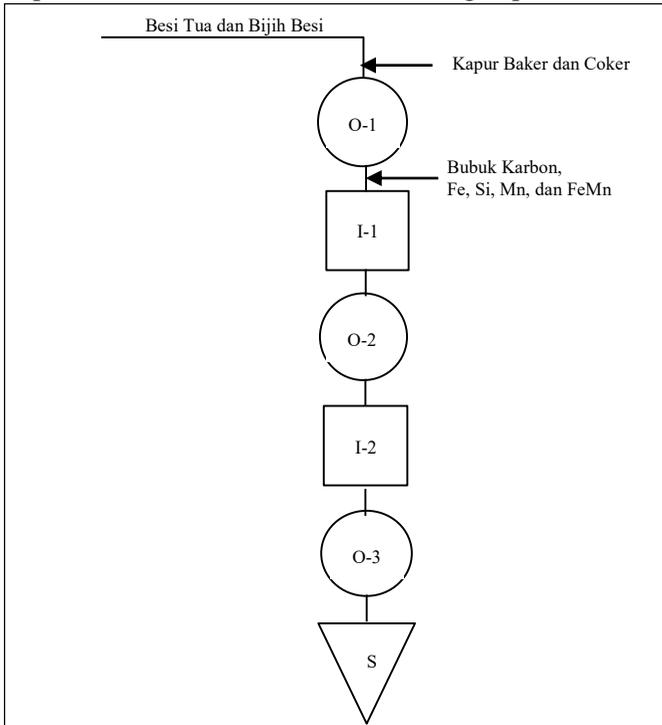
Adapun ketentuan interpretasi dari indeks kapabilitas proses adalah sebagai berikut.

- a. Jika $C_p = 1$ dikatakan proses dalam keadaan cukup baik

- b. Jika $C_p > 1$ maka dikatakan proses dalam keadaan baik
- c. Jika $C_p < 1$ maka sebaran data pengamatan berada diluar batas spesifikasi.

2.8 Proses Produksi Pembuatan Billet di PT. X

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri logam dan menghasilkan baja batangan atau billet. Alur proses produksi billet telah dibuat dalam bagan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Peta Proses Operasi Produksi Billet

Keterangan dari peta proses operasi produksi billet pada Gambar 2.3 dijelaskan Tabel 2.2

Tabel 2.2 Keterangan Peta Proses Operasi

Simbol	Keterangan
O-1	Proses peleburan
I-1	Inspeksi <i>chemical</i>
O-2	Percetakan billet
I-2	Inspeksi <i>test piece</i>
O-3	Pemotongan billet
S	Penyimpanan ke gudang

1. Proses peleburan

Bahan baku yang digunakan yaitu besi tua dan bijih besi, dilakukan pula penambahan bahan penunjang yaitu kapur baker dan coker. Semua bahan tersebut dicampur dan dikumpulkan pada suatu wadah bernama bucket. Setiap bucket berisikan komposisi bahan baku dan bahan penunjang yang telah sesuai dengan ketentuan. 2-3 bucket kemudian dimasukan kedalam *Electric Arc Furnace* (EAF) untuk dilakukan peleburan.

2. Inspeksi in-proses (*chemical*)

Leburan baja dalam EAF dilakukan lancung oksigen/penggemburan oksigen untuk melakukan injeksi bubuk karbon. Ditambahkan juga zat kimia seperti Fe, Si, Mn, dan FeMn untuk mengontrol kadar karbon. Saat suhu leburan baja mencapai suhu 1650-1670°C maka dilakukan pengambilan sampel. Sampel ini diinspeksi oleh laboratorium *chemical* untuk mengetahui kandungan pada leburan baja. Jika kandungan baja tidak sesuai maka dilakukan perlakuan khusus hingga kandungan bahan sesuai standart, akan tetapi kalau kandungan telah sesuai dengan standart maka dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya.

3. Percetakan billet

Leburan baja yang telah sesuai standart selanjutnya dituang pada bejana yang disebut ladle. Ladle yang telah berisi leburan baja diangkat menuju *Continous Caster Mechine* (CCM). Dilakukan percetakan leburan baja menjadi bentuk bujur

sangkar panjang oleh CCM. CCM memiliki dua saluran pencetak billet yang bekerja dalam waktu yang bersamaan.

4. Inspeksi produk jadi (*test piece*)

Dilakukan inspeksi pada billet untuk nementukan billet tersebut dapat disimpan dalam gudang atau tidak. Billet yang tidak lolos *test piece* maka akan dipotong dan dijadikan bahan baku pada proses selanjutnya. Inspeksi dilakukan pada sampel yang diambil secara acak pada masing masing saluran CCM. Karakteristik yang menentukan billet lolos inspeksi atau tidak yaitu *non metallic inclusion*, dan *grain size*.

5. Pemotongan Billet

Billet yang telah lolos *test piece* selanjtnya dipotong sesuai permintaan *customer* oleh mesin grinding.

6. Penyimpanan Gudang

Billet yang telah dipotong sesuai permintaan *customer* selanjutnya diberi label dan disimpan pada gudang barang jadi.

Gambaran hasil produk billet di PT. X dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.3 Billet

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari bagian *quality control* di tahap *test piece* pada proses produksi billet di PT. X. Data ini merupakan data bulan Januari, Februari, dan Maret 2016. Pengambilan data sampel dilakukan pada masing-masing *Electric Arc Furnace* (EAF) atau *charge*, dimana satu EAF memiliki kapasitas 20 ton leburan baja. Jumlah *charge* yang diperoleh pada bulan Januari, Februari, dan Maret 2016 adalah 30 *charge* dengan pengambilan tiga sampel disetiap *chargenya*. Jumlah subgroup yang terkumpul hanya 30 karena pengambilan sampel yang dilakukan perusahaan hanya pada bagian dan jumlah yang disesuaikan dengan hasil produk sebelumnya. Semakin banyak ketidaksesuaian pada produk billet, maka semakin banyak sampel yang akan diambil pada produk hasil di *charge* berikutnya. Struktur data pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.1.

3.2 Variabel Penelitian

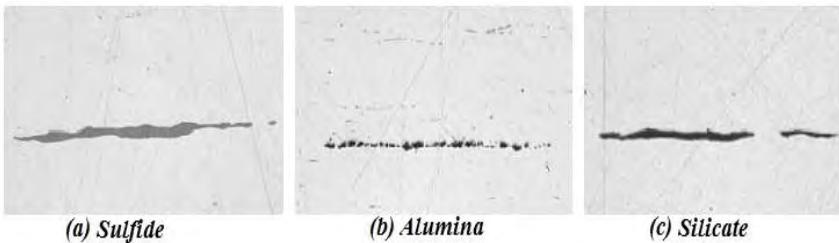
Variabel yang digunakan pada penelitian ini ada dua yaitu *non metallic inclusion* dan *grain size*. *Non Metallic Inclusion* (NMI) adalah variabel X_1 dan *grain size* adalah X_2 .

1. Non Metallic Inclusion (X_1)

Non Metallic Inclusion (NMI) adalah pemeriksaan untuk mengetahui kandungan non logam yang berada pada billet. Terdapat tiga jenis kandungan yang dihindari pada NMI yaitu kandungan *sulfide*, *alumina*, dan *silicate*. Batas spesifikasi NMI yaitu jumlah kandungan *sulfide*, *alumina*, dan *silicate* kurang dari 0,2% dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\%_{ABC} = \frac{n_{A,B,C}}{60 \times 400} \times 100 \%$$

Dimana $n_{A,B,C}$ adalah jumlah titik yang dilintasi *crack*. *Crack* disini berarti retakan yang disebabkan oleh adanya kandungan lain seperti *sulfide*, *alumina*, dan *silicate*. Berikut gambaran *crack* pada pengujian *non metallic inclusion*

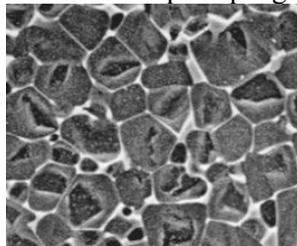


Gambar 3.1 *Non Metallic Inclusion*

2. *Grain Size* (X_2)

Grain Size adalah tes yang digunakan untuk mengukur besar dimensi atom yang ada pada billet. Semakin besar atom maka billet yang terbentuk akan semakin rentan patah, tetapi jika semakin kecil ukuran atom dalam billet maka semakin tidak elastis billet tersebut. Produk billet yang dihasilkan PT. X ini akan diproses oleh pabrik otomotif menjadi *spring*, sehingga elastisitas billet juga harus sesuai. Batas spesifikasi yang digunakan pada test *grain size* ini yaitu ukuran atom berada diantara $6\mu\text{m}$ sampai $10\mu\text{m}$.

Berikut gambaran ukuran atom pada pengujian *grain size*



Gambar 3.2 *Grain Size*

3.3 Struktur Data

Struktur data yang terbentuk pada data tahap *test piece* proses produksi billet di PT. X sesuai pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Struktur Data

Subgrup (charge)	Sampel Setiap Subgrup	Karakteristik Kualitas	
		X ₁	X ₂
1	1	X ₁₁₁	X ₁₂₁
	2	X ₂₁₁	X ₂₂₁
	3	X ₃₁₁	X ₃₂₁
2	1	X ₁₁₂	X ₁₂₂
	2	X ₂₁₂	X ₂₂₂
	3	X ₃₁₂	X ₃₂₂
3	1	X ₁₁₃	X ₁₂₃
	2	X ₂₁₃	X ₂₂₃
	3	X ₃₁₃	X ₃₂₃
⋮	⋮	⋮	⋮
30	1	X ₁₁₍₃₀₎	X ₁₂₍₃₀₎
	2	X ₂₁₍₃₀₎	X ₂₂₍₃₀₎
	3	X ₃₁₍₃₀₎	X ₃₂₍₃₀₎

3.4 Langkah Analisis

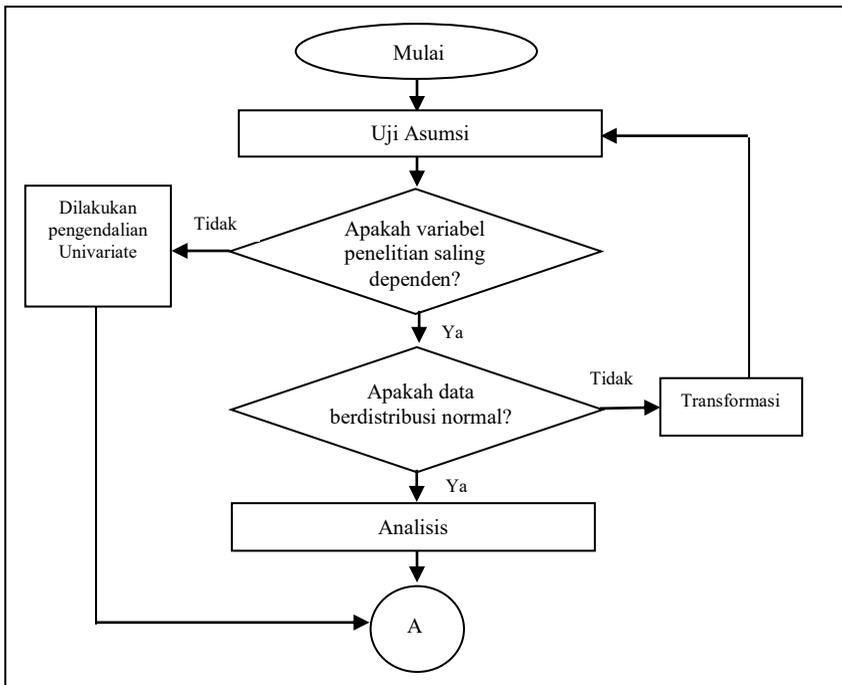
Langkah analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menguji dependensi untuk mengetahui apakah variabel yang digunakan saling berhubungan atau tidak.
2. Menguji berdistribusi normal multivariat untuk mengetahui apakah data proses produksi billet memenuhi asumsi berdistribusi normal multivariat atau tidak.
3. Menganalisis peta kendali *generalized variance* untuk mengontrol variabilitas proses produksi billet di PT. X. Jika terdapat hasil produksi yang berada diluar batas kendali secara statistik maka dilakukan identifikasi dengan diagram ishikawa. Jika faktor penyebab telah ditemukan maka data

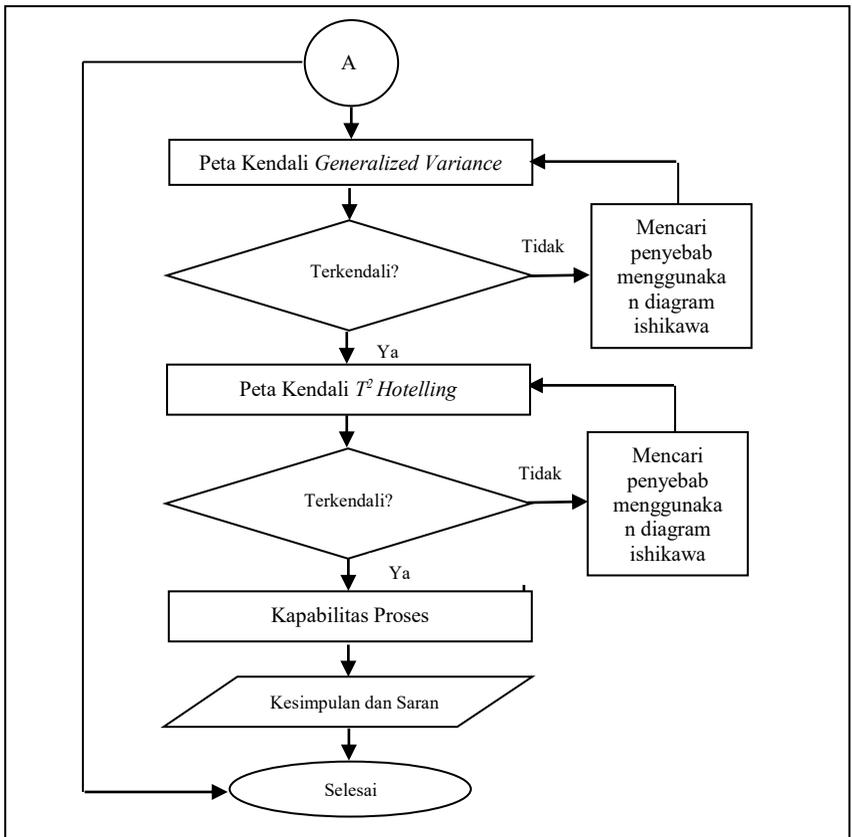
yang berada diluar batas kendali dihilangkan dan membuat batas baru hingga proses terkendali secara statistik.

4. Menganalisis peta kendali T^2 Hotelling untuk mengontrol mean proses. Jika proses tidak terkendali secara statistik maka dilakukan identifikasi dengan diagram ishikawa. Jika faktor penyebab telah ditemukan maka data yang berada diluar batas kendali dihilangkan dan membuat batas baru hingga proses terkendali secara statistik.
5. Menghitung kapabilitas proses untuk mengetahui apakah proses produksi billet pada PT. X telah memenuhi batas spesifikasi atau tidak.
6. Menginterpretasikan hasil analisis serta menarik kesimpulan dan saran.

Langkah-langkah analisis tersebut dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir



Gambar 3.4 Lanjutan Gambar 3.4

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas yang digunakan adalah *non metallic inclusion* dan *grain size*. Berikut deskripsi dari karakteristik kualitas *non metallic inclusion* dan *grain size* pada tahap inspeksi *test piece* periode bulan Januari, Februari, dan Maret 2016.

Tabel 4.1 Deskripsi Variabel

Variabel	Rata-rata	Varian	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Batas Spesifikasi
<i>Non Metallic Inclusion</i>	0,081	0,0002	0,058	0,108	(0-0,2‰)
<i>Grain Size</i>	8,265	0,103	7,300	9,050	(6-10 μ m)

Berdasarkan diskripsi variabel Tabel 4.1 diketahui bahwa rata-rata persentase *non metallic inclusion* adalah 0,081% dengan varian 0,0002 sedangkan rata-rata ukuran atom dalam billet adalah 8,265 μ m dengan varian 0,103. Kedua variabel berada pada batas spesifikasi yang telah ditentukan.

4.2 Pemeriksaan Asumsi

Pemeriksaan asumsi yang digunakan adalah uji dependensi dan pemeriksaan distribusi normal multivariat. Pengujian asumsi ini harus terpenuhi untuk melanjutkan analisis peta kendali multivariat. Berikut hasil analisis pengujian asumsi dependensi dan distribusi normal multivariat.

4.2.1 Uji Dependensi

Uji dependensi adalah uji yang dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antar variabel *non metallic inclusion* dan *grain size*. Pengujian ini menggunakan metode barlett's dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Variabel *non metallic inclusion* dan *grain size* tidak saling berhubungan)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Variabel *non metallic inclusion* dan *grain size* saling berhubungan)

Digunakan statistik uji χ^2 untuk mengetahui apakah pengujian dependensi tolak H_0 atau tidak. Nilai χ^2_{hitung} yang diperoleh berdasarkan Persamaan 2.1 adalah sebesar 1,432 sebagaimana ditunjukkan pada Lampiran 4. Nilai χ^2_{tabel} yang diperoleh dengan $\alpha = 5\%$ serta derajat bebas 1 adalah 3,841. Nilai χ^2_{hitung} lebih besar dari χ^2_{tabel} sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 gagal ditolak yang berarti tidak terdapat hubungan antara variabel *non metallic inclusion* dan *grain size*. Secara statistik kedua variabel tersebut tidak saling berhubungan, hal tersebut dapat terjadi karena sampel yang digunakan untuk *non metallic inclusion* tidak digunakan kembali untuk pengujian *grain size*, akan tetapi secara konsep terdapat hubungan antara kedua variabel tersebut. Saat ukuran atom dalam billet mendekati $8\mu\text{m}$ maka persentase *non metallic inclusion* akan semakin kecil. Berdasarkan hal tersebut, pengendalian kualitas secara multivariat akan dilanjutkan walaupun secara statistika tidak ada hubungan antara kedua karakteristik kualitas yang digunakan.

4.2.1 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan distribusi normal multivariat merupakan salah satu asumsi yang harus dipenuhi untuk melanjutkan analisis peta kendali multivariat. Sesuai dengan Persamaan 2.4 diperoleh hasil analisis menggunakan software minitab sebagaimana tertera pada lampiran 5 yaitu t sebesar 48,9% yang berarti mendekati 50% jarak $d_i^2 \leq \chi^2_{(2;0,05)}$ berdasarkan nilai t tersebut dapat disimpulkan bahwa data proses produksi billet di PT. X telah mengikuti distribusi normal multivariat.

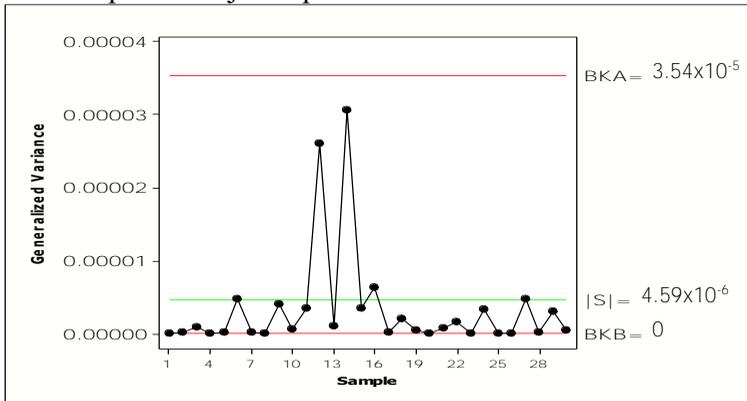
4.3 Analisis Pengendalian Proses Produksi Billet di PT. X

Pemeriksaan asumsi telah dilakukan dengan hasil antar variabel saling berhubungan dan data yang digunakan telah mengikuti distribusi normal multivariat. Pemeriksaan asumsi telah terpenuhi sehingga dapat dilakukan analisis selanjutnya

dengan pengendalian proses varian dan mean. Analisis yang digunakan untuk mengontrol varian adalah *generalized variance* dan analisis untuk mengontrol mean adalah T^2 *hotelling*.

4.3.1 Peta Kendali *Generalized Variance*

Analisis pengendalian kualitas proses varians dilakukan dengan peta kendali *generalized variance*. Peta kendali *generalized variance* ini digunakan untuk mengetahui apakah proses produksi billet pada tahap *test piece* memiliki varians yang terkendali atau tidak. Sebagaimana Persamaan 2.11 dan 2.12 dapat diketahui hasil analisis *generalized variance* dan batas kendali seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.

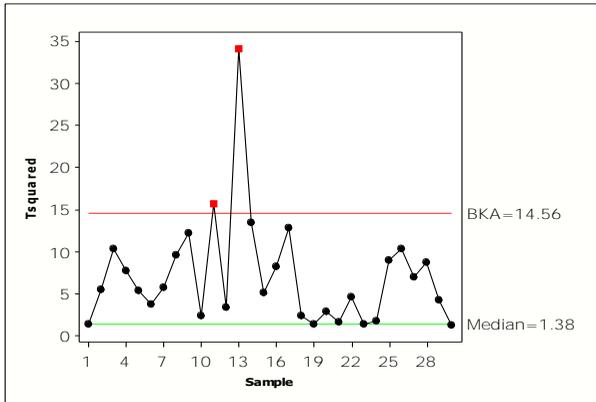


Gambar 4.1 *Generalized Variance*

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa semua plot berada diantara batas kendali atas dan batas kendali bawah yang berarti varians data telah terkendali secara statistik. Varians data telah terkendali maka dapat melanjutkan pada analisis selanjutnya yaitu peta kendali T^2 *hotelling* untuk mengendalikan mean dari data proses produksi billet tahap *test piece* di PT. X.

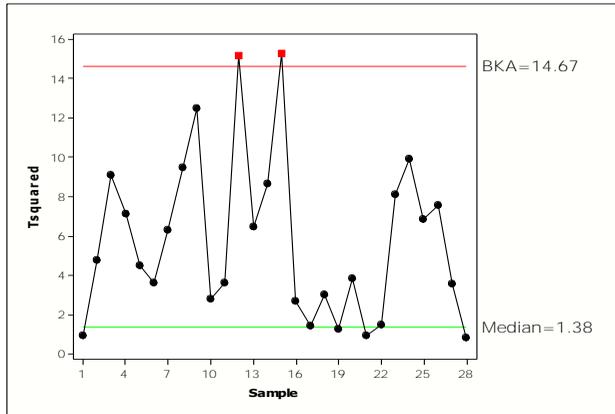
4.3.2 Peta Kendali T^2 *hotelling*

Peta kendali T^2 *hotelling* merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengontrol proses mean. Pengendalian menggunakan peta kendali T^2 *hotelling* dilakukan berdasarkan pada Persamaan 2.13 dan batas kendali berdasarkan Persamaan 2.14 memperoleh hasil pada Gambar 4.2.



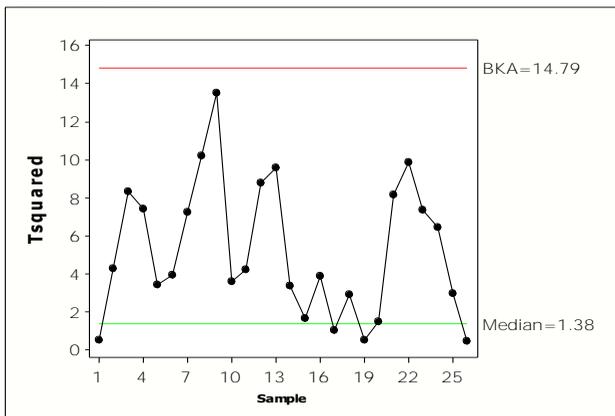
Gambar 4.2 Peta Kendali T^2 hotelling

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa terdapat dua sampel data yang keluar dari batas kendali yaitu pada pengamatan ke-11 dan 13. Adanya sampel pengamatan yang keluar dari batas kendali menunjukkan bahwa proses produksi billet di PT. X belum terkendali secara statistik. Proses produksi billet yang tidak terkendali secara statistik ini membutuhkan analisis lanjutan untuk mencari penyebab-penyebanya. Penyebab tidak terkendalinya proses produksi billet pada pengamatan pertama ini disebabkan oleh beberapa faktor sebagaimana pada Gambar 4.5. Setelah diketahui penyebabnya maka dapat dilakukan perbaikan batas kendali dengan cara menghilangkan data yang tidak terkendali. Setelah menghilangkan data yang tidak terkendali kemudian membuat batas kendali yang baru seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Peta Kendali T^2 hotelling iterasi 1

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa masih terdapat pengamatan yang *out of control* pada pengamatan ke 12 dan 15 berada di atas batas kendali atas maka dapat dikatakan bahwa proses produksi billet belum terkendali. Langkah selanjutnya adalah mencari penyebab tidak terkendalinya pengamatan sebagaimana pada Gambar 4.5. Setelah diketahui penyebabnya maka akan dibuat batas kendali baru dengan hasil seperti Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Peta Kendali T^2 hotelling telah terkendali

Berdasarkan gambar 4.4 diketahui bahwa mean proses produksi billet tahap *test piece* di PT. X telah terkendali secara statistik. Proses produksi billet terkendali setelah mengalami perbaikan batas kendali dua kali.

4.4 Identifikasi Penyebab Tidak Terkendalinya Proses

Tidak terkendalinya proses dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang ada. Identifikasi faktor penyebab tersebut sangat dibutuhkan PT. X untuk bahan evaluasi sehingga dapat meningkatkan kualitas produk billet yang dihasilkan. Sebagaimana pada persamaan 2.19, variabel penyebab tidak terkendalinya proses dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Identifikasi Penyebab Tidak Terkendalinya Proses

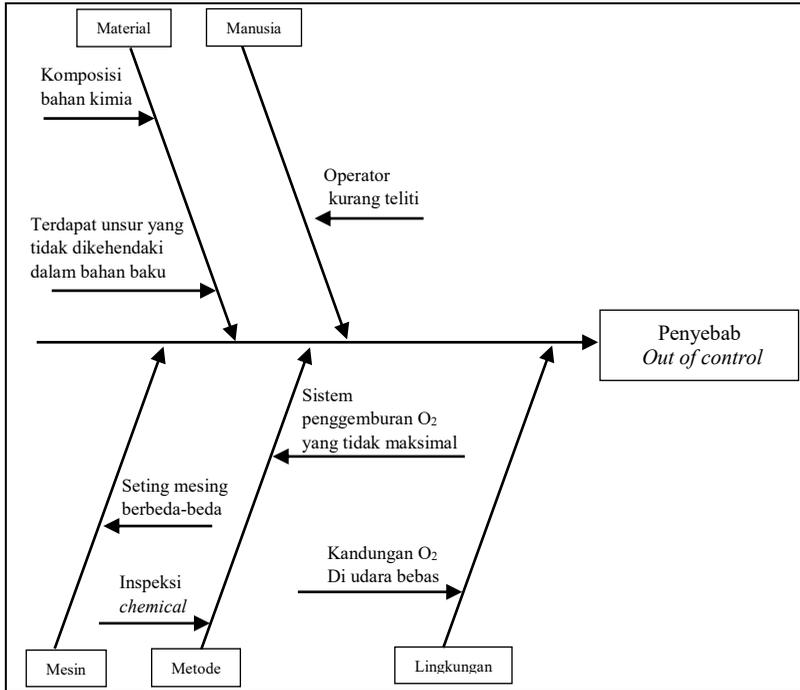
Subgrup	<i>Non Metallic Inclusion</i>	<i>Grain Size</i>	$\chi^2_{(0.05,1)}$
11	12,630	1.787	3,841
13	0,627	34.093	

Tabel 4.2 menunjukkan nilai χ^2 dari masing-masing variabel. Pada subgrup ke-11 diketahui nilai χ^2 untuk variabel *non metallic inclusion* adalah 12,630 sedangkan untuk variabel *grain size* adalah 1,787. Hal tersebut berarti bahwa pada subgrup ke-11 variabel yang menyebabkan tidak terkendalinya proses adalah variabel *non metallic inclusion*, sedangkan pada subgrup ke-13 nilai χ^2 variabel *non metallic inclusion* adalah 0,627 sedangkan untuk variabel *grain size* adalah 34,093 yang berarti bahwa variabel yang menyebabkan tidak terkendali di subgrup ke-13 adalah variabel *grain size*. Dari hasil identifikasi ini masih diperlukan identifikasi lebih lanjut yaitu dengan diagram ishikawa, diagram ishikawa akan digambarkan pada Gambar 4.5.

4.5 Diagram Ishikawa

Diagram ishikawa adalah diagram yang bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mungkin terjadinya *out of control*. Gambar 4.5 merupakan digram ishikawa diagram ishikawa

penyebab adanya pengamatan *out of control* pada proses produksi billet



Gambar 4.5 Diagram Ishikawa

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui penyebab adanya pengamatan yang keluar batas kendali. Terdapat beberapa unsur yang tidak dikehendaki pada bahan baku pembuatan billet, hal tersebut dapat terjadi karena bahan baku yang digunakan kotor. Unsur kimia yang dicampurkan pada cairan baja juga dapat mempengaruhi kandungan leburan baja. Metode yang digunakan, yaitu pada sistem pengemburan O_2 jika masih terdapat O_2 pada cairan maka akan terbentuk unsur yang tidak dikehendaki dalam proses. Begitu pula pada O_2 yang berada pada udara bebas juga dapat mempengaruhi kualitas billet yang dihasilkan. Pengukuran pada *chemical test* juga harus dilakukan dengan benar karena dapat mempengaruhi kandungan kimia dalam cairan baja.

Manusia juga berpengaruh dalam hal ketelitian dalam proses peleburan baja serta pada mengoperasikan mesin, yang dapat membuat setingan mesin berbeda-beda.

4.6 Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas dilakukan untuk mengetahui apakah hasil proses produksi billet di PT. X telah kapabel atau tidak. Proses dapat dikatakan kapabel apabila indeks kapabilitas prosesnya lebih dari 1. Indeks kapabilitas proses dapat menunjukkan kemampuan proses dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi. Berdasarkan Persamaan 2.20 dan perhitungan dengan macro minitab di Lampiran 3 dapat diketahui indeks kapabilitas proses. Didapatkan hasil analisis kapabilitas proses secara multivariat C_p sebesar 2,515 berarti bahwa hasil proses produksi billet di PT. X pada periode bulan Januari, Februari, dan Maret 2016 telah kapabel dengan syarat semua proses produksi telah terkendali dan tidak ada satupun pengamatan yang *out of control*.

LAMPIRAN 1. Data proses produksi billet pada tahap *test piece* di PT. X periode bulan Januari, Februari, dan Maret 2016.

Subgrup (Charge)	Non Metalic Inclusion	Grain Size
	X1	X2
1	0.075	8.30
	0.071	8.25
	0.083	8.45
2	0.067	8.10
	0.075	8.25
	0.067	8.25
3	0.058	8.10
	0.075	8.15
	0.063	8.30
4	0.071	7.95
	0.071	8.05
	0.063	8.25
5	0.088	8.25
	0.063	8.50
	0.063	8.45
6	0.079	8.60
	0.104	8.60
	0.079	8.30
7	0.096	7.80
	0.092	8.35
	0.092	8.70

Subgrup (Charge)	Non Metalic Inclusion	Grain Size
	X1	X2
8	0.088	8.65
	0.088	8.85
	0.083	8.60
9	0.092	8.30
	0.104	8.10
	0.100	8.75
10	0.088	8.10
	0.083	8.15
	0.096	8.55
11	0.100	9.05
	0.104	8.15
	0.096	8.35
12	0.088	7.85
	0.079	8.45
	0.104	8.75
13	0.088	7.30
	0.075	7.40
	0.083	7.60
14	0.092	7.35
	0.108	8.35
	0.088	8.30

Subgrup (Charge)	Non Metallic Inclusion	Grain Size
	X1	X2
15	0.092	8.35
	0.092	7.85
	0.079	7.85
16	0.079	8.10
	0.104	8.30
	0.104	8.65
17	0.088	8.00
	0.088	7.60
	0.092	7.90
18	0.079	8.25
	0.096	8.50
	0.092	8.15
19	0.092	8.50
	0.083	8.45
	0.083	8.20
20	0.067	7.95
	0.083	8.20
	0.075	8.10
21	0.083	8.30
	0.071	8.35
	0.071	8.10
22	0.067	8.15
	0.063	8.35
	0.083	8.45

Subgrup (Charge)	Non Metallic Inclusion	Grain Size
	X1	X2
23	0.071	8.35
	0.075	8.30
	0.083	8.35
24	0.088	8.00
	0.079	8.30
	0.058	8.30
25	0.071	8.15
	0.063	8.10
	0.067	8.05
26	0.071	8.70
	0.079	8.75
	0.083	8.65
27	0.096	8.15
	0.088	8.90
	0.079	8.80
28	0.079	8.35
	0.063	8.20
	0.058	8.25
29	0.071	8.00
	0.063	8.40
	0.079	8.35
30	0.083	8.30
	0.067	8.45
	0.079	8.20

LAMPIRAN 2. Macro minitab pemeriksaan asumsi distribusi normal multivariat.

```

macro
qq x.1-x.p
mconstant i n p t chis
mcolumn d x.1-x.p dd pi q ss tt
mmatrix s sinv ma mb mc md
let n=count(x.1)
cova x.1-x.p s
invert s sinv
do i=1:p
  let x.i=x.i-mean(x.i)
enddo
do i=1:n
  copy x.1-x.p ma;
  use i.
  transpose ma mb
  multiply ma sinv mc
  multiply mc mb md
  copy md tt
  let t=tt(1)
  let d(i)=t
enddo
set pi
  1:n
end
let pi=(pi-0.5)/n
sort d dd
invcdf pi q;
chis p.
plot q*dd
invcdf 0.5 chis;
chis p.
let ss=dd<chis
let t=sum(ss)/n

```

```

print t
if t>0.5
endif
if t<=0.5
endif
endmacro

```

LAMPIRAN 3. Macro minitab kapabilitas proses

```

macro
cova x.1-x.p
mconstant n i t1 t2 t3 t4 t5 t6 t7 c.1-c.p k2 k chi cp sbaru
mcolumn x.1-x.p b.1-b.p vek.1-vek.72 cm1 sbr
mmatrix am1 am2 am3 ainv am5 am6 mm mtt mvek mvekt s cm2
cm3 cm4 vo voin
noecho
let n=count(x.1)
define 0 1 1 s
print s
do i=1:p
let b.i=x.i-mean(x.i)
enddo
copy x.1-x.p am1
cova x.1-x.p vo
print vo
inve vo voin
print voin
trans am1 am2
mult am2 am1 am3
inve am3 ainv
print ainv
copy b.1-b.p mm
trans mm mtt
copy mtt vek.1-vek.72
do i=1:n
copy vek.i mvek

```

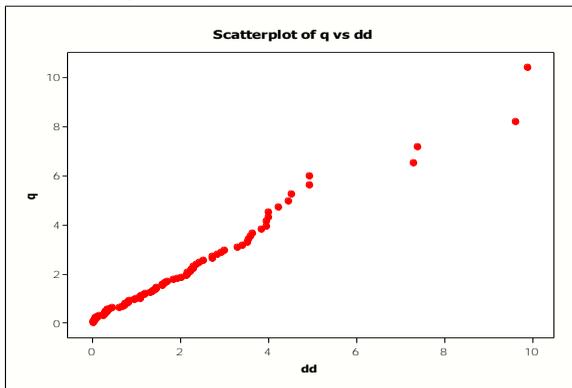
```
trans mvek mvekt
mult mvekt ainv am5
mult am5 mvek am6
add s am6 s
print i s
enddo
print s
copy s sbr
print sbr
copy sbr sbaru
print sbaru
let t1=0.1
let t2=8
let c.1=mean(x.1)-t1
let c.2=mean(x.2)-t2
print c.1-c.2
copy c.1-c.2 cm1
print cm1
trans cm1 cm2
trans cm2 cm3
print cm2
print cm3
mult cm2 voin cm4
print cm4
mult cm4 cm3 k2
print k2
let k=sqrt(k2)
print k
invcdf 0.9973 chi;
chis p.
print chi
let cp=(k/chi)*sqrt((n-1)*p/sbaru)
print cp
endmacro
```

LAMPIRAN 4. *Output* pengujian asumsi dependensi

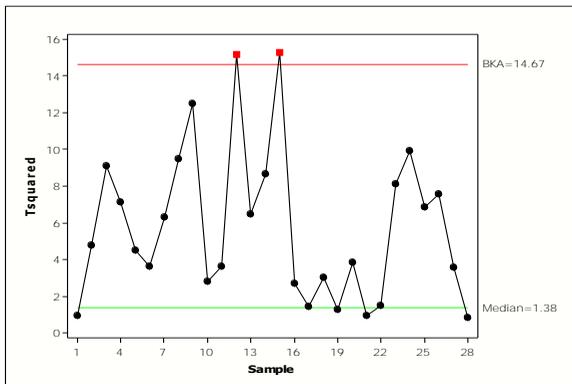
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1.432
	Df	1
	Sig.	.231

LAMPIRAN 5. *Output* pemeriksaan asumsi distribusi normal multivariat

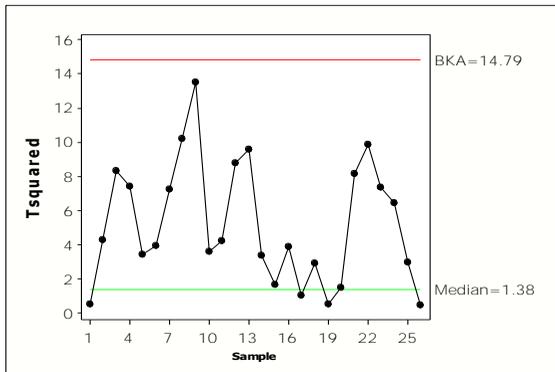
t 0.488889



LAMPIRAN 6. *Output* T^2 Hotelling Perbaikan Batas Kendali Pertama



Perbaikan Batas Kendali Kedua



LAMPIRAN 7. Identifikasi penyebab *out of control*

	Point	Variable	P-Value
Greater Than UCL	11	x1	0.0006
	13	x2	0.0000

LAMPIRAN 8. *Output* kapabilitas proses

K	χ^2	Cp
2,399	11,829	2,515

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Proses produksi billet di PT. X periode bulan Januari, Februari, dan Maret 2016 telah terkendali setelah dilakukan dua kali perbaikan batas kendali.
2. Hasil proses produksi billet di PT. X periode Januari, Februari, dan Maret 2016 telah kapabel yang berarti kemampuan proses dalam menghasilkan produk billet telah sesuai spesifikasi, dengan syarat semua proses produksi telah terkendali dan tidak ada satupun pengamatan yang *out of control*.

5.2 Saran

Masukan yang dapat diberikan kepada perusahaan adalah pengambilan sampel yang dilakukan sebaiknya ditentukan berdasarkan perhitungan pengambilan sampel, sehingga hasil sampel yang diperoleh konstan setiap *chargenya*.

DAFTAR PUSTAKA

- Johnson, R., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall: New Jersey
- Kotz, S., & Johnson, L. (1993). *Process Capability Indices*. London: University of North Carolina, Chapman & Hall.
- Montgomery, D.C. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (2005). *Multivariate Statistical Methods*, Fourth Edition. The Wharton School University of Pennsylvania.
- Sutanto, E., & Riandari, D. (2014). *Analisis Kualitas Billet dengan Metode Statistical Process Control (SPC) pada PT. Hanil jaya Steel*. Surabaya: Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- Walpole, Ronald. E. (1995). *Pengantar Statistika Edisi-3*. Diterjemahkan oleh: Ir. Bambang Sumantri. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rakhmah Wahyu Mayasari, lahir di Tulungagung, 2 Mei 1995. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara. Jenjang pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis yaitu SD Negeri 1 Karangrejo (2001-2007), SMP Negeri 1 Tulungagung (2007-2010), SMA Negeri 1 Kedungwaru (2010-2013), dan Diploma III Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2013-2016) melalui program jalur masuk reguler. Penulis aktif di UKM Paduan Suara Mahasiswa ITS. Bersama Paduan Suara Mahasiswa ITS penulis mengikuti lomba dalam dan luar negeri. Selain itu penulis pernah menjadi ketua divisi hubungan alumni di Paduan Suara Mahasiswa tahun kepengurusan 2014-2015 dan menjadi bendahara umum tahun kepengurusan 2015-2016. Penulis pernah diamanahi menjadi bendahara lomba luar negeri pada Juli 2015 dan menjadi ketua panitia reuni akbar 40th Paduan Suara Mahasiswa ITS pada November 2015.

Segala saran dan kritik yang membangun selalu penulis harapkan untuk kebaikan kedepannya. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail wahyumaya00700@gmail.com dan ID Line [wahyu_maya](#).