

# Pengendalian Kualitas Air PERUMDA Air Tugu Tirta Malang Menggunakan Diagram Kontrol *Generalized Variance* dan $T^2$ Hotelling

Jessica Zerlina Sarwono<sup>1\*</sup>, Benedictus Kenny Tjahjono<sup>2</sup>, and Muhammad Ahsan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departmen Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>Departmen Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

<sup>3</sup>Departmen Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

\*jessicazerlinas@gmail.com

Received: 26 November 2022

Revised: 26 November 2022

Accepted:

**ABSTRAK** – Pengendalian kualitas statistik merupakan proses untuk menjaga kualitas produk/ jasa dapat dipertahankan sebagaimana yang telah direncanakan. Dalam penelitian ini, pengendalian kualitas statistik dilakukan untuk monitoring 50 subgrup komponen pH, nitrit, dan besi pada produksi air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang. Sebelum menyusun diagram kontrol, dilakukan pengujian asumsi dan didapat bahwa ketiga karakteristik kualitas secara simultan telah memenuhi asumsi dependen serta distribusi normal. Kemudian, dilakukan monitoring varians dengan diagram *Generalized Variance*. UCL sebesar 2,744 serta LCL sebesar 0 menunjukkan proses belum terkendali secara statistik. Oleh karena itu, disusun kembali diagram kontrol *Generalized Variance* setelah mengeliminasi subgrup ke-50, yang sebelumnya berada di atas UCL. Dengan batasan baru, yaitu UCL sebesar 2,723 dan LCL sebesar 0, proses sudah terkendali secara statistik. Analisis dilanjutkan dengan monitoring rata-rata proses melalui diagram  $T^2$  Hotelling. Dengan UCL sebesar 18,31, proses juga sudah terkendali secara statistik. Kapabilitas proses kemudian dilakukan untuk menyesuaikan hasil observasi dengan keinginan perusahaan. Diperoleh  $MC_p$  sebesar 4,62 dan  $MC_{pk}$  sebesar 0,78 yang menandakan bahwa proses multivariat sudah kapabel secara potensial, tetapi belum kapabel secara aktual. Berdasarkan diagram Ishikawa, kualitas air hasil produksi memiliki kendala terbesar pada unsur sumber daya manusia yang belum terampil serta mesin yang belum optimal dalam filtrasi.

**Kata kunci**— Analisis Kapabilitas Proses, Diagram Ishikawa, Diagram Kontrol *Generalized Variance*, Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling, Pengendalian Kualitas Statistik

**ABSTRACT** – Statistical quality control aims to maintain the quality of a product/service as planned. In this research, statistical quality control is used to monitor 50 subgroups of pH, nitrite, and iron components in water produced by PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang. Assumption tests that were conducted before constructing control charts shows that simultaneously, the three components follow the assumptions of dependence and normal distribution. Then, Generalized Variance control chart for monitoring process variance shows that with UCL of 2,723 and LCL of 0, the process is not in control. The chart was reconstructed without the 50<sup>th</sup> subgroup, which was previously beyond the UCL. It yielded UCL of 2,744 and LCL of 0 with the process being in control statistically.  $T^2$  Hotelling control chart for monitoring process mean yielded UCL of 18,31 shows that process statistically in control. Further analysis is conducted using capability analysis to fit the observation with company's specifications. It yielded  $MC_p$  of 4,62 and  $MC_{pk}$  of 0,78 which show that the multivariate process is potentially capable, but not actually capable. The Ishikawa diagram shows that quality of water produced has issues in lack of training in human resources and machines that don't work optimally in for filtration.

**Keywords**— Ishikawa Diagram, Generalized Variance Control Charts, Process Capability Analysis, Statistical Quality Control,  $T^2$  Hotelling Control Chart

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Semua perusahaan memiliki target untuk menyediakan produk atau jasa yang terbaik bagi pelanggannya. Hal ini tidak hanya berlaku bagi perusahaan swasta yang ingin memperoleh laba yang maksimal, tetapi target ini juga berlaku untuk perusahaan-perusahaan milik daerah, seperti PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang [1]. Perusahaan daerah PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang tentunya ingin menyediakan produk dan jasa yang terbaik untuk menyediakan fasilitas air yang terbaik bagi masyarakat selaku konsumen. Adapun memproduksi air dengan kualitas terbaik untuk masyarakat bukanlah hal yang dapat dicapai tanpa perencanaan. Diperlukan suatu rangkaian proses untuk menjaga kualitas air yang diproduksi di PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang agar menjadi yang berkualitas. Oleh karena itu, diperlukan suatu rangkaian proses yang disebut sebagai proses pengendalian kualitas.

Pengendalian kualitas merupakan suatu proses untuk menjaga agar kualitas produk atau jasa dapat dipertahankan sebagaimana yang telah direncanakan [2]. Pada penelitian ini, proses pengendalian kualitas dilakukan dengan memanfaatkan metode statistika, membentuk suatu metode yang disebut sebagai pengendalian kualitas statistik. Secara spesifik, pengendalian kualitas statistik yang dilakukan dalam penelitian ini memanfaatkan diagram kendali multivariat. Penggunaan diagram multivariat pada penelitian disebabkan karena komponen-komponen penyusun air yang diproduksi oleh PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang terdiri atas komponen-komponen yang harus terkendali

secara simultan, yaitu komposisi pH, nitrit, dan besi pada air. Dalam analisis pengendalian kualitas statistik, digunakan dua diagram kontrol multivariat, yaitu diagram kontrol *Generalized Variance* untuk variansi proses dan  $T^2$  Hotelling untuk rata-rata proses.

Bagi perusahaan termasuk PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang, memiliki air hasil yang berkualitas tidaklah cukup. Hasil air yang diproduksi juga harus memenuhi standar yang diinginkan perusahaan untuk dapat mencukupi kebutuhan masyarakat. Oleh karena itu, dilakukan juga analisis kapabilitas proses. Analisis kapabilitas proses dapat didefinisikan sebagai analisis variabilitas relatif terhadap persyaratan atau spesifikasi produk [3]. Setelah itu, juga akan dilakukan analisis lebih lanjut terkait hal-hal yang menyebabkan air yang diproduksi PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang belum sesuai standar produksi melalui Diagram Ishikawa. Harapannya, penelitian ini dapat bermanfaat untuk membantu PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang dalam memproduksi air yang berkualitas dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

## B. Rumusan Masalah

Adapun beberapa hal yang menjadi permasalahan dalam praktikum ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik dari data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang?
2. Bagaimana uji asumsi keacakan dan distribusi normal dari data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang?
3. Bagaimana hasil analisis dari data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang menggunakan diagram kontrol *Generalized Variance*?
4. Bagaimana hasil analisis dari data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang menggunakan diagram kontrol  $T^2$  Hotelling?
5. Bagaimana hasil kapabilitas proses pada data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang?
6. Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang belum sesuai berdasarkan diagram Ishikawa?

## C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam kegiatan praktikum ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik dari data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang
2. Mengetahui pemenuhan asumsi keacakan dan distribusi normal dari data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang
3. Mengetahui hasil analisis dari data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang menggunakan diagram kontrol *Generalized Variance*
4. Mengetahui hasil analisis dari data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang menggunakan diagram kontrol  $T^2$  Hotelling
5. Mengetahui kapabilitas proses pada data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang
6. Mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang belum sesuai dengan menggunakan diagram Ishikawa

## D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mampu menerapkan *statistical process control* dengan tepat dalam kehidupan sehari-hari khususnya pengaplikasian diagram kontrol *Generalized Variance* dan  $T^2$  Hotelling serta kapabilitas proses
2. Sebagai bahan referensi mengenai kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang
3. Sebagai acuan untuk memperbaiki kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang yang dihasilkan melalui analisis kapabilitas proses

# II. TINJAUAN PUSTAKA

## A. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif merupakan serangkaian metode yang berhubungan dengan pengumpulan dan penyajian data untuk memberikan informasi yang berguna [4]. Adapun statistika deskriptif berfungsi untuk memberi suatu gambaran terkait objek yang diteliti melalui data, baik data sampel maupun populasi [5]. Secara umum, statistika deskriptif dapat memberi informasi terkait pemusatan data, keberagaman data, dan sebagainya. Adapun salah satu statistik yang paling umum yang dapat berguna untuk menjadi ukuran pemusatan suatu data adalah *mean* atau rata-rata yang memiliki formula berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Keterangan:

$\bar{x}$  = Rata-rata

$x_i$  = Pengamatan ke- $i$

$n$  = Banyak pengamatan

Untuk mengetahui variabilitas atau penyebaran dari data, dapat digunakan varians. Varians merupakan rata-rata dari

perbedaan kuadrat antara nilai-nilai dalam observasi dengan rata-ratanya. Formula dari varians adalah sebagai berikut:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (2)$$

Keterangan:

$s^2$  = Varians

Adapun apabila nilai varians diakar, akan didapatkan standar deviasi yang juga dapat berguna untuk mengetahui variabilitas dari suatu data dengan rumus sebagai berikut:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Keterangan:

$s$  = Standar deviasi

Selain dari ukuran untuk mengetahui sebaran dan pemusatan, statistika deskriptif juga dapat menyajikan ukuran-ukuran ekstrim data menggunakan statistik minimum dan maksimum. Adapun nilai maksimum dan minimum dapat didefinisikan sebagai ukuran tertinggi dan terendah pada suatu data [6]. Nilai-nilai ini dapat didefinisikan seperti berikut:

$$x_{\text{minimum}} = \min(x_1, x_2, x_3, \dots, x_4) \quad (4)$$

$$x_{\text{maksimum}} = \max(x_1, x_2, x_3, \dots, x_4) \quad (5)$$

## B. Kesalahan

Dalam ilmu statistika, terdapat suatu batas kesalahan yang digunakan untuk pengambilan keputusan dan penarikan kesimpulan [7]. Secara statistik, terdapat dua macam kesalahan yang digolongkan menjadi kesalahan tipe I dan tipe 2. Kesalahan tipe I menandakan risiko produsen (menolak produk baik) atau  $\alpha$ , hal ini karena secara kebetulan produk yang diambil sebagai sampel adalah produk cacat, padahal produk yang tidak diambil sebagai sampel adalah produk yang baik. Kesalahan Tipe II atau resiko konsumen (menerima produk cacat) atau  $\beta$  adalah resiko yang dialami konsumen karena menerima produk yang cacat. Hal ini karena secara kebetulan yang diambil sebagai sampel adalah produk baik, padahal produk yang diambil adalah produk cacat. Prosedur pengendalian statistik umumnya dirancang untuk meminimalkan kesalahan tipe I. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan digunakan nilai  $\alpha$  sebesar 1% atau 0,01.

## C. Uji Dependensi

Uji dependensi multivariat merupakan suatu metode dalam analisis multivariat dimana variabel atau kumpulan variabel yang diidentifikasi sebagai variabel dependen dapat diprediksi atau dijelaskan oleh variabel lain yang merupakan variabel independen. Berikut adalah hipotesis untuk uji dependensi.

$H_0$  : Tidak terdapat hubungan antar variabel (Tidak terjadi dependensi)

$H_1$  : Terdapat hubungan antar variabel (Terjadi dependensi)

Sedangkan untuk statistik ujinya adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

$n$  = Banyak sampel

$p$  = Banyak karakteristik kualitas

$R$  = Matriks korelasi dari masing-masing karakteristik kualitas

$|R|$  = Determinan matriks korelasi

Hipotesis awal ditolak ketika  $\chi^2_{\text{hitung}} \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$  atau nilai P-value  $< \alpha$ . Namun, ketika  $\chi^2_{\text{hitung}} < \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$  atau nilai

P-value  $> \alpha$  maka hipotesis awal gagal ditolak.

## D. Uji Normalitas Data Multivariat

Uji Normalitas data multivariat merupakan pengujian data untuk mengetahui apakah data multivariat memiliki distribusi normal atau tidak. Dalam melakukan analisis kapabilitas, data diharapkan memiliki distribusi normal karena analisis kapabilitas proses bekerja dengan asumsi distribusi normal. Adapun pengujian normalitas data multivariat dapat dilakukan dengan memanfaatkan Uji *Shapiro Wilk* dengan hipotesis sebagai berikut [8].

$H_0$  : Data berdistribusi normal multivariat

$H_1$  : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Sedangkan untuk persamaan statistik uji dari uji normalitas data multivariat adalah sebagai berikut [8].

$$W = \frac{\left[\sum_{i=1}^k a_i (X_{n-i+1} - X_1)\right]^2}{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})} \quad (7)$$

Keterangan:

$a_i$  = Koefisien uji Shapiro-Wilk  
 $X_{n-i+1}$  = Angka ke  $n - i + 1$  pada data  
 $X_i$  = Angka ke  $i$  pada data  
 $\bar{X}$  = Rata-rata data

Hipotesis awal ditolak ketika nilai P-value  $< \alpha$ . Namun, ketika nilai P-value  $> \alpha$  maka hipotesis awal gagal ditolak.

### E. Diagram Kontrol Generalized Variance

Diagram kontrol *Generalized Variance* merupakan salah satu diagram kontrol yang berguna untuk memonitor variansi yang pada suatu proses multivariat. Dalam analisis, diagram ini memanfaatkan determinan kovarians sampel, yaitu  $|S|$  untuk memonitor variansi yang terjadi. Aproksimasi distribusi normal asimptot dimanfaatkan oleh Montgomery dan Wadsworth untuk membuat diagram kontrol berdasarkan determinan kovarians sampel ini. Adapun batas kendali yang digunakan untuk menyusun diagram *Generalized Variance* adalah sebagai berikut.

$$UCL = |\Sigma|(b_1 + 3\sqrt{b_2}) \quad (8)$$

$$CL = b_1 |\Sigma| \quad (9)$$

$$LCL = |\Sigma|(b_1 - 3\sqrt{b_2})$$

di mana,

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-1) \quad (10)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-1) \left[ \prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{i=1}^p (n-j) \right] \quad (11)$$

Dengan catatan bahwa apabila  $LCL < 0$  akan dianggap 0.

### F. Diagram Kontrol $T^2$ Hotelling

Diagram kontrol  $T^2$  Hotelling merupakan salah satu diagram yang berguna untuk melakukan kontrol rata-rata proses dengan data multivariat. Diagram ini merupakan diagram yang *directionally invariant*, yang berarti bahwa diagram ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi pergeseran proses pada vektor rata-rata berdasarkan besar pergeseran, tetapi tidak berdasarkan arah proses tersebut bergeser. Adapun diagram ini merupakan diagram yang efektif untuk mendeteksi pergeseran proses yang kecil. Apabila vektor rata-rata populasi ( $\mu$ ) serta matriks kovarians populasi ( $\Sigma$ ) diketahui, statistik untuk diagram kontrol  $T^2$  Hotelling dapat dihitung menggunakan formula berikut dituliskan sebagai berikut.

$$T^2 = n(\bar{x} - \mu)^t \Sigma^{-1} (\bar{x} - \mu)$$

Di sisi lain, apabila rata-rata populasi ( $\mu$ ) serta matriks kovarians populasi ( $\Sigma$ ) tidak diketahui, maka estimasi dapat dilakukan dengan menggunakan vektor rata-rata sampel ( $\bar{x}$ ) serta matriks kovarians sampel ( $S$ ) menggunakan formula berikut.

$$T^2 = n(\bar{x} - \bar{\bar{x}})^t S^{-1} (\bar{x} - \bar{\bar{x}})$$

Keterangan:

$T^2$  = Statistik pada diagram kontrol  $T^2$  Hotelling  
 $\bar{x}$  = Vektor rata-rata sampel  
 $S$  = Matriks kovarians sampel  
 $\bar{\bar{x}}$  = Rata-rata keseluruhan sampel (*Grand Mean*)  
 $n$  = Banyak pengamatan

Berikut adalah struktur vektor rata-rata sampel ( $\bar{x}$ ) dan matriks kovarians sampel ( $S$ ).

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_p \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{1n} & \cdots & s_{nn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Adapun formula untuk menentukan batas kendali pada diagram  $T^2$  Hotelling untuk fase I adalah sebagai berikut.

$$UCL = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha;(p,mn-m-p+1)} \quad (14)$$

$$LCL = 0 \quad (15)$$

Sedangkan batasan kendali untuk fase II adalah sebagai berikut

$$UCL = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha;(p,mn-m-p+1)} \quad (16)$$

$$LCL = 0 \quad (17)$$

Keterangan:

$p$  = Banyak karakteristik kualitas/variabel

$n$  = Banyak sampel  
 $m$  = Banyak subgrup

### G. Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses atau performa merupakan analisis variabilitas relatif terhadap persyaratan atau spesifikasi produk serta untuk membantu pengembangan produksi dalam mengurangi atau menghilangkan variabilitas yang terjadi [3]. Suatu proses yang sudah baik atau *in control*, perlu ditinjau lagi terkait spesifikasinya untuk dapat sesuai dengan apa yang diinginkan oleh konsumen. Oleh karena itu, analisis kapabilitas proses perlu dilakukan. Untuk dapat melakukan analisis kapabilitas proses, karakteristik kualitas berdistribusi normal serta proses *in control* harus terpenuhi terlebih dahulu.

Dalam melakukan analisis kapabilitas proses, rasio kapabilitas proses berperan sebagai alat yang penting. Rasio kapabilitas proses, atau yang disebut sebagai *Process Capability Ratio* (PCR) digunakan untuk mengidentifikasi apakah suatu proses sudah *capable* secara statistik atau belum. Adapun dalam pengendalian kualitas statistika, proses akan dikatakan sudah *capable* atau mampu ketika memiliki PCR di atas 1,33. Adapun rasio kapabilitas proses ini sendiri terbagi menjadi tiga yaitu Potential Capability Index ( $\hat{C}_p$ ), Real Capability Index ( $\hat{C}_{pk}$ ), serta Mean Capability Index ( $\hat{C}_{pm}$ ). Adapun formula untuk menentukan Potential Capability Index atau  $\hat{C}_p$  adalah sebagai berikut.

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (18)$$

Dimana standar deviasi proses ( $\sigma$ ) dapat diestimasi menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (19)$$

Kemudian, Real Capability Index ( $\hat{C}_{pk}$ ) dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$\hat{C}_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (20)$$

dimana,

$$\hat{C}_{pk} = \frac{USL - m}{3\hat{\sigma}} \quad (21)$$

$$\hat{C}_{pk} = \frac{m - LSL}{3\hat{\sigma}} \quad (22)$$

Sedangkan Mean Capability Index ( $\hat{C}_{pm}$ ) memiliki rumus sebagai berikut.

$$\hat{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\tau} \quad (23)$$

dimana,

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (m - T)^2} \quad (24)$$

$$T = \frac{1}{2}(USL + LSL) \quad (25)$$

Dalam analisis kapabilitas proses, apabila  $C_p = C_{pk}$ , maka rata-rata proses akan berada di tengah-tengah spesifikasi. Di sisi lain, apabila  $C_p > C_{pk}$  atau  $C_p < C_{pk}$  maka rata-rata proses tidak berada di tengah-tengah spesifikasi atau *off-center*. Kemudian, proses akan dinilai *capable* apabila nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  lebih dari 1,33.

### H. Diagram Ishikawa

Diagram Ishikawa merupakan diagram yang menunjukkan penyebab-penyebab dari komplikasi pada pengendalian kualitas. Selain dikenal sebagai Diagram Ishikawa, diagram ini juga dikenal sebagai tulang ikan atau diagram sebab-akibat. Pada proses pengendalian kualitas, diagram ini berguna dalam tahapan *analyze* serta *improve* dalam rangkaian proses DMAIC karena dapat membantu dalam mengidentifikasi masalah-masalah yang berpotensi [9]. Dalam diagram ini, terdapat 6 komponen, yang juga dikenal sebagai 5M + 1E, yaitu *manpower*, *machinery*, *material*, *method*, *measurement*, dan *environment*. Adapun penjabaran secara lebih dalamnya adalah seperti sebagai berikut:

1. Manpower: manusia yang terlibat dalam proses
2. Machinery: mesin atau peralatan lain yang digunakan dalam proses
3. Material: materi, baik bahan mentah atau bahan-bahan lainnya yang digunakan dalam produksi
4. Method: metode atau perjalanan proses
5. Measurement: data yang diambil dalam proses
6. Environment: kondisi lingkungan sekitar seperti waktu, temperatur, dan sebagainya

### I. Kualitas Air

Air merupakan kebutuhan yang penting bagi kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Air bersih dapat diperoleh dari sumber mata air seperti hujan, gunung, danau, sungai, laut, dan sumur. Namun, air tidak bisa langsung dikonsumsi karena harus dipastikan terlebih dahulu apakah membahayakan kesehatan atau tidak. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan 20 Republik Indonesia Nomer 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, bahwa air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomer 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, bahwa kualitas air merupakan kondisi kualitatif air yang diukur dan diuji berdasarkan parameter-parameter dan metode tertentu. Air minum terjamin aman untuk kesehatan jika memenuhi persyaratan mikrobiologis, radioaktif, fisika, dan kimiawi yang termasuk dalam parameter wajib dan tambahan [10].

Parameter dalam kualitas air merupakan persyaratan kualitas air minum yang wajib ditaati dan diikuti oleh seluruh produsen air minum. Sedangkan parameter tambahan dalam kualitas air merupakan parameter yang ditetapkan oleh pemerintah daerah berdasarkan kondisi lingkungan daerahnya masing-masing. Setiap karakteristik kualitas mempunyai batas spesifikasi yang berbeda. Apabila terdapat karakteristik kualitas air yang berada diluar batas spesifikasi, hal tersebut dapat berpengaruh baik secara langsung ataupun tidak langsung bagi kesehatan (Permenkes, 2010). Pada penelitian ini digunakan tiga variabel kualitas air yang merupakan parameter kimia wajib persyaratan kualitas air minum berdasarkan Permenkes RI Nomer 492 Tahun 2010, yaitu pH, besi (Fe), dan nitrit ( $\text{NO}_2$ ).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Tugas Akhir mahasiswa Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang bernama Hikmatul Maulidiyah yang berjudul "Penerapan Grafik Pengendali *Multivariate Cumulative Sum* (MCUSUM) dan Kapabilitas Proses Pada Pengendalian Kualitas Air PDAM". Untuk penelitian ini, data diambil pada 24 November 2022 pada pukul 20.00 WIB.

#### B. Variabel Penelitian

Variabel yang diteliti berupa komponen penyusun air yang diproduksi oleh PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang. Masing-masing variabel berisi sebanyak 50 subgrup dengan ketentuan seperti berikut.

**Tabel 1** Batas Spesifikasi Karakteristik Kualitas

Variabel	Keterangan	Satuan	USL	LSL
$X_1$	pH	-	6,50	8,50
$X_2$	Nitrit ( $\text{NO}_2$ )	mg/l	0,00	3,00
$X_3$	Besi (Fe)	mg/l	0,00	0,30

#### C. Struktur Data

Struktur data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang yang digunakan ini merupakan struktur data untuk diagram kontrol  $GV - T^2$  Hotelling

**Tabel 2** Struktur Data diagram kontrol  $GV - T^2$

Subgrup	Karakteristik Kualitas		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$
2	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$
3	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$	$X_{3,3}$
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
49	$X_{1,49}$	$X_{2,49}$	$X_{3,49}$
50	$X_{1,50}$	$X_{2,50}$	$X_{3,50}$

#### D. Langkah Analisis

Langkah-langkah analisis yang ditempuh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi dan merumuskan masalah
2. Mencari dan mengambil data sekunder untuk analisis
3. Melakukan analisis karakteristik data
4. Melakukan uji dependensi
5. Melakukan uji normalitas multivariat data
6. Membuat diagram kontrol *Generalized Varaince* untuk melakukan monitoring variabilitas. Apabila ada data yang berada di luar batas kendali, data tersebut akan dihilangkan hingga proses terkendali secara statistik



7. Membuat diagram kontrol  $T^2$  Hotelling untuk melakukan monitoring rata-rata dari data yang sudah terkendali secara statistik berdasarkan diagram kontrol *Generalized Varaince*. Apabila ada data yang berada di luar batas kembali, data tersebut akan dihilangkan hingga proses terkendali secara statistik dengan penghapusan maksimal 30% dari data awal
8. Melakukan analisis kapabilitas proses untuk masing-masing variabel
9. Melakukan analisis kapabilitas multivariat
10. Membuat Diagram Ishikawa

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Karakteristik Data

Sebelum melakukan pengendalian kualitas statistika menggunakan diagram kontrol  $T^2$  Hotelling, karakteristik data dapat dianalisis terlebih dahulu. Berikut adalah statistika deskriptif data kualitas air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang.

**Tabel 3** Statistika Deskriptif

Variabel	Mean	Varians	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
pH	7,0424	0,0381	0,1952	6,8000	7,5000
Nitrit	0,0864	0,0061	0,779	0,0000	0,3200
Besi	0,0838	0,0020	0,0445	0,0000	0,2100

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa karakteristik nilai pH memiliki nilai rata-rata sebesar 7,0424 berada didalam batas spesifikasi yaitu 6,5 hingga 8,5. Nilai pH tertinggi dan terendah juga masih didalam batas spesifikasi sehingga kualitas pH air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang dapat dikatakan baik. Selain itu, varians dari nilai pH mendekati nilai 0 sehingga nilai pH air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang cenderung konstan untuk seluruh sampel. Selanjutnya pada karakteristik kandungan nitrit air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang nilai rata-rata sebesar 0,0824 dengan nilai minimum 0,000 dan maksimum 0,3200. Nilai tersebut berada di dalam batas spesifikasi kandungan nitrit dalam air yang sudah ditentukan, yaitu 0,00 hingga 3,00 sehingga karakteristik nitrit air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang sudah baik. Nilai varians dari kandungan nitrit juga mendekati nilai 0 sehingga kandungan nitrit dari setiap pengamatan cenderung konstan. Kemudian untuk karakteritik kandungan besi dalam air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang memiliki nilai rata-rata sebesar 0,0838 dengan nilai minimum 0,000 dan nilai maksimum 0,2100. Nilai tersebut berada di dalam batas spesifikasi kandungan besi dalam air yang sudah ditentukan, yaitu 0,00 hingga 0,30 sehingga karakteristik besi air PDM sudah baik. Nilai varians dari kandungan besi juga mendekati nilai 0 sehingga kandungan besi dari setiap pengamatan cenderung konstan.

##### B. Uji Dependensi

Untuk dapat melakukan analisis proses secara multivariat, masing-masing variabel yang terlibat dalam analisis harus memenuhi asumsi dependensi. Oleh karena itu, uji dependensi dilakukan untuk memastikan bahwa data memenuhi asumsi dependensi. Uji dependensi dalam penelitian ini menggunakan *software RStudio*, berikut adalah hasil uji dependensi menggunakan *Bartlett Test* pada variabel pH, Nitrit, dan besi.

**Tabel 4** Hasil Uji Dependensi dengan *Bartlett Test*

Statistik <i>Barlett's K-Squared</i>	df	p-value
100,61	2	$< 2,2 \times 10^{-16}$

Berdasarkan Tabel 4, didapat nilai *p-value* kurang dari  $2,2 \times 10^{-16}$ . Apabila dibandingkan dengan taraf signifikansi, yaitu  $\alpha = 0,01$  akan diperoleh keputusan tolak  $H_0$  karena *p-value*  $< \alpha$ . Maka dari itu, diperoleh kesimpulan bahwa terdapat hubungan antar variabel pH, Nitrit, dan Besi. Dengan adanya hubungan antar variabel, ketiga variabel yang dilibatkan dalam analisis telah memenuhi asumsi dependensi.

##### C. Uji Distribusi Normal Multivariat

Selain asumsi dependensi variabel, asumsi distribusi normal juga harus terpenuhi untuk data yang terlibat dalam analisis. Oleh karena itu, dilakukan juga uji distribusi normal untuk mengetahui apakah data untuk analisis sudah memenuhi asumsi normal atau belum. Secara khusus pada penelitian ini, uji distribusi normal multivariat dilakukan dengan memanfaatkan Uji *Shapiro-Wilk* dengan menggunakan *software RStudio*, berikut adalah output uji distribusi normal multivariat yang telah dilakukan.

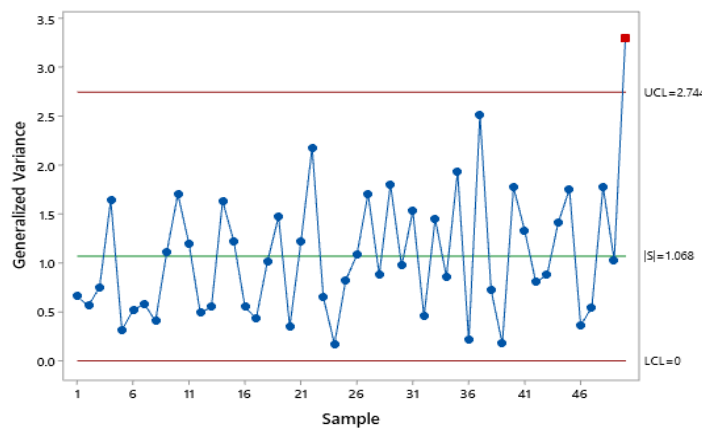
**Tabel 5** Hasil Uji Distribusi Normal Multivariat dengan *Shapiro-Wilk*

Statistik W	p-value
0,9536	0,04806

Berdasarkan tabel 5 didapat  $p$ -value hasil uji sebesar 0,04806. Apabila dibandingkan dengan taraf signifikansi, yaitu  $\alpha = 0,01$  akan diperoleh keputusan gagal tolak  $H_0$  karena  $p$ -value  $> \alpha$ . Maka dari itu, diperoleh kesimpulan bahwa pH, Nitrit, dan Besi telah memenuhi asumsi berdistribusi normal multivariat.

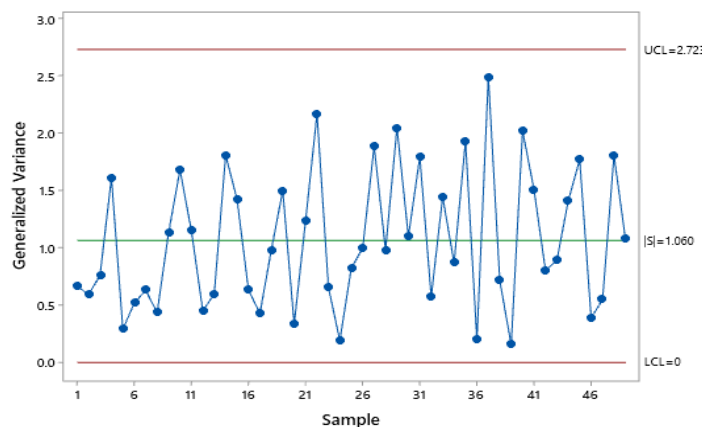
#### D. Diagram Kontrol Generalized Variance

Data yang digunakan untuk analisis telah memenuhi asumsi dependensi dan distribusi normal multivariat. Oleh karena itu, analisis dapat dilanjutkan dengan melakukan pengendalian kualitas statistik. Pengendalian kualitas statistik pada penelitian ini diawali dengan melakukan analisis pada sebaran data multivariat menggunakan diagram multivariat yang memanfaatkan statistik variansi, yaitu diagram *Generalized Variance*. Hasil dari pembuatan diagram tersebut dapat diberikan pada gambar berikut.



Gambar 1 Diagram Kontrol Generalized Variance

Berdasarkan diagram kontrol *Generalized Variance* pada gambar 1, didapat *Upper Control Limit* (UCL) sebesar 2,744 dan *Lower Control Limit* (LCL) sebesar 0. Dengan kedua batas tersebut, didapat bahwa proses belum terkendali secara statistik. Hal ini dapat dilihat pada subgrup ke-50 masih berada diluar batas kontrol, yaitu di atas UCL. Oleh karena itu, akan disusun kembali suatu diagram kontrol *Generalized Variance* dengan mengeliminasi subgrup ke-50. Berikut adalah diagram kontrol *Generalized Variance* setelah menghapus observasi yang *out of control* dapat dilihat pada gambar berikut.



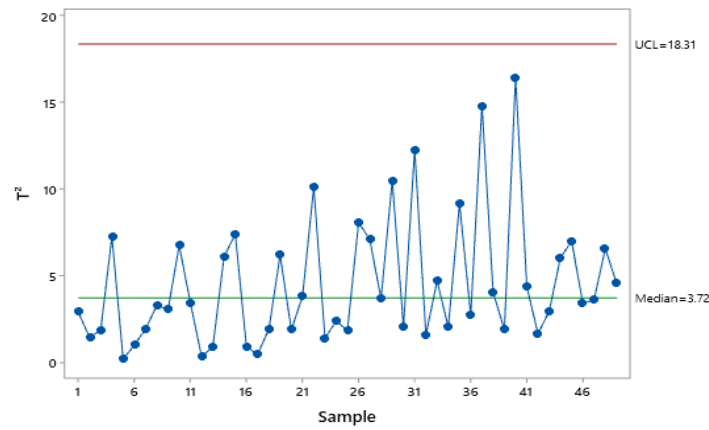
Gambar 2 Diagram Kontrol Generalized Variance

Berdasarkan diagram kontrol *Generalized Variance* pada gambar 2, didapat bahwa setelah menghapus observasi yang di luar batas kendali, *Upper Control Limit* (UCL) diagram baru adalah sebesar 2,723 dengan *Lower Control Limit* sebesar 0. Dengan batasan baru tersebut, ternyata 49 subgrup yang tersisa telah berada di dalam batas kendali atau *in control* karena tidak ada titik observasi yang berada di atas *Upper Control Limit* (UCL). Oleh karena itu, proses sudah terkendali secara statistik.

#### E. Diagram Kontrol $T^2$ Hotelling

Setelah mendapatkan bahwa variansi proses multivariat telah berada di dalam batas kendali, analisis dilanjutkan dengan melakukan monitoring rata-rata proses. Dalam melakukan monitoring rata-rata proses, digunakan diagram kontrol  $T^2$  Hotelling. Hasil dari pembuatan diagram  $T^2$  Hotelling adalah sebagai berikut.



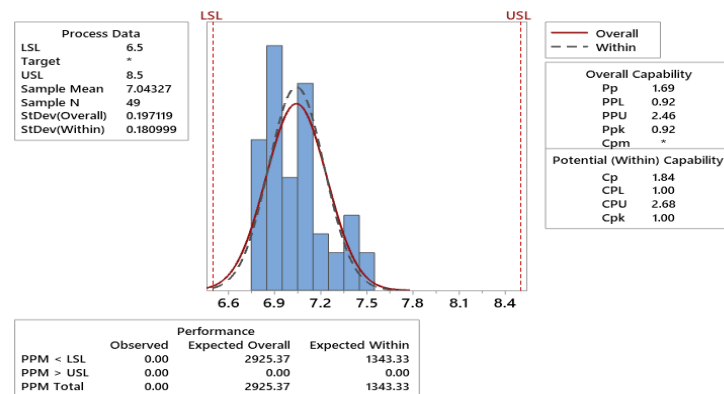


**Gambar 3** Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling

Berdasarkan diagram kontrol  $T^2$  Hotelling pada gambar 3, didapat *Upper Control Limit* (UCL) sebesar 18,31. Dengan batas tersebut, didapat bahwa 49 subgroup yang sebelumnya telah terkendali secara statistik berdasarkan analisis menggunakan diagram kontrol *Generalized Variance*, ternyata juga terkendali secara statistik apabila dimonitor dengan menggunakan diagram kontrol  $T^2$  Hotelling. Hal ini dapat dilihat dari tidak adanya nilai hasil observasi yang berada di atas *Upper Control Limit* (UCL).

### F. Kapabilitas Proses

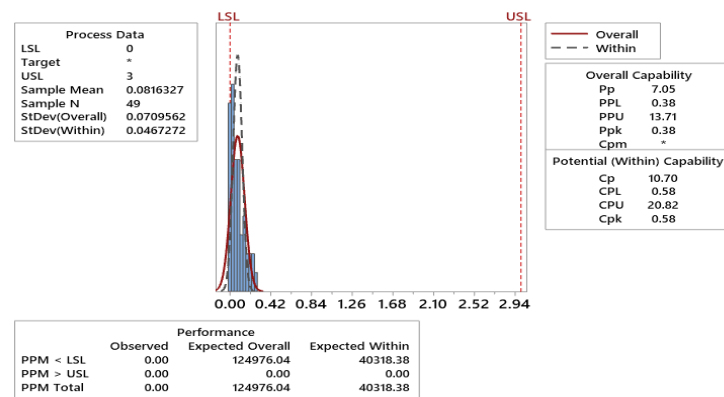
Telah didapat bahwa varians serta rata-rata proses telah terkendali secara statistik. Oleh karena itu, analisis dapat dilanjutkan dengan melakukan analisis kapabilitas proses. Pasalnya, analisis kapabilitas proses dilakukan untuk mengetahui apakah produk yang dihasilkan sudah memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan atau belum. Pertama, analisis kapabilitas proses dilakukan secara individu untuk variabel pH air. Hasil dari analisis ini dapat dilihat pada gambar berikut.



The actual process spread is represented by 6 sigma.

**Gambar 4** Analisis Kapabilitas Proses pH Air

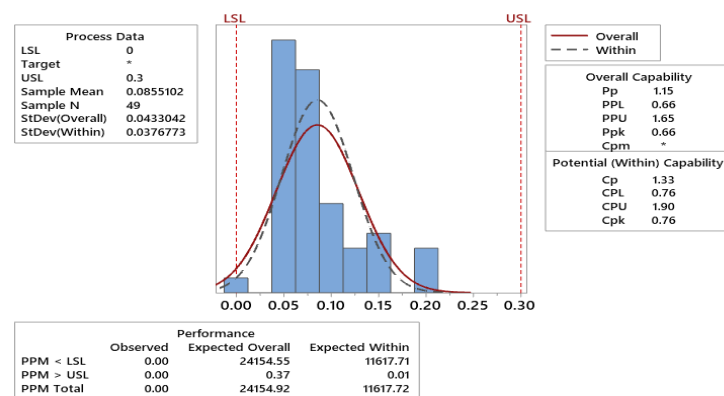
Berdasarkan gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai kapabilitas proses potensial (Cp) adalah sebesar 1,84. Nilai Cp tersebut lebih besar dari 1,33. Maka, dapat disimpulkan bahwa nilai spesifikasi target telah sesuai dengan yang diinginkan perusahaan karena proses sudah kapabel. Didapat juga nilai kapabilitas proses aktual (Cpk) sebesar 1,00 yang bernilai lebih kecil dari 1,33. Hal ini menandakan bahwa meskipun spesifikasi target telah sesuai, tetapi akurasi dan presisi pada proses masih belum cukup baik. Adapun didapat juga bahwa nilai Cp dan Cpk tidak sama, yang menandakan bahwa proses masih *off center* atau dalam artian, belum berada di tengah spesifikasi.



The actual process spread is represented by 6 sigma.

**Gambar 5** Analisis Kapabilitas Proses Kandungan Nitrit

Berdasarkan gambar 5, dapat dilihat bahwa nilai kapabilitas proses potensial ( $C_p$ ) adalah sebesar 10,70. Nilai  $C_p$  tersebut jauh lebih besar dari 1,33. Maka, dapat disimpulkan bahwa nilai spesifikasi target telah sesuai dengan yang diinginkan perusahaan dan bahkan tergolong sangat baik karena proses sudah kapabel. Namun, didapat bahwa nilai kapabilitas proses aktual ( $C_{pk}$ ) hanya sebesar 0,58. Nilai ini lebih kecil dari 1,33. Hal ini menandakan bahwa meskipun spesifikasi target telah sesuai, tetapi akurasi dan presisi pada proses masih belum baik. Adapun didapat juga bahwa nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  tidak sama, yang menandakan bahwa proses masih *off center* atau dalam artian, belum berada di tengah spesifikasi.



The actual process spread is represented by 6 sigma.

**Gambar 6** Analisis Kapabilitas Proses Kandungan Besi

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai kapabilitas proses potensial ( $C_p$ ) adalah sebesar 1,33. Maka, dapat disimpulkan bahwa proses masih memerlukan perhatian. Namun, didapat bahwa nilai kapabilitas proses aktual ( $C_{pk}$ ) hanya sebesar 0,76, lebih kecil dari 1,33. Hal ini menandakan bahwa meskipun spesifikasi target telah cukup baik, tetapi akurasi dan presisi pada proses masih belum baik. Adapun didapat juga bahwa nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  tidak sama, yang menandakan bahwa proses masih *off center* atau dalam artian, belum berada di tengah spesifikasi.

Apabila dirangkum dalam suatu tabel, diperoleh kapabilitas proses untuk tiap karakteristik kualitas seperti pada tabel berikut.

**Tabel 6** Kapabilitas Proses Setiap Karakteristik Kualitas

Variabel	$C_p$	$C_{pk}$	$P_p$	$P_{pk}$
pH	1,84	1,00	1,69	0,92
Nitrit	10,70	0,58	7,05	0,38
Besi	1,33	0,76	1,15	0,66

Kemudian, dilakukan analisis untuk kapabilitas proses secara multivariat. Perhitungan kapabilitas proses secara multivariat ini dilakukan dengan asumsi bahwa tiap karakteristik kualitas memiliki bobot yang sama.

$$MC_p = \frac{1}{3}(1,84 + 10,70 + 1,33) = 4,62$$

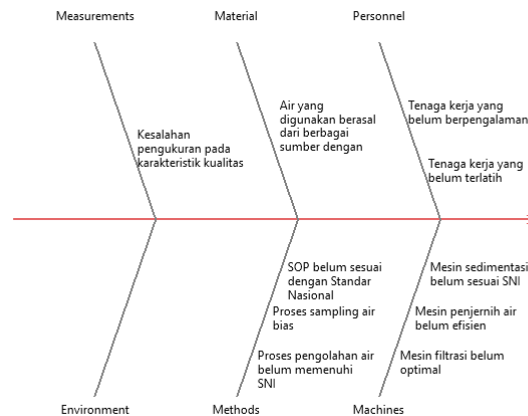
$$MC_{pk} = \frac{1}{3}(1 + 0,58 + 0,76) = 0,78$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapat nilai kapabilitas proses multivariat ( $MC_p$ ) adalah sebesar 4,62. Nilai ini lebih besar dari 1,33 dan menandakan bahwa proses sudah sesuai dengan yang diinginkan perusahaan secara multivariat. Namun, didapat bahwa kapabilitas proses aktual ( $MC_{pk}$ ) hanyalah sebesar 0,78 yang masih lebih kecil dibanding 1,33. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses akurasi dan presisi secara multivariat masih belum

baik dan proses aktual belum kapabel. Adapun perbedaan pada nilai  $MC_p$  dan  $MC_{pk}$  menandakan bahwa proses masih *off center* atau dalam artian, belum berada di tengah spesifikasi.

### G. Diagram Ishikawa

Untuk mengetahui penyebab terjadinya penurunan kualitas air pada PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang, dapat disusun diagram ishikawa. Pada penelitian ini, terdapat lima penyebab penurunan kualitas pada diagram ishikawa, yaitu *measurement*, *material*, *man*, *methods*, dan *machine*. Berikut adalah diagram ishikawa penyebab terjadinya penurunan kualitas air pada PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang.



Gambar 5 Diagram Ishikawa

Berdasarkan Gambar 5, penyebab utama penurunan kualitas air terdapat pada *man* dan *machine*. SDM yang belum berpengalaman dan terlatih menyebabkan proses pengolahan air belum sesuai dengan SOP yang ada sehingga kualitas air mengalami penurunan. Kemudian, mesin pengolahan air juga mempengaruhi kualitas air yang dihasilkan. Mesin filtrasi yang belum optimal menyebabkan proses penyaringan air tidak berjalan optimal pula. Mesin penjernihan air yang belum efisien menyebabkan air yang dihasilkan belum sepenuhnya jernih sehingga parameter kimia wajib berada diluar batas spesifikasi. Kemudian, mesin sedimentasi yang belum SNI dapat menyebabkan kandungan mineral air tidak sesuai dengan yang disarankan pada batas spesifikasi.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis terkait tiga karakteristik kualitas air produksi PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang, yaitu pH, nitrit, dan besi, didapat bahwa ketiga karakteristik kualitas tersebut memiliki dependensi. Selain itu, didapat juga bahwa secara simultan, ketiganya telah berdistribusi normal multivariat. Oleh karena itu, data yang digunakan dalam analisis telah memenuhi kedua asumsi untuk pengendalian kualitas statistik secara multivariat, yaitu asumsi dependen dan distribusi normal. Tiga karakteristik kualitas air tersebut sudah berada di dalam batas spesifikasi rincian, pH air memiliki nilai rata-rata 7,042 dengan nilai minimum 6,80 dan nilai maksimum 7,50, kandungan nitrit dalam air memiliki nilai rata-rata 0,086% dengan nilai minimum 0,00% dan nilai maksimum 0,32%, dan kandungan besi dalam air memiliki nilai rata-rata 0,084% dengan nilai minimum 0,00% dan nilai maksimum 0,21%. Kemudian, disusun sebuah diagram kontrol *Generalized Variance* untuk melakukan monitoring varians proses pada 50 subgrup data. Berdasarkan diagram pertama yang disusun, diperoleh *Upper Control Limit* (UCL) sebesar 2,744 dan *Lower Control Limit* (LCL) sebesar 0 dengan subgrup ke-50 yang berada di atas *Upper Control Limit*, menandakan proses yang belum terkendali secara statistik. Berikutnya, disusun kembali diagram kontrol *Generalized Variance* yang kedua dengan mengeliminasi yang di luar batas kendali. Pada diagram kontrol yang melibatkan 49 subgrup tersisa tersebut, diperoleh *Upper Control Limit* (UCL) sebesar 2,723 dan *Lower Control Limit* (LCL) sebesar 0 dengan semua nilai berada di dalam kendali. Dilakukan juga monitoring terhadap rata-rata proses dengan memanfaatkan diagram kontrol  $T^2$  Hotelling. Dengan *Upper Control Limit* (UCL) sebesar 18,31, didapat bahwa tidak ada observasi yang berada di luar batas kendali. Oleh karena itu, didapat bahwa rata-rata proses juga sudah terkendali secara statistik. Untuk menyesuaikan dengan spesifikasi perusahaan, analisis dilanjutkan dengan analisis kapabilitas proses dan didapatkan nilai kapabilitas proses potensial multivariat ( $MC_p$ ) sebesar 4,62 serta nilai kapabilitas proses aktual ( $MC_{pk}$ ) sebesar 0,78. Nilai  $MC_p$  yang lebih besar 1,33 menandakan bahwa secara multivariat, kapabilitas proses potensial sudah baik dan sudah sesuai dengan target spesifikasi. Namun, nilai  $MC_{pk}$  yang masih lebih kecil dari 1,33. Hal ini menandakan bahwa kapabilitas proses aktual masih belum baik dan akurasi serta presisi secara multivariat masih perlu ditingkatkan. Berdasarkan Diagram Ishikawa, didapat bahwa penyebab utama penurunan kualitas air hasil produksi adalah komponen *man* dan *machine*. Sumber daya manusia yang bekerja untuk mengelola air masih belum berpengalaman dan belum terlatih. Selain itu, mesin yang digunakan masih belum dapat menyaring air dengan optimal, menjernihkan air dengan efisien, dan proses sedimentasi yang belum sesuai standar SNI.

**B. Saran**

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan, PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang perlu memperbaiki sumber daya manusia yang bekerja dalam proses serta mesin yang digunakan untuk filtrasi. Perbaikan sumber daya manusia dapat dilakukan dengan cara memberikan pelatihan rutin kepada pegawai yang berperan dalam proses pengelolaan air dan filtrasi. Di sisi lain, kinerja mesin dapat ditingkatkan dengan memberlakukan manajemen penggunaan mesin yang baik serta perawatan dan pemeliharaan mesin. Perusahaan juga diharapkan untuk menyesuaikan semua mesin dengan SNI untuk memperoleh hasil produksi yang lebih berkualitas.

**PENGHARGAAN**

Kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Muhammad Ahsan, S.Si selaku dosen mata kuliah Pengendalian Kualitas Statistika yang telah mengajarkan materi tentang "Diagram Kontrol Multivariat dan Kapabilitas Proses" sehingga kami dapat mengaplikasikannya secara langsung di lapangan. Kemudian, kami juga mengucapkan terima kasih kepada Mbak Brianita Rianasari serta Mbak Punky Dita Amelia yang turut membimbing dalam penyusunan penelitian ini. Selain itu, kami juga ingin berterima kasih kepada para peneliti terdahulu yang telah menyediakan data serta referensi terkait.

**REFERENSI**

- [1] H. Maulidiyah, "Penerapan Grafik Pengendali Multivariate Cumulative Sum (MCUSUM) dan Kapabilitas Proses Pada Pengendalian Kualitas Air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang," Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2022.
- [2] A. Ahyari, Manajemen Produksi Pengendalian Produksi II, Yogyakarta: BPFE UGM, 1992.
- [3] D. Rimantho and Athiyah, "Analisis Kapabilitas Proses untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah di Industri Farmasi," *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, vol. 11, no. 1, 2018.
- [4] R. E. Walpole, Pengantar Statistika, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 1995.
- [5] Sugiyono, Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D, Bandung: Alfabeta, 2007.
- [6] R. Kurniawan, Cara Mudah Belajar Statistik Analisis Data & Eksplorasi, Jakarta: Prenada Media, 2019.
- [7] Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers, Keying Ye, Probability & Statistics for Engineers & Scientists, Ninth Edition., United States of America: Pearson Education Inc, 2012.
- [8] T. Amioto and D. Agustina, Mahir Matematika dan SPSS, Tasikmalaya: Edu Publisher, 2020.
- [9] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, Hoboken: Wiley, 2020.
- [10] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, "PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 736/MENKES/PER/VI/2010 TAHUN 2010 TENTANG TATA LAKSANA PENGAWASAN KUALITAS AIR MINUM," 2010.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1** Data Kualitas Air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang

No.	pH	Nitrit	Besi	No.	pH	Nitrit	Besi
1	6,9	0,01	0,08	26	7,19	0,13	0,19
2	7,04	0,07	0,04	27	6,81	0,2	0,08
3	7,12	0,03	0,06	28	6,98	0,16	0,12
4	7,5	0,05	0,15	29	7	0,24	0,07
5	7,1	0,07	0,08	30	6,9	0,14	0,06
6	7,09	0,05	0,06	31	7,1	0,25	0,1
7	6,81	0,08	0,05	32	7,06	0,14	0,1
8	6,93	0,01	0,05	33	7,4	0,04	0,08
9	7,19	0,01	0,07	34	7,2	0,08	0,05
10	6,9	0,02	0,16	35	7,5	0,04	0,05
11	6,9	0,06	0,14	36	6,82	0,04	0,05
12	7,1	0,06	0,1	37	6,88	0,01	0,21
13	7,12	0,1	0,06	38	6,81	0,01	0,08
14	6,81	0,19	0,07	39	6,87	0,04	0,06
15	7,02	0,21	0,11	40	7,3	0,26	0,07
16	6,99	0,1	0,05	41	6,94	0,18	0,06
17	7,12	0,07	0,07	42	6,88	0,1	0,11
18	7,06	0,04	0,13	43	7,3	0,11	0,07
19	6,8	0,14	0,14	44	7,4	0,1	0,05
20	6,9	0,03	0,07	45	7,4	0,01	0,06
21	6,8	0,12	0,12	46	6,91	0,01	0,05
22	7,12	0,01	0,2	47	6,84	0,01	0,07
23	7,09	0,03	0,07	48	7,4	0	0,08
24	6,9	0,04	0,04	49	6,92	0,08	0
25	7	0,02	0,1	50	7	0,32	0

**Lampiran 2** Statistika Deskriptif Data Kualitas Air PERUMDA Air Minum Tugu Tirta Malang

### Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
pH	50	0	7.0424	0.0276	0.1952	6.8000	6.9000	7.0000	7.1200	7.5000
Nitrit	50	0	0.0864	0.0110	0.0779	0.0000	0.0275	0.0650	0.1325	0.3200
Besi	50	0	0.08380	0.00630	0.04453	0.00000	0.05750	0.07000	0.10250	0.21000

**Lampiran 3** Uji Dependensi

```
> bartlett.test(data_terpilih)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: data\_terpilih

Bartlett's K-squared = 100.61, df = 2, p-value < 2.2e-16

**Lampiran 4** Uji Normalitas

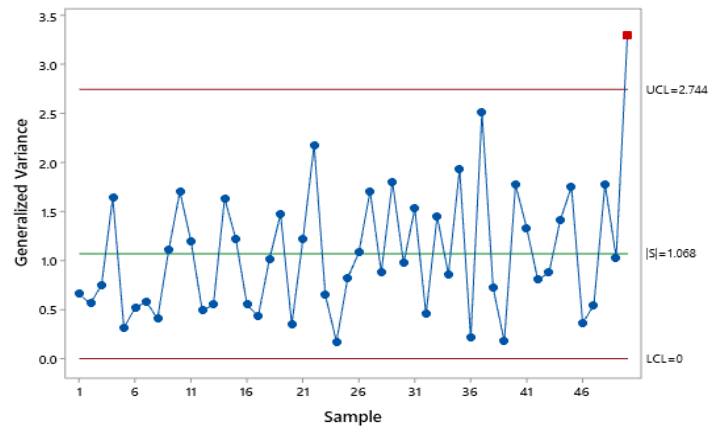
```
> mshapiro.test(t(data_terpilih))
```

Shapiro-Wilk normality test

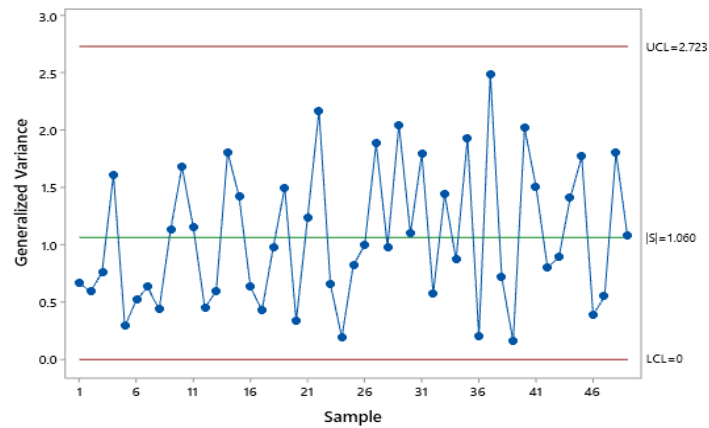
data: Z

W = 0.9536, p-value = 0.04806

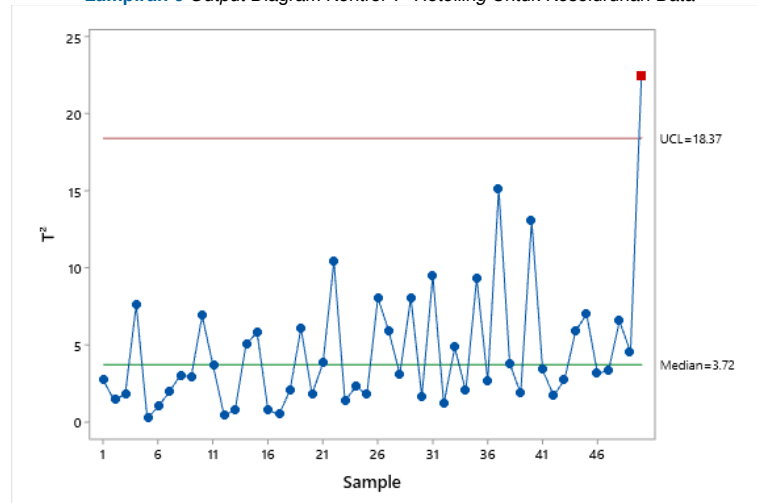
**Lampiran 4** Output Diagram Kontrol Generalized Variance Untuk Keseluruhan Data



Lampiran 5 Output Diagram Kontrol Generalized Variance yang Sudah In Control

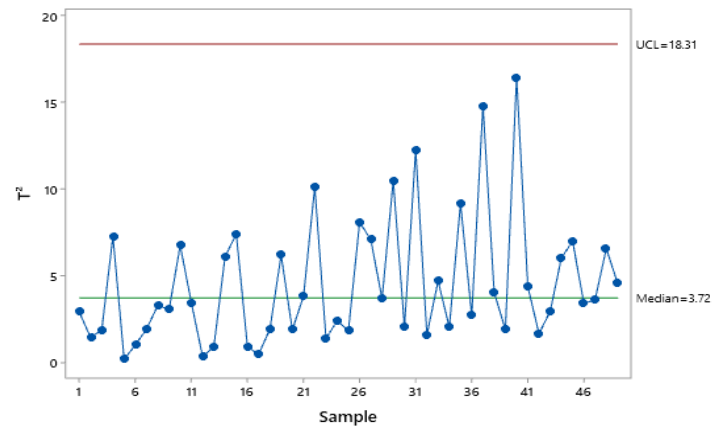


Lampiran 6 Output Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling Untuk Keseluruhan Data

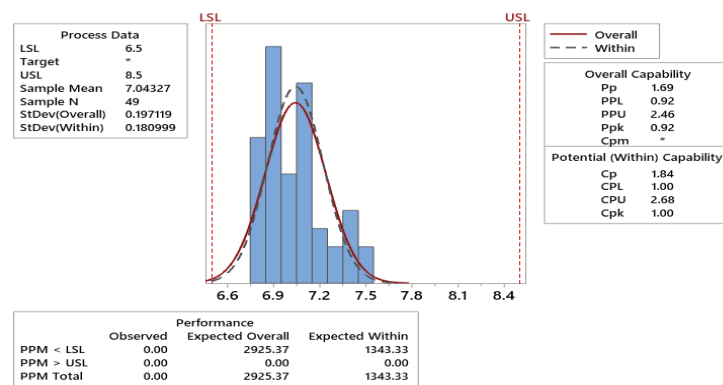


Lampiran 7 Output Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling Untuk yang Sudah In Control



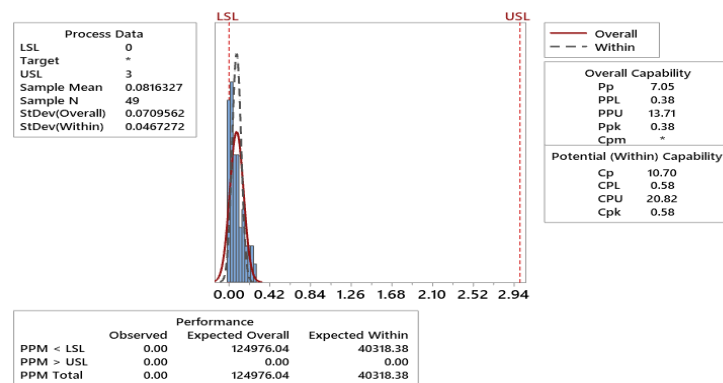


Lampiran 8 Output Proses Kapabilitas pH Air



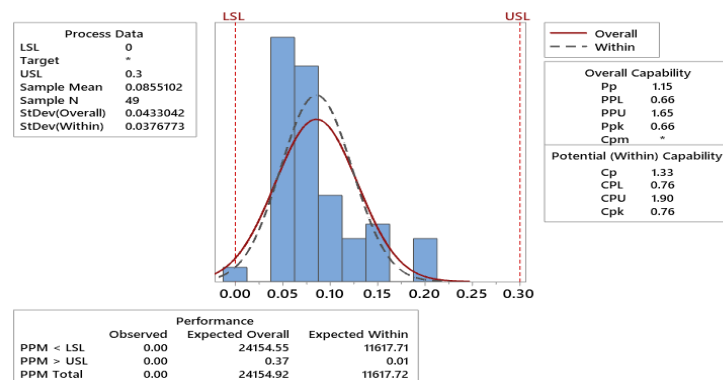
The actual process spread is represented by 6 sigma.

Lampiran 9 Output Proses Kapabilitas Kandungan Nitrit dalam Air



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Lampiran 10 Output Proses Kapabilitas Kandungan Besi dalam air



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Lampiran 11 Pembagian Tugas

Deskripsi Kegiatan	Pelaksana
Pencarian data	Benedictus Kenny T.
Pengerjaan abstrak	Jessica Zerlina S.
Pengerjaan bab 1	Jessica Zerlina S. dan Benedictus Kenny T.
Pengerjaan bab 2	Jessica Zerlina S. dan Benedictus Kenny T.
Pengerjaan bab 3	Jessica Zerlina S. dan Benedictus Kenny T.
Pengerjaan bab 4	Jessica Zerlina S. dan Benedictus Kenny T.
Pengerjaan bab 5	Jessica Zerlina S. dan Benedictus Kenny T.
Pengerjaan daftar pustaka	Jessica Zerlina S.
Pengerjaan lampiran	Benedictus Kenny T.
Pengerjaan PPT	Jessica Zerlina S. dan Benedictus Kenny T.