

Pengendalian Kualitas Statistik dan Analisis Kapabilitas Kualitas Air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II Berdasarkan Nilai pH dengan Diagram Kontrol *CUSUM* dan *EWMA*

Benedictus Kenny Tjahjono^{1*}, R. Irfan Rizky Maulana², dan Muhammad Ahsan³

¹²³Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*Corresponding author: benedictuskt@email.com

Received: 13 November 2022

Revised: 14 November 2022

Accepted: 17 November 2022

ABSTRAK – Air merupakan sumber kehidupan bagi makhluk hidup di muka bumi. Air yang bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari – hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan. Tetapi akhir-akhir ini air yang ada di bumi telah banyak mengalami pencemaran sehingga kondisinya tidak layak untuk dikonsumsi. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk menjaga kualitas air agar tetap layak untuk dikonsumsi dan digunakan untuk keperluan sehari – hari. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan penjernihan air. Hampir semua wilayah di Indonesia menerapkan metode ini, salah satu wilayah yang menerapkannya adalah Instalasi Penjernihan Ngagel II. Hasil penjernihan air di Ngagel II selalu dilakukan pengecekan kualitas air yang meliputi beberapa hal seperti pH, suhu dan warna. Salah satu hal utama yang menjadi perhatian adalah pH, pH air dikatakan baik jika nilainya berada diantara 6.5 hingga 9. Oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian kualitas statistik terhadap pH di Instalasi Penjernihan Ngagel II untuk mengetahui karakteristik data pH air. Pengendalian kualitas yang digunakan adalah diagram kontrol EWMA dan CUSUM. Kedua diagram kontrol ini lebih sensitif terhadap pergeseran mean yang kecil. Data yang diamati dalam praktikum ini adalah data kualitas air di Instalasi Penjernihan Ngagel II pada bulan September 2010 hingga Desember 2010. Berdasarkan diagram kontrol CUSUM diketahui bahwa proses belum terkendali dan terjadi pergeseran mean. Sedangkan berdasarkan diagram kontrol EWMA proses juga belum terkendali dan terjadi pergeseran mean. Belum terkendalinya proses ini disebabkan banyaknya titik yang *out of control*. Dari analisis kapabilitas berdasarkan nilai P_p dan P_{pk} bisa diketahui bahwa proses telah kapabel, karena memiliki nilai yang lebih dari 1.

Kata kunci – Analisis Kapabilitas Proses, CUSUM, EWMA, Kualitas

ABSTRACT – Water is the source of life for living things on earth. Clean water is water used for daily needs whose quality meets health requirements. But lately the water on earth has been polluted a lot so that the condition is not suitable for consumption. Therefore, efforts are needed to maintain water quality so that it remains suitable for consumption and use for daily needs. One of the efforts that can be done is by purifying the water. Almost all regions in Indonesia apply this method, one area that applies it is the Ngagel II Purification Installation. The results of water purification in Ngagel II are always checked for water quality which includes several things such as pH, temperature and color. One of the main things of concern is pH, the pH of the water is said to be good if the value is between 6.5 to 9. Therefore, it is necessary to control the statistical quality of the pH at the Ngagel II Purification Installation to determine the characteristics of the water pH data. Quality control used is EWMA and CUSUM control charts. These two control charts are more sensitive to small mean shifts. The data observed in this practicum is water quality data at the Ngagel II Purification Installation from September 2010 to December 2010. Based on the CUSUM control chart, it is known that the process is not under control and there is a shift in the mean. Meanwhile, based on the EWMA control diagram, the process is also not under control and there is a shift in the mean. This process has not been controlled due to the many points that are out of control. From the capability analysis based on the P_p and P_{pk} values, it can be seen that the process is capable, because it has a value of more than 1.

Keywords – Process Capability Analysis, CUSUM, EWMA, Quality

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Minimnya air bersih untuk diminum di Indonesia menjadi permasalahan utama yang harus diperhatikan karena banyak orang yang meninggal dari berbagai yang muncul karena hal tersebut. Hingga saat ini masih banyak masyarakat yang mengalami kesulitan dalam mendapatkan air bersih untuk dikonsumsi. Berdasarkan syarat organisasi WHO, air

minum yang ideal adalah yang aman dikonsumsi, jernih, tidak berbau, tidak berasa aneh, bersuhu wajar, bersih dari bakteri, dan mengandung sedikit jumlah mineral [1].

Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku menurut Pasal 1 Keputusan Menteri Negara. Salah satu parameter kualitas air yang mudah diukur adalah pH. pH sendiri menyatakan intensitas kesamaan atau alkalinitas dari suatu cairan encer dan mewakili konsentrasi hydrogen ionnya. Air minum dikatakan baik untuk dikonsumsi jika pH air yang diminum sebesar 6,5 – 9 [2].

Berdasarkan kondisi tersebut, maka diperlukan upaya meningkatkan kualitas air bersih pada Instalasi Penjernihan Air Ngagel II. Upaya untuk meningkatkan kualitas air bersih tersebut dengan menggunakan diagram kontrol *EWMA* dan diagram kontrol *CUSUM*. Kedua diagram ini. Kedua diagram kontrol ini sangat baik dalam mendeteksi pergeseran kualitas air walaupun pergeserannya kecil.

Dalam melakukan pengendalian kualitas air bersih di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II, juga dianalisis karakteristik data kualitas air bersih yang diukur berdasarkan pH. Selain itu, akan dilakukan analisis kapabilitas proses untuk mengetahui apakah kualitas air bersih sudah memenuhi standard atau belum. Selanjutnya, hasil praktikum ini diharapkan nantinya dapat memberikan masukan atau usulan kepada pihak perusahaan dalam menentukan strategi pengendalian kualitas air bersih di masa yang akan datang.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana karakteristik dari data kualitas air bersih di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II yang diukur berdasarkan parameter pH?
2. Bagaimana uji asumsi keacakan dan distribusi normal dari data kualitas air bersih di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II yang diukur berdasarkan parameter pH?
3. Bagaimana hasil analisis dari data kualitas air bersih berdasarkan parameter pH pada Instalasi Penjernihan Air Ngagel II menggunakan diagram kontrol *CUSUM*?
4. Bagaimana hasil analisis dari data kualitas air bersih berdasarkan parameter pH pada Instalasi Penjernihan Air Ngagel II menggunakan diagram kontrol *EWMA*?
5. Bagaimana hasil kapabilitas proses pada data kualitas air bersih yang diukur berdasarkan parameter pH di Instalasi Air Ngagel II?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Mendeskripsikan karakteristik dari data kualitas air bersih di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II yang diukur berdasarkan parameter pH
2. Melakukan uji asumsi keacakan dan distribusi normal dari data kualitas air bersih di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II yang diukur berdasarkan parameter pH
3. Melakukan analisis dari data kualitas air bersih berdasarkan parameter pH pada Instalasi Penjernihan Air Ngagel II menggunakan diagram kontrol *CUSUM*
4. Melakukan analisis dari data kualitas air bersih berdasarkan parameter pH pada Instalasi Penjernihan Air Ngagel II menggunakan diagram kontrol *EWMA*
5. Melakukan analisis kapabilitas proses pada data kualitas air bersih yang diukur berdasarkan parameter pH di Instalasi Air Ngagel II

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 *CUSUM* dan *EWMA* serta kapabilitas proses
2. Sebagai bahan referensi mengenai kualitas air bersih yang dihasilkan Instalasi Penjernihan Air Ngagel II bila diukur dari parameter pH
3. Sebagai acuan untuk memperbaiki kualitas air yang dihasilkan melalui analisis kapabilitas proses
4. Mampu memberikan informasi kepada masyarakat tentang kapan pergeseran kualitas air bersih mulai terjadi serta kapabilitas proses kualitas air bersih di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif metode yang berkaitan dengan pendataan, pengumpulan, dan penyajian suatu gugus data sehingga memberikan informasi yang berguna tanpa menarik inferensia atau kesimpulan [3]. Statistika deskriptif yang digunakan dalam penelitian ini adalah mean, nilai maksimum, nilai minimum, standar deviasi, dan varians. Mean merupakan nilai rata-rata dari suatu data yang dapat dihitung dengan menjumlahkan semua elemen pada data dibagi dengan banyak elemen pada data tersebut. Secara matematis, rumus yang dapat digunakan untuk menghitung mean adalah sebagai berikut.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Keterangan:

\bar{x} = Mean atau rata-rata
 n = Banyak data yang akan diolah
 x_i = Data ke-i

Standar deviasi merupakan suatu ukuran untuk mengetahui seberapa jauh suatu pengamatan menyebar dari rata-ratanya [3]. Jika nilai standar deviasi semakin mendekati nol, maka penyebaran nilai pengamatan semakin kecil. Varians adalah suatu ukuran variasi atau dispersi pengamatan yang didefinisikan sebagai kuadrat dari standar deviasi. Berikut adalah rumus untuk menghitung standar deviasi.

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

Sedangkan rumus untuk menghitung varians adalah sebagai berikut.

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

Keterangan:

s^2 = Varians
 s = Standar deviasi
 \bar{x} = Mean atau rata-rata
 n = Banyak data yang akan diolah
 x_i = Data ke-i

B. Uji Keacakan Data

Uji keacakan merupakan metode statistika nonparametrik yang digunakan untuk mengetahui apakah data sampel yang diambil dari populasi sudah acak atau belum [4]. Dalam pengendalian kualitas statistika, suatu proses dapat dikatakan terkendali jika setiap pengamatan berada diantara batas kendali dan menyebar secara acak sehingga keacakan suatu data merupakan hal yang penting. Hipotesis untuk uji keacakan adalah sebagai berikut.

H_0 : Data pengamatan diambil secara acak dari populasi
 H_1 : Data pengamatan diambil secara tidak acak dari populasi

Uji keacakan data pada penelitian dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab. Apabila nilai P-Value $> \alpha$ maka diperoleh keputusan gagal tolak H_0 artinya pola data menyebar secara acak, sedangkan jika nilai P-Value $< \alpha$ maka diperoleh keputusan H_0 yang artinya pola data tidak menyebar secara acak.

Untuk uji sampel kecil dengan jumlah sampel kurang dari sama dengan 20 dapat menggunakan table run- F_1 sebagai batas minimum dan run- F_2 sebagai batas maksimum dalam penentuan penolakan hipotesis nol nya, jika sampel besar rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$Z = \frac{r - \mu_r}{\sigma_r} \quad (4)$$

dimana,

$$\mu_r = \frac{2n_1 n_2}{n_1 + n_2} + 1 \quad (5)$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{2n_1 n_2 (2n_1 n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2 (n_1 + n_2 - 1)}} \quad (6)$$

Untuk sampel besar atau lebih dari 20, dapat mengambil keputusan tolak H_0 jika $Z > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ atau $-Z < Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ atau P-value $< \alpha$.

C. Uji Normalitas Data

Uji normalitas adalah pengujian untuk mengetahui apakah suatu berdistribusi normal atau tidak [4]. Uji normalitas dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu statistika deskriptif dan statistika inferensia. Pada Statistika deskriptif, histogram dapat digunakan untuk melakukan uji normalitas. Jika pemusatan data berada pada titik nol dan kurva mendekati bentuk *bell-shaped*, maka dapat dikatakan bahwa data berdistribusi normal. Sementara pada statistika inferensia, uji normalitas dapat menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Berikut adalah hipotesis dan statistika uji dari uji normalitas menggunakan Kolmogorov-Smirnov:

H_0 : Data pengamatan diambil secara acak dari populasi
 H_1 : Data pengamatan diambil secara tidak acak dari populasi

$$D = |F_0(x) - F_n(x)| \quad (7)$$

Uji Normalitas pada penelitian ini dilakukan melalui *software* Minitab. Apabila nilai P-Value $> \alpha$ maka diperoleh keputusan Gagal Tolak H_0 yang artinya data berdistribusi normal, sedangkan jika nilai P-Value $< \alpha$ maka diperoleh keputusan Tolak H_0 yang artinya data tidak berdistribusi normal.

D. Peta Kendali CUSUM

Peta kendali CUSUM atau *Cumulative SUM* diteliti oleh Page pada tahun 1954. Peta kendali ini diciptakan untuk

memperbaiki kekurangan peta kendali Shewhart yang kurang optimal untuk mendeteksi pergeseran kecil sehingga peta kendali CUSUM dapat digunakan untuk mengetahui dan mendeteksi suatu pergeseran kecil [5]. Peta kendali CUSUM dapat dibedakan menjadi 2 berdasarkan cara merepresentasikannya, yaitu Tabular CUSUM dan V-Mask CUSUM dimana Tabular CUSUM lebih banyak digunakan dalam berbagi analisis peta kendali CUSUM dibandingkan V-Mask CUSUM karena dapat digunakan untuk struktur data subgroup maupun individu. Peta kendali CUSUM secara langsung menggabungkan seluruh informasi pada rangkaian nilai sampel dengan menggambarkan jumlah kumulatif deviasi dari nilai rata-rata sampel atas nilai objektif atau target. Oleh karena itu, perhitungan mendasar tersebut secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$C_i = \sum_{j=1}^n (x_j - \mu_0) \quad (8)$$

Dimana:

C_i = Nilai statistik CUSUM ke-i

x_i = Data ke-i

μ_0 = Nilai target

Tabular CUSUM digunakan dengan cara mengakumulasi pergeseran atas nilai target yang dilambangkan dengan C_i^+ dan C_i^- yang disebut juga dengan *upper CUSUM* dan *lower CUSUM*. Persamaan dari *upper CUSUM* dan *lower CUSUM* adalah sebagai berikut [5].

$$C_i^+ = \max\{0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+\} \quad (9)$$

$$C_i^- = \max\{0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-\} \quad (10)$$

dimana nilai $C_0^+ = C_0^- = 0$ dengan nilai K diperoleh dari nilai *shift* (δ) atau pergeseran proses sesuai standar deviasi. Berikut adalah persamaan untuk K.

$$K = \frac{\delta}{2} \sigma = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2} = k\sigma \quad (11)$$

dengan k adalah suatu tetapan yang bernilai optimal apabila bernilai 0.4 atau 0.5. Lalu, untuk batas kendali pada peta kendali CUSUM adalah sebagai berikut.

$$UCL = H \quad (12)$$

$$CL = \mu_0 \quad (13)$$

$$LCL = -H \quad (14)$$

dimana nilai H dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$H = h\sigma \quad (15)$$

nilai h merupakan suatu tetapan yang bernilai optimal apabila bernilai 4 atau 5. Berdasarkan beberapa persamaan diatas, dibutuhkan nilai μ_0 dan σ . Jika kedua parameter tersebut tidak diketahui, nilai dari parameter tersebut dapat diestimasi dengan menggunakan *mean* sampel (\bar{x}) dan standar deviasi sampel (s).

E. Peta Kendali EWMA

Peta kendali EWMA atau *Exponentially Weighted Moving Average* juga digunakan untuk mendeteksi pergeseran kecil dan tetap. Peta kendali ini dikenalkan oleh Robert pada tahun 1959. Kelebihan dari peta kendali EWMA adalah bersifat robust sehingga dapat digunakan pada pengamatan dengan distribusi apapun [6]. Untuk statistik yang digunakan pada peta kendali EWMA adalah sebagai berikut.

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (16)$$

Dengan λ adalah pembobot yang nilainya berada pada interval (0,1]. Semakin kecil nilai λ maka semakin baik performa peta kendali EWMA untuk mendeteksi pergeseran kecil. Ketika nilai λ adalah 1, peta kendali EWMA mendekati peta kendali Shewhart. Meskipun begitu, nilai λ yang terlalu kecil akan menyebabkan banyak pengamatan berada diluar batas kendali sehingga dapat menyebabkan kerugian kepada perusahaan akibatnya banyaknya data *out of control*. Oleh karena itu, nilai lambda yang paling sering digunakan karena paling optimal berada pada interval $0.05 < \lambda < 0.25$. Batas kendali dari peta kendali EWMA dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$UCL_i = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (17)$$

$$CL = \mu_0 \quad (18)$$

$$LCL_i = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (19)$$

Jika data pengamatan berupa subgroup dengan n banyak sampel disubgroup, maka statistik yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$z_i = \lambda \bar{x}_i + (1 - \lambda)z_{i-1} \quad (20)$$

Dengan batas kendali sebagai berikut.

$$UCL_i = \mu_0 + L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (21)$$

$$CL = \mu_0 \quad (22)$$

$$LCL_i = \mu_0 - L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad (23)$$

F. Proses Kapabilitas

Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk beroperasi sesuai dengan standar yang ditentukan [7]. Suatu

proses dapat dikatakan kapabel jika proses sudah *in control* (terkendali), memenuhi batas spesifikasi yang diinginkan, memiliki presisi yang tinggi, dan memiliki akurasi yang tinggi. Dalam proses analisisnya, pemenuhan spesifikasi dapat diukur dengan menggunakan Indeks Kapabilitas Proses (C_p), sementara akurasi dan presisi diukur dengan menggunakan Indeks Kapabilitas Aktual (C_{pk}). Namun, Indeks Kapabilitas Proses (C_p) dan Indeks Kapabilitas Aktual (C_{pk}) hanya dapat digunakan ketika syarat *in control* terpenuhi. Jika peta kendali masih *out of control*, dapat menggunakan performansi proses (P_p dan P_{pk}). Perbedaannya adalah P_p dan P_{pk} menggunakan estimasi nilai sigma, sedangkan C_p dan C_{pk} menggunakan nilai standar deviasi. Berikut adalah persamaan Indeks Kapabilitas Proses (C_p) dan Indeks Kapabilitas Aktual (C_{pk}).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (24)$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}\right) \quad (25)$$

Kriteria penilaian C_p adalah sebagai berikut.

- Jika $C_p > 1.33$ maka kapabilitas proses dapat dikatakan baik
- Jika $1 \leq C_p \leq 1.33$ maka proses membutuhkan perhatian
- Jika $C_p < 1$ maka proses tidak kapabel

Sementara kriteria penilaian C_{pk} adalah sebagai berikut.

- Jika $C_{pk} = C_p$ maka proses terpusat di nilai rata-rata
- Jika $C_{pk} = 1$ maka proses menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi
- Jika $C_{pk} < 1$ maka proses menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Sumber data yang digunakan pada penelitian ini adalah Data Sekunder yang didapat dari penelitian tugas akhir yang berjudul “Analisis Penerapan Bagan Pengendali Jumlah Kumulatif Untuk Mendeteksi Pergeseran Rata-Rata Proses” oleh Lailis Saida dari Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang pada tahun 2011. Data yang digunakan merupakan Data nilai pH air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II yang diambil dari September hingga Desember 2010.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam praktikum ini adalah kualitas air produksi pada Instalasi Penjernihan Ngagel II yang diukur berdasarkan parameter pH (keasaman dan kebasaaan). Nilai pH pada Instalasi Penjernihan Ngagel II memiliki batas spesifikasi yang sudah ditentukan, yaitu 6.5 untuk batas spesifikasi bawah dan 9 untuk batas spesifikasi atas.

C. Struktur Data

Adapun struktur data dalam praktikum ini adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Struktur Data pH Air

Observasi	X_i
1	X_1
2	X_2
3	X_3
4	X_4
5	X_5
\vdots	\vdots
82	X_{82}

Keterangan:

i = Pengamatan pada hari ke- i

X_i = Nilai pH pada pengamatan ke- i

D. Langkah Analisis

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis karakteristik data,
2. Uji keacakan data (*run test*),
3. Uji normalitas data, apabila data tidak berdistribusi normal, dilakukan transformasi data untuk *CUSUM* dan data asli untuk *EWMA*,
4. Membuat diagram kendali *CUSUM*,
5. Membuat diagram kendali *EWMA*,
6. Bandingkan hasil kedua diagram,
7. Membuat analisis kapabilitas prosesnya,
8. Membuat kesimpulan dan saran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Data

Nilai pH menunjukkan derajat keasaman suatu jenis larutan. Target nilai pH untuk air minum adalah 7. Oleh karena itu, penjernihan air yang dilakukan diharapkan mampu memberikan pH air minum yang mendekati 7 juga. Berikut adalah karakteristik data pH air dalam penelitian ini.

Tabel 2 Karakteristik Data pH Air

Variabel	Mean	Standar Deviasi	Varians	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
pH Air	6.950	0.110	0.012	6.700	7.260

Berdasarkan karakteristik data pH air tersebut, dapat dilihat bahwa rata-rata nilai pH air tiap harinya sebesar 6.950 dengan nilai pH tertinggi 7.260 dan terendah sebesar 6.700. Nilai pH tersebut dapat dikatakan baik karena mendekati nilai 7. Selain itu, nilai rata-rata pH air tiap harinya masih berada diantara batas spesifikasi yang diharapkan, yaitu 6.5 hingga 9. Nilai pH air tiap harinya juga cenderung konstan atau tidak berbeda jauh, hal ini dapat dilihat dari nilai varians sebesar 0.0121 yang cukup mendekati nilai nol sehingga pH air tiap harinya tidak terlalu bervariasi. Oleh karena itu, secara karakteristik data, pH air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II masih normal dan layak dikonsumsi.

B. Uji Keacakan Data

Uji keacakan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* MINITAB. Berikut adalah hasil uji keacakan data pada penelitian ini.

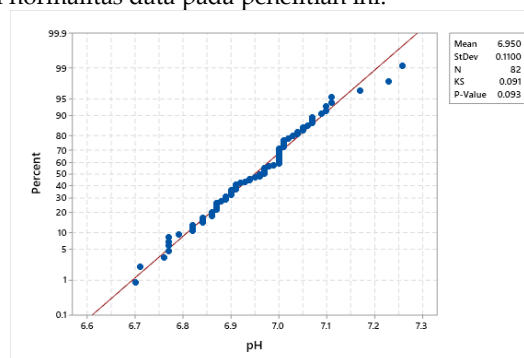
Tabel 3 Uji Keacakan Data

N	K	$\leq K$	$>K$	P-Value
82	7	59	23	0.050

Berdasarkan hasil uji keacakan data pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa nilai P-value $\geq \alpha$ yaitu $0.050 \geq 0.050$ sehingga keputusan yang dapat diambil adalah gagal tolak H_0 . Oleh karena itu, data pH air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II sudah memenuhi asumsi keacakan data.

C. Uji Normalitas Data

Uji normalitas data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* pada *software* MINITAB. Berikut adalah hasil uji normalitas data pada penelitian ini.

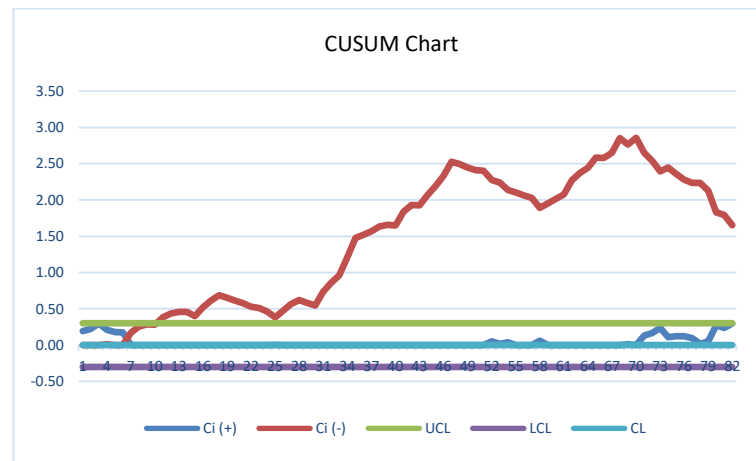


Gambar 1 Uji Normalitas Data

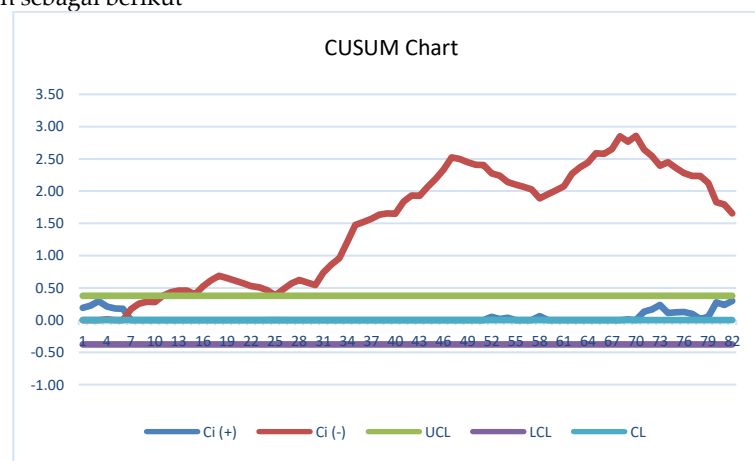
Berdasarkan hasil uji normalitas data pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa nilai P-value $\geq \alpha$ yaitu $0.093 \geq 0.050$ sehingga keputusan yang dapat diambil adalah gagal tolak H_0 . Oleh karena itu, data pH air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II sudah memenuhi asumsi berdistribusi normal.

D. Peta Kendali CUSUM

Peta kendali CUSUM pada penelitian ini dibuat dengan perhitungan manual melalui Microsoft Excel. Nilai target pada penelitian ini adalah 7 sebagaimana terdapat pada karakteristik data. Sementara untuk nilai standar deviasi proses (σ) diperoleh dengan menggunakan pendekatan $\frac{MR}{d_2}$, dimana nilai d_2 sebesar 1.128 sehingga diperoleh nilai standar deviasi proses sebesar 0.075. Berikut adalah peta kendali CUSUM dari data pH air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II dengan menggunakan nilai $k = 0.5$ dan $h = 4$.

Gambar 2 Peta Kendali CUSUM dengan $k = 0.5$ dan $h = 4$

Sedangkan peta kendali CUSUM dari data pH air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II dengan menggunakan nilai $k = 0.5$ dan $h = 5$ adalah sebagai berikut

Gambar 3 Peta Kendali CUSUM dengan $k = 0.5$ dan $h = 5$

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3, dapat dilihat bahwa tidak ada perbedaan dari kedua peta kendali dengan parameter h yang berbeda karena memberikan hasil yang cenderung sama. Kedua peta kendali CUSUM menunjukkan bahwa proses belum terkendali secara statistik karena masih terdapat pengamatan yang berada diluar batas kontrol. Titik data pengamatan pertama kali berada diluar batas kontrol pada pengamatan ke-11. Namun, setelah diteliti lebih lanjut, terdapat pergeseran proses pada proses ini. Titik data pengamatan pertama kali mengalami pergeseran pada pengamatan ke-7.

E. Peta Kendali EWMA

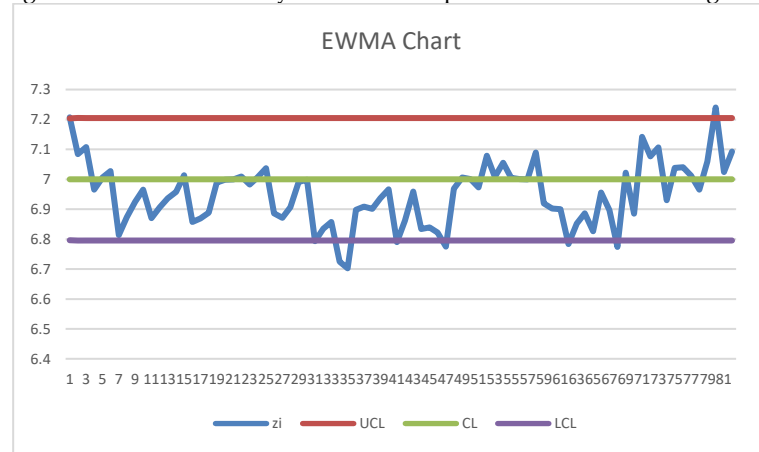
Peta kendali EWMA pada penelitian ini dibuat dengan perhitungan manual melalui Microsoft Excel. Nilai parameter L yang digunakan sebesar 3. Sementara untuk parameter λ yang digunakan berada pada interval $0.1 \leq \lambda \leq 0.9$. Peta kendali EWMA yang akan digunakan pada penelitian ini adalah peta kendali dengan nilai λ yang optimum. Untuk mengetahui nilai λ optimum, dibutuhkan data jarak antara nilai statistik yang *out of control* paling jauh dari batas kontrolnya untuk setiap peta kendali EWMA dengan variasi nilai λ . Berikut adalah tabel perbandingan nilai λ .

Tabel 4 Perbandingan Nilai λ

λ	Banyak Pengamatan Out of Control	Statistik Out of Control	LCL	Selisih	Rank
0.1	39	6.866	6.948	0.082	9
0.2	32	6.828	6.925	0.097	8
0.3	26	6.790	6.905	0.115	7
0.4	21	6.762	6.887	0.125	6
0.5	17	6.742	6.869	0.127	5
0.6	14	6.727	6.852	0.125	4
0.7	9	6.716	6.834	0.118	3

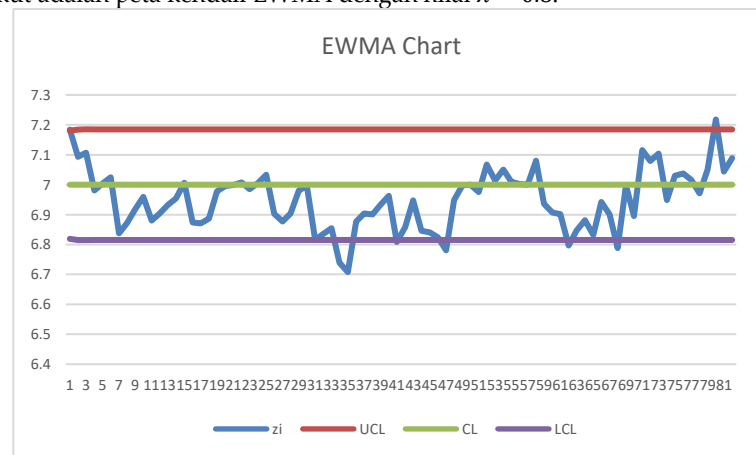
0.8	9	6.708	6.815	0.108	2
0.9	9	6.7025	6.7954	0.0929	1

Batas kontrol limit yang digunakan pada perbandingan nilai λ adalah LCL karena data yang keluar dari batas kontrol terjauh terletak dibawah batas kontrol. Berdasarkan perbandingan nilai λ pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai $\lambda = \{0.9, 0.8, 0.7\}$ merupakan 3 nilai λ paling optimum karena memiliki selisih paling kecil antara statistik yang keluar dari batas kontrol terjauh dengan batas kontrol limitnya. Berikut ada peta kendali EWMA dengan nilai $\lambda = 0.9$.



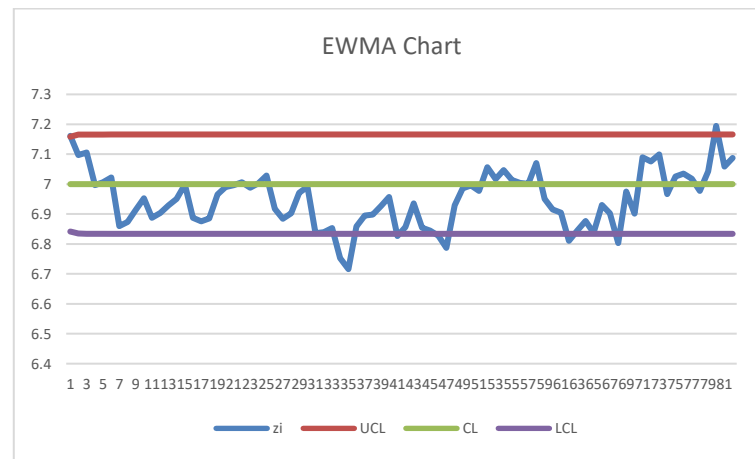
Gambar 4 Peta Kendali EWMA dengan $L = 3$ dan $\lambda = 0.9$

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat masih banyak pengamatan (9 dari 82 pengamatan) yang berada diluar batas kontrol sehingga dapat dikatakan bahwa proses masih belum terkendali secara statistik. Selain itu, Gambar 4 juga menunjukkan terdapat pergeseran proses yang mengakibatkan data pengamatan bergeser hingga keluar dari batas kontrol limit. Titik data pengamatan pertama kali mengalami pergeseran dan berada diluar batas kontrol bawah pada pengamatan ke-31. Berikut adalah peta kendali EWMA dengan nilai $\lambda = 0.8$.



Gambar 5 Peta Kendali EWMA dengan $L = 3$ dan $\lambda = 0.8$

Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat masih banyak pengamatan (9 dari 82 pengamatan) yang berada diluar batas kontrol sehingga dapat dikatakan bahwa proses masih belum terkendali secara statistik. Selain itu, Gambar 5 juga menunjukkan terdapat pergeseran proses yang mengakibatkan data pengamatan bergeser hingga keluar dari batas kontrol limit. Titik data pengamatan pertama kali mengalami pergeseran dan berada diluar batas kontrol bawah pada pengamatan ke-31. Berikut adalah peta kendali EWMA dengan nilai $\lambda = 0.7$.



Gambar 6 Peta Kendali EWMA dengan $L = 3$ dan $\lambda = 0.7$

Berdasarkan Gambar 6, dapat dilihat masih banyak pengamatan 9 dari 82 pengamatan) yang berada diluar batas kontrol sehingga dapat dikatakan bahwa proses masih belum terkendali secara statistik. Selain itu, Gambar 6 juga menunjukkan terdapat pergeseran proses yang mengakibatkan data pengamatan bergeser hingga keluar dari batas kontrol limit. Titik data pengamatan pertama kali mengalami pergeseran dan berada diluar batas kontrol bawah pada pengamatan ke-34.

F. Perbandingan Peta Kendali

Berdasarkan peta kendali CUSUM dan EWMA, dapat terlihat bahwa nilai pH air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II masih belum terkendali secara statistik karena masih terdapat banyak pengamatan berada diluar batas kontrol. Kecenderungan pengamatan *out of control* dari pH air ini adalah berada dibawah batas kontrol limit bawah (LCL). Berikut adalah tabulasi perbandingan peta kendali CUSUM dan EWMA.

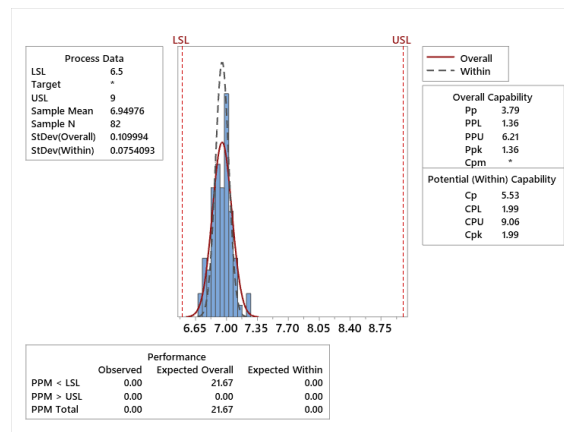
Tabel 5 Perbandingan Peta Kendali CUSUM dan EWMA

Pembandingan	Peta Kendali CUSUM	Peta Kendali EWMA
Distribusi Data	Lebih baik digunakan ketika data berdistribusi normal	Tidak bergantung pada distribusi data (robust)
Pergeseran Proses Pertama Kali	Pengamatan ke-7	Pengamatan ke-31
Pengamatan <i>out of control</i> Pertama Kali	Pengamatan ke-11	Pengamatan ke-31

Peta kendali yang paling sesuai untuk pengendalian kualitas pH air dalam penelitian ini adalah peta kendali CUSUM. Terdapat beberapa alasan peta kendali CUSUM merupakan peta kendali yang paling sesuai. Pertama, data pH air harian di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II sudah memenuhi asumsi distribusi normal sehingga peta kendali CUSUM lebih sesuai untuk digunakan. Kedua, peta kendali CUSUM lebih cepat mendeteksi pergeseran data. Pada peta kendali CUSUM, pergeseran proses pertama kali terdeteksi pada pengamatan ke-7. Sedangkan pada peta kendali EWMA dengan $L = 3$ dan $\lambda = 0.9$, pergeseran proses pertama kali terdeteksi pada pengamatan ke-31. Ketiga, peta kendali CUSUM lebih baik dalam mendeteksi data *out of control*. Peta kendali CUSUM menunjukkan data yang berada dibawah batas kontrol limit bawah pertama kali terdapat pada pengamatan ke-11, sedangkan pada kendali EWMA terdapat pada pengamatan ke-31.

G. Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses dalam penelitian ini menggunakan *software* MINITAB. Batas spesifikasi bawah pada penelitian ini adalah 6.5, sedangkan batas spesifikasi atas adalah 9. Berikut ini adalah hasil perhitungan kapabilitas proses pH air harian di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II.



Gambar 7 Kapabilitas Proses

Karena proses belum terkendali secara statistik, maka parameter kapabilitas proses yang digunakan adalah P_p dan P_{pk} . Berdasarkan Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa nilai $P_p = 3.79$ dan nilai $P_{pk} = 1.36$. Karena nilai $P_p > 1.33$ dan $P_{pk} > 1.33$ yaitu $3.79 > 1.33$ dan $1.36 > 1.33$, maka proses sudah kapabel.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diketahui karakteristik data pH air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II sebesar 6.9498 sehingga sudah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan yaitu 6.5 hingga 9. Nilai pH air juga cenderung konstan karena variasi data yang cukup kecil, yaitu sebesar 0.121. Data pH air juga sudah memenuhi asumsi keacakan data dan asumsi berdistribusi normal. Diagram kontrol CUSUM mendeteksi pengamatan *out of control* pertama kali pada pengamatan ke-11 dan mendeteksi pengamatan yang mengalami pergeseran proses pertama kali pada pengamatan ke-7. Sedangkan diagram kontrol EWMA dengan $L = 3$ dan $\lambda = 0.9$ mendeteksi pengamatan pertama kali mengalami pergeseran dan dibawah batas kontrol limit bawah pertama kali pada pengamatan ke-31. Dari perbandingan kedua peta kendali, peta kendali CUSUM memberikan hasil yang lebih baik karena data berdistribusi normal serta lebih cepat dalam mendeteksi pergeseran proses dan data *out of control*. Meskipun proses belum terkendali secara statistik karena masih terdapat banyak data yang *out of control*, proses yang terjadi sudah kapabel karena nilai P_p dan P_{pk} lebih besar daripada 1.33.

B. Saran

Setelah melakukan penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan yaitu memperhatikan langkah analisis secara terstruktur sehingga proses penyajian hasil analisis dapat lebih mudah dipahami, mencari penyebab data *out of control*, serta meningkatkan proses penjernihan air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II sehingga kualitas air minum yang ada menjadi lebih baik lagi.

REFERENSI

- [1] J. Nur and H. Prabowo, "Pengendalian Kualitas Statistik dan Analisis Kapabilitas Kualitas Air di Instalasi Penjernihan Air Ngagel II Berdasarkan Nilai pH dengan Diagram Kontrol CUSUM dan EWMA," 2015.
- [2] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, New York: John Wiley, 2005.
- [3] 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.
- [4] W. W. Daniel, Statistika Nonparametrik Terapan, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1989.
- [5] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, Eight Edition., United States of America: John Wiley & Sons, Inc, 2020.
- [6] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition., United States of America: John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- [7] D. H. Besterfield, Quality Control 4th Edition., New Jersey, 1994.
- [8] M. Nasution, Manajemen Mutu Terpadu (Total Quality Management), Jakarta: Ghalia Indonesia, 2005.
- [9] L. Saida, "Analisis Penerapan Bagan Pengendali Jumlah Kumulatif Untuk Mendeteksi Pergeseran Rata-Rata Proses," 2011.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data pH Air di Instalasi Penjernihan Ngagel II

No	pH Air		
1	7,23	42	6,87
2	7,07	43	6,97
3	7,11	44	6,82
4	6,95	45	6,84
5	7,01	46	6,82
6	7,03	47	6,77
7	6,79	48	6,99
8	6,88	49	7,01
9	6,93	50	7
10	6,97	51	6,97
11	6,86	52	7,09
12	6,91	53	7
13	6,94	54	7,06
14	6,96	55	7
15	7,02	56	7
16	6,84	57	7
17	6,87	58	7,1
18	6,89	59	6,9
19	7	60	6,9
20	7	61	6,9
21	7	62	6,77
22	7,01	63	6,86
23	6,98	64	6,89
24	7,01	65	6,82
25	7,04	66	6,97
26	6,87	67	6,89
27	6,87	68	6,76
28	6,91	69	7,05
29	7	70	6,87
30	7	71	7,17
31	6,77	72	7,07
32	6,84	73	7,11
33	6,86	74	6,91
34	6,71	75	7,05
35	6,7	76	7,04
36	6,92	77	7,01
37	6,91	78	6,96
38	6,9	79	7,07
39	6,94	80	7,26
40	6,97	81	7
41	6,77	82	7,1

Lampiran 2 Uji Keacakan Data

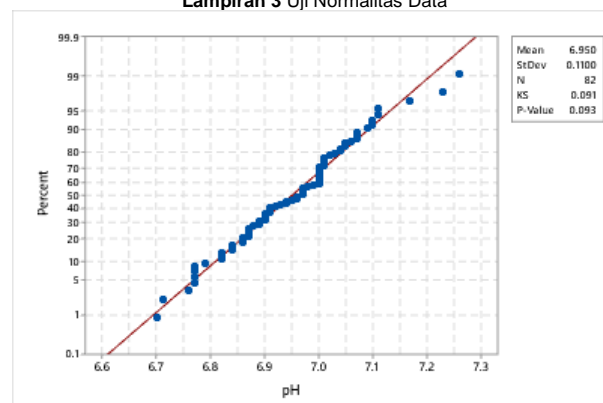
Descriptive Statistics

	Number of Observations
N	82
K	7
≤ K	59
> K	23

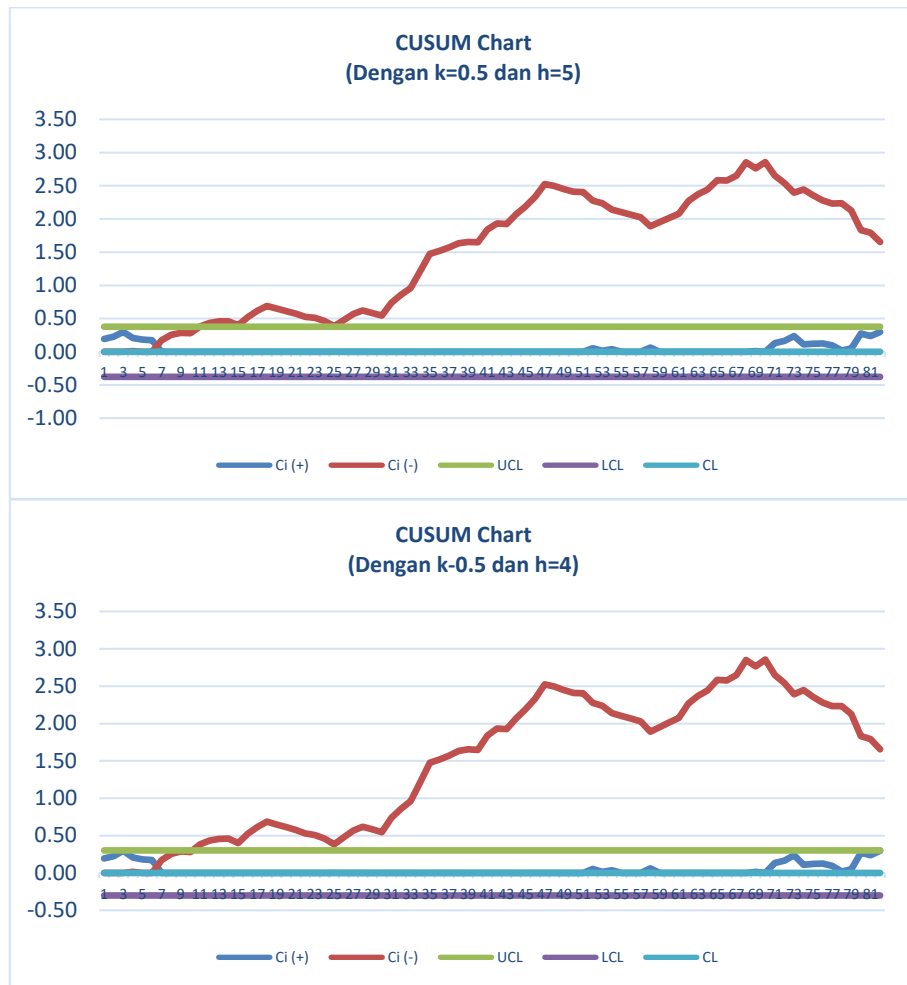
Test

Null hypothesis	H ₀ : The order of the data is random
Alternative hypothesis	H ₁ : The order of the data is not random
Number of Runs	
Observed	27
Expected	34.10
P-Value	0.050

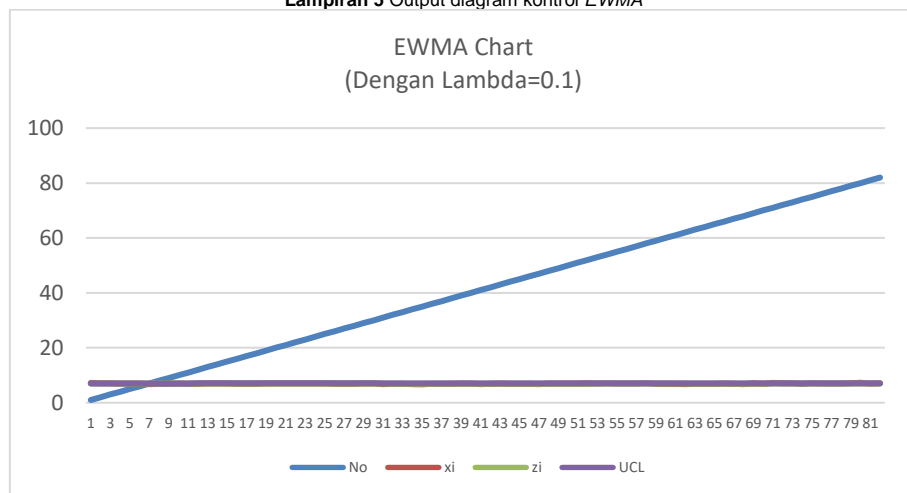
Lampiran 3 Uji Normalitas Data

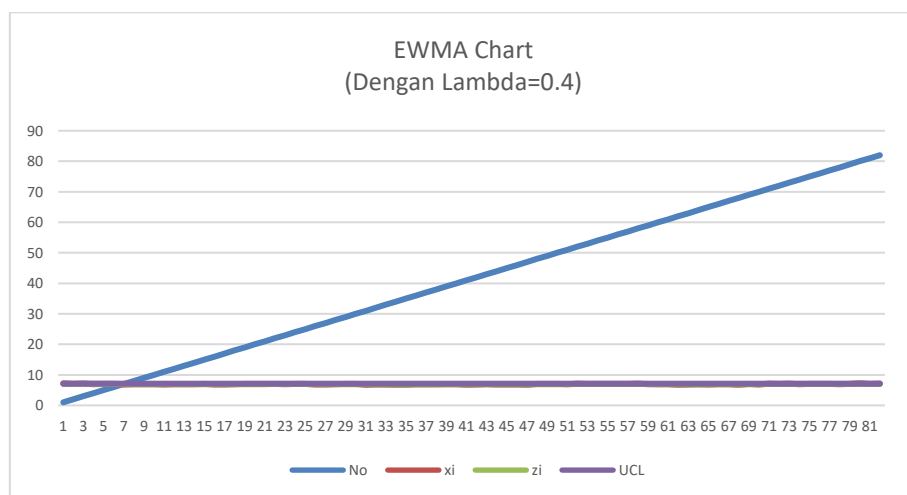
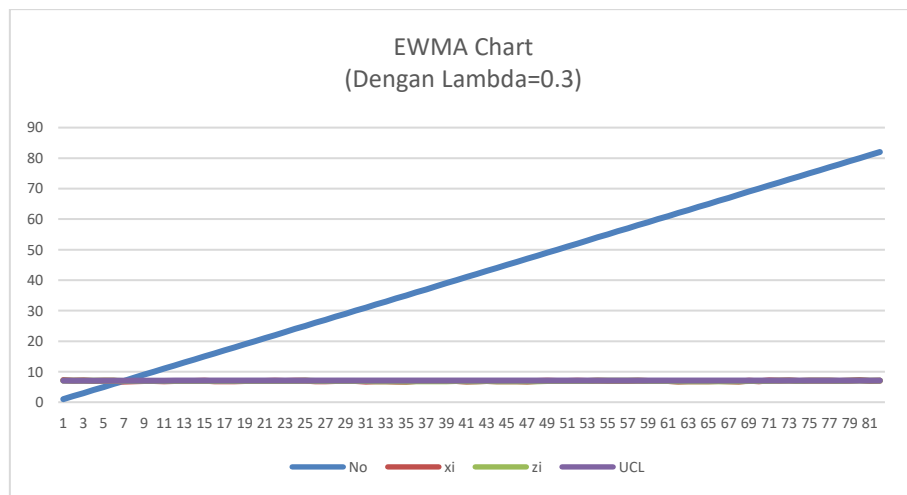
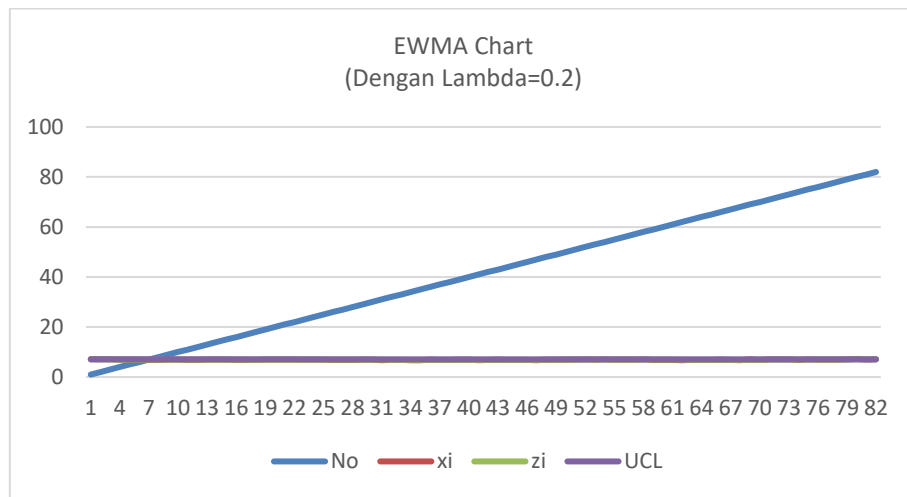


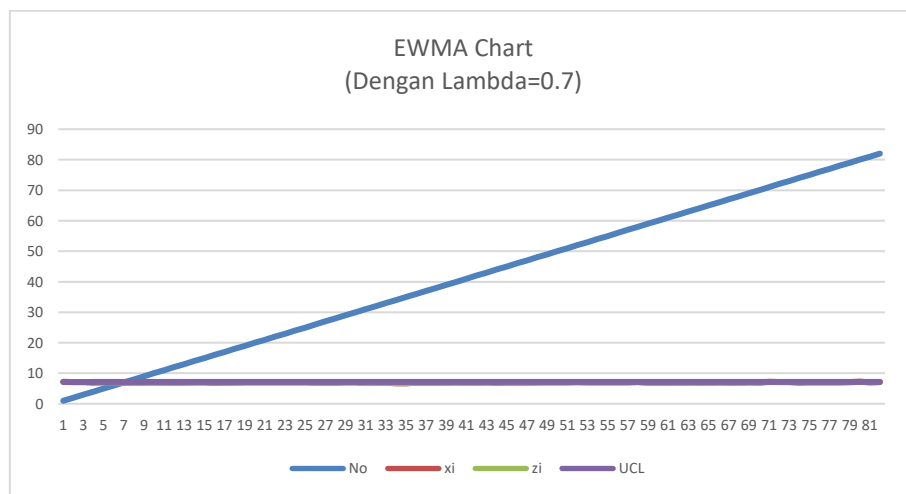
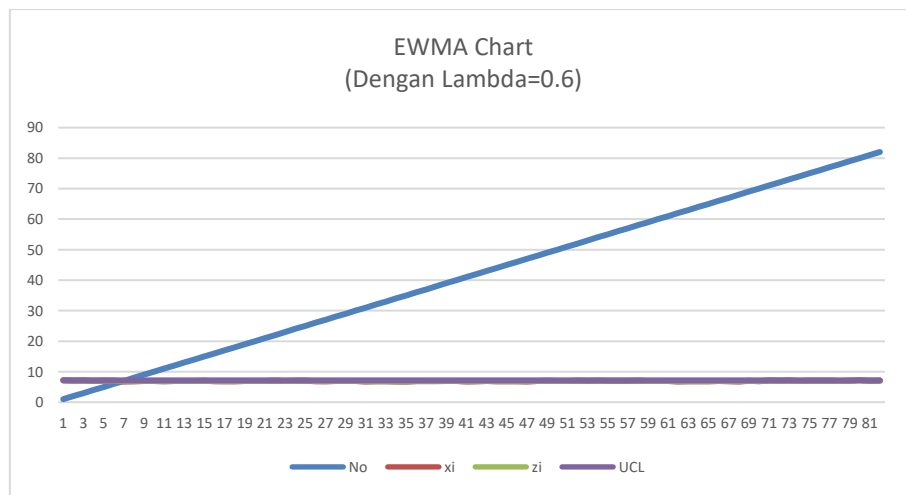
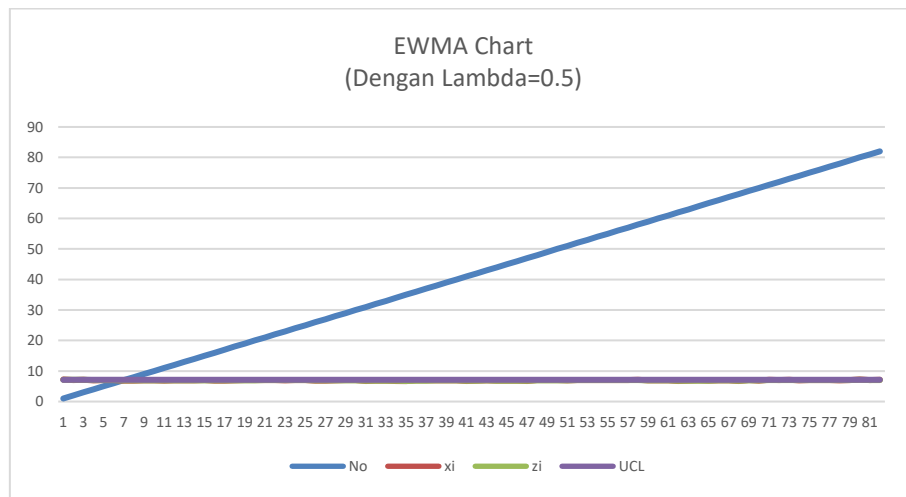
Lampiran 4 Output diagram kontrol *CUSUM*

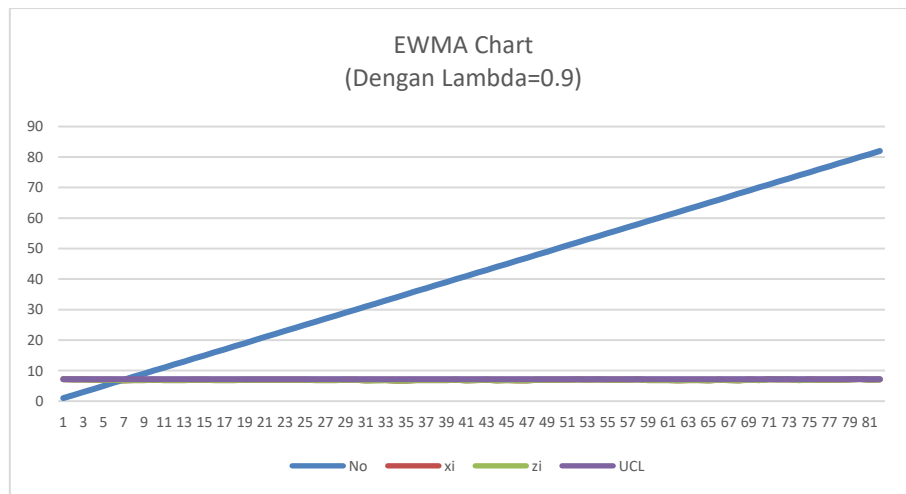
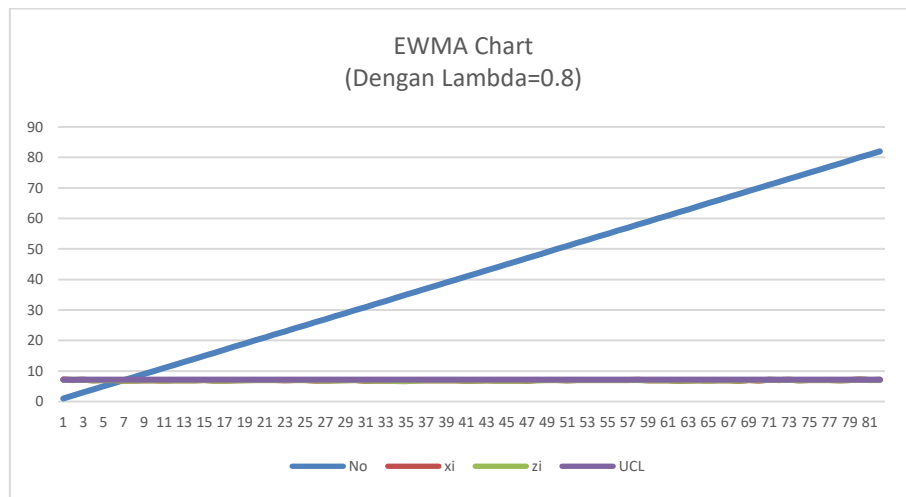


Lampiran 5 Output diagram kontrol *EWMA*

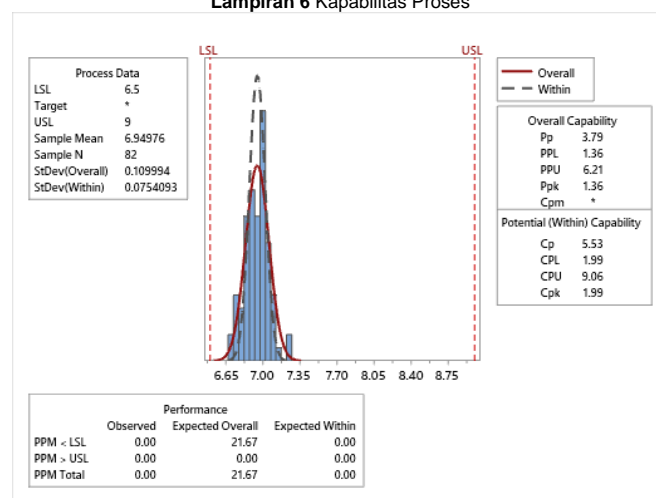








Lampiran 6 Kapabilitas Proses



Lampiran 7 Pembagian kerja

Deskripsi Kegiatan	Pelaksana
Pencarian data	Benedictus Kenny T.
Pengerjaan abstrak	R. Irfan Rizky Maulana
Pengerjaan bab 1	R. Irfan Rizky Maulana
Pengerjaan bab 2	Benedictus Kenny T.
Pengerjaan bab 3	R. Irfan Rizky Maulana
Pengerjaan bab 4	R. Irfan Rizky Maulana dan Benedictus Kenny T.
Pengerjaan bab 5	Benedictus Kenny T.
Pengerjaan daftar pustaka	R. Irfan Rizky Maulana dan Benedictus Kenny T.
Pengerjaan lampiran	R. Irfan Rizky Maulana
Pengerjaan PPT	R. Irfan Rizky Maulana dan Benedictus Kenny T.