

An Application X-bar Chart and Statistical Process Control With R Package

Niswatul Rizkiah, Yenni Kurniawati*

Departemen Statistika, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

*Corresponding author: yennikurniawati@fmipa.unp.ac.id

Submitted : 24 April 2025

Revised : 28 Mei 2025

Accepted : 30 Mei 2025

ABSTRACT

Quality control is a critical aspect of ensuring that production processes meet established standards and customer requirements. One widely used approach in Statistical Quality Control (SQC) is the control chart, particularly the $\bar{X}$ and s charts, which monitor process stability based on the mean and variability of the data. This study aims to evaluate the quality and variation of the feed water boiler process using $\bar{X}$ and s control charts, as well as to assess process capability with the aid of the R programming language and the qcc package. The dataset comprises hardness measurements of water collected over 25 consecutive days, three times per day, resulting in 75 observations. Initial analysis revealed one data point outside the control limit in the $\bar{X}$ chart, which, when excluded, improved overall process stability. The s chart indicated more consistent stability compared to the $\bar{X}$ chart. Process capability analysis yielded C_p and C_{pk} values of 0.5844 and 0.5600, respectively, indicating that the process is not yet capable of fully meeting product specifications and exhibits relatively high variability. These findings highlight the need for process improvement through variation reduction and six sigma approaches. The use of R/qcc proved to be an effective tool for monitoring and analyzing quality control in production processes.

Keywords: Control Chart, Package, Qcc, Rstudio, Statistical Quality Control



This is an open access article under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2022 by author and Universitas Negeri Padang.

I. PENDAHULUAN

Selama beberapa dekade terakhir, minat terhadap pengukuran dan pengendalian kualitas terus meningkat karena kaitannya dengan produktivitas, kepercayaan, citra merek, dan daya saing perusahaan (Flores *et al.*, 2021). Konsep pengendalian kualitas telah berkembang dari penyesuaian produksi menjadi pendekatan menyeluruh untuk memenuhi kebutuhan pelanggan, baik di sektor manufaktur maupun layanan. Menurut Fithri (2019) sistem pengendalian kualitas diperlukan untuk menjamin produk sesuai standar dan mengurangi risiko produk cacat. Pengendalian kualitas bertujuan memastikan produk memenuhi standar, memperbaiki ketidaksesuaian, dan menjaga konsistensi mutu (Ratnadi & Suprianto, 2016). Salah satu alat utama yang digunakan adalah *Statistical Process Control* (SPC) yang mampu mendeteksi penyebab variasi khusus dalam proses secepat mungkin. Dalam SPC, peta kendali merupakan salah satu alat statistik yang dapat mengevaluasi apakah suatu proses stabil secara statistik (Yanuar *et al.*, 2021).

Secara umum, terdapat dua jenis peta kendali, yaitu peta kendali variabel dan peta kendali atribut (Yanuar *et al.*, 2021). Peta kendali variabel untuk karakteristik yang dapat diukur seperti berat atau volume, dan peta kendali atribut untuk karakteristik yang dinyatakan secara kualitatif, seperti cacat dan tidak cacat (Montgomery, 2013). Penelitian sebelumnya oleh Maulana & Rochman (2024) menggunakan peta kendali variabel $\bar{x}$ dan R untuk menganalisis kadar *hardness* air pada dalam satuan *ppm*, dan hasilnya menunjukkan bahwa nilainya jauh dari spesifikasi. Oleh karena itu, perbaikan sistem mutu menjadi hal yang penting. Peta kendali R hanya memperhitungkan dari jangkauan (*range*) dari satu *subgroup*. Namun, pendekatan ini memiliki kelemahan karena hanya mempertimbangkan dua nilai sehingga sensitif terhadap nilai ekstrem atau *outlier*. Akibatnya, perubahan kecil dalam data sering kali tidak terdeteksi.

Analisis Maulana & Rochman (2024) lebih berfokus pada rata-rata proses tanpa memperhatikan variasi internal yang bisa berdampak besar pada kualitas. Alternatifnya adalah dengan menghitung dan memplot standar deviasi s dari setiap *subgroup* sampel. Standar deviasi adalah indikator variabilitas proses yang lebih sensitif terhadap perubahan kecil dalam proses (Evans & Lindsay, 2020). Hal itu menunjukkan peta kendali s lebih baik daripada peta kendali R . Penelitian ini menggunakan peta kendali $\bar{x}$ dan s yang lebih sesuai untuk data berukuran besar ($n > 20$), di mana $\bar{x}$ menganalisis rata-rata proses dan s yang mempertimbangkan keseluruhan data dalam pengukuran variabilitasnya (Montgomery, 2013).

Penelitian ini turut memanfaatkan *software* R sebagai alat bantu analisis. R merupakan bahasa pemrograman sekaligus lingkungan untuk komputasi statistik dan visualisasi data. Karena bersifat *open source*, R terus berkembang berkat kontribusi dari komunitas global (Hidayat *et al.*, 2023). Dalam meningkatkan kemudahan penggunaan, R biasanya dijalankan melalui *RStudio*, sebuah lingkungan pengembangan terpadu (*Integrated Development Environment*) yang mendukung penulisan kode, manajemen proyek, serta menawarkan fleksibilitas lebih besar dibandingkan *software* statistik lainnya seperti SPSS atau Minitab (Konrath *et al.*, 2013). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas rata-rata dan variasi proses pada *boiler* menggunakan peta kendali $\bar{x}$ dan s dengan *RStudio* dengan paket *qcc* agar proses dapat dikendalikan sesuai spesifikasi.

II. METODE PENELITIAN

A. Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data pengukuran *hardness* air pada ketel uap dalam penelitian (Maulana & Rochman, 2024). Kumpulan data tersebut terdiri dari pengukuran *hardness* air yang dilakukan n kali sehari selama m hari. Dimana $n=3$ dan $m=25$, yang memungkinkan pengendalian proses statistik menggunakan diagram kendali $\bar{x}$ dan s .

B. Pengolahan Data dengan Peta Kendali Xbar dan s

Dalam *Statistical Quality Control* (SQC), peta kendali seperti $\bar{x}$, R dan s digunakan untuk memantau kestabilan proses berdasarkan distribusi normal dan konsep selang kepercayaan. Misalnya peubah acak X berdistribusi normal dengan rata-rata μ_x dan simpangan baku σ_x atau dapat ditulis sebagai $(X \sim N(\mu_x, \sigma_x))$, maka rata-rata sampel dari n sampel akan memiliki simpangan baku $\sigma_{\bar{x}} = \sigma_x / \sqrt{n}$. Karena mengikuti sifat distribusi normal, maka kemungkinan rata-rata sampel akan berada dalam rentang tertentu di sekitar μ dapat dihitung menggunakan nilai $Z_{\alpha/2}$. Dalam konteks peta kendali, biasanya disederhanakan 3σ untuk membentuk batas atas dan bawah kontrol (*Upper Control Limit* dan *Lower Control Limit*). Ini memberikan tingkat kepercayaan sekitar 99,73%, karena 99,73% data dalam distribusi normal terletak dalam $\pm 3\sigma$ dari rata-rata (Montgomery, 2013). Selang kepercayaan untuk rata-rata sampel $\bar{x}$ diberikan oleh:

$$\bar{x} + 3\sigma \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} - 3\sigma \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Data dianalisis menggunakan peta kendali dengan langkah sebagai berikut (Montgomery, 2013).

1. Menghitung nilai rata-rata ($\bar{x}$), simpangan baku (s), dan *range* (R) masing-masing sampel per hari.
2. Menghitung rata-rata dari rata-rata sampel ($\bar{\bar{x}}$), rata-rata simpangan baku sampel ($\bar{s}$), dan rata-rata *range* sampel ($\bar{R}$).

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m} \quad (2)$$

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^m s_i}{m} \quad (3)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (4)$$

3. Menghitung *center line* (CL), *upper center line* (UCL), dan *lower center line* (LCL) untuk peta kendali $\bar{x}$.

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (5)$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} \quad (6)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} \quad (7)$$

Namun disini telah didefinisikan sebagai $A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$. Nilai A_2 dilihat dalam tabel dengan $n=3$ adalah 1.023.

4. Menghitung *center line* (CL), *upper center line* (UCL), dan *lower center line* (LCL) untuk peta kendali s .

$$CL = \bar{s} \quad (8)$$

$$UCL = \bar{s} + 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad (9)$$

$$LCL = \bar{s} - 3 \frac{\bar{s}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} \quad (10)$$

Namun disini telah didefinisikan sebagai $B_3 = 1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$ dan $B_4 = 1 + \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$. Nilai tersebut dapat dilihat langsung dalam tabel yaitu B_3 sebesar 0 dan B_4 sebesar 2.568.

5. Melakukan perbaikan dan perhitungan kembali peta kendali $\bar{x}$ dan peta kendali s.

C. Menghitung Kemampuan Proses

Selain menggunakan peta kendali, perhitungan tingkat kinerja dapat dilakukan menggunakan kapabilitas proses. Kapabilitas proses dapat menggambarkan keberhasilan dari suatu proses dalam menghasilkan produk dengan spesifikasi sesuai standar berdasarkan ekspektasi dan kebutuhan pelanggan (Nuralisa & Musfiroh, 2022). Indeks kemampuan proses dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu indeks yang mengukur kemampuan potensial proses (C_p), dan indeks yang mengukur kemampuan aktualnya (C_{pk}) (Chowdhury, 2013).

- a. *Potential Capability* (C_p). Suatu proses dikatakan memiliki kemampuan yang baik jika penyebaran variasi alami sesuai dengan penyebaran batas yang ditentukan.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad \text{dengan, } \sigma = \frac{\bar{s}}{c_4} \quad (11)$$

Dimana USL adalah *Upper Spesification Limit* dan LSL adalah *Lower Spesification Limit* Nilai $C_p = 1$ menyatakan bahwa proses hampir tidak mampu menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi, $C_p < 1$ artinya proses tidak mampu, sedangkan $C_p > 1$ menunjukkan bahwa proses mampu menghasilkan produk yang sesuai spesifikasi.

- b. *Actual Process Capability* (C_{pk}). C_{pk} mengukur seberapa banyak proses produksi benar-benar sesuai dengan spesifikasi standar. K dalam Cpk disebut k-faktor, ini mengukur tingkat penyimpangan rata-rata proses dari target yang ditentukan.

$$C_{pk} = (1 - k)C_p \quad ; \quad k = \frac{|(USL + LSL)/2 - \bar{X}|}{(USL - LSL)/2} \quad (12)$$

D. Pengolahan Data dengan Library di R

Dalam library qcc terdapat fungsi qcc yang digunakan untuk membuat objek kontrol kualitas statistik. Objek ini menjadi dasar dalam penerapan kontrol kualitas, seperti memplot bagan Shewhart, menggambar kurva OC, menghitung indeks kapabilitas proses, dan lain sebagainya. Diperlukan dua komponen utama dalam membuat objek qcc. Komponen pertama adalah data hasil pengamatan yang dapat disajikan dalam bentuk vektor, matriks, atau data frame. Komponen kedua adalah jenis peta kendali yang akan digunakan sesuai dengan tujuan analisis. Lalu terdapat fungsi qcc.groups dapat digunakan untuk mengelompokkan vektor data berdasarkan indikator sampel.

Selanjutnya, setelah proses berada dalam kondisi yang terkendali, analisis proses kapabilitas dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana proses mampu memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan, yaitu batas spesifikasi bawah (LSL) dan atas (USL). Analisis ini menggunakan fungsi process.capability(), yang menghasilkan histogram serta nilai-nilai statistik penting seperti indeks kapabilitas proses C_p, C_{pk} dan deviasi terhadap target. Terdapat argumen object mengacu pada hasil objek dari fungsi qcc, sementara spec.limits merupakan vektor numerik yang berisi nilai LSL dan USL. Lalu library pendukung lainnya seperti dplyr untuk memanipulasi data dan ggplot2 untuk visualisasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah pertama dalam pengolahan data ini adalah dengan menentukan nilai $\bar{x}$, s, dan R masing-masing sampel. Langkah pertama dalam pengolahan data ini adalah dengan menentukan nilai rata-rata sampel $\bar{x}$ simpangan baku (s), dan range (R) dari hasil pengukuran *hardness* air (ppm) pada setiap hari. Data dikumpulkan dalam tiga *shift* selama 25 hari berturut-turut, yang kemudian dihitung nilai statistiknya. Hasil pengukuran disajikan

dalam Tabel 1, yang menunjukkan nilai pengamatan pada masing-masing *shift*, disertai dengan $\bar{x}$, s , dan R untuk setiap hari. Dari tabel tersebut terlihat bahwa terdapat variasi antar hari dan antar *shift*, yang dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan proses. Hasil perhitungan ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran *hardness* air (ppm)

Hari	Shift 1	Shift 2	Shift 3	$\bar{x}$	S	R
1	19	21	25	21.67	6	3.06
2	33	14	18	21.67	19	10.02
3	22	26	29	25.67	7	3.51
4	31	25	15	23.67	16	8.08
5	19	23	27	23.00	8	4.00
6	31	35	39	35.00	8	4.00
7	16	19	22	19.00	6	3.00
8	24	27	32	27.67	8	4.04
9	36	16	19	23.67	20	10.79
10	21	23	27	23.67	6	3.06
11	31	34	14	26.33	20	10.79
12	18	22	26	22.00	8	4.00
13	31	36	41	36.00	10	5.00
14	15	17	21	17.67	6	3.06
15	25	28	32	28.33	7	3.51
16	35	15	18	22.67	20	10.79
17	22	25	28	25.00	6	3.00
18	31	35	14	26.67	21	11.15
19	19	24	28	23.67	9	4.51
20	33	37	41	37.00	8	4.00
21	15	19	21	18.33	6	3.06
22	24	27	32	27.67	8	4.04
23	36	15	18	23.00	21	11.36
24	23	26	29	26.00	6	3.00
25	32	36	15	27.67	21	11.15

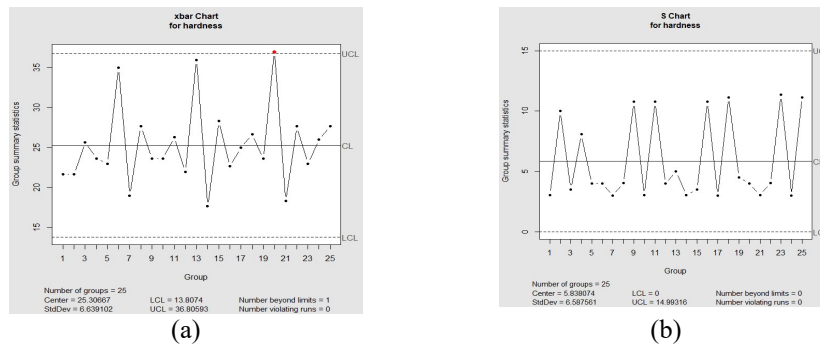
Selanjutnya menghitung nilai $\bar{\bar{x}}$, $\bar{s}$ dan $\bar{R}$ menggunakan persamaan (2), (3) dan (4). Sehingga diperoleh nilai $\bar{\bar{x}} = 25.31$, $\bar{s} = 5.84$ dan $\bar{R} = 11.24$. Kemudian menentukan nilai CL, UCL dan LCL peta kendali $\bar{x}$ menggunakan persamaan (5), (6) dan (7), serta menentukan nilai CL, UCL dan LCL peta kendali s menggunakan persamaan (7), (8) dan (9). Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 2 menampilkan nilai UCL, CL, dan LCL untuk peta kendali $\bar{x}$ dan s . CL peta kendali $\bar{x}$ adalah sebesar 25.31 dengan nilai UCL dan LCL masing-masing yaitu 36.81 dan 13.09. Artinya, rata-rata proses dapat dikatakan terkendali secara statistik jika nilai amatan berada dalam rentang UCL dan LCL tersebut. Sedangkan simpangan baku adalah 5.86 dengan batas kendali dari 0 hingga 15. Berikut sintaks R ditampilkan.

Tabel 2. Batas peta kendali

Line	$\bar{x}$ chart	s chart
UCL	36.81	15
CL	25.31	5.84
LCL	13.09	0

```
>library(readxl)
>skm <- read_excel("D:/DOKUMEN/SKRIPSI/skripsi/Hardness Air.xlsx")
```

```
>View(skm)
install.packages("qcc")
library(qcc)
hardness = with(skm,qcc.groups(skm$Hardness,skm$Sample))
q1 = qcc(hardness, type="xbar")
q2 = qcc(hardness, type="S")
```



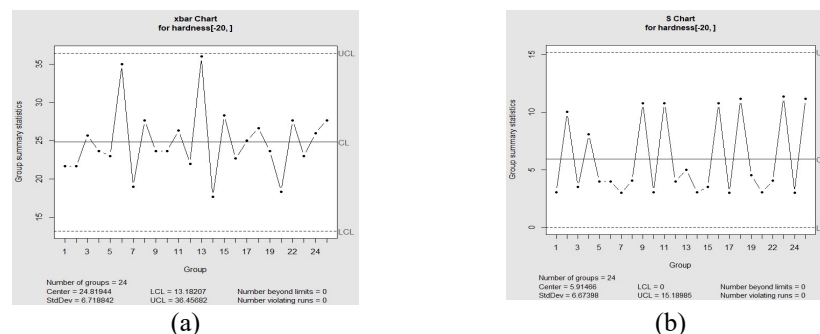
Gambar 1. (a) Peta kendali xbar, (b) Peta kendali s

Berdasarkan Gambar 1(a), rata-rata proses tidak terkendali secara statistik karena terdapat sebuah titik amatan yang keluar dari garis batas, yaitu amatan yang ke-20. Amatan ke-20 memiliki nilai kadar *hardness* yang tinggi. Meskipun begitu, simpangan baku proses terlihat terkendali secara statistik karena semua amatan berada dalam rentang garis batas, ditunjukkan pada Gambar 1(b). Untuk mengatasi masalah ini, maka amatan ke-20 dieliminasi dari data sampel. Hal itu terjadi karena adanya *special cause* yaitu pada salah satu *valve* yang tidak terbuka sehingga menyebabkan proses regenerasi tidak berjalan dengan baik. Kemudian dilakukan kembali pengolahan data menggunakan langkah yang sama seperti sebelumnya. Nilai setelah direvisi adalah $\bar{\bar{x}} = 24.82$, $\bar{s} = 5.91$ dan $\bar{R} = 11.38$. Berdasarkan nilai-nilai yang direvisi di tersebut, maka batas dalam peta kendali berubah. Nilai batas kendali dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Batas peta kendali setelah revisi

Line	$\bar{x}$ chart	s chart
UCL	36.46	15.19
CL	24.82	5.91
LCL	13.18	0

```
#Revisi
> q1_ = qcc(hardness[-20,], type="xbar")
> q2_ = qcc(hardness[-20,], type="S")
```



Gambar 2. (a) Peta kendali xbar setelah revisi, (b) Peta kendali s setelah revisi

Berdasarkan Gambar 2 telah dilakukan eliminasi data *out of control* dan dilakukan perhitungan ulang, didapat hasil bahwa proses telah terkendali secara statistik. Pada Gambar 2(a) tidak ada lagi amatan yang keluar dari batas

kendali yang ditentukan. Gambar 2(b) juga tetap terkendali meskipun amatan 20 dieliminasi. Kemudian kita melakukan visualisasi peta untuk sebelum revisi dan sesudah revisi. Visualisasi ini dilakukan dengan memanfaatkan tambahan *package* ggplot2 dan dplyr untuk pengolahan data dan pembuatan grafik yang lebih fleksibel. Berikut adalah sintaks R yang digunakan untuk menyiapkan dan menggabungkan data statistik sebelum dan sesudah revisi.

```
> library(ggplot2)
> library(dplyr)
```

Dari objek qcc, nilai rata-rata dari masing-masing sampel diekstrak dan disusun ke dalam dua data frame yaitu dalam variabel df_before dan df_after. Penambahan + 0.2 pada Sample versi revisi bertujuan agar titik-titik pada grafik tidak saling bertumpukan dan lebih mudah dibedakan secara visual. Kedua data frame statistik kemudian digabung menjadi satu kesatuan menggunakan fungsi bind_rows() dari paket dplyr.

```
> # Buat data statistik sample
> df_before <- data.frame(Sample = 1:length(q1$statistics), Mean =
q1$statistics, Versi = "Sebelum Revisi")
> df_after <- data.frame(
Sample = (1:length(q1$statistics)) + 0.2, Mean = q1$statistics, Versi = "Sesudah
Revisi")
> df_all <- bind_rows(df_before, df_after)
```

Dibuat data frame baru untuk menampilkan CL, UCL dan LCL, nilainya diperoleh dari variabel q1. Kemudian agar grafik lebih informatif, ditambahkan anotasi berupa teks yang menunjukkan nilai numerik dari batas kontrol.

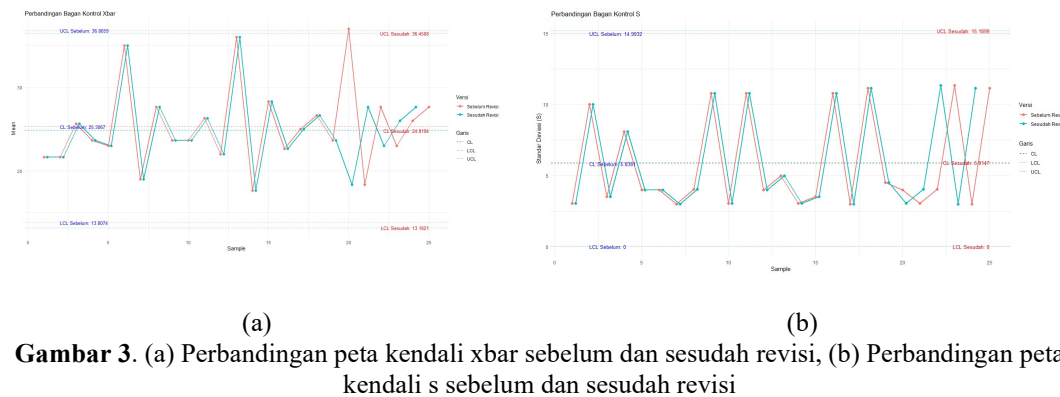
```
# Buat data garis kontrol (center, UCL, LCL)
control_lines <- data.frame(
  Versi = c("Sebelum Revisi", "Sebelum Revisi", "Sebelum Revisi",
            "Sesudah Revisi", "Sesudah Revisi", "Sesudah Revisi"),
  Garis = c("CL", "UCL", "LCL", "CL", "UCL", "LCL"),
  Nilai = c(q1$center, q1$limits[2], q1$limits[1],
            q1$center, q1$limits[2], q1$limits[1]))
# Nilai batas kontrol
CL_s_before <- round(q1$center, 4)
UCL_s_before <- round(q1$limits[2], 4)
LCL_s_before <- round(q1$limits[1], 4)
CL_s_after <- round(q1$center, 4)
UCL_s_after <- round(q1$limits[2], 4)
LCL_s_after <- round(q1$limits[1], 4)
```

Selanjutnya, grafik kontrol dibangun dengan memetakan nilai Mean terhadap Sample untuk masing-masing versi data. Visualisasi menggunakan geom_line() dan geom_point() menggambarkan tren observasi secara berurutan dalam bentuk garis dan titik. Untuk menampilkan batas kontrol, digunakan geom_hline() yang secara spesifik mengambil data dari control_lines, sehingga garis horizontal CL, UCL, dan LCL ditampilkan sesuai dengan versinya masing-masing. Setiap jenis garis kontrol diberi tipe garis yang berbeda CL sebagai garis putus-putus (*dashed*), dan UCL serta LCL sebagai garis titik-titik (*dotted*).

```
> ggplot(df_all, aes(x=Sample, y=Mean, color=Versi, group=Versi)) +
+   geom_line(size=1) +
+   geom_point(size=2) +
+   geom_hline(data=control_lines,
+             aes(yintercept=Nilai, linetype=Garis, color=Versi),
+             show.legend=TRUE) +
+   scale_linetype_manual(values=c(CL="dashed", UCL="dotted", LCL="dotted")) +
+   labs(title="Perbandingan Bagan Kontrol Xbar",
+        x="Sample", y="Mean") +
+   theme_minimal() +
```

Selanjutnya membuat plot perbandingan peta kendali s. Sintaks dan struktur analisis untuk keduanya hampir serupa, namun yang membedakan adalah data statistik yang digunakan dan informasi yang disampaikan dalam grafik. Pada peta kendali, yang ditampilkan adalah nilai rata-rata setiap sampel, sedangkan pada peta kendali s yang dianalisis

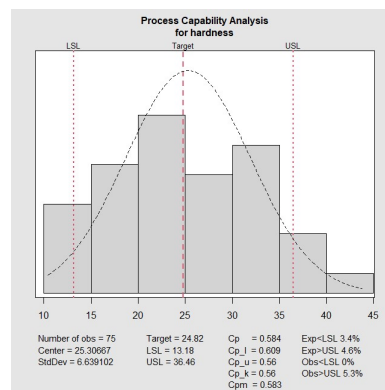
adalah standar deviasi tiap sampel. Dengan membangkitkan fungsi qcc type “s” maka menghasilkan nilai statistik yang berbeda dalam peta kendali. Berikut perbandingan peta kendali yang di hasilkan.



Gambar 3(a) menunjukkan peta kontrol $\bar{x}$ untuk membandingkan kestabilan dua proses. Garis biru menunjukkan proses yang stabil karena seluruh titik berada dalam batas kontrol dan tersebar konsisten di sekitar CL. Sebaliknya, garis merah menunjukkan ketidakstabilan dengan beberapa titik di luar batas kontrol dan rentang batas yang lebih lebar, menandakan variasi proses yang lebih tinggi. Dengan demikian, proses biru lebih stabil dan terkendali secara statistik dibandingkan proses merah. Begitupun peta kendali s pada Gambar 3(b), membandingkan dua proses yaitu garis merah dan biru dalam memantau variasi proses. Keduanya memiliki batas kontrol yang hampir sama dan seluruh titik berada dalam batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa kedua proses stabil secara statistik.

Setelah proses berada dalam kondisi terkendali secara statistik, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi kemampuan proses dalam memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Analisis proses kapabilitas ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana hasil proses berada dalam batas spesifikasi yang diharapkan, yaitu antara batas spesifikasi bawah dan batas spesifikasi atas. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan fungsi `process.capability()` dalam library R, yang menghasilkan histogram beserta estimasi indeks kapabilitas proses seperti C_p dan C_{pk} . Berikut merupakan hasil analisis proses kapabilitasnya.

```
q3_ = qcc(hardness[-20,], type="xbar", nsigmas=3, plot=FALSE)
process.capability(q3, spec.limits=c(13.18,36.46))
```



Gambar 5. Analisis proses kapabilitas

Gambar 5 menunjukkan histogram data proses dengan batas spesifikasi atas (USL) dan bawah (LSL), serta target sebagai garis vertikal putus-putus. Kurva kepadatan normal menggambarkan distribusi Gaussian berdasarkan deviasi dalam grup. Berdasarkan analisis proses kapabilitas, proses memiliki kapabilitas rendah kurang dari 1 menandakan variasi proses terlalu besar terhadap batas spesifikasi. Rata-rata proses (25,31) sedikit melebihi target (24,82) namun masih dalam spesifikasi. Standar deviasi yang tinggi menunjukkan fluktuasi signifikan, dengan 5,3% produk melebihi

USL dan potensi 3,4% berada di bawah LSL, sehingga proses cenderung menghasilkan produk di atas target dan memerlukan perbaikan untuk meningkatkan kapabilitas.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terdapat sebuah amatan yang keluar dari batas kendali, yaitu amatan ke-20. Untuk mengatasi masalah ini, amatan ke-20 dieliminasi dari data sampel. Amatan-20 di eliminasi karena kadar *hardness* yang tinggi. Hal itu disebabkan adanya *special cause* yaitu pada salah satu *valve* yang tidak terbuka sehingga menyebabkan proses regenerasi tidak berjalan dengan baik. Dengan mengeliminasi amatan yang keluar dari batas kendali dapat mengatasi masalah tidak terkendalinya proses secara statistik. Kemudian berdasarkan hasil analisis proses kapabilitas, dapat disimpulkan bahwa kapabilitas proses produksi saat ini masih tergolong rendah. Selain itu tingginya standar deviasi 6,639 menunjukkan adanya fluktuasi yang signifikan dalam hasil produksi yang turut menyebabkan sebagian produk tidak memenuhi spesifikasi. Untuk meningkatkan proses kapabilitas, langkah-langkah seperti pengurangan variasi dan penyesuaian pusat proses agar lebih mendekati target perlu dilakukan. Penerapan metode Six Sigma atau pendekatan pengendalian kualitas statistik lainnya disarankan guna mencapai proses yang lebih andal, konsisten, dan sesuai dengan standar spesifikasi yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chowdhury, M. R. (2013). Process Capability Analysis in Pharmaceutical Production. *International Journal of Pharmaceutical and Life Sciences*, 2(2), 85–89. <https://doi.org/10.3329/ijpls.v2i2.15454>
- Evans, J. R. ., & Lindsay, W. M. . (2020). *Managing for quality and performance excellence*. Cengage Learning.
- Fithri, P. (2019). Six Sigma Sebagai Alat Pengendalian Mutu Pada Hasil Produksi Kain Mentah Pt Unitex, Tbk. *J@ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 14(1), 43. <https://doi.org/10.14710/jati.14.1.43-52>
- Flores, M., Fernández-Casal, R., Naya, S., & Tarrío-Saavedra, J. (2021). *Statistical Quality Control with the qcr Package*. <https://digitalcommons.unl.edu/r-journal>
- Hidayat, D. F., Sutaarga, O., & Hardono, J. (2023). Pengendalian Kualitas Produk Pipa Carbon Seamless Menggunakan Peta Kendali Dan Kapabilitas Proses Quality Control Of Seamless Carbon Pipe Products Using Control Chart And Capability Process. *Journal Industrial Manufacturing*, 8(2), 113–120.
- Konrath, A. C., Walter, O. M., Henning, E., Alves, C. da C., & Samohyl, R. W. (2013). *2013 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. IEEE.
- Maulana, M. R., & Rochman, D. D. (2024). Analisis Kualitas Feed Water Boiler Menggunakan Peta Kendali Variabel Di Pt X. *Jurnal Logistics & Supply Chain Vol. 02 No. 02, Januari 2024*.
- Montgomery, D. C. (2013). Introduction to Statistical Quality Control. In *Analytical Biochemistry* (Vol. 7).
- Nuralisa, R. A., & Musfiroh, I. (2022). Analisis Kapabilitas Proses Produk Farmasi X Dengan Pendekatan Six Sigma Di Pt Y. *Majalah Farmasetika*, 7 (5) 2022, 494-506. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v7i4.40370>
- Ratnadi, R., & Suprianto, E. (2016). Pengendalian Kualitas Produksi Menggunakan Alat Bantu Statistik (Seven Tools) Dalam Upaya Menekan Tingkat Kerusakan Produk. *Jurnal Indept*, 6(2), 11.
- Yanuar, F., Nabilla, M. F., & Rahmi, I. (2021). Penerapan Peta Kendali Atribut Klasik Dan Peta Kendali Np Bayes Pada Produk Cacat Air Minum Asri Di Cv. Multi Rejeki Selaras Payakumbuh. *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*, 13(1), 17–24. <https://doi.org/10.34123/jurnalasks.v13i1.261>