

Analisis Pengendalian Kualitas Statistika pada Proses Produksi Pipa Electric Resistance Welded (ERW) di PT. X

Adhi Mei Susanto dan Haryono

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: haryono@statistika.its.ac.id

Abstrak— Pengendalian kualitas dalam industri manufaktur sangat diperlukan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan mampu bersaing. PT. X yang memproduksi berbagai jenis pipa baja, salah satunya adalah pipa Electric Resistance Welded (ERW). Namun dalam prosesnya, bagian Quality Control belum menerapkan peta kendali statistika untuk pemecahan masalah melalui Statistical Process Control (SPC). Pengendalian kualitas yang dilakukan melibatkan tiga karakteristik kualitas pipa ERW yaitu diameter, panjang, dan berat pipa ERW. Pengendalian terhadap mean proses menggunakan Peta Kendali T2Hotelling, sedangkan untuk pengendalian variabilitasnya menggunakan Peta Kendali Generalized Variance. Penelitian ini membagi data menjadi dua tahap. Berdasarkan proses produksi pipa ERW dengan menggunakan peta kendali peta kendali T2Hotelling dan peta kendali Generalized Variance terdapat pengamatan yang out of control. Faktor Penyebabnya utama proses tidak terkendali antara lain faktor utama yaitu manusia karena kesalahan dalam pengukuran. Hasil indeks kapabilitas proses pipa ERW menunjukkan kapabilitas proses dari karakteristik kualitas produksi pipa ERW secara multivariat sudah kapabel dan variasi proses lebih kecil toleransi dari batas spesifikasi yang ditentukan. Nilai indeks kapabilitas Cpm tahap II lebih kecil daripada indeks kapabilitas tahap I.

Kata Kunci—Pengendalian Kualitas, Mean dan Variabilitas Proses, T2Hotelling, Generalized Variance, Electric Resistance Welded (ERW).

I. PENDAHULUAN

PERSAINGAN dunia industri saat ini semakin ketat, perusahaan-perusahaan berlomba untuk menciptakan produk yang baik. Hal ini dikarenakan tersedianya sumber daya yang dimiliki perusahaan baik sumber daya manusia maupun sumber daya yang lain ditambah pula perkembangan teknologi semakin canggih. Selain itu ada faktor eksternal yang mempengaruhi yaitu dari segi konsumen yang semakin selektif dalam memilih suatu produk. Untuk menghadapi persaingan tersebut berbagai cara dilakukan oleh perusahaan. Salah satu caranya adalah dengan melakukan jaminan kualitas dari produk tersebut[1].

PT. X merupakan perusahaan swasta dalam negeri yang memproduksi berbagai jenis pipa baja, salah satu contoh pipa yang diproduksi jenis pipa Electric Resistance Welded

(ERW). Electric Resistance Welded (ERW) merupakan pipa baja yang diproduksi dengan jumlah besar daripada jenis pipa baja yang lain karena permintaan produk pipa baja tersebut paling sering dipesan oleh pelanggan. Proses produksi Electric Resistance Welded (ERW) memerlukan pengendalian kualitas. Hasil pengujian tersebut biasanya disimpan di bank data yang digunakan sebagai informasi dan pengambilan keputusan perusahaan. Namun dalam prosesnya, bagian Quality Control belum menerapkan peta kendali statistik untuk pemecahan masalah melalui Statistical Process Control (SPC). Berdasarkan hal tersebut maka penerapan Statistical Process Control (SPC) dapat dilakukan dengan alat pengendali kualitas statistika. Proses pengendalian kualitas dengan menggunakan peta kendali variabel. Apabila karakteristik kualitas saling berhubungan maka menggunakan peta kendali T2Hotelling dan peta kendali Generalized Variance. Peta kendali T2Hotelling digunakan untuk melihat dan memonitoring vektor rata-rata dari proses agar tetap di dalam batas kendali, sementara untuk peta kendali Generalized Variance untuk melihat dan mengontrol variabilitas proses tersebut.

Penelitian tentang pengendalian kualitas dengan peta kendali T2Hotelling dan peta kendali Generalized Variance untuk bidang jasa dengan melakukan pengendalian kualitas layanan Bandara Juanda [2]. Penelitian yang lain dibidang manufaktur yaitu pada perbaikan kualitas logam cair menggunakan peta kendali multivariat[3].

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai kapabilitas proses dari proses produksi pipa Electric Resistance Welded (ERW) dan mengidentifikasi faktor penyebab proses tidak terkendali.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan alat yang digunakan untuk penyelesaian masalah dalam memonitor stabilitas proses dan meningkatkan kemampuan dari faktor penurunan[1]. Dalam pengendalian kualitas ini memiliki tujuh alat utama (*seven tools*) yang penting peranannya dalam bagian pengendalian kualitas yaitu Histogram, *Check Sheet*, Diagram Pareto, Diagram Ishikawa, *Defect concentration diagram/ flowchart*, *Scatter diagram*, dan Peta Kendali.

B. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif merupakan metode dalam statistika yang berkaitan dengan pendataan, pengumpulan, penyajian data dan penyimpulan hasil pengamatan terhadap seluruh kejadian secara kuantitatif yang dapat dideskripsikan dalam bentuk angka maupun visual dengan menggunakan metode statistika. Statistika deskriptif biasanya digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu situasi tertentu misalkan dengan menghitung nilai rata-rata, median, modus, standar deviasi, dan varians pada suatu objek pengamatan[4].

C. Asumsi Peta Kendali Multivariat

Ada beberapa asumsi pada peta kendali multivariat yang harus dipenuhi untuk melakukan pengujian selanjutnya diantaranya adalah data yang digunakan memenuhi asumsi distribusi normal multivariat dan dependensi antar karakteristik kualitas.

1) Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat merupakan suatu perluasan dari distribusi normal univariat dengan variabel-variabel yang biasanya dependen. *Probability density function* dari variabel X_1, X_2, \dots, X_p berdistribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ adalah sebagai berikut [5].

$$f(X_1, X_2, \dots, X_p) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{p/2}} e^{-\frac{1}{2}(X-\mu)\Sigma^{-1}(X-\mu)} \quad (1)$$

Jika X_1, X_2, \dots, X_p berdistribusi normal multivariat (μ, Σ) maka

$(X - \mu)\Sigma^{-1}(X - \mu)$ berdistribusi χ^2_p . Berdasarkan sifat ini maka pemeriksaan distribusi normal multivariat dapat dilakukan dengan cara membuat *q-q plot* dari nilai,

$$d_j^2 = (\bar{x}_j - x_{.j})' S^{-1} (\bar{x}_j - x_{.j}) \quad (2)$$

dimana d_j^2 merupakan nilai jarak kuadrat pengamatan ke- i . Berdasarkan kriteria tersebut, organisasi data sebagai berikut

X_{ij} = vektor pengamatan ke- i , dan variabel ke- j .

Data berdistribusi normal multivariat apabila titik-titik nilai d_j^2 pada grafik mengikuti garis linear dan proporsi dari nilai $d_j^2 \leq \chi^2_{\left(\frac{n-j+0.5}{n}\right)}$ sekitar 50%.

2) Uji Bartlett

Uji *Bartlett* merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel yang akan diteliti.

Variabel X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan bersifat saling bebas jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas[6]. Hipotesis uji *Bartlett* dengan sebagai berikut:

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

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

Statistik Uji :

$$\chi^2_{hitung} = - \left[n-1 - \frac{2p+5}{6} \right] \ln |R| \quad (3)$$

dimana n adalah jumlah observasi, p adalah jumlah variabel, R adalah matrik korelasi dari masing-masing variabel respon

dan $\chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$ adalah nilai distribusi *chi-square* dengan tingkat kepercayaan sebesar α dan derajat bebas sebesar $\frac{1}{2}p(p-1)$

D. Peta Kendali Variabel

Peta kendali variabel adalah diagram yang digunakan untuk mengendalikan suatu karakteristik kualitas yang dapat digunakan untuk mengukur *mean* dan variabilitas prosesnya. Sebagai contoh suatu karakteristik kualitas yang dapat diukur seperti dimensi, berat atau volume. Peta kendali variabel terdiri 2 dari jenis berdasarkan jumlah variabel yang digunakan yaitu peta kendali variabel univariat dan peta kendali variabel multivariat. Peta kendali univariat digunakan pada data dengan satu karakteristik kualitas sedangkan untuk dua atau lebih karakteristik kualitas maka menggunakan peta kendali multivariat [1].

E. Peta Kendali T^2 Hotelling

Peta kendali T^2 Hotelling merupakan suatu metode pengendalian kualitas proses atau produksi secara multivariat. Metode ini digunakan untuk mengendalikan rata-rata proses dengan 2 atau lebih karakteristik yang diduga saling berhubungan. Tabel berikut merupakan tabel struktur organisasi data yang sering digunakan pada pengamatan menggunakan peta kendali variabel multivariat[1]. Berikut ini merupakan persamaan untuk estimasi parameter rata-rata dan varians

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}, j = 1, 2, \dots, p \quad (4)$$

$$S_j = \frac{1}{2} \frac{V'V}{n-1} \quad (5)$$

$$\text{dimana } V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_2 - x_1)' \\ (x_3 - x_2)' \\ \vdots \\ (x_{i+1} - x_i)' \end{bmatrix} \quad (6)$$

dimana X_{ij} adalah data pengamatan pengamatan ke- i dari karakteristik kualitas ke- j . S_j adalah matriks kovarian *successive difference* sampel ke- i berukuran $p \times p$ dengan nilai varians yang terletak pada diagonal matriks, dan lainnya adalah nilai kovariannya dimana $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p$ seperti pada persamaan berikut.

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S^2_{.1} & S_{12} & S_{13} & \dots & S_{1p} \\ & S^2_{.2} & S_{23} & \dots & S_{2p} \\ & & S^2_{.3} & \dots & S_{3p} \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & S^2_{.p} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Setelah diketahui nilai dugaan parameter μ dan Σ maka dapat dihitung nilai T^2 Hotelling. Pada peta kendali T^2 Hotelling, matriks kovarian S digunakan untuk mengestimasi Σ dan vektor \bar{X}_p digunakan sebagai nilai vektor rata-

rata proses yang telah terkendali. Statistik uji pada peta kendali T^2 Hotelling sebagai berikut.

$$T^2 = n \left(\bar{X}_{ij.} - \bar{\bar{X}}_{.j.} \right)^T S^{-1} \left(\bar{X}_{ij.} - \bar{\bar{X}}_{.j.} \right) \quad (4)$$

Tahapan dalam melakukan pengendalian kualitas dengan peta kendali T^2 Hotelling ada dua. Tahap pertama biasa disebut *retrospective analysis* yaitu tahapan untuk mendapatkan pengamatan yang berada dalam batas kendali atau dapat dikatakan prosesnya terkendali, sehingga batas kendali dapat digunakan untuk tahap 2. Berikut ini merupakan batas kendali untuk peta kendali T^2 Hotelling.

$$BKA = \frac{p(n+1)(n-1)}{n^2 - np} F_{\alpha,p,n-p} \quad (5)$$

$$BKB = 0$$

Dimana, p merupakan banyaknya karakteristik kualitas, dan n merupakan banyaknya sampel, $F_{\alpha,p,n-p}$ adalah nilai yang diperoleh dari tabel F dengan α ditetapkan oleh peneliti, dan derajat bebas $p, n-p$.

F. Peta Kendali Generalized Variance

Peta kendali *generalized variance* ($|S|$) merupakan salah satu alat untuk pengendalian variabilitas proses dimana data pengamatan bersifat multivariat [1]. Variabilitas proses dinyatakan sebagai matriks kovarian Σ berukuran $p \times p$. Diagonal utama dari matriks ini adalah variasi dari variabel proses secara individual dan data selain diagonal utama adalah kovarians. Matriks kovarian Σ biasa ditaksir oleh matriks kovarian sampel S berdasarkan analisis sampel pendahuluan. Berikut adalah dugaan nilai ekspektasi (rata-rata) dan varians dari $|S|$,

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma| \quad (6)$$

$$Var(|S|) = b_2 |\Sigma|^2 \quad (7)$$

dimana

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (8)$$

dan

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[\prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right] \quad (9)$$

Sehingga batas kendali peta kendali untuk ($|S|$) sebagai berikut

$$BKA = \frac{|S|}{b_1} \left(b_1 + \sqrt{3b_2} \right) \quad (10)$$

$$\text{Garis Tengah} = GT = \bar{|S|} \quad (11)$$

$$BKB = \frac{|S|}{b_1} \left(b_1 - \sqrt{3b_2} \right) \quad (12)$$

G. Identifikasi Penyebab Out Of Control.

Dalam pengendalian proses baik secara univariat maupun multivariat terkadang mengalami proses yang tidak terkendali,

maka penyebab dari proses yang tidak terkendali tersebut perlu diidentifikasi terutama dengan mengidentifikasi variabel penyebab terjadinya proses tersebut tidak terkendali. Cara yang dilakukan untuk mengidentifikasi variabel penyebab proses yang tidak terkendali secara multivariat dengan menguraikan nilai T^2 pada peta kendali T^2 Hotelling ke dalam komponen dari kontribusi masing-masing variabel karakteristik kualitas. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung nilai indikator dari kontribusi variabel ke- j (d_j) pada keseluruhan statistik [8].

$$d_j = T^2 - T_j^2 ; \text{ dengan } j = 1, 2, \dots, p \quad (13)$$

Apabila nilai $d_j > \chi^2_{(\alpha,1)}$ maka variabel ke- j tersebut merupakan variabel penyebab proses yang *out of control* sehingga perlu diidentifikasi variabel tersebut *out of control*.

H. Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan suatu analisis statistika yang digunakan untuk mengukur kemampuan proses. Proses dikatakan mampu atau kapabel jika memenuhi presisi dan akurasi yang diketahui dari variasi dalam pengukuran. Analisis kapabilitas proses adalah bagian yang sangat penting dari keseluruhan program peningkatan kualitas. Indeks kapabilitas secara univariat dan multivariat dihitung dengan cara yang berbeda. Indeks kapabilitas proses untuk data multivariat sama seperti univariat yaitu bila proses telah terkendali dan asumsi data distribusi normal telah terpenuhi [1]. Indeks kapabilitas untuk data multivariat diantaranya adalah Cpm. Cpm merupakan rasio volume yaitu perbandingan antara volume daerah toleransi dengan volume daerah proses. Cpm dapat dicari dengan rumus sebagai berikut,

$$CpM = \frac{\left[\prod_{i=1}^v (USL_i - LSL_i) \right]^{1/v}}{\left[\prod_{i=1}^v (UPL_i - LPL_i) \right]} \quad (14)$$

dimana $\prod_{i=1}^v (USL_i - LSL_i)$ merupakan volume daerah toleransi,

dengan USL_i merupakan batas spesifikasi atas dan LSL_i merupakan batas spesifikasi bawah. Sedangkan

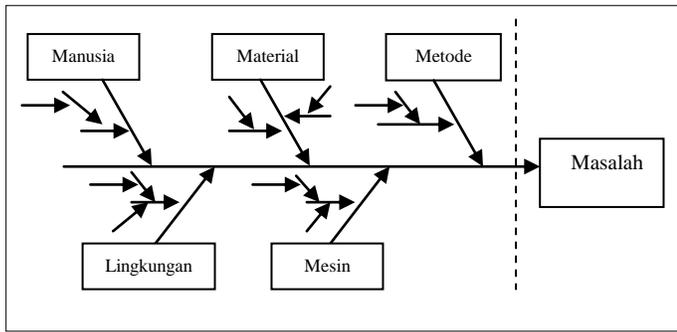
$\prod_{i=1}^v (UPL_i - LPL_i)$ merupakan volume daerah proses yang

diperoleh dari

$$UPL_i = \mu_i + \sqrt{\frac{\chi^2_{(v,\alpha)} \det(\Sigma_i^{-1})}{\det(\Sigma_i^{-1})}} \quad (15)$$

$$LPL_i = \mu_i - \sqrt{\frac{\chi^2_{(v,\alpha)} \det(\Sigma_i^{-1})}{\det(\Sigma_i^{-1})}} \quad (16)$$

dimana UPL_i , batas proses atas, dan LPL_i , batas proses bawah



Gambar 1. Diagram Tulang Ikan

dengan $i=1, 2, \dots, v$ dan $\det(\Sigma^{-1}_i)$ adalah determinan dari matriks yang diperoleh dari Σ^{-1} dengan menghapus baris dan kolom ke- i [7].

I. Diagram Tulang Ikan/Isikhawa

Diagram Tulang Ikan digunakan untuk mencari akar penyebab permasalahan, disusun oleh faktor-faktor penyebab permasalahan yang seperti rangkaian tulang ikan dengan masalah sebagai kepalanya. Untuk memudahkan mencari faktor-faktor penyebab, pada umumnya faktor-faktor tersebut dikelompokkan ke dalam 5 faktor utama, yaitu 5M+1E yaitu *material, man, metode, machine, measurement* dan *environment* [1]. Diagram Ishikawa dapat dilihat pada Gambar 1.

J. Proses Produksi Pipa Electric Resistance Welded (ERW)

Perusahaan manufaktur yang memproduksi berbagai macam pipa baja salah satunya adalah pipa *Electric Resistance Welded (ERW)*. Secara umum langkah-langkah produksi *Electric Resistance Welded Pipe (ERW)*

1. Persiapan bahan baku.
 2. Proses *coiling*/ penggulungan.
 3. Proses *air cooling*.
 4. Proses inspeksi.
- Proses *packaging*.

K. Formulir Copyright

Artikel yang siap untuk dipublikasikan harus dilengkapi dengan sebuah formulir *copyright*. Anda dapat mendapatkan formulir ini di <http://ejurnal.its.ac.id/>. Setiap penulis bertanggung jawab secara pribadi untuk mendapatkan *security clearances* apapun yang dibutuhkan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder dari Divisi *Quality Control* PT. X . Data tersebut merupakan data pengujian produk *Electric Resistance Welded Pipe (ERW)* dengan karakteristik kualitas diameter, panjang (*length*), dan berat (*weight*). Pengambilan sampel terbagi dalam 2 tahap, tahap pertama diambil pada periode Januari-Juni 2015 dan tahap kedua diambil pada periode bulan Juli-Desember 2015.

Tabel 2. Variabel karakteristik kualitas produk pipa ERW

Kode Variabel	Nama Variabel	Satuan	Spesifikasi
X ₁	Diameter	milimeter	88 ± 0,5 mm
X ₂	Panjang	meter	6 ± 0,05m
X ₃	Berat	kilogram	45 ± 1 kg

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan untuk penelitian ini merupakan karakteristik kualitas produk *Electric Resistance Welded Pipe (ERW)* yang diperoleh dari hasil uji coba. Variabel tersebut adalah diameter, panjang (*length*), dan berat (*weight*). Berikut ini merupakan penjelasan dari masing-masing variable (dapat dilihat pada Tabel 2).

1. Diameter merupakan garis tengah pipa yang diukur dari luar atau biasa disebut diameter luar.
2. *Length* (panjang) merupakan dimensi pengukuran panjang pipa yang diukur sesuai spesifikasi.
3. *Weight* (berat) merupakan dimensi pengukuran berat pipa yang diukur sesuai spesifikasi.

C. Langkah Penelitian

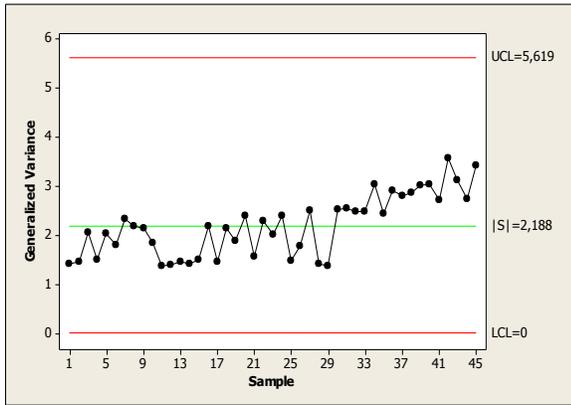
Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dalam tugas akhir adalah sebagai berikut.

1. Melakukan studi literatur
2. Merumuskan permasalahan.
3. Mendefinisikan variabel.
4. Melakukan pengambilan data.
5. Melakukan pengolahan data dan analisis data dengan rincian sebagai berikut.
 - a. Melakukan analisis secara deskriptif untuk mengetahui karakteristik variabel.
 - b. Melakukan analisis pengendalian kualitas dengan melakukan pengujian asumsi multivariat dan pengujian independensi antar variabel.
 - c. Melakukan analisis data menggunakan peta kendali *Generalized Variance* untuk melihat dan mengontrol variabilitas proses.
 - d. Membuat peta kendali *T²Hotelling* untuk melihat vektor rata-rata dari proses.
 - e. Mengidentifikasi penyebab data tidak terkendali menggunakan dekomposisi nilai *T²Hotelling*
 - f. Melakukan perhitungan dan analisis dari indeks kapabilitas proses.
 - g. Mengulang langkah analisis data dari a hingga f untuk data tahap 2.
 - h. Menarik kesimpulan dan memberikan rekomendasi dari hasil analisis yang telah dilakukan.

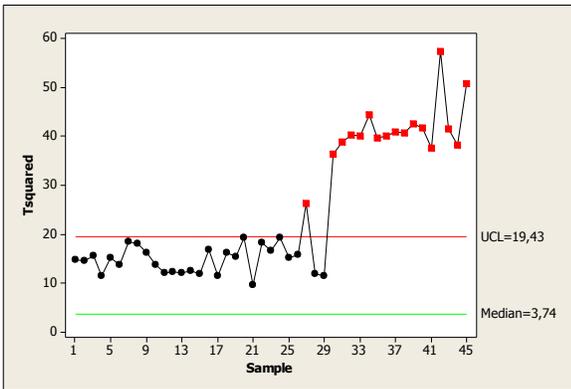
IV. ANALISIS PEMBAHASAN

A. Karakteristik Proses Produksi Pipa ERW Tahap I

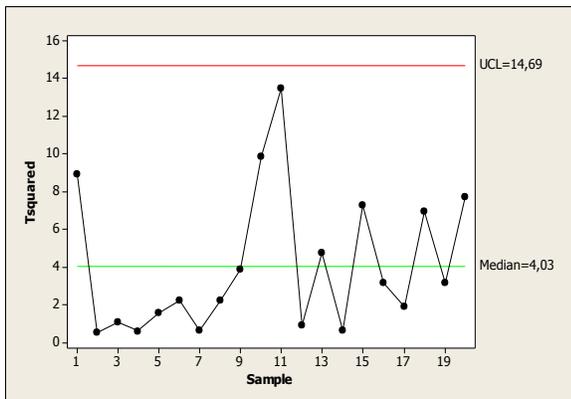
Analisis karakteristik secara umum dapat dilakukan dengan ringkasan statistika deskriptif untuk mencari rata-rata, standar deviasi, varians, nilai minimum dan nilai maksimum dari data



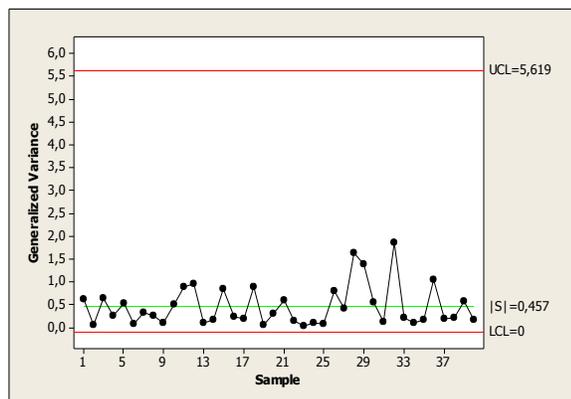
Gambar 2. Peta Kendali Generalized Variance



Gambar 3. Peta Kendali T2Hotelling Tahap I



Gambar 4. Peta Kendali T2 Hotelling Tahap I Revisi 6



Gambar 5. Peta Kendali Generalized Variance Tahap II proses produksi pipa ERW pada tahap I seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3.
Ringkasan Statistika Deskriptif Proses Produksi Pipa ERW Tahap I

Variabel	Mean	Varians	Nilai Min	Nilai Maks	Batas Spesifikasi
Diameter	88,26	0,0139	88,05	88,45	88± 0,5 mm
Panjang	6,0321	0,00001	6,0267	6,0417	6 ± 0,05m
Berat	45,631	0,0536	45,235	45,882	45 ± 1 kg

Tabel 4.
Identifikasi Penyebab Out of Control

Pengamatan ke-	T ² _i	Variabel	T ² _{ij}	d _j = T ² _i - T ² _{ij}
27	26,25	Diameter	14,06	12,19
		Panjang	19,17	7,08
		Berat	15,98	10,27
30	36,28	Diameter	19,57	16,71
		Panjang	32,06	4,22
		Berat	0,15	36,13
31	38,77	Diameter	27,68	11,09
		Panjang	36,58	2,19
		Berat	1,04	37,73
32	40,27	Diameter	30,08	10,19
		Panjang	39,16	1,11
		Berat	2,19	38,08
33	40,03	Diameter	29,53	10,5
		Panjang	38,94	1,09
		Berat	2,04	37,99
34	44,47	Diameter	38,77	5,7
		Panjang	38,64	5,83
		Berat	5,06	39,41
35	39,69	Diameter	20,37	19,32
		Panjang	39,69	0
		Berat	3,37	36,32
36	40,14	Diameter	24,69	15,45
		Panjang	26,57	13,57
		Berat	4,04	36,1
37	40,88	Diameter	32,64	8,24
		Panjang	36,28	4,6
		Berat	2,38	38,5
38	40,71	Diameter	32,23	8,48
		Panjang	34,67	6,04
		Berat	2,35	38,36
39	42,46	Diameter	26,22	16,24
		Panjang	24,94	17,52
		Berat	6,66	35,8

40	41,7	Diameter	27,44	14,26
		Panjang	25,67	16,03
		Berat	5,37	36,33
41	37,64	Diameter	23,64	14
		Panjang	30,1	7,54
		Berat	0,98	36,66
42	57,44	Diameter	39,56	17,88
		Panjang	19,85	37,59
		Berat	22,42	35,02
43	41,59	Diameter	30,74	10,85
		Panjang	27,87	13,72
		Berat	4,25	37,34
44	38,15	Diameter	22,02	16,13
		Panjang	28,35	9,8
		Berat	2,11	36,04
45	50,81	Diameter	34,99	15,82
		Panjang	21,3	29,51
		Berat	15,17	35,64

Tabel 3 menjelaskan tentang deskripsi karakteristik kualitas pipa ERW Tahap I. Berdasarkan dari statistika deskriptif nilai rata-rata berada dalam spesifikasi yang ditetapkan namun nilai rata-rata dari semua variabel tersebut berada diatas dari nilai target yang telah ditetapkan.

B. Pengendalian Proses Produksi Pipa ERW Tahap I Secara Multivariat

1) Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat

Pengujian asumsi data berdistribusi normal multivariat merupakan syarat untuk melakukan pengendalian kualitas menggunakan peta kendali multivariat didapatkan perhitungan jarak kuadrat (d^2j) diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa nilai proporsi sebesar 0,5111 dengan nilai χ^2 tabel sebesar 2,37 diperoleh nilai proporsi sebesar 51% untuk data yang lebih besar dari χ^2 tabel artinya dari 45 titik, terdapat 22 titik di dalam *ellips* dan 23 titik berada diluar *ellips* sehingga disimpulkan bahwa data proses produksi Pipa ERW tahap I berdistribusi normal multivariat.

2) Uji Asumsi Independensi

Pengujian uji independensi secara multivariat yaitu dengan menggunakan uji *bartlett* menunjukkan nilai χ^2 sebesar 16,892 lebih besar daripada nilai χ^2_{tabel} dengan taraf signifikansi $\alpha = 0,27\%$ dan derajat bebas sama dengan 3 diperoleh nilai 14,1563 sehingga dapat diputuskan gagal tolak H_0 artinya dapat disimpulkan bahwa antar karakteristik kualitas pipa ERW tahap I saling dependen

3) Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Tahap I

Pengendalian variabilitas proses produksi pipa ERW tahap I menggunakan peta kendali *Generalized Variance* dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 merupakan peta kendali *Generalized Variance* yang digunakan untuk memonitoring terhadap variabilitas

Tabel 5.
Ringkasan Statistika Deskriptif Proses Produksi Pipa ERW Tahap II

Variabel	Mean	Varians	Nilai Min	Nilai Maks	Batas Spesifikasi
Diameter	88,185	0,0128	87,975	88,460	$88 \pm 0,5$ mm
Panjang	6,0348	0,00001	6,03	6,045	$6 \pm 0,05$ m
Berat	45,776	0,0056	45,644	45,918	45 ± 1 kg

Tabel 6.
Indeks Kapabilitas Proses Pipa ERW tahap II

Indeks Kapabilitas Cpm	Nilai
Cpm	2,63

proses produksi pada pipa ERW. Secara visual semua data berada dalam batas kendali batas kendali dan tidak terdapat data yang *out of control* sehingga variabilitas proses sudah terkendali.

4) Pengendalian Rata-Rata Proses Produksi Tahap I

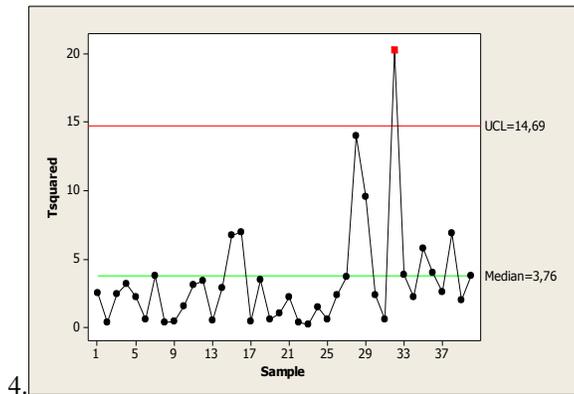
Analisis pengendalian rata-rata proses produksi pipa ERW dengan menggunakan peta kendali T^2 Hotelling. Gambar 3 yang merupakan peta kendali T^2 Hotelling tahap I menunjukkan bahwa nilai batas kendali atas (*UCL*) dari peta kendali T^2 Hotelling sebesar 19,43 sehingga terdapat banyak pengamatan yang berada diluar batas kendali karena nilai T^2 lebih besar daripada nilai batas kendali atas, pegamatan yang *out of control* yaitu pada pengamatan ke-27, pengamatan ke-30 hingga pangamatan ke-45 sehingga perlu diidentifikasi variabel yang menyebabkan pengamatan *out of control* sehingga dapat diidentifikasi faktor penyebab proses tidak terkendali.

5) Identifikasi Penyebab Out Of Control

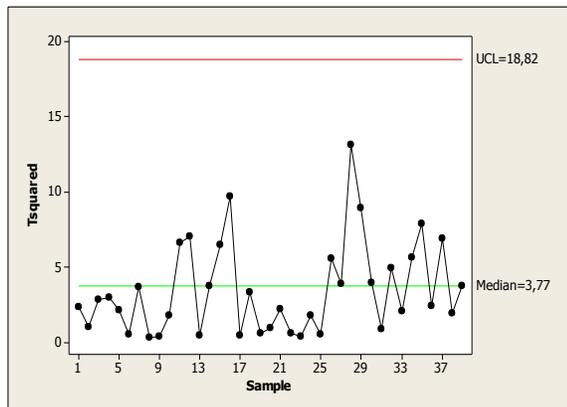
Apabila dalam pengendalian proses rata-rata dengan peta kendali multivariat T^2 Hotelling terdapat pengamatan yang *out of control* dapat diidentifikasi variabel penyebab. Terdapat 17 pengamatan yang *out of control* sehingga perlu diidentifikasi variabel penyebabnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 merupakan hasil identifikasi variabel penyebab pengamatan yang *out of control*. Berdasarkan hasil tersebut variabel berat dan variabel diameter merupakan variabel yang membuat pengamatan *out of control*. Variabel diameter menjadi penyebab di 14 pengamatan kecuali pada pengamatan ke-34, 37, dan 38, sementara variabel panjang menjadi penyebab *out of control* pada pengamatan ke-36, 39, 42, 43, 44, dan 45 dan variabel berat menjadi penyebab utama pengamatan *out of control* karena menjadi penyebab semua pengamatan *out of control* hal ini dapat dilihat dari nilai d_i pada variabel berat mempunyai nilai yang cukup besar.

Setelah dilakukan identifikasi variabel penyebab pengamatan yang *out of control* maka peta kendali perlu direvisi ulang dengan cara melakukan menghilangkan pengamatan yang *out of control* hingga semua proses terkendali. Untuk mendapatkan proses yang terkendali dilakukan revisi peta kendali sebanyak 6 kali. Pada revisi peta kendali pertama terdapat 2 pengamatan yang *out of control* yaitu pengamatan ke-21 dan ke-26. Sedangkan pada revisi peta kendali kedua pengamatan ke-8 keluar dari batas kendali. Untuk revisi peta kendali ke-3 terdapat 2 pengamatan yang keluar batas kendali yaitu pada



Gambar 6. T2 Hotelling Control Chart for Stage II



Gambar 7. Revised T2 Hotelling Control Chart for Stage II

pengamatan ke-24 dan 25 yang diindikasikan semua variabel penyebab *out of control*. Pada revisi peta kendali ke-4, pengamatan pertama menunjukkan data *out of control* sehingga perlu direvisi kembali tanpa pengamatan pertama namun pada revisi peta kendali ke-5 masih terdapat pengamatan yang *out of control* yaitu pada pengamatan ke 11 dan ke-12. Karena belum terkendali maka peta kendali T^2 Hotelling perlu direvisi tanpa memasukkan pengamatan ke-11 dan 12 tersebut dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.

Peta kendali T^2 Hotelling Tahap I Revisi 6 menunjukkan bahwa semua pengamatan berada dalam batas kendali sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses produksi pipa ERW dengan menggunakan peta kendali T^2 Hotelling telah terkendali dengan nilai batas kendali atas (UCL) sebesar 14,69.

6) Kapabilitas Proses Produksi Pipa ERW Tahap I

Kapabilitas proses digunakan untuk mengukur kemampuan proses produksi pipa ERW tahap I. Berikut merupakan indeks kapabilitas proses secara multivariat pipa ERW.

Indeks kapabilitas proses multivariat menunjukkan bahwa dengan Cpm sebesar 4,731 artinya daerah proses lebih sempit daripada daerah spesifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa kapabilitas proses dari karakteristik kualitas produksi pipa ERW secara multivariat sudah kapabel.

C. Karakteristik Proses Produksi Pipa ERW Tahap I

Karakteristik kualitas yang diukur pada tahap II sama

dengan karakteristik kualitas pada tahap I yaitu diameter, panjang, dan berat. Berikut merupakan tabel ringkasan statistika deskriptif dari karakteristik kualitas pipa ERW pada tahap II.

Hasil analisis statistika deskriptif menunjukkan nilai rata-rata diameter, rata-rata panjang, dan rata-rata berat pipa ERW tahap II lebih besar daripada nilai target yang ditetapkan perusahaan namun masih dalam batas spesifikasi. Berdasarkan nilai minimum dan maksimum variabel panjang dan berat pipa menunjukkan nilai yang lebih besar daripada nilai target yang ditetapkan sehingga terindikasi akurasi variabel tersebut rendah.

D. Pengendalian Proses Produksi Pipa ERW Tahap II Secara Multivariat

1) Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat

Pengujian asumsi data berdistribusi normal multivariat pada proses produksi pipa ERW tahap II yaitu pada karakteristik kualitas data diameter, panjang dan berat pipa ERW diperoleh hasil bahwa perhitungan persentase dari jarak kuadrat (d^2_j) menunjukkan bahwa nilai proporsi yang lebih dari nilai χ^2 tabel sebesar 2,37 adalah 0,525 yang berarti bahwa dari 40 titik yang ada sebesar 52,5% titik berada diluar *ellips* atau terdapat 19 titik di dalam *ellips* dan 21 titik berada diluar *ellips* sehingga disimpulkan bahwa data proses produksi Pipa ERW tahap II berdistribusi normal multivariat.

2) Uji Asumsi Independensi

Pengujian uji independensi secara multivariat dengan uji *bartlett* menunjukkan bahwa nilai χ^2 dengan taraf signifikansi $\alpha = 0,27\%$ dan derajat bebas sama dengan 3 sebesar 549,535 lebih besar dibandingkan nilai χ^2 tabel sama dengan 14,1563 sehingga dapat diputuskan gagal tolak H_0 artinya dapat disimpulkan bahwa antar karakteristik kualitas pipa ERW yaitu diameter, panjang dan berat proses produksi Pipa ERW tahap II saling dependen.

3) Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Tahap II

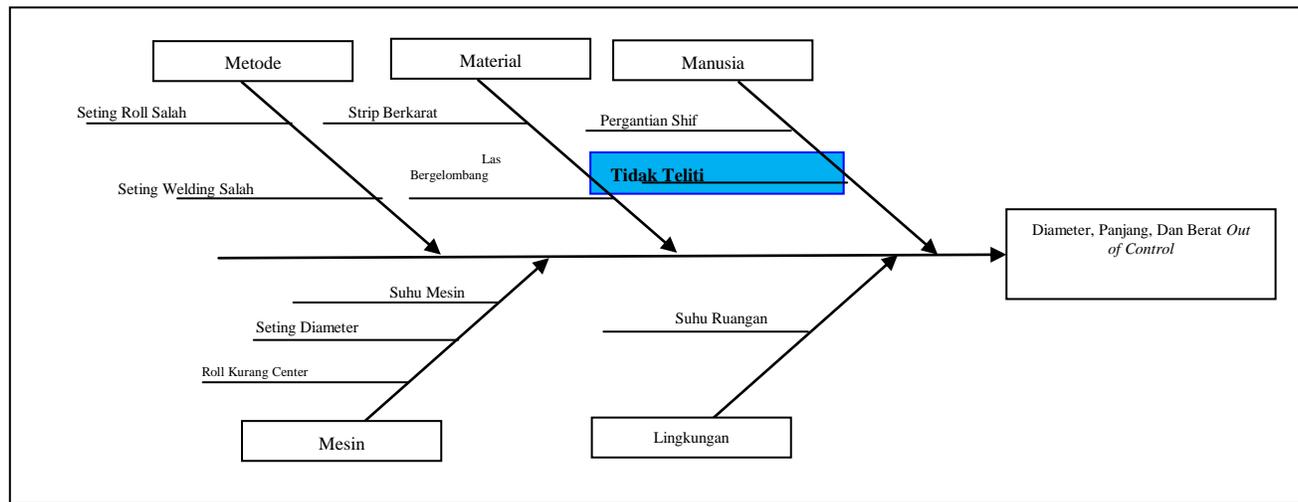
Hasil analisis pengendalian variabilitas proses produksi pipa ERW tahap II menggunakan peta kendali *generalized variance*.

Gambar 5 merupakan peta kendali *Generalized Variance* Tahap II dengan menggunakan batas kendali tahap I yang telah terkendali. Dari gambar menunjukkan dengan nilai determinan matriks varians kovarians $|S|$ sebesar 0,429. dan batas kendali atas tahap I tidak ada pengamatan yang *out of control*. Berdasarkan plot-plot tersebut menunjukkan variabilitas peta kendali *Generalized Variance* Tahap II lebih kecil daripada variabilitas peta kendali *Generalized Variance* Tahap I. Berdasarkan peta kendali tersebut maka dapat disimpulkan variabilitas proses sudah terkendali.

4) Pengendalian Rata-rata Proses Produksi Tahap II

Hasil analisis pengendalian rata-rata proses produksi pipa ERW tahap II menggunakan peta kendali T^2 Hotelling menunjukkan ada satu data yang *out of control* yaitu pada pengamatan ke-32 dengan semua variabel diduga menjadi penyebab pengamatan tidak terkendali.

Peta kendali T^2 Hotelling tahap II revisi menunjukkan bahwa semua pengamatan berada dalam batas kendali yang artinya rata-rata proses sudah terkendali secara statistika sehingga dapat dilanjutkan dengan analisis kapabilitas proses.



Gambar 13. Diagram Ishikawa

5) Kapabilitas Proses Produksi Pipa ERW Tahap I

Analisis kapabilitas proses untuk tahap kedua pada karakteristik kualitas pipa ERW tahap II dapat dilihat pada Tabel 6.

Nilai indeks kapabilitas proses Cpm menunjukkan nilai sebesar 2,63 artinya kapabilitas proses dari karakteristik kualitas produksi pipa ERW secara multivariat sudah kapabel dan daerah proses lebih sempit daripada daerah spesifikasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kapabilitas proses dari karakteristik kualitas produksi pipa ERW secara multivariat. Apabila dibandingkan dengan tahap I nilai indeks kapabilitas Cpm, indeks kapabilitas tahap II lebih kecil daripada indeks kapabilitas tahap I.

E. Diagram Ishikawa

Peta kendali *Generalized Variance* dan peta kendali T^2 Hotelling terdapat proses tersebut tidak terkendali. Tidak terkendalinya proses ini dapat dilihat berdasarkan banyaknya titik-titik pengamatan yang berada di luar batas kendali. Melalui diagram *ishikawa* inilah nantinya akan diketahui apa saja penyebab proses tersebut menjadi tidak terkendali.

Gambar 13 merupakan diagram *Ishikawa* dari penyebab karakteristik kualitas yang *out of control*. Variabel penyebab proses tidak terkendali adalah variabel berat. Faktor penyebab *out of control* berasal dari 5 faktor utama yaitu material, manusia, mesin, metode dan lingkungan. Dari ke-5 faktor tersebut, faktor manusia yang menjadi penyebab utama dikarenakan ketidaktelitian petugas sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis pengendalian kualitas dalam rata-rata dan variabilitas dari proses produksi pipa ERW dengan

menggunakan peta kendali T^2 Hotelling dan peta kendali *Generalized Variance* terdapat pengamatan yang *out of control*. Faktor Penyebabnya antara lain faktor utama yaitu material, manusia, mesin, metode dan lingkungan dengan variabel berat menjadi variabel penyebab proses tidak terkendali yang dipengaruhi oleh faktor manusia karena ketidaktelitian petugas sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran. Hasil indeks kapabilitas proses pipa ERW menunjukkan kapabilitas proses dari karakteristik kualitas produksi pipa ERW secara multivariat sudah kapabel dan variasi proses lebih kecil toleransi dari batas spesifikasi yang ditentukan. Nilai indeks kapabilitas Cpm tahap II lebih kecil daripada indeks kapabilitas tahap I.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Montgomery, D. C. (2009). Introduction to Statistical Quality Control (6th ed). John New York: Wiley and Sons Inc.
- [2] Arishanti, V. (2011). Pengontrolan Kualitas Layanan Bandar Udara Juanda Surabaya Menggunakan Diagram Kendali T² Hotelling Dan Diagram Kendali Improved Generalized Variance (|S|). Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Rao, O.R.M , Subbaiah, K.V. , Rao, J.N. , Rao, T.S. (2012). Application of Multivariate Control Chart for Improvement in Quality of Hot Metal. International Journal for Quality Research, 7(4), 623-640.
- [4] Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L., &Ye, K. (2012). Probability & Statistics for Engineers & Scientists (9th ed.). United States of America: Person Education Inc.
- [5] Johnson, R.A. dan Wichern, D.W. (2007). Applied Multivariate Statistical Analysis (6th ed.). United States of America: Person Education Inc.
- [6] Morrison, D. F., (1990). Multivariate Statistical Methods Third Edition. USA: Mc Graw Hill Inc.
- [7] Fernandez, E.S, dan Scagliarini, M. (2012). MPCI: An R Package for Computing Multivariate Process Capability Indices. Journal of Statistical Software, Vol.47, No.7, p.1-15.