



**TUGAS AKHIR - KS184822**

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI  
AIR DI PDAM SURYA SEMBADA KOTA  
SURABAYA MENGGUNAKAN DIAGRAM  
KENDALI MULTIVARIAT**

**YANI TRIMARDIANI  
NRP 062116 4000 0025**

**Dosen Pembimbing  
M. Sjahid Akbar, S.Si., M.Si.  
Wibawati, S.Si., M.Si.**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**





**TUGAS AKHIR - KS184822**

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI  
AIR DI PDAM SURYA SEMBADA KOTA  
SURABAYA MENGGUNAKAN DIAGRAM  
KENDALI MULTIVARIAT**

**YANI TRIMARDIANI  
NRP 062116 4000 0025**

**Dosen Pembimbing  
M. Sjahid Akbar, S.Si., M.Si.  
Wibawati, S.Si., M.Si.**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**





**FINAL PROJECT - KS184822**

**QUALITY CONTROL OF WATER PRODUCTION  
PROCESS IN PDAM SURYA SEMBADA KOTA  
SURABAYA USING MULTIVARIATE CONTROL  
CHARTS**

**YANI TRIMARDIANI  
SN 062116 4000 0025**

**Supervisors  
M. Sjahid Akbar, S.Si., M.Si.  
Wibawati, S.Si., M.Si.**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020**



## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI AIR DI PDAM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA MENGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MULTIVARIAT

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika  
pada  
Program Studi Sarjana Departemen Statistika  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Yani Trimardiani**

NRP. 062116 4000 0025

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

M. Sjahid Akbar, S.Si., M.Si.

NIP. 19720705 199802 1 001

Wibawati, S.Si., M.Si.

NIP. 19741213 199802 2 001

(*[Signature]*)  
(*[Signature]*)

Mengetahui,  
Kepala Departemen



**Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si.**

NIP. 19691212 199303 2 002

SURABAYA, 24 AGUSTUS 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI AIR DI PDAM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA MENGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MULTIVARIAT**

**Nama Mahasiswa** : Yani Trimardiani  
**NRP** : 062116 4000 0025  
**Departemen** : Statistika  
**Dosen Pembimbing** : M. Sjahid Akbar, S.Si., M.Si.  
Wibawati, S.Si., M.Si.

## **Abstrak**

*PDAM Surya Sembada Kota Surabaya adalah BUMD yang mengelola penyediaan air bersih bagi masyarakat Kota Surabaya. Terdapat 3 karakteristik utama kualitas air, yaitu kekeruhan, zat organik dan sisa chlor dimana ketiga karakteristik tersebut saling berhubungan. Oleh karena itu, pengendalian proses produksi air dilakukan secara multivariat dengan diagram kendali MEWMC untuk pengendalian variabilitas proses dan diagram kendali MEWMA untuk pengendalian rata-rata proses. Pada penelitian ini, didapatkan pembobot  $\lambda$  optimum untuk diagram kendali MEWMC dan diagram kendali MEWMA untuk proses produksi selama musim kemarau dan musim hujan yaitu  $\lambda = 0,1$ . Variabilitas proses produksi selama musim kemarau dan musim hujan telah terkendali secara statistik, sedangkan rata-rata proses produksi selama musim kemarau dan musim hujan tidak terkendali secara statistik. Variabel zat organik dan sisa chlor merupakan penyebab utama rata-rata proses produksi pada musim kemarau tidak terkendali secara statistik, sedangkan pada musim hujan variabel zat organik yang menjadi penyebab utama rata-rata proses produksi tidak terkendali secara statistik. Berdasarkan analisis kapabilitas proses, diketahui bahwa proses produksi air selama musim kemarau dan musim hujan sudah kapabel dalam memproduksi air dengan tingkat kekeruhan yang sesuai dengan batas spesifikasi, namun tidak kapabel untuk memproduksi air dengan zat organik dan sisa chlor yang sesuai batas spesifikasi.*

**Kata kunci:** *Analisis Kapabilitas Proses, MEWMA, MEWMC, PDAM Surya Sembada, Pengendalian Proses.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# QUALITY CONTROL OF WATER PRODUCTION PROCESS IN PDAM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA USING MULTIVARIATE CONTROL CHARTS

**Name** : Yani Trimardiani  
**Student Number** : 062116 4000 0025  
**Department** : Statistics  
**Supervisors** : M. Sjahid Akbar, S.Si., M.Si.  
Wibawati, S.Si., M.Si.

## Abstract

*PDAM Surya Sembada Kota Surabaya is a regionally-owned enterprises that manages the supply of clean water for the people of Surabaya. There are 3 main characteristics of water quality, these are turbidity, organic substance, and chlorine residual. These three characteristics are dependent on one another. Therefore, to monitor the quality of water production process, MEWMC control chart is used for monitoring the stability of the covariance matrix of a process and MEWMA control chart is used for monitoring the stability of the mean vector of a process. In this study, the optimum  $\lambda$  for the MEWMC control chart and MEWMA control chart for the water production process during dry season and rainy season is  $\lambda = 0,1$ . The variability of water production process during both dry and rainy seasons has been statistically controlled, while the mean of water production process during both dry and rainy seasons is not statistically controlled. The organic substance and chlorine residual are the main causes of the shifts in the mean vector during dry season, whereas in the rainy season organic substance is the main cause of the shifts in the mean vector. Based on the analysis of process capability, it is known that the water production process during the dry season and rainy season is capable in producing water with turbidity level that meets the specification limit, but is not capable to produce water with organic substance and chlorine residual that matches the specification limit.*

**Keywords:** *Analysis of Process Capability, MEWMA, MEWMC, PDAM Surya Sembada, Process Control*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah, serta pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengendalian Kualitas Proses Produksi Air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya Menggunakan Diagram Kendali Multivariat”**. Selama proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh hormat, ketulusan, dan rendah hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, saudara, serta keluarga besar penulis yang selalu memberikan do'a serta dukungan dalam menghadapi kesulitan selama masa studi dan penyusunan Tugas Akhir.
2. Ibu Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si. selaku Kepala Departemen Statistika FSAD ITS.
3. Bapak M. Sjahid Akbar, S.Si., M.Si. dan Ibu Wibawati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah sabar dan meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan masukan bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Suhartono, S.Si., M.Sc. dan Bapak Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan evaluasi serta masukan yang membangun dalam penyelesaian Tugas Akhir.
5. Ibu Dr. Dra. Ismaini Zain, M.Si. selaku dosen wali yang telah memberikan nasehat dan bimbingan selama masa studi penulis.
6. Ibu Alfa, Bapak Deni, Ibu Palupi, Ibu Deni dan Bapak Hendro dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya yang telah memberikan kemudahan bagi penulis selama masa pengambilan data dan telah memberikan bimbingan di lapangan mengenai proses produksi air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

7. Seluruh dosen Departemen Statistika ITS yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan, serta segenap tenaga pendidik Departemen Statistika ITS yang telah membantu penulis selama masa studi.
8. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam keberhasilan penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca. Besar harapan dari penulis untuk menerima kritik dan saran yang berguna untuk perbaikan di masa mendatang. Atas perhatian dan dukungannya, penulis sampaikan ucapan terima kasih.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Manfaat.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Uji Normal Multivariat.....	7
2.2 Uji Dependensi.....	8
2.3 <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC)</i> .....	9
2.4 <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)</i> .....	11
2.5 Diagram Sebab-Akibat.....	14
2.6 Analisis Kapabilitas Proses.....	15
2.7 PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	23
3.1 Sumber Data.....	23
3.2 Variabel Penelitian.....	24
3.3 Langkah Analisis.....	26
3.4 Diagram Alir.....	28
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
4.1 Karakteristik Kualitas Air.....	31
4.2 Uji Distribusi Normal Multivariat.....	34

4.3	Uji Dependensi.....	35
4.4	Pengendalian Kualitas Air dengan Diagram Kendali MEWMC.....	35
4.4.1	Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau..	39
4.4.2	Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan.....	43
4.5	Pengendalian Kualitas Air dengan Diagram Kendali MEWMA .....	46
4.5.1	Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau..	48
4.5.2	Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan.....	51
4.6	Interpretasi <i>Out of Control</i> pada Rata-Rata Proses .....	54
4.6.1	Interpretasi <i>Out of Control</i> Proses Produksi Musim Kemarau .....	55
4.6.2	Interpretasi <i>Out of Control</i> Proses Produksi Musim Hujan .....	57
4.7	Identifikasi <i>Out of Control</i> .....	59
4.8	Analisis Kapabilitas Proses .....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		65
<b>LAMPIRAN</b> .....		69
<b>BIODATA PENULIS</b> .....		111



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Perbedaan Musim PDAM dan BMKG.....	24
<b>Tabel 3.2</b>	Variabel Penelitian .....	24
<b>Tabel 3.3</b>	Struktur Data .....	26
<b>Tabel 4.1</b>	Deskripsi Karakteristik Kualitas Air Produksi .....	31
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Uji Distribusi Normal Multivariat.....	34
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Uji Dependensi.....	35
<b>Tabel 4.4</b>	Perbandingan Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau .....	42
<b>Tabel 4.5</b>	Perbandingan Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan .....	46
<b>Tabel 4.6</b>	Perbandingan Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau .....	51
<b>Tabel 4.7</b>	Perbandingan Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan .....	54
<b>Tabel 4.8</b>	Analisis Kapabilitas Proses .....	62

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Contoh Diagram Sebab-Akibat.....	15
<b>Gambar 2.2</b> Proses Pengolahan Air PDAM.....	21
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	28
<b>Gambar 4.1</b> <i>Boxplot</i> Karakteristik Kualitas Air Produksi.....	32
<b>Gambar 4.2</b> <i>Scatterplot</i> Antar Variabel .....	33
<b>Gambar 4.3</b> Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau dengan $\lambda = 0,1$ .....	40
<b>Gambar 4.4</b> Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau dengan $\lambda = 0,2$ .....	40
<b>Gambar 4.5</b> Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau dengan $\lambda = 0,3$ .....	41
<b>Gambar 4.6</b> Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau .....	43
<b>Gambar 4.7</b> Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan dengan $\lambda = 0,1$ .....	44
<b>Gambar 4.8</b> Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan dengan $\lambda = 0,2$ .....	44
<b>Gambar 4.9</b> Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan dengan $\lambda = 0,3$ .....	45
<b>Gambar 4.10</b> Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau dengan $\lambda = 0,1$ .....	49
<b>Gambar 4.11</b> Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau dengan $\lambda = 0,2$ .....	49
<b>Gambar 4.12</b> Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau dengan $\lambda = 0,3$ .....	50
<b>Gambar 4.13</b> Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan dengan $\lambda = 0,1$ .....	52
<b>Gambar 4.14</b> Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan dengan $\lambda = 0,2$ .....	52
<b>Gambar 4.15</b> Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan dengan $\lambda = 0,3$ .....	53

<b>Gambar 4.16</b>	Diagram Kendali EWMA Variabel Kekерuhan Musim Kemarau .....	55
<b>Gambar 4.17</b>	Diagram Kendali EWMA Variabel Zat Organik Musim Kemarau .....	55
<b>Gambar 4.18</b>	Diagram Kendali EWMA Variabel Sisa <i>Chlor</i> Musim Kemarau .....	56
<b>Gambar 4.19</b>	Diagram Kendali EWMA Variabel Kekерuhan Musim Hujan .....	57
<b>Gambar 4.20</b>	Diagram Kendali EWMA Variabel Zat Organik Musim Hujan .....	58
<b>Gambar 4.21</b>	Diagram Kendali EWMA Variabel Sisa <i>Chlor</i> Musim Hujan .....	58
<b>Gambar 4.22</b>	Diagram Sebab-Akibat .....	60

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Data Kualitas Air Musim Kemarau.....	69
<b>Lampiran 2.</b> Data Kualitas Air Musim Hujan .....	70
<b>Lampiran 3.</b> <i>Syntax</i> Uji Normal Multivariat.....	71
<b>Lampiran 4.</b> <i>Output</i> Uji Normal Multivariat .....	71
<b>Lampiran 5.</b> <i>Output</i> Uji Bartlett .....	71
<b>Lampiran 6.</b> <i>Syntax</i> Matriks <b>A</b> .....	72
<b>Lampiran 7.</b> <i>Output</i> Matriks <b>A</b> .....	72
<b>Lampiran 8.</b> <i>Syntax</i> MEWMC .....	75
<b>Lampiran 9.</b> Program dan Algoritma Simulasi Batas Kendali MEWMC ( $h$ ) .....	76
<b>Lampiran 10.</b> <i>Output</i> Batas Kendali MEWMC ( $h$ ) .....	77
<b>Lampiran 11.</b> Tabel Batas Kendali $h$ Diagram Kendali MEWMC untuk $p = 3$ dan $ARL_0 = 370$ .....	81
<b>Lampiran 12.</b> Statistik Uji Diagram Kendali MEWMC .....	82
<b>Lampiran 13.</b> Diagram Kendali MEWMC .....	84
<b>Lampiran 14.</b> Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau dengan $\lambda$ Optimal.....	90
<b>Lampiran 15.</b> Statistik Uji Diagram Kendali MEWMA.....	97
<b>Lampiran 16.</b> Diagram Kendali MEWMA.....	99
<b>Lampiran 17.</b> Analisis Kapabilitas Proses .....	105
<b>Lampiran 18.</b> Surat Izin Penelitian .....	108
<b>Lampiran 19.</b> Surat Izin Publikasi .....	109
<b>Lampiran 20.</b> Dokumentasi Kunjungan ke IPAM Ngagel I....	110

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Air adalah cairan jernih tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau yang diperlukan dalam kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan yang secara kimiawi mengandung hidrogen dan oksigen (KBBI, 2016). Air sangat penting bagi kehidupan, karena tidak ada satu kehidupan yang ada di dunia dapat berlangsung tanpa tersedianya air. Kebutuhan air bagi manusia amat mutlak, karena zat pembentuk tubuh manusia sebagian besar terdiri dari air. Air dalam tubuh manusia, berkisar 50-70% dari seluruh berat badan. Air diperlukan tubuh untuk melarutkan berbagai jenis zat yang diperlukan tubuh. Kehidupan manusia sangat tergantung dari air. Hal ini karena air dipergunakan untuk mencuci, membersihkan, mandi, dan lain sebagainya (Waluyo, 2018).

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surya Sembada Kota Surabaya adalah Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yang mengelola penyediaan air bersih bagi masyarakat Kota Surabaya. Pelayanan air minum PDAM Surya Sembada Kota Surabaya kepada masyarakat tidak hanya terbatas pada daerah administratif Kota Surabaya saja, melainkan juga masyarakat daerah Kabupaten Pasuruan, Sidoarjo, dan Gresik. Pada tahun 2016 jumlah pelanggan PDAM Surya Sembada Kota Surabaya mencapai 547.819 pelanggan yang didominasi oleh jenis pelanggan kategori perumahan sebanyak 502.124 pelanggan (PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2012).

Sumber bahan baku pembuatan air minum di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya berasal dari kali Surabaya. Meskipun kali Surabaya sudah tercemar dengan limbah industri dan limbah rumah tangga, tetapi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya mengolahnya hingga menjadi air bersih yang disalurkan ke pelanggan. Pengolahan air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya terdiri atas 3 jenis, yaitu pengolahan secara fisik, kimia dan biologi. Pengolahan fisik dengan cara sedimentasi kemudian filtrasi, proses kimia dengan cara aerasi (proses di mana gas diserap atau

dilarutkan), koagulasi (partikel koloid dinetralkan muatan listriknya) dan proses biologi dengan cara memusnahkan bakteri dengan pembubuhan disinfektan. Selain itu, untuk menjaga kualitas air bersih yang akan didistribusikan ke pelanggan, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya melakukan uji kualitas air secara berkala di laboratorium (PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2012).

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416 Tahun 1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air menyatakan bahwa air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak. Kualitas air yang digunakan masyarakat harus memenuhi syarat kesehatan agar terhindar dari gangguan kesehatan. Pengawasan kualitas air bertujuan untuk mencegah penurunan kualitas dan penggunaan air yang dapat mengganggu dan membahayakan kesehatan, serta meningkatkan kualitas air.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum pasal 4 menyatakan bahwa, untuk menjaga kualitas air minum yang dikonsumsi masyarakat dilakukan pengawasan kualitas air minum secara eksternal dan secara internal. Pengawasan kualitas air minum secara internal merupakan pengawasan yang dilakukan oleh penyelenggara air minum untuk menjamin kualitas air minum yang diproduksi memenuhi syarat. Kegiatan pengawasan kualitas air minum meliputi inspeksi sanitasi, pengambilan sampel air, pengujian kualitas air, analisis hasil pemeriksaan laboratorium, rekomendasi dan tindak lanjut.

Pada awal Juli 2019, pelanggan PDAM mendapatkan air keruh atau menguning. Beberapa warga mengeluh air berbau dan membuat kulit gatal saat dipakai mandi. Ada dua hal yang mengakibatkan turunnya kualitas air pada awal Juli 2019. Pertama, banyak pipa bocor karena tergerus alat berat pengerjaan gorong-gorong. Saat terjadi kebocoran, air keruh dari luar pipa terbawa hingga ke pelanggan. Penyebab kedua adalah pencemaran air baku. PDAM mengambil air baku dari anak Sungai Brantas yakni Kali Suroboyo (JawaPos.com, 2019).



PDAM Surya Sembada Kota Surabaya memiliki 6 Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM), diantaranya IPAM Ngagel I, IPAM Ngagel II, IPAM Ngagel III, IPAM Karangpilang I, IPAM Karangpilang II, dan IPAM Karangpilang III. IPAM Ngagel I merupakan IPAM pertama yang dibangun dan beberapa unit pengolahan di IPAM Ngagel I masih manual. Selain itu, filter yang ada di IPAM Ngagel I juga kurang ideal yang menyebabkan nilai kekeruhan pernah mencapai angka 2,8, sedangkan target dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya untuk tingkat kekeruhan sekitar 1 NTU. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengendalian kualitas untuk proses pengolahan air di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

Pengendalian kualitas statistika merupakan penggunaan metode statistik dalam memantau dan mempertahankan kualitas produk dan layanan, sedangkan *Statistical Process Control* (SPC) didefinisikan sebagai penggunaan teknik statistik untuk mengontrol suatu proses atau metode produksi. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk melakukan pengendalian kualitas proses yaitu dengan diagram kendali (Montgomery, 2013). Pengendalian kualitas air PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dilakukan dengan melihat beberapa karakteristik kualitas, diantaranya kekeruhan (*turbidity*), zat organik ( $\text{KMnO}_4$ ), dan sisa *chlor*. Ketika jumlah zat organik semakin tinggi, maka sisa *chlor* pada air produksi semakin rendah, selain itu kekeruhan juga saling berpengaruh dengan zat organik. Ketika kandungan zat organik pada air tinggi, maka air akan semakin keruh. Ketika kekeruhan semakin tinggi, maka penambahan *chlor* ke dalam air juga semakin banyak sehingga secara tidak langsung kekeruhan dan sisa *chlor* saling berhubungan. Karena ketiga karakteristik kualitas ini saling berhubungan, pengendalian kualitas dilakukan dengan diagram kendali multivariat.

Diagram kendali multivariat pertama kali diusulkan oleh Hotelling (1947) yang menerapkan prosedurnya untuk data pemboman selama Perang Dunia II. Diagram kendali ini disebut diagram kendali  $T^2$  Hotelling yang digunakan untuk memantau

vektor rata-rata proses. Diagram kendali  $T^2$  Hotelling relatif tidak sensitif terhadap pergeseran vektor rata-rata proses yang kecil (Montgomery, 2013). Diagram kendali multivariat yang sensitif terhadap pergeseran rata-rata proses yang kecil yaitu diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) yang diusulkan oleh Lowry dkk. (1992). Diagram kendali MEWMA adalah salah satu dari diagram kendali yang terbaik untuk mendeteksi pergeseran vektor rata-rata proses yang kecil, namun pergeseran itu dapat terjadi untuk variabilitas dari karakteristik multivariat yang berkorelasi. Hawkins dan Maboudou-Tchao (2008) mengkaji diagram kendali yang digunakan untuk *monitoring* pergeseran variabilitas menggunakan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC).

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan kualitas air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya telah dilakukan oleh Afandy (2019). Variabel yang digunakan pada penelitian ini merupakan parameter utama yang dijadikan sebagai penentu kualitas air yang terdiri dari kekeruhan (*turbidity*), sisa *chlor*, dan zat organik ( $\text{KMnO}_4$ ). Penelitian ini menunjukkan adanya hubungan antar variabel yang diteliti sehingga diagram kendali yang digunakan merupakan diagram kendali multivariat. Diagram kendali yang digunakan adalah diagram kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum*. Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian tersebut yaitu kinerja proses produksi air di IPAM Ngagel I tidak kapabel, dimana variabel *turbidity* (kekeruhan) merupakan variabel yang berkontribusi besar dalam menyebabkan pengamatan *out of control*.

Penelitian sebelumnya yang menggunakan diagram kendali MEWMC dilakukan oleh Qori'atunnadyah (2020) untuk pengendalian kualitas semen di PT Semen "X" menunjukkan bahwa nilai pembobot optimum untuk pengendalian kualitas semen yaitu  $\lambda = 0,1$ . Penggunaan diagram kendali MEWMC dipilih karena diagram kendali ini efektif memonitor perubahan dalam matriks

kovarians, dimana diagram kendali ini unggul ketika varians atau korelasi mengalami perubahan.

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan dan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dilakukan pengendalian variabilitas dan rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dengan diagram kendali MEWMC dan MEWMA untuk mendeteksi pergeseran variabilitas dan pergeseran rata-rata proses yang kecil.

## 1.2 Rumusan Masalah

PDAM Surya Sembada Kota Surabaya menentukan kualitas air yang diproduksi berdasarkan pengujian secara fisik, kimia, dan biologi setelah pada tahap akhir (*reservoir*), dengan parameter utama kualitas air yaitu kekeruhan (*turbidity*), zat organik ( $\text{KmnO}_4$ ), dan sisa *chlor*. Untuk mempertahankan dan meningkatkan kualitas pengolahan air PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, perlu dilakukan pengendalian kualitas secara statistik baik untuk variabilitas maupun rata-rata proses produksi. Dalam penelitian ini, dilakukan pengendalian kualitas proses produksi air di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada menggunakan diagram kendali MEWMC untuk *monitoring* variabilitas proses dan diagram kendali MEWMA untuk *monitoring* rata-rata proses. Selain itu, perlu dilakukan pengukuran kinerja proses produksi air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya menggunakan analisis kapabilitas proses.

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengendalian kualitas air produksi di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Kota Surabaya menggunakan diagram kendali MEWMC dan MEWMA.
2. Mengukur kinerja proses produksi air di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dengan analisis kapabilitas proses.

#### **1.4 Manfaat**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat menjadi bahan evaluasi bagi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dalam melakukan pengawasan terhadap kualitas air hasil produksi. Selain itu, manfaat bagi peneliti yaitu dapat mengembangkan wawasan keilmuan statistika terutama mengenai pengendalian kualitas secara statistik dan mengukur kinerja proses dengan menggunakan analisis kapabilitas proses.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan 3 karakteristik utama kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya di IPAM Ngagel I. 3 karakteristik kualitas air yang digunakan diantaranya kekeruhan, zat organik, dan sisa *chlor*. Penelitian ini menggunakan data harian karakteristik kualitas air mulai tanggal 1 April 2019 – 31 Maret 2020 yang dibedakan menjadi 2 musim. Musim kemarau yaitu pengamatan pada tanggal 1 April – 30 November 2019 dan musim hujan yaitu pengamatan pada tanggal 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020. Analisis pengendalian kualitas proses produksi air dibedakan berdasarkan musim karena adanya perbedaan kualitas air baku antara musim kemarau dan musim hujan, sehingga terdapat perbedaan dalam perlakuan proses. Pada musim hujan, dilakukan penambahan tawas di proses prasedimentasi karena tingginya tingkat kekeruhan air baku yang bisa mencapai 500-1000 NTU.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini, dijelaskan tinjauan pustaka yang terkait dengan metode yang digunakan untuk pengendalian kualitas proses produksi air di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

### 2.1 Uji Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat adalah generalisasi dari distribusi normal univariat dengan  $p \geq 2$ . Dengan rata-rata  $\mu$  dan varians  $\sigma^2$ , distribusi normal univariat mempunyai fungsi distribusi probabilitas sesuai persamaan (2.1).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (2.1)$$

$$\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2 = (x-\mu)(\sigma^2)^{-1}(x-\mu). \quad (2.2)$$

Eksponen dari fungsi distribusi normal univariat pada persamaan (2.2) dapat digeneralisasi untuk vektor  $\mathbf{x}$  berukuran  $p \times 1$  menjadi persamaan (2.3).

$$(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu}). \quad (2.3)$$

Vektor  $\boldsymbol{\mu}$  berukuran  $p \times 1$  mewakili nilai ekspektasi dari vektor  $\mathbf{x}$  dan matriks  $\boldsymbol{\Sigma}$  berukuran  $p \times p$  adalah matriks varians-kovarians dari vektor  $\mathbf{x}$ , dengan  $p$  adalah banyaknya variabel pengamatan. Fungsi distribusi probabilitas untuk distribusi normal multivariat sesuai persamaan (2.4).

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\boldsymbol{\Sigma}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})}. \quad (2.4)$$

(Johnson & Wichern, 2007).

Pengujian distribusi normal multivariat dapat dilakukan dengan uji *Shapiro-Wilk*. Pengujian distribusi normal multivariat menggunakan hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis:

$H_0$  : Data berdistribusi normal multivariat

$H_1$  : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik uji normal multivariat untuk uji *Shapiro-Wilk* ditunjukkan pada persamaan (2.5).

$$W^* = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p W_{Z_j}, \quad (2.5)$$

dengan  $p$  merupakan jumlah variabel dan  $W_{Z_j}$  merupakan statistik *Shapiro-Wilk* yang dihitung berdasarkan data yang telah ditransformasi. Rumus statistik *Shapiro-Wilk* sesuai dengan persamaan (2.6).

$$W = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n a_i x_{(i)} \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.6)$$

dengan  $a_i$  merupakan elemen ke- $i$  dari vektor  $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n)^T$  yang dihitung dengan persamaan (2.7).

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{m}^T \mathbf{V}^{-1}}{\left( \mathbf{m}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{V}^{-1} \mathbf{m} \right)^{1/2}}, \quad (2.7)$$

dengan  $\mathbf{m}^T = E[\mathbf{z}]$  dan  $\mathbf{V} = \text{cov}(\mathbf{z})$ , dimana  $\mathbf{z}$  merupakan vektor statistik terurut berukuran  $n$  dari sampel acak normal standar. Tolak  $H_0$  jika pada taraf signifikansi  $\alpha$ ,  $p\text{-value} < \alpha$  atau  $W^* < c_{\alpha;n,p}$ , dengan  $c$  merupakan nilai kuantil statistik *Shapiro-Wilk* (Alva & Estrada, 2009).

## 2.2 Uji Dependensi

Uji dependensi digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antar variabel dalam kasus multivariat. Jika variabel  $X_1, X_2, \dots, X_p$

bersifat saling bebas, maka matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas. Untuk menguji kebebasan antar variabel, dapat dilakukan uji *Bartlett* (Morrison, 1990). Uji *Bartlett* dapat dinyatakan dalam hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis:

$H_0$  :  $\mathbf{R} = \mathbf{I}$  (tidak terdapat korelasi antar variabel)

$H_1$  :  $\mathbf{R} \neq \mathbf{I}$  (terdapat korelasi antar variabel)

Statistik uji untuk uji *Bartlett* ditunjukkan pada persamaan (2.8).

$$\chi_{hitung}^2 = - \left[ n - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right] \ln |\mathbf{R}|. \quad (2.8)$$

Pada persamaan (2.8),  $n$  adalah jumlah observasi, sedangkan  $p$  adalah jumlah variabel, dan  $\mathbf{R}$  adalah matriks korelasi. Jika ditetapkan tingkat signifikansi  $\alpha$ , maka  $H_0$  ditolak jika nilai

$\chi_{hitung}^2 > \chi_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}^2$  dengan derajat bebas sebesar  $\frac{1}{2}p(p-1)$  atau

$p\text{-value} < \alpha$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa matriks korelasi tidak sama dengan matriks identitas atau terdapat korelasi antar variabel (Morrison, 1990).

### 2.3 *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC)

Pengendalian kualitas statistika merupakan penggunaan metode statistik dalam memantau dan mempertahankan kualitas produk dan layanan, sedangkan *Statistical Process Control* (SPC) didefinisikan sebagai penggunaan teknik statistik untuk mengontrol suatu proses atau metode produksi. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk melakukan pengendalian kualitas proses yaitu dengan diagram kendali (Montgomery, 2013). Diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) merupakan salah satu dari diagram kendali yang baik untuk mendeteksi pergeseran vektor rata-rata proses yang kecil. Namun, pergeseran dapat terjadi juga pada variabilitas dari karakteristik kualitas multivariat yang saling berkorelasi. Diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix*

digunakan untuk memonitor stabilitas matriks kovarians suatu proses.

Penggunaan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC) lebih mudah jika menggunakan vektor data yang telah distandarisasi dibandingkan jika menggunakan data mentah  $\mathbf{x}_i$  (Hawkins & Maboudou-Tchao, 2008). Statistik uji pada diagram kendali MEWMC dihitung sesuai persamaan (2.9).

$$c_i = \text{tr}(\mathbf{S}_i) - \log|\mathbf{S}_i| - p. \quad (2.9)$$

Keterangan:

$c_i$  : statistik uji,

$p$  : jumlah variabel,

$\mathbf{S}_i$  : matriks MEWMC yang diperoleh dari persamaan (2.10).

$$\mathbf{S}_0 = \mathbf{I}_p, \quad (2.10)$$

$$\mathbf{S}_i = (1 - \lambda)\mathbf{S}_{i-1} + \lambda\mathbf{u}_i\mathbf{u}_i^T, \text{ untuk } i=1,2,\dots,n.$$

Perhitungan  $\mathbf{S}_i$  merupakan proses rekursif, dengan matriks identitas sebagai nilai inisial. Ketika variabilitas proses terkendali, maka  $E(\mathbf{S}_i) = \mathbf{I}_p \cdot \lambda$  merupakan pembobot yang bernilai  $0 < \lambda \leq 1$  dan  $\mathbf{u}_i$  adalah vektor data yang telah ditransformasi sesuai persamaan (2.11).

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{A}(\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}_0). \quad (2.11)$$

$\mathbf{x}_i$  adalah vektor data ke- $i$ , dengan  $i = 1, 2, \dots, n$  dan  $\boldsymbol{\mu}_0$  merupakan vektor rata-rata proses. Ketika variabilitas proses terkendali, data yang telah ditransformasi berdistribusi normal standar. Matriks  $\mathbf{A}$  merupakan matriks segitiga bawah yang dihitung berdasarkan invers matriks Cholesky dari matriks varians kovarians data. Oleh karena itu, dihitung matriks  $\mathbf{A}$  yang memenuhi persamaan (2.12).

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\Sigma}\mathbf{A}^T = \mathbf{I}_p. \quad (2.12)$$

$\boldsymbol{\Sigma}$  merupakan matriks varians kovarians dari data, dan matriks  $\mathbf{A}$  didapatkan melalui perhitungan pada persamaan (2.13).

$$\mathbf{A} = \mathbf{L}^{-1}, \quad (2.13)$$



dengan  $\mathbf{L}$  merupakan matriks segitiga bawah yang memiliki nilai diagonal yang *real* dan positif. Matriks  $\mathbf{L}$  merupakan matriks dekomposisi Cholesky dari matriks varians kovarians dari data sesuai pada persamaan (2.14).

$$\Sigma = \mathbf{L}\mathbf{L}^T. \quad (2.14)$$

Diagram kendali MEWMC dibentuk dengan plot  $c_i$  terhadap  $i$ . Data pengamatan dikatakan *out of control* (OOC) ketika  $c_i > h$ , dengan batas kendali  $h$  dipilih untuk mencapai *In-Control Average Run Length* ( $ARL_0$ ) yang ditentukan. Batas kendali  $h$  didapatkan dengan simulasi Monte Carlo yang mempertimbangkan jumlah variabel ( $p$ ), pembobot  $\lambda$  dan  $ARL_0$  yang ditentukan. Simulasi untuk penentuan batas kendali  $h$  dengan bantuan program yang ada pada Lampiran 9. Simulasi Monte Carlo yang digunakan menggunakan bangkitan data yang berdistribusi normal multivariat. Nilai  $\lambda$  yang kecil digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses yang kecil, dan nilai  $\lambda$  yang besar digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses yang besar (Hawkins & Maboudou-Tchao, 2008).

## 2.4 *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)*

Diagram kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) merupakan alternatif yang baik untuk peta kendali Shewhart dalam mendeteksi pergeseran kecil (Montgomery, 2013). Dalam penelitian ini, diagram kendali EWMA digunakan untuk mendeteksi variabel yang menjadi penyebab rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. EWMA didefinisikan pada persamaan (2.15).

$$z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)z_{i-1}, \quad (2.15)$$

dengan  $0 < \lambda \leq 1$  adalah konstanta dan  $z_0 = \mu_0$ .

Keterangan :

- $z_i$  : EWMA observasi ke- $i$ ,
- $\lambda$  : pembobot,
- $x_i$  : pengamatan ke- $i$ , dan
- $\mu_0$  : rata-rata proses.

Diagram kendali EWMA dibentuk dengan membuat plot  $z_i$  terhadap  $i$ . Garis tengah dan batas kendali untuk peta kendali EWMA didefinisikan pada persamaan (2.16).

$$\begin{aligned} UCL &= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \left[ 1 - (1-\lambda)^{2i} \right]}, \\ CL &= \mu_0, \\ LCL &= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \left[ 1 - (1-\lambda)^{2i} \right]}. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Keterangan:

*UCL* : *Upper Control Limit* / batas kendali atas,

*CL* : *Center Line* / garis tengah,

*LCL* : *Lower Control Limit* / batas kendali bawah,

$\mu_0$  : rata-rata proses,

$\sigma$  : standar deviasi,

$\lambda$  : pembobot,

$i$  : urutan observasi.

Diagram kendali MEWMA adalah diagram kendali yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan rata-rata proses yang kecil. Diagram kendali MEWMA merupakan generalisasi dari proses untuk data univariat EWMA yang didefinisikan pada persamaan (2.17).

$$\mathbf{z}_i = \lambda \mathbf{x}_i + (\mathbf{I} - \lambda) \mathbf{z}_{i-1}. \quad (2.17)$$

Jika  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $\mathbf{x}_i$  merupakan vektor data pengamatan ke- $i$ ,  $\lambda$  adalah matriks pembobot dengan  $\lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$  dan  $\mathbf{z}_0 = \boldsymbol{\mu}_0$ .

Nilai pembobot yang digunakan untuk masing-masing variabel bisa sama ataupun berbeda. Apabila tidak ada alasan pemilihan pembobot yang berbeda untuk masing-masing karakteristik kualitas, maka pembobot  $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_p = \lambda$  dengan nilai pembobot  $0 < \lambda \leq 1$ , sehingga vektor MEWMA dapat ditulis sesuai persamaan (2.18).

$$\mathbf{z}_i = \lambda \mathbf{x}_i + (1 - \lambda) \mathbf{z}_{i-1}. \quad (2.18)$$

Statistik uji diagram kendali MEWMA dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Bodden & Rigdon, 1999).

$$T_i^2 = (\mathbf{z}_i - \boldsymbol{\mu}_0)^T \boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{z}_i}^{-1} (\mathbf{z}_i - \boldsymbol{\mu}_0), \quad (2.19)$$

dengan matriks  $\boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{z}_i}$  sesuai persamaan berikut.

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\mathbf{z}_i} = \frac{\lambda}{2 - \lambda} \left[ 1 - (1 - \lambda)^{2i} \right] \boldsymbol{\Sigma}. \quad (2.20)$$

Pada persamaan (2.20),  $\boldsymbol{\Sigma}$  merupakan matriks varians kovarians dari data. Data dikatakan *out of control* ketika nilai  $T_i^2$  lebih besar dari UCL. Nilai UCL didapatkan dari hasil simulasi yang disesuaikan dengan besarnya  $ARL_0$  hingga didapatkan nilai UCL yang konvergen.

Diagram kendali ini memiliki kelebihan yakni *robust* terhadap distribusi normal (Montgomery, 2013). Testik, dkk. (2003) melakukan studi simulasi untuk memeriksa performa diagram kendali MEWMA untuk data yang tidak berdistribusi normal multivariat. Untuk mengevaluasi performa suatu diagram kendali, ukuran *run-length* yang digunakan. *Run-length* didefinisikan sebagai jumlah sampel yang harus diplot sebelum suatu pengamatan mengindikasikan pengamatan yang OOC. *In-control Average Run Length* ( $ARL_0$ ) merupakan rata-rata jumlah sampel sampai suatu diagram kendali mendeteksi *false alarm*. Sedangkan *Out of Control Average Run Length* ( $ARL_1$ ) adalah rata-rata jumlah sampel sampai suatu diagram kendali mendeteksi adanya pergeseran proses.

Simulasi yang dilakukan menggunakan distribusi *multivariate t* (MVT) sebagai representasi *large tailed distribution* dan distribusi *multivariate gamma* (MVG) sebagai representasi *skewed distribution*. Dalam simulasi ini menggunakan dimensi  $p = 2, 4, \text{ dan } 20$ . Untuk  $p = 2$ , distribusi yang digunakan yaitu MVT(10), MVT(30), MVT(60), dan MVT(100). Untuk  $p = 4$ , distribusi yang digunakan yaitu MVT(20), MVT(60), MVT(120), dan MVT(200). Untuk  $p = 20$ , distribusi yang digunakan yaitu MVT(100), MVT(300), MVT(600), dan MVT(1000). Sedangkan

simulasi dengan distribusi MVG untuk  $p = 2, 4,$  dan  $20$  menggunakan distribusi MVG(1,1), MVG(2,1), MVG(3,1), dan MVG(4,1).

Berdasarkan nilai  $ARL_0$ , diagram kendali MEWMA mengungguli performa diagram kendali  $\chi^2$  Hotelling pada setiap data yang berdistribusi non-normal, karena nilai  $ARL_0$  pada diagram kendali MEWMA lebih besar. Berdasarkan nilai  $ARL_1$ , nilai  $ARL_1$  diagram kendali MEWMA untuk data yang berdistribusi non-normal juga mendekati nilai  $ARL_1$  pada diagram kendali MEWMA dengan data yang berdistribusi normal multivariat.

Stoumbos & Sullivan (2002) juga melakukan studi simulasi untuk memeriksa performa diagram kendali MEWMA pada data yang tidak berdistribusi normal multivariat. Simulasi dilakukan dengan menggunakan data yang berdistribusi MVG dan data yang berdistribusi MVT dengan berbagai parameter dan dimensi. Simulasi ini juga membandingkan diagram kendali MEWMA dengan diagram kendali  $\chi^2$  Hotelling.

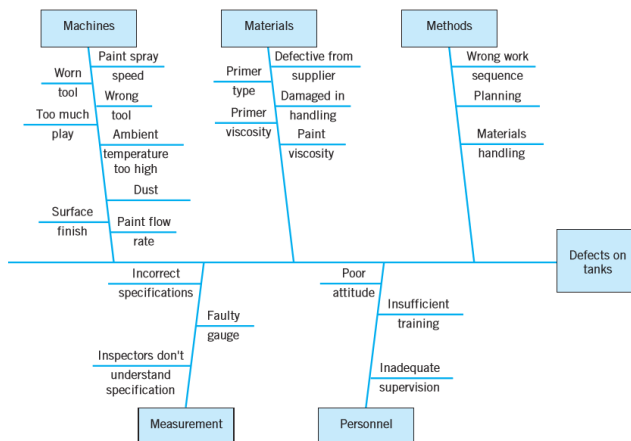
Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa ketika data yang digunakan berdistribusi MVT maupun MVG, diagram kendali  $\chi^2$  Hotelling menghasilkan nilai  $ARL_0$  yang sangat kecil. Hal ini berarti bahwa terdapat lebih banyak *false alarm* daripada yang diperkirakan. Tidak seperti diagram kendali  $\chi^2$  Hotelling, diagram kendali MEWMA didasarkan pada matriks varians kovarians yang dirancang agar *robust* terhadap non-normalitas baik untuk data *in control* maupun data *out of control*. Berdasarkan nilai  $ARL_0$ , diagram kendali MEWMA mengungguli performa diagram kendali  $\chi^2$  Hotelling pada setiap data yang berdistribusi non-normal, karena nilai  $ARL_0$  pada diagram kendali MEWMA lebih besar dan mendekati nilai  $ARL_0$  untuk data yang berdistribusi normal multivariat.

## 2.5 Diagram Sebab-Akibat

Diagram sebab-akibat (*cause-and-effect diagram*) yang juga dikenal sebagai diagram Ishikawa atau diagram tulang ikan merupakan suatu alat yang berguna untuk mengidentifikasi

penyebab-penyebab yang mungkin dari suatu masalah. Cara membuat diagram sebab-akibat sebagai berikut (Montgomery, 2013).

1. Menentukan masalah yang akan dianalisis.
2. Membentuk tim untuk melakukan analisis. Seringkali tim akan mengungkap penyebab potensial melalui *brainstorming*.
3. Menggambar kotak akibat dan garis tengah.
4. Menentukan kategori potensial penyebab utama dan menghubungkannya dengan garis tengah.
5. Mengidentifikasi penyebab-penyebab yang mungkin dan mengklasifikasikan mereka ke dalam kategori pada langkah 4. Buat kategori baru, jika dibutuhkan.
6. Mengurutkan peringkat penyebab untuk mengidentifikasi hal-hal yang tampaknya paling mungkin memengaruhi masalah.
7. Mengambil tindakan perbaikan.



**Gambar 2.1** Contoh Diagram Sebab-Akibat

## 2.6 Analisis Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses digunakan untuk menaksir kemampuan proses. Kemampuan proses yang dimaksud adalah

apakah produk sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan atau belum. Jika suatu proses dalam keadaan terkendali secara statistik, proses belum dikatakan baik karena harus disesuaikan dengan spesifikasi yang telah ditetapkan perusahaan. Dalam hal ini perlu ditetapkan kapabilitas proses. Terdapat cara kuantitatif yang sederhana untuk mengekspresikan kapabilitas proses. Salah satu indeks yang digunakan untuk mengukur kapabilitas proses yaitu  $C_p$ . Secara matematis, perhitungan nilai  $C_p$  dapat dinyatakan pada persamaan (2.21).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}, \quad (2.21)$$

dengan USL merupakan batas spesifikasi atas, dan LSL merupakan batas spesifikasi bawah. Indeks kapabilitas  $C_p$  mewakili rasio lebar batas spesifikasi yang ditentukan ( $USL - LSL$ ) terhadap lebar rentang 99,7% dari pengukuran data proses yang berdistribusi normal, yaitu 3 standar deviasi ( $3\sigma$ ) di atas dan di bawah rata-rata proses, dengan total  $6\sigma$  (Jawlik, 2016).

Indeks kapabilitas  $C_p$  tidak memperhitungkan rata-rata proses terhadap batas spesifikasinya.  $C_p$  hanya mengukur persebaran batas spesifikasi terhadap persebaran proses. Indeks kapabilitas proses yang juga memperhitungkan rata-rata proses yaitu  $C_{pk}$  yang dapat dihitung pada persamaan (2.22).

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}), \quad (2.22)$$

dengan  $C_{pu}$  merupakan indeks kapabilitas proses untuk proses yang hanya memiliki batas spesifikasi atas dan  $C_{pl}$  merupakan indeks kapabilitas proses untuk proses yang hanya memiliki batas spesifikasi bawah. Perhitungan indeks kapabilitas proses untuk batas spesifikasi satu arah  $C_{pu}$  dan  $C_{pl}$  sesuai persamaan (2.23).

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}. \quad (2.23)$$

Dalam distribusi normal, 99,7% data berada dalam 3 standar deviasi ( $3\sigma$ ) dari rata-ratanya. Sehingga, dalam perhitungan indeks

kapabilitas untuk proses dengan batas spesifikasi satu sisi, dibandingkan persebaran dari rata-rata ke batas spesifikasinya dengan  $3\sigma$ . Ada kalanya suatu proses hanya memiliki batas spesifikasi satu sisi, baik LSL atau USL sehingga tidak mungkin menghitung  $C_p$ . Namun,  $C_{pk}$  masih dapat dihitung sesuai rumus batas spesifikasi satu sisi, baik  $C_{pu}$  atau  $C_{pl}$  (Vining & Kowalski, 2011). Selanjutnya untuk perhitungan multivariat, indeks kapabilitas proses dapat dihitung dengan persamaan (2.24).

$$\begin{aligned} MC_p &= \sum_{j=1}^p W_j C_p(X_j), \\ MC_{pk} &= \sum_{j=1}^p W_j C_{pk}(X_j). \end{aligned} \quad (2.24)$$

dengan  $W_j$  menunjukkan bobot dari karakteristik kualitas ke- $j$ , dengan ketentuan  $\sum_{j=1}^p W_j = 1$  (Raissi, 2009). Besarnya pembobot ditentukan berdasarkan tingkat kepentingan variabel karakteristik kualitas.

Berdasarkan standar  $3\sigma$ , suatu proses dikatakan kapabel apabila memiliki indeks kapabilitas lebih dari 1 (Kumar, 2006). Indeks kapabilitas yang disarankan oleh Automotive Industry Action Group (AIAG) untuk proses dalam keadaan *in control* adalah  $C_p$  dan  $C_{pk}$ , sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan *in control*, digunakan indeks *performance process*  $P_p$  dan  $P_{pk}$  (Montgomery, 2013). Indeks  $P_p$  dan  $P_{pk}$  digunakan saat proses tidak dalam keadaan *in control* dimana perhitungannya dapat dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.25).

$$\begin{aligned} P_p &= \frac{USL - LSL}{6s}, \\ P_{pk} &= \min\left(\frac{USL - \mu}{3s}, \frac{\mu - LSL}{3s}\right), \end{aligned} \quad (2.25)$$

dengan  $s$  merupakan standar deviasi sampel dengan perhitungan  $s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$ . Perhitungan indeks  $P_p$  dan  $P_{pk}$  pada persamaan (2.25) merupakan perhitungan untuk data yang memenuhi asumsi distribusi normal. Oleh karena itu, dalam kasus data yang tidak berdistribusi normal perhitungan indeks  $P_p$  dan  $P_{pk}$  menggunakan persamaan (2.26) (Šibalija & Majstorović, 2010).

$$P_p = \frac{USL - LSL}{X_{0,99865} - X_{0,00135}}, \quad (2.26)$$

$$P_{pk} = \min \left( \frac{USL - X_{0,50}}{X_{0,99865} - X_{0,50}}, \frac{X_{0,50} - LSL}{X_{0,50} - X_{0,00135}} \right).$$

Pada persamaan (2.25),  $X_{0,99865}$  merupakan persentil ke-99,865 dari data,  $X_{0,5}$  merupakan median dari data, dan  $X_{0,00135}$  merupakan persentil ke-0,135 dari data. Pada kasus multivariat dan proses yang tidak dalam keadaan *in control*, perhitungan kapabilitas proses sesuai dengan persamaan (2.27).

$$MP_p = \sum_{j=1}^p W_j P_p(X_j), \quad (2.27)$$

$$MP_{pk} = \sum_{j=1}^p W_j P_{pk}(X_j).$$

## 2.7 PDAM Surya Sembada Kota Surabaya

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surya Sembada Kota Surabaya adalah Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yang mengelola penyediaan air bersih bagi masyarakat Kota Surabaya.

Pelayanan air minum PDAM Surya Sembada Kota Surabaya kepada masyarakat tidak hanya terbatas pada daerah administratif Kota Surabaya saja, melainkan juga masyarakat daerah Kabupaten Pasuruan, Sidoarjo, dan Gresik. Pada tahun 2009, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya sudah memiliki 6 Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) yaitu IPAM Ngagel I, IPAM Ngagel II, IPAM Ngagel III, IPAM Karangpilang I, IPAM Karangpilang II, dan



IPAM Karangpilang III. Kapasitas masing-masing IPAM yaitu 1.800 liter/detik, 1.000 liter/detik, 1.750 liter/detik, 1.450 liter/detik, 2.750 liter/detik, dan 2.000 liter/detik (PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2012).

Sumber bahan baku pembuatan air minum di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya berasal dari kali Surabaya. Pengolahan air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya terdiri atas 3 jenis, yaitu pengolahan secara fisik, kimia dan biologi. Pengolahan fisik dengan cara sedimentasi kemudian filterisasi, proses kimia dengan cara aerasi koagulasi, dan proses biologi dengan pembubuhan disinfektan (PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2012).

Berikut merupakan tahapan pengolahan air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

1. Prasedimentasi

Prasedimentasi adalah proses pengendapan untuk memisahkan benda-benda tersuspensi secara gravitasi seperti pasir kasar, pasir halus, dan lumpur dari air baku (kali Surabaya).

2. Aerasi

Proses aerasi terjadi di aerator, dengan bentuk bangunan *cascade* (bertingkat), bertujuan untuk memperbanyak intensitas kontak antara air baku (air sungai) dengan oksigen. Hal ini berfungsi untuk meningkatkan *dissolved oxygen* / oksigen terlarut dalam air, pengurangan kandungan bahan organik lainnya, serta untuk menghilangkan bau, warna, dan rasa.

3. Koagulasi dan flokulasi

Koagulasi adalah proses pemberian koagulan ( $Al_2(SO_4)_3$ ) atau tawas cair dengan maksud mengurangi gaya tolak menolak antara partikel koloid (*dissolve solid*) atau lumpur sehingga partikel koloid (lumpur) tersebut bisa bergabung menjadi flok-flok kecil. Flokulasi adalah proses pemberian flokulan dengan *polymer* anionik / dukem dengan maksud

menggabungkan flok-flok (lumpur) kecil menjadi besar dan stabil sehingga terpisah dengan supernatannya, yang pada akhirnya flok-flok tersebut mengendap di *sludge zone* sedangkan supernatannya (air yang sudah diendapkan lumpurnya) mengalir ke filter. Proses ini terjadi di *clearator*.

4. Filtrasi

Filtrasi merupakan proses pemisahan padatan yang tidak dapat dipisahkan pada proses sebelumnya, tetapi melalui proses penyaringan cepat dengan menggunakan media pasir silika dan batu gravel. Terdapat 192 petak filter di IPAM Ngagel I. Setiap petak filter terdiri dari 70 cm pasir silika dan 10 cm batu gravel. Setiap petak filter memiliki kedalaman 1,85 meter.

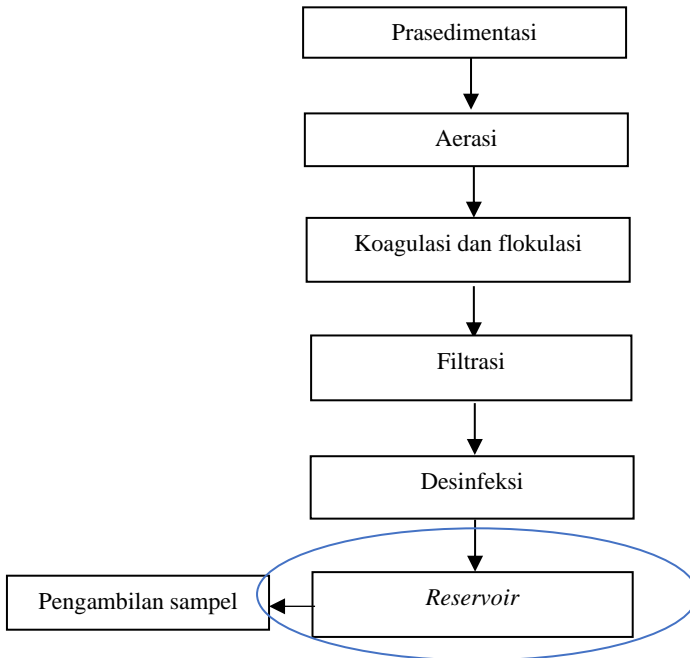
5. Desinfeksi

Proses membunuh bakteri yang masih ada di air dengan menggunakan disinfektan gas *chlor*.

6. *Reservoir*

*Reservoir* adalah tandon air yang berfungsi sebagai tempat penampungan air bersih yang berasal dari proses desinfeksi, air ini sudah menjadi air yang bersih yang siap digunakan dan harus dimasak terlebih dahulu untuk kemudian dapat dijadikan air minum.

Gambar 2.2 merupakan diagram alir proses pengolahan air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.



**Gambar 2.2** Proses Pengolahan Air PDAM

Sebelum didistribusikan kepada masyarakat, air hasil pengolahan PDAM Surya Sembada Kota Surabaya ditampung di *reservoir* dan dilakukan pengambilan sampel untuk uji laboratorium. Pada penelitian ini, kualitas air yang dianalisis dengan pengendalian kualitas statistika adalah air yang telah melewati seluruh proses pengolahan dan ditampung di *reservoir*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data**

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari hasil uji laboratorium kualitas air di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Data yang digunakan terdiri dari 3 variabel utama karakteristik kualitas air yaitu kekeruhan (*turbidity*), zat organik ( $\text{KMnO}_4$ ), dan sisa *chlor*. Pengambilan sampel sebanyak 5 liter dilakukan setiap hari pada pukul 07.30. Data yang digunakan merupakan data karakteristik kualitas air mulai tanggal 1 April 2019 – 31 Maret 2020. Dalam periode tersebut, terdapat perbedaan musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan.

Berdasarkan wawancara dan informasi yang diperoleh dari pihak PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, ditentukan untuk musim kemarau yaitu pada tanggal 1 April – 30 November 2019, sedangkan musim hujan pada tanggal 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020. Pembagian musim kemarau dan musim hujan oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya berdasarkan adanya perbedaan perlakuan untuk proses pengolahan air pada bulan April 2019 – November 2019 (musim kemarau) dan proses pengolahan air pada bulan Desember 2019 – Maret 2020 (musim hujan). Pada musim hujan, debit air cenderung lebih tinggi, sehingga menimbulkan banyak endapan. Tingkat kekeruhan air baku pada musim hujan bisa mencapai 500-1000 NTU jika dibandingkan dengan tingkat kekeruhan air baku pada musim kemarau yang hanya sekitar 20-50 NTU. Oleh karena itu, terdapat perbedaan dalam kadar penambahan tawas pada tahap awal.

Pembagian musim oleh pihak PDAM Surya Sembada Kota Surabaya sedikit berbeda jika dibandingkan dengan pembagian musim oleh BMKG. PDAM Surya Sembada Kota Surabaya melihat perbedaan musim berdasarkan kondisi air baku dan penambahan tawas yang dibutuhkan, sedangkan BMKG menetapkan perbedaan musim berdasarkan jumlah curah hujan dalam satu dasarian (10 hari) dan diikuti oleh beberapa dasarian berikutnya, jika kurang dari 50

milimeter maka termasuk ke dalam musim kemarau. Berdasarkan BMKG, beberapa wilayah Surabaya memasuki musim kemarau pada dasarian ketiga bulan April 2019 sampai dasarian kedua bulan November 2019, dan mulai memasuki musim hujan pada dasarian ketiga bulan November 2019. Meskipun terdapat perbedaan pembagian musim antara pihak PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dan BMKG, perbedaan yang ada tidak terlampaui jauh. Pada penelitian ini, pembagian musim yang digunakan berdasarkan pendapat pihak PDAM Surya Sembada Kota Surabaya karena disesuaikan dengan perbedaan kondisi air baku dan perbedaan perlakuan proses. Perbedaan periode musim kemarau dan musim hujan menurut PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dan BMKG dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Perbedaan Musim PDAM dan BMKG

Musim	PDAM Surya Sembada Kota Surabaya	BMKG
Kemarau	1 April 2019 – 30 November 2019	21 April 2019 – 20 November 2019
Hujan	1 Desember 2019 – 31 Maret 2020	21 November 2019 – 31 Maret 2020

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan parameter utama yang menjadi penentu kualitas air yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan	Batas Spesifikasi
X <sub>1</sub>	Kekeruhan ( <i>Turbidity</i> )	NTU	Maksimal 5
X <sub>2</sub>	Zat organik (KMnO <sub>4</sub> )	mg/l	Maksimal 10
X <sub>3</sub>	Sisa <i>chlor</i>	mg/l	0,2 - 1

Batas spesifikasi yang digunakan untuk parameter kekeruhan dan zat organik sesuai yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010, sedangkan batas spesifikasi untuk

parameter sisa *chlor* sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 736/MENKES/PER/VI/2010.

Ketiga variabel penelitian tersebut dikatakan sebagai parameter utama penentu kualitas air karena pengujian untuk mengetahui ketiga variabel tersebut dalam air produksi lebih cepat dibandingkan dengan kriteria kualitas air yang lain. Sehingga, ketiga variabel tersebut yang dijadikan dasar tindakan untuk mengetahui dan mengatasi masalah pada hasil produksi air. Selain itu, karakteristik kualitas air yang lain relatif tidak berfluktuasi.

Berikut merupakan penjelasan mengenai masing-masing variabel penelitian.

1. Kekeruhan (*turbidity*) menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut (misalnya lumpur dan pasir halus), maupun bahan anorganik dan organik yang berupa plankton dan mikroorganisme lain (Effendi, 2003).
2. Zat organik ( $\text{KMnO}_4$ ) merupakan indikasi untuk mengetahui apakah air produksi tercemar atau tidak.
3. *Chlor* merupakan disinfektan yang digunakan pada tahap disinfeksi. Air yang mengandung sisa *chlor* dalam jumlah yang melebihi batas dapat menyebabkan timbulnya masalah kesehatan bagi yang mengkonsumsinya. Sisa *chlor* diuji pada *outlet reservoir* dengan nilai maksimal 1 mg/l dan nilai minimal 0,2 mg/l.

Adapun struktur data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Struktur Data

Musim	Pengamatan ke-	Karakteristik Kualitas		
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Kemarau	1	X <sub>1,1</sub>	X <sub>1,2</sub>	X <sub>1,3</sub>
	2	X <sub>2,1</sub>	X <sub>2,2</sub>	X <sub>2,3</sub>
	⋮	⋮	⋮	⋮
	<i>i</i>	X <sub><i>i</i>,1</sub>	X <sub><i>i</i>,2</sub>	X <sub><i>i</i>,3</sub>
	⋮	⋮	⋮	⋮
	242	X <sub>242,1</sub>	X <sub>242,2</sub>	X <sub>242,3</sub>
Hujan	243	X <sub>243,1</sub>	X <sub>243,2</sub>	X <sub>243,3</sub>
	244	X <sub>244,1</sub>	X <sub>244,2</sub>	X <sub>244,3</sub>
	⋮	⋮	⋮	⋮
	<i>i</i>	X <sub><i>i</i>,1</sub>	X <sub><i>i</i>,2</sub>	X <sub><i>i</i>,3</sub>
	⋮	⋮	⋮	⋮
	364	X <sub>364,1</sub>	X <sub>364,2</sub>	X <sub>364,3</sub>

Keterangan:

X<sub>1</sub> : Keekeruhan

X<sub>2</sub> : Zat organik

X<sub>3</sub> : Sisa *chlor*

*i* : Urutan observasi, dengan  $i = 1, 2, 3, \dots, n$

*n* : Banyaknya pengamatan

### 3.3 Langkah Analisis

Langkah analisis digunakan untuk menggambarkan langkah-langkah penelitian yang dilakukan secara terurut. Langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

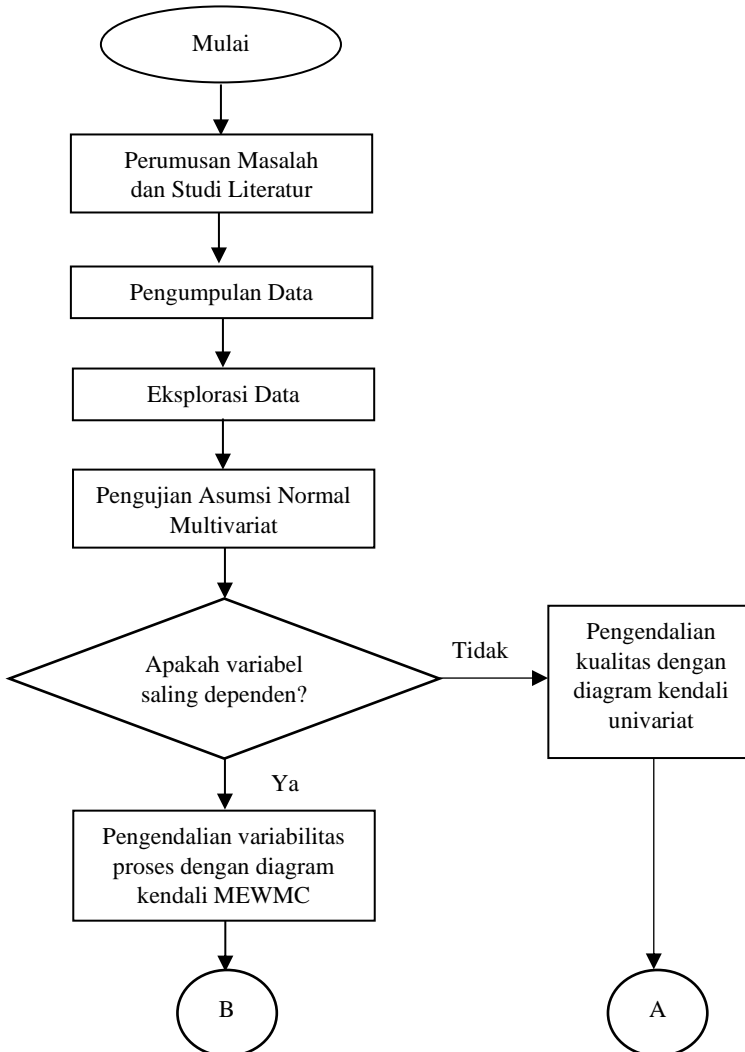
1. Merumuskan masalah dan studi literatur.
2. Mengumpulkan data.
3. Melakukan eksplorasi data untuk mengetahui karakteristik pada setiap variabel kualitas air.
4. Melakukan uji asumsi normal multivariat pada data variabel kekeruhan (*turbidity*), zat organik (KMnO<sub>4</sub>), dan sisa *chlor*



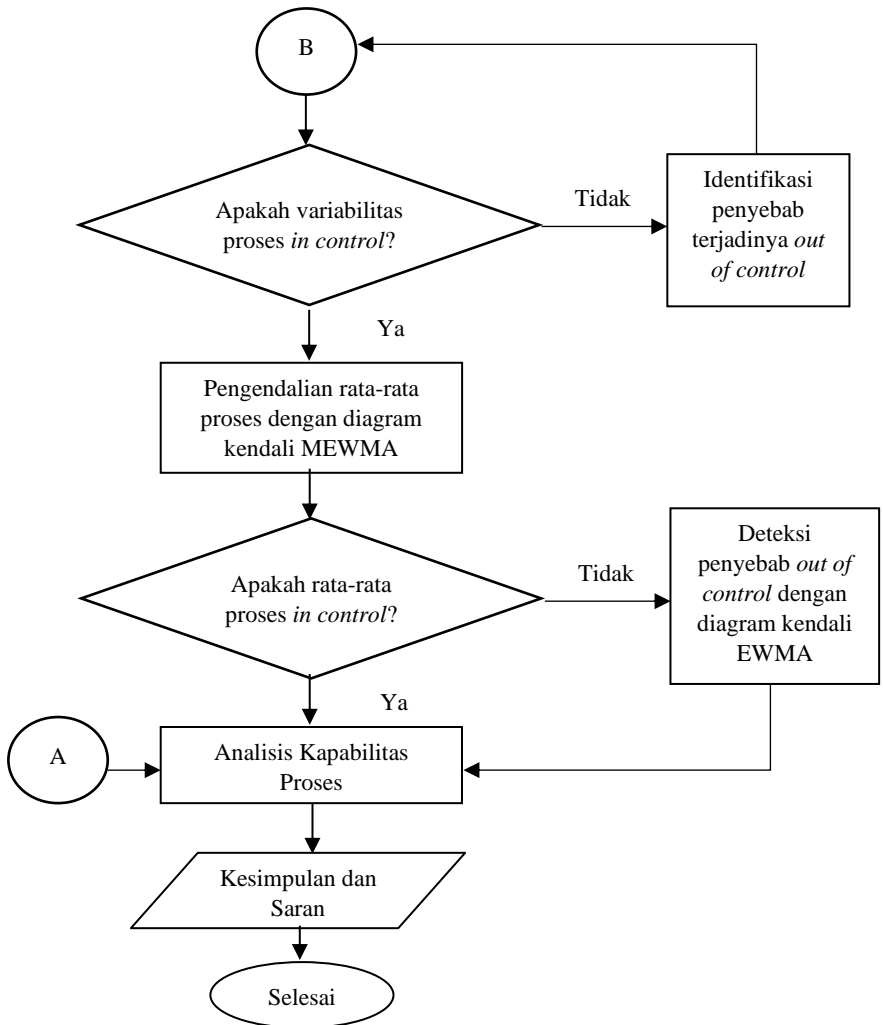
- untuk mengetahui apakah data yang digunakan berdistribusi normal multivariat atau tidak.
5. Melakukan pengujian *Bartlett* antar variabel kualitas air untuk mengetahui apakah variabel kualitas air saling berhubungan.
  6. Melakukan analisis dengan diagram kendali MEWMC untuk memonitor variabilitas proses produksi air. Langkah-langkah membuat diagram kendali MEWMC sebagai berikut.
    - a. Menghitung matriks  $\mathbf{A}$  sesuai dengan persamaan (2.12).
    - b. Melakukan transformasi data sesuai dengan persamaan (2.11).
    - c. Menghitung nilai  $S_i$  sesuai persamaan (2.10).
    - d. Menghitung nilai statistik uji  $c_i$  sesuai dengan persamaan (2.9).
    - e. Melakukan simulasi untuk menentukan batas kendali  $h$  dengan mempertimbangkan jumlah variabel, pembobot  $\lambda$ , dan  $ARL_0$  yang diinginkan.
    - f. Plot statistik uji  $c_i$  dan batas kendali  $h$ .
  7. Melakukan analisis dengan diagram kendali MEWMA untuk memonitor rata-rata proses produksi air. Langkah-langkah untuk membuat diagram kendali MEWMA sebagai berikut.
    - a. Menghitung nilai  $\mathbf{Z}_i$  sesuai dengan persamaan (2.18).
    - b. Menghitung nilai  $\sum \mathbf{Z}_i$  sesuai dengan persamaan (2.20).
    - c. Menghitung statistik uji  $T_i^2$  sesuai dengan persamaan (2.19).
    - d. Plot statistik uji  $T_i^2$  dengan batas kendali atas.
  8. Mengidentifikasi penyebab terjadinya *out of control* dengan diagram Ishikawa.
  9. Melakukan analisis kapabilitas proses untuk mengetahui apakah proses produksi yang dilakukan sudah kapabel.
  10. Menarik kesimpulan dan saran.

### 3.4 Diagram Alir

Diagram alir menggambarkan alur pembuatan laporan ini, mulai dari proses perumusan masalah dan studi literatur hingga penarikan kesimpulan dan saran. Diagram alir dari langkah analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir



**Gambar 3.1** Diagram Alir (Lanjutan)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Kualitas Air

Sebelum melakukan pengendalian kualitas proses produksi air di IPAM Ngagel I, dilakukan analisis statistika deskriptif untuk masing-masing variabel kualitas air. Karakteristik variabel kualitas air yang disajikan yaitu ukuran pemusatan dan penyebaran data berupa *mean*, varians, nilai minimum, dan nilai maksimum.

Data kualitas air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kualitas air PDAM Surya Sembada Kota Surabaya di IPAM Ngagel I pada 1 April 2019 – 31 Maret 2020. Selama periode tersebut terdapat perbedaan musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Musim kemarau yaitu tanggal 1 April – 30 November 2019 dan musim hujan yaitu tanggal 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020. Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik kualitas air produksi IPAM Ngagel I.

**Tabel 4.1** Deskripsi Karakteristik Kualitas Air Produksi

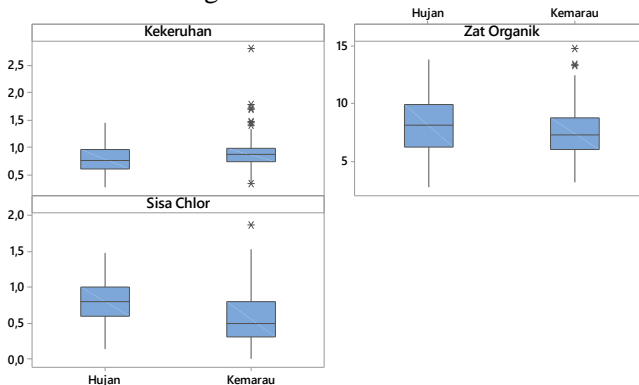
Variabel	<i>Mean</i>	Varians	Min	Maks	Spesifikasi
Kekeruhan (NTU)	0,8447	0,0632	0,27	2,80	
Kemarau	0,8758	0,0615	0,32	2,80	< 5
Hujan	0,7831	0,0613	0,27	1,45	
Zat Organik (mg/l)	7,6987	4,7054	2,74	14,70	
Kemarau	7,4345	4,0193	3,18	14,70	< 10
Hujan	8,2225	5,6947	2,74	13,81	
Sisa <i>Chlor</i> (mg/l)	0,6171	0,1175	0,00	1,86	
Kemarau	0,5310	0,1129	0,00	1,86	0,2 – 1
Hujan	0,7879	0,0833	0,14	1,48	

Secara keseluruhan variabel, nilai rata-rata kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Kota Surabaya di IPAM Ngagel I berada dalam batas spesifikasi yang ditentukan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 dan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 736/MENKES/PER/VI/2010. Varians variabel kekeruhan pada musim kemarau dan musim hujan tidak

jauh berbeda, sedangkan untuk zat organik pada musim hujan memiliki varians yang lebih besar dibandingkan dengan varians zat organik pada musim kemarau. Selain itu, varians sisa *chlor* pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan varians sisa *chlor* pada musim hujan.

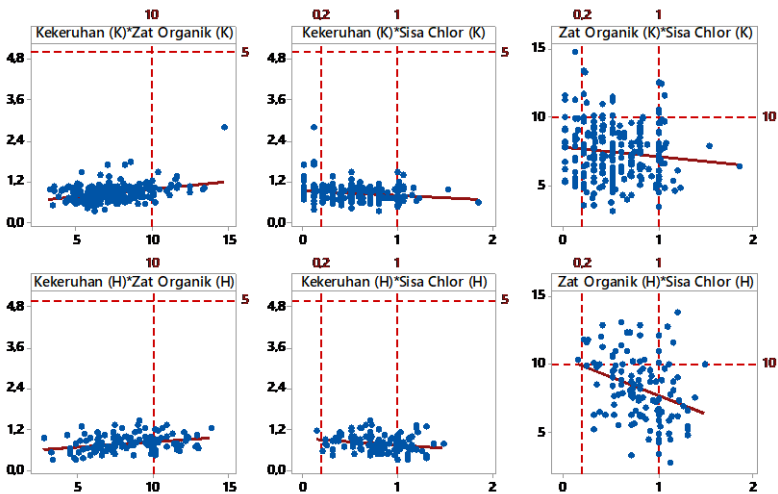
Nilai maksimum untuk variabel kekeruhan masih berada dalam batas spesifikasi, namun nilai maksimum variabel zat organik berada di atas batas spesifikasi. Pada musim kemarau, nilai maksimum zat organik tertinggi terjadi pada tanggal 3 November 2019, sedangkan nilai maksimum zat organik tertinggi pada musim hujan terjadi pada tanggal 30 Desember 2019. Tingginya zat organik pada air hasil produksi dipengaruhi oleh adanya pencemar yang ada pada air baku. Pada saat tinggi pencemar, PDAM menambahkan karbon aktif pada unit pengolahan untuk menyerap pencemar dan menambahkan dosis pembubuhan disinfektan pada air produksi.

Nilai minimum dan nilai maksimum variabel sisa *chlor* berada di luar batas spesifikasi. Ketika sisa *chlor* melebihi batas yang ditentukan, air tidak dapat langsung dikonsumsi manusia. Sedangkan jika sisa *chlor* kurang dari batas yang ditentukan maka dalam proses pendistribusian air ke pelanggan dikhawatirkan kuman bisa masuk dengan mudah ke dalam air.



**Gambar 4.1** Boxplot Karakteristik Kualitas Air Produksi

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa terdapat beberapa nilai *outlier* untuk karakteristik kualitas air produksi di IPAM Ngagel I pada musim kemarau. Terdapat 8 nilai *outlier* untuk variabel kekeruhan, 3 nilai *outlier* pada variabel zat organik dan 1 nilai *outlier* pada variabel sisa *chlor*. Pada musim hujan, tidak terdapat nilai *outlier* untuk masing-masing karakteristik kualitas air meskipun dapat dilihat bahwa pada variabel zat organik dan sisa *chlor* masih melebihi batas spesifikasi. Dapat dilihat pula bahwa nilai rata-rata zat organik dan sisa *chlor* pada musim hujan lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata zat organik dan sisa *chlor* pada musim kemarau, sedangkan rata-rata nilai kekeruhan pada musim hujan lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata nilai kekeruhan pada musim kemarau.



Gambar 4.2 Scatterplot Antar Variabel

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara variabel kekeruhan dan zat organik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi zat organik yang ada dalam air maka semakin tinggi pula tingkat kekeruhannya, begitu pula sebaliknya. Hal ini sesuai dengan teori yang ada di lapangan. Nilai korelasi antara variabel kekeruhan dan zat organik pada musim kemarau

yaitu 0,343 sedangkan nilai korelasi antara variabel kekeruhan dan zat organik pada musim hujan sebesar 0,298.

Variabel kekeruhan dan sisa *chlor* memiliki hubungan yang negatif dengan nilai korelasi pada data musim kemarau sebesar -0,177 dan nilai korelasi pada data musim hujan sebesar -0,219. Ketika tingkat kekeruhan pada air tinggi, maka kebutuhan *chlor* sebagai disinfektan juga semakin tinggi, hal ini menyebabkan sisa *chlor* dalam air produksi semakin rendah. Hubungan antara variabel zat organik dan sisa *chlor* juga negatif dengan nilai korelasi untuk data musim kemarau sebesar -0,117 dan nilai korelasi pada data musim hujan sebesar -0,325. Berdasarkan teori di lapangan, semakin tinggi zat organik maka sisa *chlor* dalam air produksi juga semakin rendah.

Selain itu, dari Gambar 4.2 juga didapatkan informasi bahwa masih terdapat beberapa pengamatan yang berada di luar batas spesifikasi untuk variabel zat organik dan variabel sisa *chlor*. Pada musim kemarau untuk variabel sisa *chlor* cukup banyak yang berada di bawah batas spesifikasi, sedangkan pada musim hujan untuk variabel sisa *chlor* hanya terdapat 1 pengamatan yang berada di bawah batas spesifikasi. Pada variabel kekeruhan seluruh pengamatan telah berada dalam batas spesifikasi, baik untuk data kualitas air pada musim kemarau maupun musim hujan.

## 4.2 Uji Distribusi Normal Multivariat

Uji distribusi normal multivariat digunakan untuk mengetahui apakah data kualitas air yang terdiri dari kekeruhan, zat organik, dan sisa *chlor* merupakan data yang berdistribusi normal multivariat atau tidak. Uji distribusi normal multivariat yang digunakan yaitu uji *Shapiro-Wilk* sesuai pada persamaan (2.5). Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji *Shapiro-Wilk* untuk data kualitas air.

**Tabel 4.2** Hasil Uji Distribusi Normal Multivariat

Musim	$W^*$	$n$	$p$ -value	Keputusan
Kemarau	0,85817	242	$3,806 \times 10^{-14}$	Tolak $H_0$
Hujan	0,98247	122	0,1144	Gagal tolak $H_0$



Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji *Shapiro-Wilk* dengan taraf signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 0,05, sehingga dapat diambil keputusan tolak  $H_0$  yaitu data tidak berdistribusi normal multivariat jika  $p\text{-value} < \alpha$ . Data kualitas air selama musim kemarau tidak berdistribusi normal multivariat karena  $p\text{-value} < \alpha$ , sedangkan data kualitas air selama musim hujan berdistribusi normal multivariat karena  $p\text{-value} > \alpha$ . Meskipun data kualitas air pada musim kemarau tidak berdistribusi normal multivariat, analisis tetap bisa dilanjutkan karena metode yang digunakan merupakan metode yang *robust* terhadap data yang tidak berdistribusi normal multivariat (Montgomery, 2013).

### 4.3 Uji Dependensi

Terdapat 3 karakteristik kualitas air yang menurut teori di lapangan saling berhubungan satu sama lain. Untuk mengetahui dependensi antara ketiga karakteristik kualitas air tersebut, perlu dilakukan uji *Bartlett*. Tabel 4.3 menunjukkan hasil uji *Bartlett* terhadap data kualitas air.

**Tabel 4.3** Hasil Uji Dependensi

Musim	$\chi^2$	df	p-value	Keputusan
Kemarau	38,447	3	0,000	Tolak $H_0$
Hujan	26,597	3	0,000	Tolak $H_0$

Tabel 4.3 menunjukkan hasil uji *Bartlett* dengan taraf signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 0,05, sehingga dapat diambil keputusan tolak  $H_0$  yaitu terdapat korelasi antar variabel jika  $p\text{-value} < \alpha$ . Uji *Bartlett* untuk data kualitas air pada musim kemarau maupun musim hujan menunjukkan bahwa ketiga karakteristik kualitas air yaitu kekeruhan, zat organik, dan sisa *chlor* saling berkorelasi.

### 4.4 Pengendalian Kualitas Air Produksi dengan Diagram Kendali MEWMC

Diagram kendali MEWMC digunakan untuk pengendalian variabilitas kualitas air produksi di IPAM Ngagel I. Pengendalian kualitas air pada musim kemarau dan musim hujan dibedakan

karena terdapat perlakuan yang berbeda dalam produksi air selama musim kemarau dan musim hujan. Tingkat kekeruhan air baku selama musim kemarau berada di sekitar angka 20-50 NTU sedangkan kekeruhan air baku pada musim penghujan bisa mencapai 500 – 1000 NTU, sehingga terdapat perbedaan perlakuan dalam produksi air yaitu jumlah penambahan tawas di awal produksi. Dalam penelitian ini, berdasarkan hasil diskusi dengan pihak perusahaan, ditetapkan untuk data kualitas air pada bulan April – November 2019 termasuk ke dalam musim kemarau, sedangkan data kualitas air pada bulan Desember 2019 – Maret 2020 termasuk ke dalam musim hujan. Dalam penelitian ini, digunakan nilai pembobot  $\lambda$  antara 0,1 – 0,9 dengan kenaikan sebesar 0,1.

Dalam pembentukan diagram kendali MEWMC, mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menghitung matriks **A** yang memenuhi persamaan (2.12), sehingga didapatkan matriks **A** untuk data musim kemarau sebagai berikut.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,0327 & 0 & 0 \\ -1,4715 & 0,5310 & 0 \\ 0,6384 & 0,0326 & 3,0301 \end{bmatrix}$$

Matriks **A** untuk data musim hujan sebagai berikut.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,0399 & 0 & 0 \\ -1,2593 & 0,4389 & 0 \\ 0,5784 & 0,1277 & 3,6980 \end{bmatrix}$$

2. Melakukan transformasi data kualitas air produksi. Berikut merupakan perhitungan vektor  $\mathbf{u}_i$  untuk data kualitas air selama musim kemarau dengan  $i = 1,2,\dots,242$  yang dihitung sesuai persamaan (2.11).

Untuk  $i = 1$ , maka

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_1 &= \mathbf{A}(\mathbf{x}_1 - \boldsymbol{\mu}_0) \\ &= \begin{bmatrix} 4,0327 & 0 & 0 \\ -1,4715 & 0,5310 & 0 \\ 0,6384 & 0,0326 & 3,0301 \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} 1,47 \\ 5,35 \\ 0,50 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0,8758 \\ 7,4345 \\ 0,5310 \end{bmatrix} \right) \\ &= \begin{bmatrix} 2,3963 \\ -1,9813 \\ 0,2175 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Untuk  $i = 2$ , maka

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_2 &= \mathbf{A}(\mathbf{x}_2 - \boldsymbol{\mu}_0) \\ &= \begin{bmatrix} 4,0327 & 0 & 0 \\ -1,4715 & 0,5310 & 0 \\ 0,6384 & 0,0326 & 3,0301 \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} 0,50 \\ 3,42 \\ 1,00 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0,8758 \\ 7,4345 \\ 0,5310 \end{bmatrix} \right) \\ &= \begin{bmatrix} -1,5154 \\ -1,5788 \\ 1,0504 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Langkah ini dilanjutkan untuk semua pengamatan ke- $i$  sehingga semua vektor  $\mathbf{u}_i$  didapatkan.

3. Menghitung matriks  $\mathbf{S}_i$  sesuai dengan persamaan (2.10). Berikut merupakan penghitungan matriks  $\mathbf{S}_i$  dengan pembobot  $\lambda = 0,1$  pada data kualitas air musim kemarau.

Untuk  $i = 1$ , maka

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_1 &= (1 - \lambda)\mathbf{S}_0 + \lambda\mathbf{u}_1\mathbf{u}_1^T \\ &= (1 - 0,1) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0,1 \begin{bmatrix} 2,3963 \\ -1,9813 \\ 0,2175 \end{bmatrix} [2,3963 \quad -1,9813 \quad 0,2175] \\ \mathbf{S}_1 &= \begin{bmatrix} 1,4742 & -0,4748 & 0,0521 \\ -0,4748 & 1,2925 & -0,0431 \\ 0,0521 & -0,0430 & 0,9047 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Untuk  $i = 2$ , maka

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_2 &= (1 - \lambda)\mathbf{S}_1 + \lambda\mathbf{u}_2\mathbf{u}_2^T \\ &= (1 - 0,1) \begin{bmatrix} 1,47422 & -0,4748 & 0,0521 \\ -0,4748 & 1,2925 & -0,0431 \\ 0,0521 & -0,0431 & 0,9047 \end{bmatrix} + \\ &\quad 0,1 \begin{bmatrix} -1,5154 \\ -1,5788 \\ 1,0504 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1,5154 & -1,5788 & 1,0504 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1,5565 & -0,1881 & -0,1123 \\ -0,1881 & 1,4125 & -0,2046 \\ -0,1123 & -0,2046 & 0,9246 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Perhitungan matriks  $\mathbf{S}_i$  untuk  $i = 1,2,\dots,242$  mengikuti persamaan (2.10) sehingga semua matriks  $\mathbf{S}_i$  untuk data kualitas air selama musim kemarau didapatkan. Perhitungan matriks  $\mathbf{S}_i$  untuk data kualitas air selama musim hujan juga mengikuti persamaan (2.10).

4. Menghitung statistik uji diagram kendali MEWMC sesuai dengan persamaan (2.9). Berikut merupakan penghitungan nilai  $c_i$  untuk  $i = 1$  dan  $i = 2$  dengan pembobot  $\lambda = 0,1$  pada data kualitas air selama musim kemarau.

Untuk  $i = 1$ , maka

$$\begin{aligned} c_1 &= \text{tr}(\mathbf{S}_1) - \log|\mathbf{S}_1| - p \\ &= (1,4742 + 1,2925 + 0,9047) - \log \begin{vmatrix} 1,4742 & -0,4748 & 0,0521 \\ -0,4748 & 1,2925 & -0,0431 \\ 0,0521 & -0,0431 & 0,9047 \end{vmatrix} - 3 \\ &= 0,2555 \end{aligned}$$

Untuk  $i = 2$ , maka

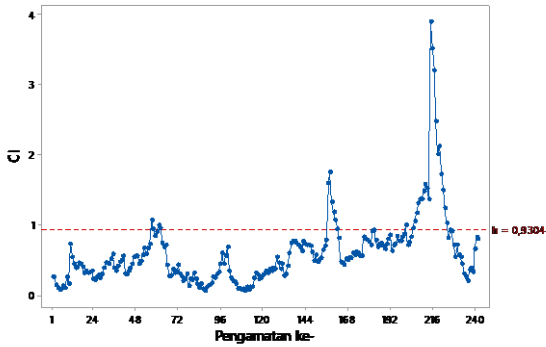
$$\begin{aligned} c_2 &= \text{tr}(\mathbf{S}_2) - \log|\mathbf{S}_2| - p \\ &= (1,5565 + 1,4125 + 0,9246) - \log \begin{vmatrix} 1,5565 & -0,1881 & -0,1123 \\ -0,1881 & 1,4125 & -0,2046 \\ -0,1123 & -0,2046 & 0,9246 \end{vmatrix} - 3 \\ &= 0,2473 \end{aligned}$$

Perhitungan statistik uji  $c_i$  dilanjutkan untuk semua  $i$  dengan  $i = 1, 2, \dots, 242$  sesuai persamaan (2.9) sehingga seluruh nilai  $c_i$  untuk data kualitas air selama musim kemarau didapatkan. Perhitungan statistik uji  $c_i$  untuk data kualitas air selama musim hujan juga mengikuti persamaan (2.9) sehingga didapatkan seluruh nilai  $c_i$  untuk data kualitas air selama musim hujan.

5. Melakukan simulasi untuk mendapatkan batas kendali  $h$  dengan bantuan program yang terdapat pada Lampiran 9. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah dimensi data sebanyak 3,  $ARL_0$  yang diinginkan yaitu 370, dan pembobot  $\lambda$  yang digunakan yaitu  $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$  dengan kenaikan sebesar 0,1. Hasil simulasi untuk mendapatkan batas kendali terdapat pada Lampiran 10.
6. Membentuk *plot* antara statistik uji  $c_i$  dan batas kendali  $h$  sehingga didapatkan diagram kendali MEWMC.
7. Jika terdapat titik statistik uji  $c_i$  yang berada di luar batas kendali  $h$ , maka variabilitas proses tidak terkendali secara statistik.

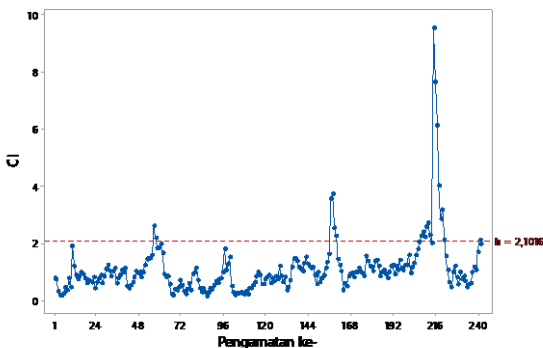
#### 4.4.1 Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau

Setelah dilakukan perhitungan statistik uji dan batas kendali, dibentuk *plot* diagram kendali MEWMC selama musim kemarau yaitu periode pengamatan pada 1 April – 30 November 2019. Pembobot  $\lambda$  yang digunakan yaitu 0,1 – 0,9 dengan kenaikan sebesar 0,1. Gambar 4.3 menunjukkan diagram kendali MEWMC untuk data kualitas air produksi selama musim kemarau dengan pembobot  $\lambda = 0,1$ .



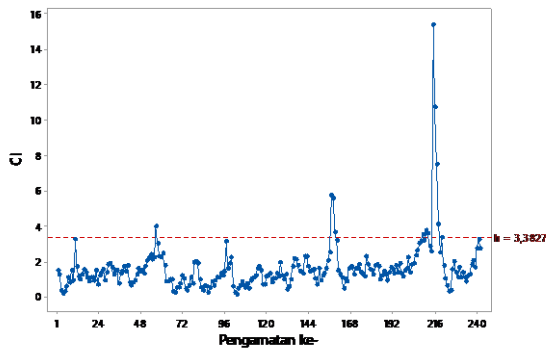
**Gambar 4.3** Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau dengan  $\lambda = 0,1$

Gambar 4.3 menunjukkan plot  $c_i$  untuk masing-masing data pengamatan kualitas air produksi selama musim kemarau dengan pembobot  $\lambda = 0,1$ . Batas kendali untuk diagram kendali MEWMC dengan  $\lambda = 0,1$  yaitu sebesar 0,9304. Terdapat 31 titik pengamatan yang memiliki nilai lebih dari batas kendali, dengan nilai maksimum  $c_i$  sebesar 3,8932 pada pengamatan ke-215. Banyaknya titik pengamatan yang berada di luar batas kendali menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim kemarau belum terkendali secara statistik.



**Gambar 4.4** Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau dengan  $\lambda = 0,2$

Batas kendali yang didapatkan untuk diagram kendali MEWMC dengan  $\lambda = 0,2$  yaitu sebesar 2,1016. Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa terdapat 20 titik pengamatan yang berada di luar batas kendali, dengan nilai maksimum  $c_i$  sebesar 9,5144 pada pengamatan ke-215. Jumlah titik pengamatan yang berada di luar batas kendali lebih sedikit dibandingkan dengan diagram kendali MEWMC dengan  $\lambda = 0,1$ . Karena masih terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali, dapat diketahui bahwa variabilitas proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim kemarau belum terkendali secara statistik.



**Gambar 4.5** Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau dengan  $\lambda = 0,3$

Dengan  $\lambda = 0,3$ , batas kendali yang didapatkan untuk diagram kendali MEWMC sebesar 3,3827. Terdapat 11 titik pengamatan yang berada di luar batas kendali, dengan pengamatan ke-215 jauh melebihi batas kendali. Variabilitas proses produksi air di IPAM Ngagel I belum terkendali secara statistik karena masih terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali. Diagram kendali MEWMC untuk pembobot  $\lambda$  yang lain dapat dilihat pada Lampiran 13.

Setelah membentuk diagram kendali MEWMC, ditentukan pembobot  $\lambda$  yang optimal. Nilai  $\lambda$  yang kecil digunakan untuk melihat pergeseran proses yang kecil, sedangkan nilai  $\lambda$  yang besar

digunakan untuk melihat pergeseran proses yang besar (Hawkins & Maboudou-Tchao, 2008). Menentukan  $\lambda$  optimal dapat dilakukan dengan melihat jumlah pengamatan yang OOC. Diagram kendali MEWMC dengan jumlah pengamatan OOC terbanyak menunjukkan bahwa diagram kendali tersebut lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran variabilitas proses jika dibandingkan dengan diagram kendali MEWMC dengan jumlah pengamatan OOC yang lebih sedikit. Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan masing-masing diagram kendali MEWMC dengan pembobot  $\lambda$  yang berbeda untuk menentukan pembobot yang optimal.

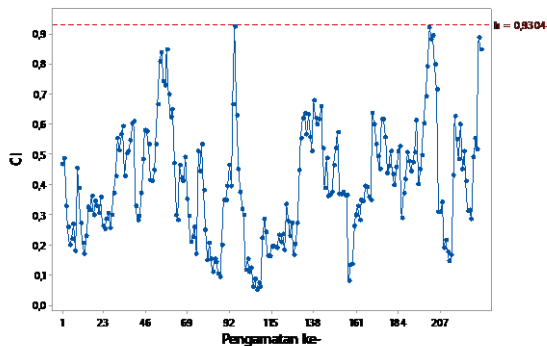
**Tabel 4.4** Perbandingan Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau

$\lambda$	$h$	Jumlah OOC
<b>0,1</b>	<b>0,9304</b>	<b>31</b>
0,2	2,1016	20
0,3	3,3827	11
0,4	4,8401	6
0,5	6,3745	6
0,6	8,1832	5
0,7	10,1488	3
0,8	12,6682	2
0,9	16,0896	2

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa diagram kendali MEWMC dengan  $\lambda = 0,1$  memiliki jumlah pengamatan OOC terbanyak, sehingga  $\lambda = 0,1$  dipilih sebagai pembobot yang optimal karena lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran variabilitas proses yang kecil. Berdasarkan hasil diskusi dengan pihak perusahaan, diketahui bahwa adanya pengamatan yang berada di luar batas kendali disebabkan oleh *assignable causes* diantaranya adalah kondisi filter yang kurang ideal, adanya pencemar dan dosis pembubuhan disinfektan yang kurang pas.



Setelah diketahui penyebab pengamatan yang OOC, maka diagram kendali MEWMC untuk musim kemarau diperbaiki (dilakukan *improvement*) dengan melakukan penghapusan pengamatan yang OOC. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan variabilitas proses produksi yang *in control*. Diagram kendali MEWMC untuk proses produksi air selama musim kemarau yang sudah *in control* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



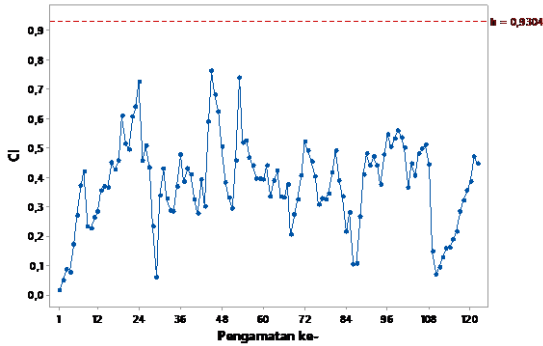
**Gambar 4.6** Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau

Setelah dilakukan perbaikan diagram kendali MEWMC dengan menghapus 13 pengamatan yang berada di luar batas kendali, didapatkan diagram kendali MEWMC untuk musim kemarau yang sudah *in control*. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa variabilitas proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim kemarau sudah terkendali secara statistik karena sudah tidak terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali. Karena variabilitas proses produksi sudah *in control*, dapat dilanjutkan untuk pengendalian rata-rata proses produksi dengan diagram kendali MEWMA.

#### 4.4.2 Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan

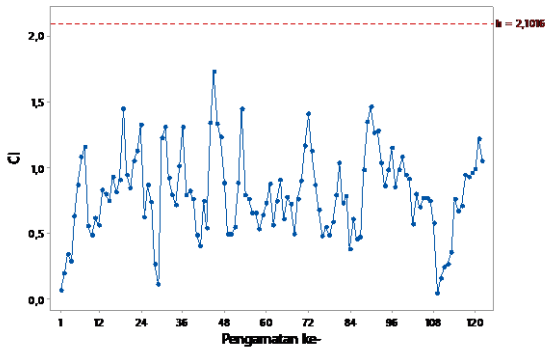
Musim hujan pada tahun 2019 dimulai pada bulan Desember, sehingga untuk pengendalian variabilitas proses produksi air di IPAM Ngagel I menggunakan data pengamatan

pada tanggal 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020. Pembentukan diagram kendali MEWMC menggunakan pembobot  $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$  dengan kenaikan sebesar 0,1. Gambar 4.7 merupakan diagram kendali MEWMC untuk musim hujan dengan pembobot  $\lambda = 0,1$ .



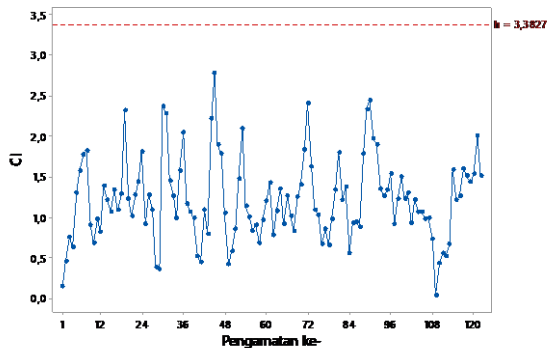
**Gambar 4.7** Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan dengan  $\lambda = 0,1$

Untuk pembobot  $\lambda = 0,1$ , didapatkan batas kendali sebesar 0,9304. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa tidak terdapat titik pengamatan yang berada di luar batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan sudah terkendali secara statistik.



**Gambar 4.8** Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan dengan  $\lambda = 0,2$

Diagram kendali MEWMC dengan  $\lambda = 0,2$  juga menunjukkan bahwa tidak terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali. Pada Gambar 4.8, nilai maksimum  $c_i$  sebesar 1,72791 masih berada di bawah batas kendali sebesar 2,1016. Hal ini menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan terkendali secara statistik.



**Gambar 4.9** Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan dengan  $\lambda = 0,3$

Batas kendali untuk diagram kendali MEWMC dengan  $\lambda = 0,3$  sebesar 3,3827. Pada Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa nilai maksimum  $c_i$  sebesar 2,78213 masih lebih kecil dibandingkan dengan batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali, sehingga dapat disimpulkan bahwa variabilitas proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan terkendali secara statistik.

Diagram kendali MEWMC untuk  $\lambda$  lainnya dapat dilihat pada Lampiran 13. Diagram kendali MEWMC untuk proses produksi air selama musim hujan dengan menggunakan pembobot  $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$  menunjukkan bahwa tidak ada pengamatan yang berada di luar batas kendali. Sehingga, untuk menentukan pembobot optimal diagram kendali MEWMC selama musim hujan dapat menggunakan kriteria selisih terkecil antara nilai maksimum  $c_i$  dan batas kendali yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Perbandingan Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan

$\lambda$	$h$	$\text{Max}(c_i)$	$ \text{Max}(c_i)-h $	Jumlah OOC
<b>0,1</b>	<b>0,9304</b>	<b>0,7608</b>	<b>0,1696</b>	<b>0</b>
0,2	2,1016	1,7279	0,3737	0
0,3	3,3827	2,7821	0,6006	0
0,4	4,8401	3,8912	0,9488	0
0,5	6,3745	5,1182	1,2562	0
0,6	8,1832	6,7970	1,3862	0
0,7	10,1488	8,7950	1,3538	0
0,8	12,6682	11,3150	1,3532	0
0,9	16,0896	14,9785	1,1111	0

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa pembobot  $\lambda$  yang optimal untuk pengendalian variabilitas produksi air di IPAM Ngagel I yaitu  $\lambda = 0,1$  karena selisih nilai maksimal  $c_i$  dan batas kendali yang paling kecil. Selain itu, pembobot  $\lambda$  yang kecil lebih baik digunakan jika ingin mendeteksi pergeseran variabilitas proses yang kecil (Hawkins & Maboudou-Tchao, 2008). Karena tidak terdapat titik pengamatan yang berada di luar batas kendali, maka variabilitas produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan telah terkendali secara statistik.

#### **4.5 Pengendalian Kualitas Air dengan Diagram Kendali MEWMA**

Setelah variabilitas proses terkendali secara statistik, maka dilakukan pengendalian rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMA. Pembentukan diagram kendali MEWMA juga dipisah antara musim kemarau dan musim hujan karena terdapat perbedaan kondisi dan perlakuan pada air baku antara kedua musim tersebut. Pada musim hujan debit air cenderung tinggi dan terdapat banyak endapan sehingga tawas yang digunakan untuk proses produksi selama musim hujan lebih banyak dibandingkan dengan tawas yang digunakan untuk proses produksi air di musim kemarau.

Dalam pembentukan diagram kendali MEWMA mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menghitung vektor  $\mathbf{z}_i$  sesuai persamaan (2.18). Berikut merupakan perhitungan vektor  $\mathbf{z}_1$  untuk data kualitas air pada musim kemarau dengan  $\lambda = 0,1$ .

$$\begin{aligned}\mathbf{z}_1 &= \lambda \mathbf{x}_1 + (1 - \lambda) \mathbf{z}_0 \\ &= 0,1 \begin{pmatrix} 1,47 \\ 5,35 \\ 0,5 \end{pmatrix} + (1 - 0,1) \begin{pmatrix} 0,8580 \\ 7,3635 \\ 0,5352 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0,9192 \\ 7,1622 \\ 0,5372 \end{pmatrix}\end{aligned}$$

Perhitungan vektor  $\mathbf{z}_i$  dengan  $i = 1,2,\dots,242$  sesuai persamaan (2.17) sehingga didapatkan seluruh vektor  $\mathbf{z}_i$  untuk data kualitas air pada musim kemarau. Vektor  $\mathbf{z}_i$  untuk data kualitas air pada musim hujan juga dihitung sesuai persamaan (2.17) sehingga seluruh vektor  $\mathbf{z}_i$  didapatkan.

2. Menghitung matriks  $\Sigma_{\mathbf{z}_i}$  sesuai persamaan (2.20).

Perhitungan matriks  $\Sigma_{\mathbf{z}_1}$  untuk data kualitas air pada musim kemarau dengan  $\lambda = 0,1$  sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma_{\mathbf{z}_1} &= \frac{\lambda}{2 - \lambda} \left[ 1 - (1 - \lambda)^{2(1)} \right] \Sigma \\ &= \frac{0,1}{2 - 0,1} \left[ 1 - (1 - 0,1)^2 \right] \begin{bmatrix} 0,0327 & 0,0514 & -0,0033 \\ 0,0514 & 1,9669 & -0,0376 \\ -0,0033 & -0,0376 & 0,0615 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0,0003 & 0,0005 & -0,0000 \\ 0,0005 & 0,0197 & -0,0003 \\ -0,0000 & -0,0004 & 0,0006 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Langkah ini dilanjutkan untuk semua pengamatan sehingga seluruh matriks  $\Sigma_{z_i}$  didapatkan.

3. Menghitung statistik uji untuk diagram kendali MEWMA sesuai dengan persamaan (2.19). Berikut merupakan perhitungan statistik uji  $T_1^2$  untuk data kualitas air pada musim kemarau dengan  $\lambda = 0,1$ .

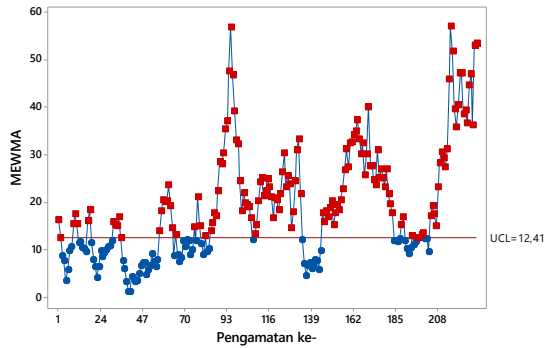
$$\begin{aligned} T_1^2 &= (\mathbf{z}_1 - \boldsymbol{\mu}_0)^T \Sigma_{z_1}^{-1} (\mathbf{z}_1 - \boldsymbol{\mu}_0) \\ &= \begin{pmatrix} 0,0612 \\ -0,2014 \\ -0,0035 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} 3193,8945 & -81,0943 & 123,3088 \\ -81,0943 & 53,5018 & 28,3538 \\ 123,3088 & 28,3538 & 1650,3718 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,0612 \\ -0,2014 \\ -0,0035 \end{pmatrix} \\ &= 16,1382 \end{aligned}$$

Langkah ini dilanjutkan untuk semua  $i$  sehingga seluruh nilai statistik uji  $T_i^2$  didapatkan.

4. Membentuk *plot* antara nilai statistik uji  $T_i^2$  dengan batas kendali atas (UCL) sehingga diagram kendali MEWMA didapatkan.
5. Apabila terdapat nilai statistik uji  $T_i^2$  yang berada di luar batas kendali atas (UCL), maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I tidak terkendali secara statistik.

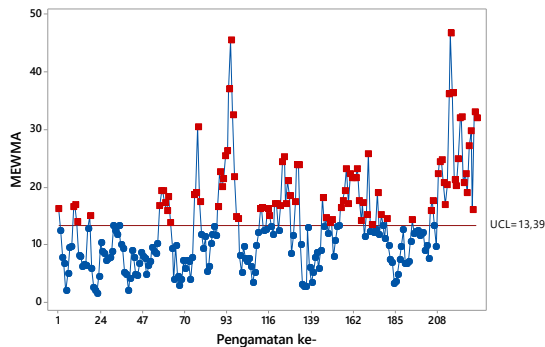
#### 4.5.1 Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau

Musim kemarau pada tahun 2019 yaitu pada tanggal 1 April – 30 November. Pembentukan diagram kendali MEWMA dilakukan dengan menggunakan pembobot  $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$  dengan kenaikan sebesar 0,1. Sebelum melakukan pengendalian rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I, telah dilakukan pengendalian variabilitas proses produksi menggunakan diagram kendali MEWMC. Sehingga, pengendalian rata-rata proses menggunakan data yang sudah *in control* pada diagram kendali MEWMC yang diperoleh. Gambar 4.10 menunjukkan diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,1$ .



**Gambar 4.10** Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau dengan  $\lambda = 0,1$

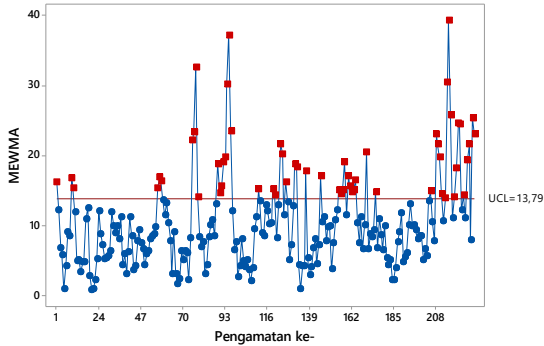
Diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,1$  memiliki UCL sebesar 12,41. Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa terdapat banyak pengamatan yang bernilai lebih dari UCL. Sebanyak 145 pengamatan yang berada di luar batas kendali dengan nilai maksimal sebesar 56,89 pada pengamatan ke-215. Banyaknya pengamatan yang berada di luar batas kendali menunjukkan bahwa rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim kemarau belum terkendali secara statistik.



**Gambar 4.11** Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau dengan  $\lambda = 0,2$

UCL diagram kendali MEWMA yang didapatkan untuk  $\lambda = 0,2$  yaitu sebesar 13,39. Gambar 4.11 menunjukkan bahwa terdapat

91 pengamatan yang berada di luar batas kendali, dengan nilai maksimal  $T_i^2$  sebesar 46,71 pada pengamatan ke-215. Rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim kemarau belum terkendali secara statistik karena masih terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali.



**Gambar 4.12** Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau dengan  $\lambda = 0,3$

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,3$  memiliki UCL sebesar 13,79. Rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I pada musim kemarau belum terkendali secara statistik karena masih terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali. Titik pengamatan yang berada paling jauh dari batas kendali sama dengan diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,1$  dan diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,2$  yaitu pengamatan ke-215 dengan nilai  $T_i^2$  sebesar 39,26.

Diagram kendali MEWMA untuk data kualitas air produksi pada musim kemarau dengan  $\lambda$  lainnya dapat dilihat pada Lampiran 16. Untuk menentukan  $\lambda$  optimal, dapat menggunakan kriteria yang sama dengan kriteria yang digunakan saat menentukan  $\lambda$  optimal pada diagram kendali MEWMC yaitu diagram kendali yang menghasilkan titik yang OOC terbanyak merupakan diagram kendali yang paling sensitif untuk mendeteksi pergeseran rata-rata



proses. Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan diagram kendali MEWMA musim kemarau untuk menentukan  $\lambda$  optimal.

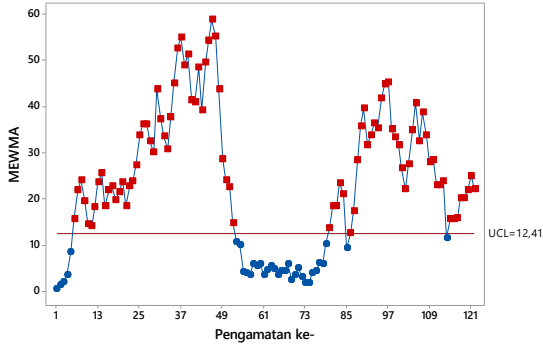
**Tabel 4.6** Perbandingan Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau

$\lambda$	UCL	Jumlah OOC
<b>0,1</b>	<b>12,41</b>	<b>145</b>
0,2	13,39	91
0,3	13,79	57
0,4	13,99	35
0,5	14,10	22
0,6	14,16	17
0,7	14,19	16
0,8	14,21	13
0,9	14,21	10

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pembobot optimal diagram kendali MEWMA untuk proses produksi air selama musim kemarau yaitu  $\lambda = 0,1$  karena menghasilkan diagram kendali yang paling sensitif. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya jumlah pengamatan OOC pada diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,1$ . Selain itu,  $\lambda = 0,1$  juga merupakan pembobot yang efektif untuk mendeteksi pergeseran yang kecil pada rata-rata proses (Lowry dkk., 1992). Diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,1$  pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa masih banyak pengamatan yang berada di luar batas kendali, sehingga rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I pada musim kemarau belum terkendali secara statistik.

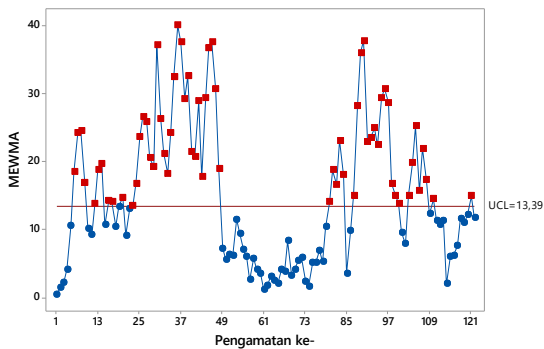
#### 4.5.2 Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan

Diagram kendali MEWMA untuk musim hujan dibentuk menggunakan data pengamatan pada 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020. Pembobot yang digunakan sebesar  $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$  dengan kenaikan sebesar 0,1. Gambar 4.13 menunjukkan diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,1$ .



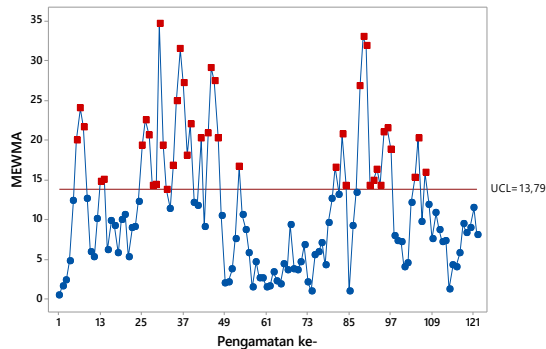
**Gambar 4.13** Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan dengan  $\lambda = 0,1$

Batas kendali untuk diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,1$  sebesar 12,41. Pada Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa terdapat banyak titik yang berada di luar batas kendali. Diagram kendali MEWMA mulai mengindikasikan adanya pengamatan yang OOC pada pengamatan ke-6 hingga pengamatan ke-52 lalu pada pengamatan ke-80 sampai pengamatan ke-122 kecuali pada pengamatan ke-85 dan pengamatan ke-114. Banyaknya titik pengamatan yang berada di luar batas kendali menunjukkan bahwa rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan tidak terkendali secara statistik.



**Gambar 4.14** Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan dengan  $\lambda = 0,2$

Pada Gambar 4.14, dapat dilihat bahwa batas kendali yang didapatkan untuk diagram kendali MEWMA dengan  $\lambda = 0,2$  yaitu sebesar 13,39. Terdapat 63 titik yang berada di luar batas kendali dengan titik terjauh dari batas kendali memiliki nilai sebesar 40,02. Karena masih banyak pengamatan yang berada di luar batas kendali, maka rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I tidak terkendali secara statistik.



**Gambar 4.15** Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan dengan  $\lambda = 0,3$

Diagram kendali MEWMA untuk  $\lambda = 0,3$  dengan batas kendali sebesar 13,79 menunjukkan bahwa terdapat 41 pengamatan yang berada di luar batas kendali dengan nilai titik terluar sebesar 34,64. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan tidak terkendali secara statistik. Diagram kendali MEWMA untuk proses produksi air selama musim hujan dengan  $\lambda$  lainnya dapat dilihat pada Lampiran 16.

Kriteria yang digunakan untuk menentukan pembobot optimal pada diagram kendali MEWMA selama musim hujan yaitu dengan menggunakan jumlah pengamatan OOC terbanyak karena hal ini menunjukkan diagram kendali mana yang paling sensitif dibandingkan dengan yang lain. Tabel 4.7 menunjukkan perbandingan untuk menentukan  $\lambda$  optimal.

**Tabel 4.7** Perbandingan Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan

$\lambda$	UCL	Jumlah OOC
<b>0,1</b>	<b>12,41</b>	<b>89</b>
0,2	13,39	63
0,3	13,79	41
0,4	13,99	26
0,5	14,10	19
0,6	14,16	13
0,7	14,19	8
0,8	14,21	4
0,9	14,21	3

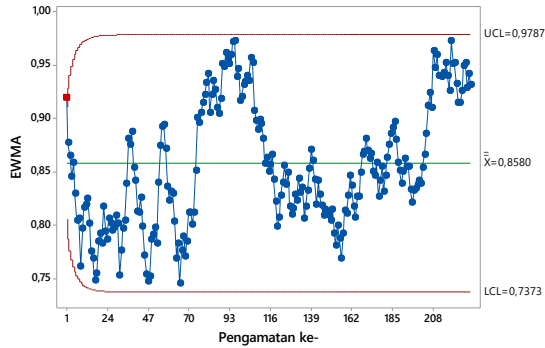
Tabel 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar  $\lambda$  yang digunakan, maka jumlah pengamatan yang OOC juga semakin sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa diagram kendali MEWMA dengan menggunakan  $\lambda$  yang kecil lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses. Oleh karena itu,  $\lambda$  optimal yang digunakan untuk pengendalian rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan dengan diagram kendali MEWMA yaitu  $\lambda = 0,1$ .

#### **4.6 Interpretasi *Out of Control* pada Rata-Rata Proses**

Setelah dilakukan pengendalian rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMA, dapat dilihat bahwa masih terdapat banyak pengamatan yang berada di luar batas kendali. Untuk mendeteksi variabel mana yang menyebabkan pengamatan berada di luar batas kendali, dapat digunakan diagram kendali EWMA untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses secara univariat (Lowry dkk., 1992). Dengan menggunakan pembobot yang sama dengan pembobot yang digunakan pada diagram kendali MEWMA, berikut merupakan diagram kendali EWMA untuk ketiga variabel.

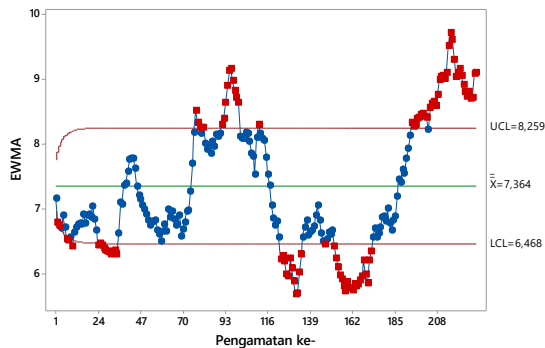
#### 4.6.1 Interpretasi *Out of Control* Proses Produksi Musim Kemarau

Pengendalian rata-rata proses secara univariat dengan diagram kendali EWMA yang pertama dilakukan untuk variabel kekeruhan. Gambar 4.16 menunjukkan diagram kendali EWMA untuk variabel kekeruhan selama musim kemarau.



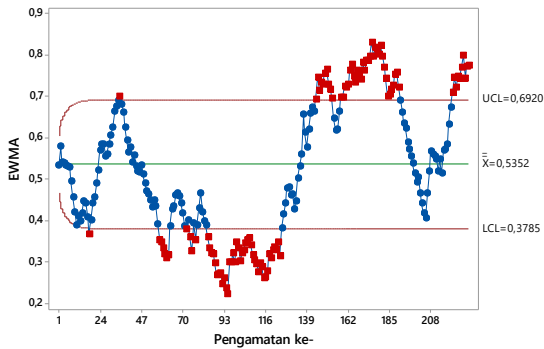
**Gambar 4.16** Diagram Kendali EWMA Variabel Kekeruhan Musim Kemarau

Pada Gambar 4.16, dapat diketahui bahwa UCL diagram kendali EWMA untuk variabel kekeruhan yaitu 0,9787 dengan batas kendali bawah / *Lower Control Limit* (LCL) sebesar 0,7373 dan *grand mean* sebesar 0,8580. Terdapat 1 titik yang berada di luar batas kendali pada pengamatan pertama. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata proses produksi air selama musim kemarau berdasarkan variabel kekeruhan tidak terkendali secara statistik.



**Gambar 4.17** Diagram Kendali EWMA Variabel Zat Organik Musim Kemarau

Pada Gambar 4.17 untuk diagram kendali EWMA pada variabel zat organik selama musim kemarau, UCL yang didapatkan yaitu sebesar 8,259 dengan LCL sebesar 6,468 dan *grand mean* sebesar 7,364. Terdapat 100 pengamatan yang berada di luar batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata proses produksi air selama musim kemarau berdasarkan variabel zat organik tidak terkendali secara statistik.

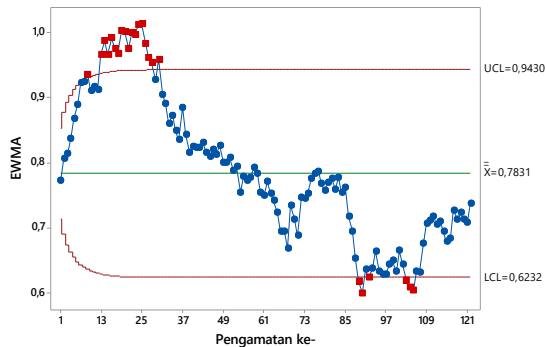


**Gambar 4.18** Diagram Kendali EWMA Variabel Sisa *Chlor* Musim Kemarau

Pada Gambar 4.18, diketahui bahwa UCL yang didapatkan yaitu sebesar 0,692 dengan LCL sebesar 0,3785 dan *grand mean* sebesar 0,5352. Terdapat 106 pengamatan yang berada di luar batas kendali, sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses produksi air selama musim kemarau berdasarkan variabel sisa *chlor* tidak terkendali secara statistik. Berdasarkan ketiga diagram kendali EWMA untuk masing-masing variabel karakteristik kualitas air, dapat diketahui bahwa secara univariat seluruh variabel tidak terkendali secara statistik. Jika dilihat dari jumlah pengamatan yang berada di luar batas kendali, variabel zat organik dan sisa *chlor* dapat dikatakan sebagai penyebab utama rata-rata proses produksi air tidak terkendali secara statistik karena memiliki jumlah pengamatan OOC yang cukup banyak.

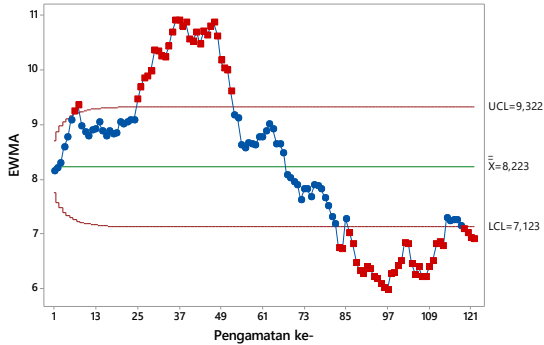
#### 4.6.2 Interpretasi *Out of Control* Proses Produksi Musim Hujan

Deteksi variabel penyebab *out of control* pada proses produksi air di musim hujan juga dilakukan dengan membentuk diagram kendali EWMA untuk masing-masing variabel dengan  $\lambda$  optimum yang didapatkan dari diagram kendali MEWMA.



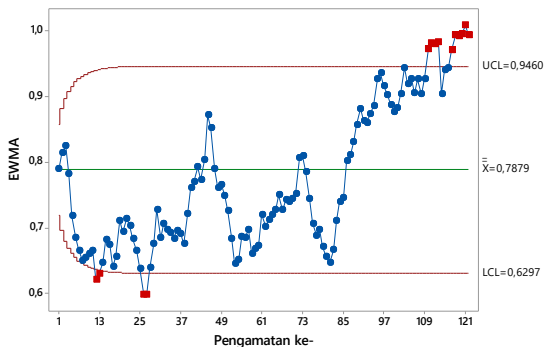
**Gambar 4.19** Diagram Kendali EWMA Variabel Kekeruhan Musim Hujan

Pada Gambar 4.19, diketahui untuk nilai *grand mean* yang dihasilkan yaitu sebesar 0,7831, dengan UCL sebesar 0,943 dan LCL sebesar 0,62332. Terdapat 18 pengamatan yang berada di atas batas kendali atas dan 6 pengamatan yang berada di bawah batas kendali bawah. Terlihat perbedaan antara diagram kendali EWMA untuk variabel kekeruhan pada musim kemarau dan musim hujan, dengan diagram kendali EWMA untuk variabel kekeruhan pada musim hujan mengindikasikan lebih banyak pengamatan yang OOC dibandingkan dengan diagram kendali EWMA variabel kekeruhan pada musim kemarau. Karena masih terdapat beberapa pengamatan yang berada di luar batas kendali, dapat disimpulkan bahwa proses produksi air selama musim hujan berdasarkan variabel kekeruhan tidak terkendali secara statistik.



**Gambar 4.20** Diagram Kendali EWMA Variabel Zat Organik Musim Hujan

Berdasarkan Gambar 4.20, diketahui bahwa UCL yang dihasilkan yaitu sebesar 9,322 dengan LCL sebesar 7,123 dan nilai *grand mean* sebesar 8,223. Terdapat indikasi titik pengamatan yang berada di luar batas kendali atas pada pengamatan ke-25 sampai pengamatan ke-52 dengan total 30 pengamatan yang berada di luar batas kendali atas dan 34 pengamatan yang berada di bawah batas kendali bawah. Karena masih terdapat titik pengamatan yang berada di luar batas kendali, dapat disimpulkan bahwa proses produksi air selama musim hujan berdasarkan variabel zat organik tidak terkendali secara statistik.



**Gambar 4.21** Diagram Kendali EWMA Variabel Sisa Chlor Musim Hujan

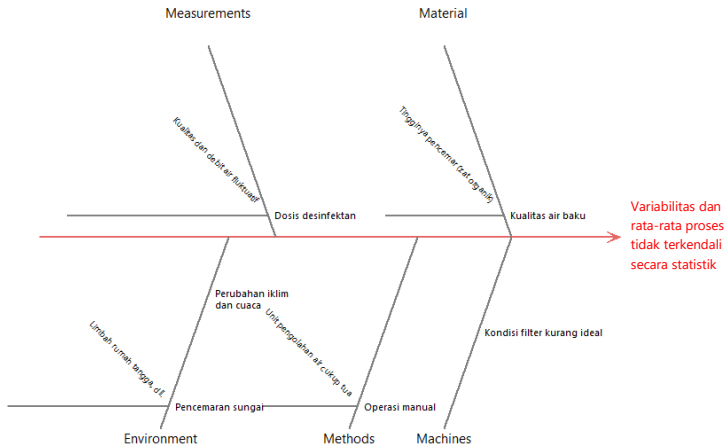


Berdasarkan Gambar 4.21, didapatkan nilai UCL sebesar 0,9460 dengan nilai LCL sebesar 0,6297 dan *grand mean* sebesar 0,7879. Terdapat 4 pengamatan yang berada di bawah LCL dan 10 pengamatan yang berada di atas UCL. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses produksi air selama musim hujan berdasarkan variabel sisa *chlor* tidak terkendali secara statistik.

Berdasarkan ketiga diagram kendali EWMA untuk pengendalian rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan, dapat diketahui bahwa secara univariat rata-rata ketiga variabel karakteristik kualitas air tidak terkendali secara statistik. Dari ketiga variabel tersebut, variabel zat organik memiliki jumlah pengamatan *out of control* terbanyak dan variabel sisa *chlor* memiliki jumlah pengamatan *out of control* paling sedikit. Hal ini mengindikasikan bahwa variabel zat organik merupakan penyebab utama rata-rata proses produksi air di IPAM Ngagel I selama musim hujan tidak terkendali secara statistik. Zat organik merupakan indikasi adanya pencemar pada kandungan air produksi. Oleh karena itu, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya perlu lebih memperhatikan kandungan pencemar dalam air baku maupun air produksi agar kandungan zat organik dalam air produksi tidak terlalu tinggi atau bahkan sampai melebihi batas spesifikasi.

#### **4.7 Identifikasi *Out of Control***

Setelah dilakukan pengendalian variabilitas dan rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMC dan MEWMA, dapat diketahui bahwa proses produksi air di IPAM Ngagel I tidak terkendali secara statistik. Pada beberapa pengamatan, terdapat karakteristik kualitas air yang melebihi batas spesifikasi. Oleh karena itu, diidentifikasi faktor penyebab permasalahan ini menggunakan diagram Ishikawa.



**Gambar 4.22** Diagram Sebab-Akibat

Faktor yang pertama adalah faktor *material* (bahan baku). Kualitas air produksi dipengaruhi juga oleh kualitas air baku. Air baku dalam proses produksi air di IPAM Ngagel I berasal dari air sungai. Kondisi sungai yang tercemar dapat menyebabkan tingginya pencemar pada air baku. Hal ini mengakibatkan tingginya kandungan zat organik pada air.

Faktor yang kedua adalah faktor *measurement* (pengukuran). Dosis pembubuhan disinfektan yang kurang tepat, karena proses pengolahan air merupakan proses yang kontinyu, dimana kualitas air dan debit air sangat fluktuatif. Sedangkan, injeksi disinfektan tidak dikendalikan secara langsung oleh kedua hal tersebut, sehingga pengukuran dalam pembubuhan disinfektan dalam air kurang tepat.

Faktor yang ketiga adalah faktor *method* (metode). Unit pengolahan air di IPAM Ngagel I ada yang masih menggunakan metode manual, yaitu pada pencucian filter yang harus dilakukan setiap hari. IPAM lain selain di Ngagel I sudah menerapkan metode yang otomatis, namun IPAM Ngagel I masih menggunakan unit pencucian filter yang dioperasikan secara manual untuk menjaga tradisi dan budaya.

Faktor selanjutnya adalah faktor *machine* (mesin). Mesin filter yang digunakan di IPAM Ngagel I kurang ideal dan sering mengalami kendala yang menyebabkan hasil filtrasi air tidak maksimal. Dari pihak PDAM Surya Sembada Kota Surabaya selalu menjaga agar nilai kekeruhan air produksi sekitar angka 1 NTU. Namun karena kendala pada filter ini nilai kekeruhan bisa melebihi target perusahaan meskipun masih dalam batas spesifikasi dari Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010.

Faktor yang terakhir adalah faktor *environment* (lingkungan). Faktor lingkungan ini berhubungan dengan faktor bahan baku. Adanya perubahan iklim dan cuaca, juga pencemaran sungai yang terjadi di Kali Surabaya menyebabkan perubahan kualitas air baku yang digunakan. Jika terjadi hujan, tingkat kekeruhan air baku bisa mencapai angka 500 – 1000 NTU, sedangkan pada musim kemarau tingkat kekeruhan air baku hanya berkisar diantara 20-50 NTU.

#### **4.8 Analisis Kapabilitas Proses**

Suatu proses produksi dikatakan kapabel jika seluruh pengamatan telah berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan. Ketika data pengamatan telah terkendali secara statistik, indeks kapabilitas proses yang digunakan adalah  $C_p$  dan  $C_{pk}$ . Namun ketika data pengamatan tidak terkendali secara statistik, maka indeks yang digunakan adalah  $P_p$  dan  $P_{pk}$ . Indeks  $P_p$  dan  $C_p$  tidak dapat dihitung untuk penelitian ini karena karakteristik kualitas air hanya memiliki batas spesifikasi satu sisi untuk variabel kekeruhan dan zat organik.

Rata-rata proses produksi air tidak terkendali secara statistik baik pada musim kemarau maupun musim hujan. Sehingga untuk perhitungan indeks kapabilitas menggunakan indeks  $P_{pk}$  sesuai persamaan (2.25) untuk data musim hujan yang berdistribusi normal dan indeks  $P_{pk}$  sesuai persamaan (2.26) untuk data musim kemarau yang tidak berdistribusi normal. Untuk data pengamatan yang multivariat, perhitungan indeks kapabilitas proses memperhatikan bobot dari setiap karakteristik kualitas. Masing-masing variabel memiliki kontribusi yang sama terhadap kualitas air produksi, sehingga bobot yang digunakan juga sama untuk

setiap variabel. Tabel 4.8 menunjukkan indeks kapabilitas proses pengolahan air di IPAM Ngagel I.

**Tabel 4.8** Analisis Kapabilitas Proses

Variabel	$W_j$	Kemarau		Hujan	
		$P_{pk}$	$MP_{pk}$	$P_{pk}$	$MP_{pk}$
Kekeruhan	0,3333	2,1458		5,6785	
Zat Organik	0,3333	0,3708	0,9614	0,2483	2,0573
Sisa <i>Chlor</i>	0,3333	0,3676		0,2450	

Dalam analisis kapabilitas proses, kriteria suatu proses dapat dikatakan kapabel jika indeks kapabilitas lebih dari 1. Pada musim kemarau maupun musim hujan, secara univariat indeks  $P_{pk}$  untuk variabel kekeruhan memiliki nilai lebih dari 1. Hal ini berarti bahwa proses produksi air di IPAM Ngagel I mampu memproduksi air yang memiliki tingkat kekeruhan yang berada dalam batas spesifikasi. Namun, indeks  $P_{pk}$  untuk variabel zat organik dan sisa *chlor* memiliki nilai yang kurang dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa proses produksi air di IPAM Ngagel I tidak kapabel dalam memproduksi air dengan zat organik dan sisa *chlor* sesuai batas spesifikasi yang ditentukan.

Berdasarkan nilai  $MP_{pk}$  yang dihitung sesuai persamaan (2.27) dengan pembobotan yang sama untuk masing-masing variabel, secara multivariat proses produksi air selama musim kemarau tidak kapabel dalam memproduksi air sesuai dengan batas spesifikasi. Secara multivariat dengan pembobotan yang sama untuk masing-masing variabel, proses produksi air selama musim hujan sudah kapabel dalam memproduksi air sesuai dengan batas spesifikasi. Namun, lebih baik dipertimbangkan ulang mengenai pembobotan untuk masing-masing karakteristik kualitas karena secara univariat indeks  $P_{pk}$  untuk variabel zat organik dan sisa *chlor* memiliki nilai yang jauh dari 1 yang menunjukkan bahwa proses produksi air berdasarkan variabel zat organik dan sisa *chlor* tidak kapabel untuk memenuhi batas spesifikasi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Variabilitas proses produksi air pada musim kemarau telah terkendali secara statistik setelah dilakukan pengendalian ke-13 menggunakan diagram kendali MEWMC dengan pembobot optimum  $\lambda = 0,1$ . Sedangkan variabilitas proses produksi air pada musim hujan telah terkendali secara statistik pada pengendalian pertama dengan pembobot optimum  $\lambda = 0,1$ . Pengendalian rata-rata proses produksi pada musim kemarau dan musim hujan menggunakan diagram kendali MEWMA dengan pembobot optimum  $\lambda = 0,1$  menunjukkan bahwa rata-rata proses produksi air pada musim kemarau dan musim hujan tidak terkendali secara statistik. Variabel utama penyebab rata-rata proses tidak terkendali secara statistik pada musim kemarau yaitu variabel zat organik dan sisa *chlor*, sedangkan variabel utama penyebab rata-rata proses produksi air pada musim hujan tidak terkendali secara statistik adalah variabel zat organik.
2. Hasil perhitungan kapabilitas proses menunjukkan bahwa proses produksi air di IPAM Ngagel I mampu memproduksi air yang memiliki tingkat kekeruhan yang berada dalam batas spesifikasi, namun tidak kapabel dalam memproduksi air dengan zat organik dan sisa *chlor* sesuai batas spesifikasi yang ditentukan.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan kepada PDAM Surya Sembada Kota Surabaya terutama untuk IPAM Ngagel I yaitu agar lebih memperhatikan pengendalian terhadap kandungan pencemar dalam air. Kandungan pencemar yang tinggi merupakan penyebab

tingginya kandungan zat organik dalam air, dimana zat organik merupakan variabel utama penyebab proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, diharapkan perusahaan juga dapat mengatasi permasalahan yang menjadi penyebab proses produksi yang tidak terkendali secara statistik, diantaranya kondisi filter yang kurang ideal dan dosis pembubuhan disinfektan yang kurang pas. Perusahaan juga diharapkan lebih meningkatkan kinerja proses produksi agar variabel zat organik dan sisa *chlor* dalam air produksi mampu memenuhi spesifikasi yang ditentukan oleh pemerintah.

Diagram kendali MEWMC dan MEWMA yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan dapat diterapkan sebagai alternatif dalam mengontrol proses produksi oleh perusahaan. Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu cukup menggunakan nilai  $\lambda$  yang kecil dalam pembentukan diagram kendali MEWMC dan MEWMA jika tujuan penelitian untuk melihat pergeseran proses yang kecil. Selain itu, dapat menggunakan metode lain yang belum pernah digunakan sehingga dapat menjadi pertimbangan bagi perusahaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandy, I. R. (2019). *Pengendalian Kualitas Air Produksi PDAM Surya Sembada Surabaya Menggunakan Grafik Kendali Multivariate Maximum Cumulative Sum*. Tugas Akhir Departemen Statistika. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Alva, J. A., & Estrada, E. G. (2009). A Generalization of Shapiro–Wilk's Test for Multivariate Normality. *Communication in Statistics - Theory and Methods*, 38(11), 1870-1883.
- Bodden, K. M., & Rigdon, S. E. (1999). A Program for Approximating the In-Control ARL for the MEWMA Chart. *Journal of Quality Technology*, 31(1), 120-123.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air, Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius (Anggota IKAPI).
- Hawkins, D. M., & Maboudou-Tchao, E. M. (2008). Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix. *Technometrics*, 50(2), 155-166.
- JawaPos.com. (2019, Juli 7). *Air PDAM Se-Surabaya Keruh dan Amis*. (D. Ginanjar, Editor) Diakses Januari 22, 2020, dari JawaPos.com:  
<https://www.jawapos.com/surabaya/07/07/2019/air-pdam-se-surabaya-keruh-dan-amis/>
- Jawlik, A. (2016). *Statistics from A to Z : confusing concepts clarified*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (6th ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- KBBI. (2016). Diakses Januari 15, 2020, dari KBBI Daring:  
<https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/air>
- Kumar, D. (2006). *Six Sigma Best Practices : A Guide to Business Process Excellence for Diverse Industries*. United States of America: J. Ross Publishing.
- Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., & Rigdon, S. E. (1992). A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Technometrics*, 34(1), 46-53. 65

- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (7th ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods* (3rd ed.). United States of America: McGraw-Hill, Inc.
- PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. (2012). *Jumlah Pelanggan Tahunan*. Diakses Januari 15, 2020, dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya: [https://www.pdam-sby.go.id/page.php?get=jumlah\\_pelanggan\\_tahunan&bhs=1](https://www.pdam-sby.go.id/page.php?get=jumlah_pelanggan_tahunan&bhs=1)
- PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. (2012). *Peserta Jambore Air Betah di Instalasi Pengolahan Air Minum PDAM Ngagel*. Diakses Januari 15, 2020, dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya: [https://www.pdam-sby.go.id/histori.php?get=tampil\\_berita&id=58001&bhs=1](https://www.pdam-sby.go.id/histori.php?get=tampil_berita&id=58001&bhs=1)
- PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. (2012). *Sejarah & Status PDAM Surya Sembada Kota Surabaya*. Diakses Januari 15, 2020, dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya: [https://www.pdam-sby.go.id/page.php?get=sejarah\\_status\\_pdam&bhs=1](https://www.pdam-sby.go.id/page.php?get=sejarah_status_pdam&bhs=1)
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor: 416/MEN.KES/PER/IX/1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Jakarta: Menteri Kesehatan Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Jakarta: Menteri Kesehatan Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 736/MENKES/PE/VI/2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum. Jakarta: Menteri Kesehatan Republik Indonesia.
- Qori'atunnadyah, M. (2020). *Pengendaliann Kualitas Semen dengan Diagram Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC) Based on Regression Adjusted Variables (Studi Kasus PT Semen "X")*.



- Tugas Akhir Departemen Statistika. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on The Presence of Priority for Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, 5(9), 27-36.
- Šibalija, T. V., & Majstorović, V. D. (2010). Process Performance Analysis for Non-Normal Data Distribution. *Total Quality Management & Excellence*, 38(3), 1-4.
- Stoumbos, Z. G., & Sullivan, J. H. (2002). Robustness to Non-Normality of the Multivariate EWMA Control Chart. *Journal of Quality Technology*, 34(3), 260-276.
- Testik, M. C., Runger, G. C., & Borror, C. M. (2003). Robustness Properties of Multivariate EWMA Control Charts. *Quality and Reliability Engineering International*, 19, 31-38.
- Vining, G., & Kowalski, S. M. (2011). *Statistical Methods for Engineers* (3rd ed.). Boston: Cengage Learning.
- Waluyo, L. (2018). *Bioremediasi Limbah*. Malang: UMM Press.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Data Kualitas Air Musim Kemarau

<b>Tanggal</b>	<b>Kekeruhan</b>	<b>Zat Organik</b>	<b>Sisa Chlor</b>
01/04/2019	1,47	5,35	0,5
02/04/2019	0,5	3,42	1
03/04/2019	0,76	6,39	0,2
04/04/2019	0,67	6,24	0,5
05/04/2019	0,97	8,77	0,5
06/04/2019	0,57	5,1	0,5
07/04/2019	0,58	4,86	0,5
08/04/2019	0,82	6,39	0,2
09/04/2019	0,36	6,84	0,1
10/04/2019	1,11	5,2	0,1
11/04/2019	1,7	6,99	0,1
12/04/2019	1	8,62	0,1
13/04/2019	0,84	7,43	0,6
14/04/2019	0,88	7,14	0,3
15/04/2019	0,59	6,99	0,6
16/04/2019	0,54	6,54	0,7
17/04/2019	0,71	8,33	0,4
18/04/2019	0,56	5,5	0,1
19/04/2019	0,81	8,03	0
20/04/2019	1,06	7,14	0,7
⋮	⋮	⋮	⋮
28/11/2019	1,06	12,43	1,02
29/11/2019	0,97	10,46	1
30/11/2019	0,84	9,24	0,8

**Lampiran 2.** Data Kualitas Air Musim Hujan

<b>Tanggal</b>	<b>Kekeruhan</b>	<b>Zat Organik</b>	<b>Sisa Chlor</b>
01/12/2019	0,68	7,43	0,8
02/12/2019	1,1	8,79	1,03
03/12/2019	0,89	9,09	0,92
04/12/2019	1,04	11,22	0,4
05/12/2019	1,14	10,31	0,14
06/12/2019	1,09	11,97	0,38
07/12/2019	1,22	10,61	0,5
08/12/2019	0,94	10,46	0,5
09/12/2019	1,04	5,45	0,7
10/12/2019	0,68	7,88	0,71
11/12/2019	0,98	8,18	0,71
12/12/2019	0,87	9,85	0,23
13/12/2019	1,45	9,09	0,7
14/12/2019	1,17	10,15	0,8
15/12/2019	0,78	7,43	1
16/12/2019	1,22	7,88	0,61
17/12/2019	0,83	9,7	0,33
18/12/2019	0,9	8,34	0,8
19/12/2019	1,32	8,99	1,2
20/12/2019	0,99	10,91	0,54
21/12/2019	0,74	8,64	0,9
22/12/2019	1,21	9,4	0,6
23/12/2019	0,98	9,4	0,5
24/12/2019	1,15	9,03	0,5
25/12/2019	1,02	12,86	0,4
∴	∴	∴	∴
29/03/2020	0,62	6,42	1,02
30/03/2020	0,66	6,13	1,13
31/03/2020	1,01	6,74	0,86

**Lampiran 3. Syntax Uji Normal Multivariat**

```

data=read.csv("F://TUGAS AKHIR/LAPORAN/TA.csv",
sep=';', header=TRUE)
head(data)
data2=data.matrix(data)
head(data2)
A <- t(data2[1:242,5:7])
B <- t(data2[1:122,9:11])
library(mvnormtest)
mshapiro.test(A)
mshapiro.test(B)

```

**Lampiran 4. Output Uji Normal Multivariat**

a. Data Musim Kemarau

`> mshapiro.test(A)`

Shapiro-wilk normality test

```

data: Z
W = 0.85817, p-value = 3.806e-14

```

b. Data Musim Hujan

`> mshapiro.test(B)`

Shapiro-wilk normality test

```

data: Z
W = 0.98247, p-value = 0.1144

```

**Lampiran 5. Output Uji Bartlett**

a. Data Musim Kemarau

**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.549
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	38.447
	df	3
	Sig.	.000

**Lampiran 5 (Lanjutan). Output Uji Bartlett**

## b. Data Musim Hujan

<b>KMO and Bartlett's Test</b>		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.608
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	26.597
	df	3
	Sig.	.000

**Lampiran 6. Syntax Matriks A**

```

data = xlsread('F:\TUGAS
AKHIR\LAPORAN\TAKemarau3.xlsx')
S = cov(data)
C = chol(S, 'lower')
A = inv(C)
Atrans = transpose(A)
B = A*S*Atrans

```

**Lampiran 7. Output Matriks A**

## a. Data Musim Kemarau

## 1. Pengendalian Ke-0

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,0327 & 0 & 0 \\ -1,4715 & 0,5310 & 0 \\ 0,6384 & 0,0326 & 3,0301 \end{bmatrix}$$

## 2. Pengendalian Ke-1

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,6496 & 0 & 0 \\ -1,2939 & 0,5314 & 0 \\ 0,6635 & 0,0330 & 3,0240 \end{bmatrix}$$

## 3. Pengendalian Ke-2

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,6508 & 0 & 0 \\ -1,2831 & 0,5305 & 0 \\ 0,6335 & 0,0315 & 3,0383 \end{bmatrix}$$

**Lampiran 7 (Lanjutan). Output Matriks A**

4. Pengendalian Ke-3

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,6600 & 0 & 0 \\ -1,2757 & 0,5294 & 0 \\ 0,5486 & 0,0309 & 3,1302 \end{bmatrix}$$

5. Pengendalian Ke-4

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,7966 & 0 & 0 \\ -1,3250 & 0,5288 & 0 \\ 0,4518 & 0,0327 & 3,1333 \end{bmatrix}$$

6. Pengendalian Ke-5

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,7920 & 0 & 0 \\ -1,3046 & 0,5311 & 0 \\ 0,4473 & 0,0296 & 3,1307 \end{bmatrix}$$

7. Pengendalian Ke-6

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,7835 & 0 & 0 \\ -1,2968 & 0,5308 & 0 \\ 0,4447 & 0,0283 & 3,1266 \end{bmatrix}$$

8. Pengendalian Ke-7

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,9446 & 0 & 0 \\ -1,4124 & 0,5318 & 0 \\ 0,3506 & 0,0315 & 3,1269 \end{bmatrix}$$

9. Pengendalian Ke-8

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 5,1623 & 0 & 0 \\ -1,4836 & 0,5312 & 0 \\ 0,2421 & 0,0332 & 3,1275 \end{bmatrix}$$

**Lampiran 7 (Lanjutan). Output Matriks A**

10. Pengendalian Ke-9

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 5,1520 & 0 & 0 \\ -1,4778 & 0,5308 & 0 \\ 0,2412 & 0,0311 & 3,1305 \end{bmatrix}$$

11. Pengendalian Ke-10

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 5,1446 & 0 & 0 \\ -1,4625 & 0,5321 & 0 \\ 0,2475 & 0,0366 & 3,1409 \end{bmatrix}$$

12. Pengendalian Ke-11

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 5,1423 & 0 & 0 \\ -1,4757 & 0,5316 & 0 \\ 0,2371 & 0,0373 & 3,1353 \end{bmatrix}$$

13. Pengendalian Ke-12

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 5,1671 & 0 & 0 \\ -1,4639 & 0,5305 & 0 \\ 0,2582 & 0,0375 & 3,1305 \end{bmatrix}$$

14. Pengendalian Ke-13

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 5,1566 & 0 & 0 \\ -1,4581 & 0,5312 & 0 \\ 0,2608 & 0,0341 & 3,1329 \end{bmatrix}$$

b. Data Musim Hujan

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 4,0399 & 0 & 0 \\ -1,2593 & 0,4389 & 0 \\ 0,5784 & 0,1277 & 3,698 \end{bmatrix}$$



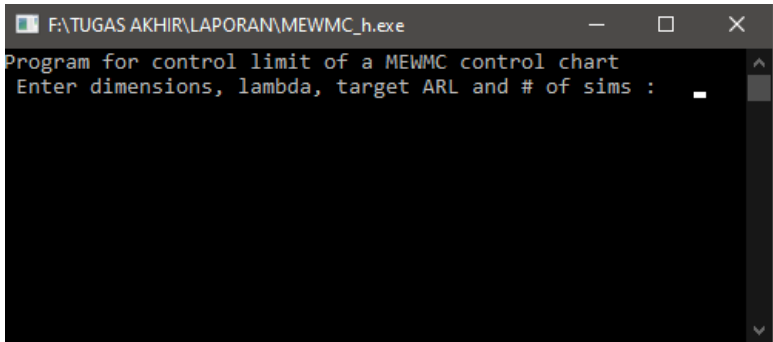
### Lampiran 8. *Syntax* MEWMC

```

data=read.csv("F://TUGAS
AKHIR/LAPORAN/TAKemarau3.csv",sep=";",header =
FALSE)
MEWMCkemarau<-function(lambda)
{
  S <- list()
  S[[1]] <-
matrix(c(1,0,0,0,1,0,0,0,1),nrow=3,ncol=3)
  c <- list()
  l <- list()
  w <- list()
  r <- list()
  u <- list()
  A <- matrix(c(4.0327, -1.4715, 0.6384, 0,
0.5310, 0.0326, 0, 0, 3.0301),ncol=3,nrow=3)
  for (q in 1:242) {
    w[[q]] <- (t(data[q,])-t(data[243,]))
  }
  t = matrix(unlist(w), ncol=242, nrow=3)
  for (e in 1:242) {
    r[[e]] <- A%%t[,e]
  }
  x = matrix(unlist(r), ncol=242, nrow=3)
  for (e in 1:242) {
    u[[e]] <- x[,e]%%t(x[,e])
  }
  for (k in 2:243) {
    S[[k]] <- (1-lambda)*S[[k-1]]+lambda*u[[k-1]]
  }
  for (m in 2:243) {
    l[[m]] <- det(S[[m]])
  }
  for (m in 2:243) {
    c[[m]] <- sum(diag(S[[m]]))-log(l[[m]])-3
  }
  mydata=do.call(rbind.data.frame, c)
  return(mydata)
}
kemarau1<-MEWMCkemarau(0.1)
library(xlsx2dfs)
write.xlsx(kemarau1, "F://TUGAS
AKHIR/LAPORAN/MEWMC/kemarau1.xlsx")

```

### Lampiran 9. Program dan Algoritma Simulasi Batas Kendali MEWMC ( $h$ )



```
F:\TUGAS AKHIR\LAPORAN\MEWMC_h.exe
Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
```

Algoritma Simulasi Batas Kendali:

1. Mengurutkan nilai statistik uji data pengamatan dari yang terkecil hingga terbesar.
2. Menentukan inisiasi awal batas kendali, yaitu data ke- $(1-\alpha) \times n$ .
3. Membangkitkan 10000 data berdistribusi normal multivariat dengan vektor *mean* dan matriks varians kovarians yang sama dengan data pengamatan.
4. Memilih 1000 sampel *random* dari 10000 data bangkitan.
5. Menghitung nilai statistik uji dari 1000 sampel *random*.
6. Menghitung *Run-Length* (RL), yaitu jumlah sampel hingga ditemukan statistik uji yang lebih besar daripada batas kendali yang telah ditentukan sebagai inisiasi.
7. Langkah ke-4 sampai langkah ke-6 diulang sebanyak 100 kali, kemudian dihitung rata-rata dari RL (ARL). Karena  $\alpha$  yang digunakan adalah 0,0027, maka ARL yang diinginkan adalah 370.
8. Apabila ARL yang didapatkan belum mencapai 370, batas kendali dinaikkan atau diturunkan sehingga mencapai ARL = 370.

**Lampiran 10. Output Batas Kendali MEWMC (h)**a.  $\lambda = 0,1$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.1,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.100  0.0085 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.100  0.0179 ARL   1.49  0.02
p, lambda, h  3 0.100  0.0273 ARL   1.66  0.02
p, lambda, h  3 0.100  0.0368 ARL   1.89  0.02
                :
p, lambda, h  3 0.100  0.9042 ARL  325.28  9.90
p, lambda, h  3 0.100  0.9136 ARL  341.13  10.35
p, lambda, h  3 0.100  0.9230 ARL  357.71  11.03
p, lambda, h  3 0.100  0.9306 ARL  370.20  11.48
control limit, s.e.  0.9304  0.0068, s.e. of ARL  11.5

```

b.  $\lambda = 0,2$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.2,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.200  0.0201 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.200  0.0424 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.200  0.0648 ARL   1.37  0.02
p, lambda, h  3 0.200  0.0871 ARL   1.49  0.02
                :
p, lambda, h  3 0.200  2.0530 ARL  319.33  10.17
p, lambda, h  3 0.200  2.0753 ARL  339.44  10.74
p, lambda, h  3 0.200  2.0977 ARL  368.38  11.76
p, lambda, h  3 0.200  2.1021 ARL  370.09  11.77
control limit, s.e.  2.1016  0.0112, s.e. of ARL  11.8

```

**Lampiran 10 (Lanjutan).** *Output* Batas Kendali MEWMC (h)c.  $\lambda = 0,3$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.3,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.300  0.0339 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.300  0.0715 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.300  0.1091 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.300  0.1467 ARL   1.41  0.02
                ⋮
p, lambda, h  3 0.300  3.2698 ARL  301.40  9.00
p, lambda, h  3 0.300  3.3074 ARL  324.09  9.81
p, lambda, h  3 0.300  3.3451 ARL  347.18 10.63
p, lambda, h  3 0.300  3.3827 ARL  370.01 11.28
control limit, s.e. 3.3827 0.0185, s.e. of ARL 11.3

```

d.  $\lambda = 0,4$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.4,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.400  0.0427 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.400  0.0902 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.400  0.1377 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.400  0.1852 ARL   1.00  0.00
                ⋮
p, lambda, h  3 0.400  4.6977 ARL  308.21  9.65
p, lambda, h  3 0.400  4.7452 ARL  329.81 10.60
p, lambda, h  3 0.400  4.7927 ARL  348.68 11.00
p, lambda, h  3 0.400  4.8402 ARL  370.07 11.66
control limit, s.e. 4.8401 0.0275, s.e. of ARL 11.7

```

**Lampiran 10 (Lanjutan).** *Output* Batas Kendali MEWMC (h)e.  $\lambda = 0,5$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.5,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.500  0.0562 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.500  0.1186 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.500  0.1811 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.500  0.2435 ARL   1.00  0.00
                :
p, lambda, h  3 0.500  6.2383 ARL  315.85  10.03
p, lambda, h  3 0.500  6.3007 ARL  340.65  10.78
p, lambda, h  3 0.500  6.3632 ARL  366.19  11.51
p, lambda, h  3 0.500  6.3757 ARL  370.26  11.56
control limit, s.e.  6.3745  0.0295, s.e. of ARL  11.6

```

f.  $\lambda = 0,6$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.6,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.600  0.0606 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.600  0.1280 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.600  0.1953 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.600  0.2627 ARL   1.00  0.00
                :
p, lambda, h  3 0.600  8.0080 ARL  314.66   9.71
p, lambda, h  3 0.600  8.0754 ARL  331.19  10.42
p, lambda, h  3 0.600  8.1427 ARL  353.08  11.03
p, lambda, h  3 0.600  8.1899 ARL  370.87  11.49
control limit, s.e.  8.1832  0.0342, s.e. of ARL  11.5

```

**Lampiran 10 (Lanjutan).** *Output* Batas Kendali MEWMC (h)g.  $\lambda = 0,7$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.7,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.700  0.0903 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.700  0.1907 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.700  0.2911 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.700  0.3915 ARL   1.00  0.00
                ⋮
p, lambda, h  3 0.700  9.9280 ARL  316.70  10.00
p, lambda, h  3 0.700 10.0284 ARL  341.96  10.89
p, lambda, h  3 0.700 10.1288 ARL  362.80  11.54
p, lambda, h  3 0.700 10.1489 ARL  370.03  11.75
control limit, s.e. 10.1488  0.0487, s.e. of ARL  11.8

```

h.  $\lambda = 0,8$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.8,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.800  0.0851 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.800  0.1796 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.800  0.2742 ARL   1.00  0.00
p, lambda, h  3 0.800  0.3687 ARL   1.00  0.00
                ⋮
p, lambda, h  3 0.800 12.4693 ARL  320.33  9.97
p, lambda, h  3 0.800 12.5638 ARL  343.47  11.08
p, lambda, h  3 0.800 12.6583 ARL  368.15  11.99
p, lambda, h  3 0.800 12.6773 ARL  370.90  12.06
control limit, s.e. 12.6682  0.0498, s.e. of ARL  12.1

```

**Lampiran 10 (Lanjutan).** *Output* Batas Kendali MEWMC ( $h$ )i.  $\lambda = 0,9$ 

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
3,0.9,370,1000

Starting run....
p, lambda, h  3 0.900  0.1223 ARL   1.00   0.00
p, lambda, h  3 0.900  0.2582 ARL   1.00   0.00
p, lambda, h  3 0.900  0.3941 ARL   1.00   0.00
p, lambda, h  3 0.900  0.5300 ARL   1.00   0.00
                :
p, lambda, h  3 0.900 15.7499 ARL  298.50  10.02
p, lambda, h  3 0.900 15.8857 ARL  326.05  10.88
p, lambda, h  3 0.900 16.0216 ARL  352.06  11.52
p, lambda, h  3 0.900 16.0896 ARL  370.42  12.12
control limit, s.e. 16.0877  0.0555, s.e. of ARL  12.1

```

**Lampiran 11.** Tabel Batas Kendali  $h$  Diagram Kendali MEWMC untuk  $p = 3$  dan  $ARL_0 = 370$ 

$\lambda$	$h$
<b>0,1</b>	<b>0,9304</b>
0,2	2,1016
0,3	3,3827
0,4	4,8401
0,5	6,3745
0,6	8,1832
0,7	10,1488
0,8	12,6682
0,9	16,0896

## Lampiran 12. Statistik Uji Diagram Kendali MEWMC

### 1. Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau

Pengamatan ke-	$\lambda$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	0,2555	0,7802	1,4429	2,2067	3,0653	4,0324	5,1483	6,5149	8,4690
2	0,2473	0,7159	1,2494	1,8015	2,3650	2,9607	3,6492	4,5829	6,2666
3	0,1379	0,2960	0,3527	0,3059	0,2003	0,1110	0,1513	0,5237	1,7795
4	0,0946	0,1685	0,1758	0,1825	0,2862	0,5980	1,2479	2,4236	4,5989
5	0,0730	0,1515	0,2645	0,5153	1,0030	1,8020	2,9491	4,4513	6,6045
6	0,0870	0,2495	0,5657	1,1490	2,0789	3,3985	5,1083	7,2011	10,1902
7	0,1308	0,4527	1,0620	2,0475	3,4493	5,2734	7,4742	9,9863	13,1876
8	0,0923	0,3364	0,8035	1,5125	2,4531	3,6182	4,9714	6,4733	8,5831
9	0,2464	0,7590	1,4490	2,2008	2,9779	3,8450	4,9141	6,3719	8,7414
10	0,1597	0,4517	0,8867	1,4456	2,1007	2,8652	3,8206	5,1766	7,6039
11	0,7229	1,8806	3,2386	4,6564	6,0576	7,4578	8,9505	10,7357	13,3691
12	0,5428	1,1760	1,6723	1,9809	2,1284	2,1817	2,2396	2,4807	3,4230
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
242	0,7861	1,9711	2,7373	3,1834	3,5188	3,8938	4,4543	5,4018	7,2474



## Lampiran 12 (Lanjutan). Statistik Uji Diagram Kendali MEWMC

### 2. Diagram Kendali MEWMC Musim Hujan

Pengamatan ke-	$\lambda$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	0,0138	0,0594	0,1446	0,2810	0,4860	0,7882	1,2396	1,9542	3,2840
2	0,0463	0,1930	0,4542	0,8492	1,4061	2,1707	3,2262	4,7545	7,3133
3	0,0855	0,3387	0,7555	1,3321	2,0647	2,9512	4,0120	5,3729	7,5814
4	0,0749	0,2845	0,6269	1,1112	1,7427	2,5226	3,4682	4,6934	6,7078
5	0,1681	0,6298	1,2969	2,0846	2,9484	3,9104	5,0643	6,6079	9,1019
6	0,2675	0,8656	1,5761	2,3001	3,0471	3,8911	4,9546	6,4760	9,1599
7	0,3688	1,0744	1,7682	2,3116	2,7266	3,1167	3,6205	4,4491	6,1491
8	0,4182	1,1562	1,8224	2,3184	2,7226	3,1704	3,8158	4,8939	7,0365
9	0,2305	0,5502	0,9070	1,3369	1,8578	2,4958	3,3097	4,4532	6,4457
10	0,2251	0,4813	0,6751	0,8262	0,9836	1,2339	1,6791	2,4805	4,1324
11	0,2600	0,6107	0,9732	1,3801	1,8811	2,5331	3,3850	4,5488	6,5129
12	0,2821	0,5565	0,8222	1,2478	1,8985	2,7833	3,9404	5,5352	8,1435
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
122	0,4441	1,0482	1,5097	1,9659	2,5746	3,4010	4,4603	5,7813	7,7531

**Lampiran 12 (Lanjutan).** Statistik Uji Diagram Kendali  
MEWMC

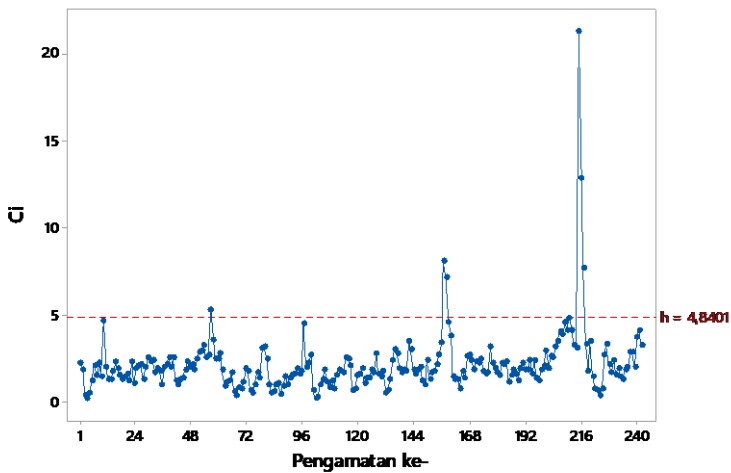
3. Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau *In Control*

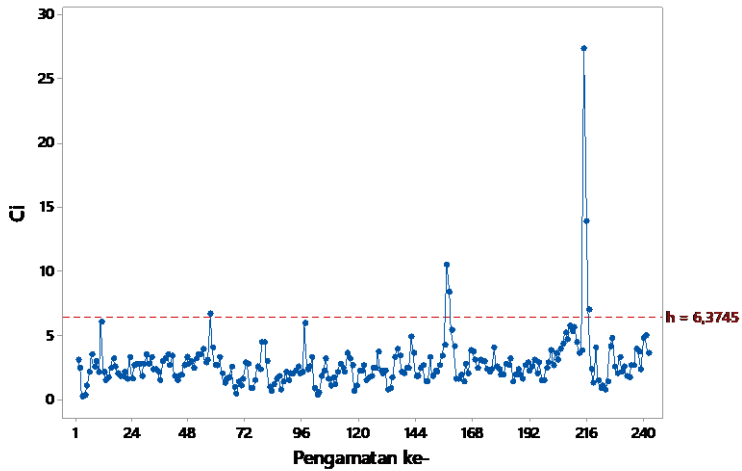
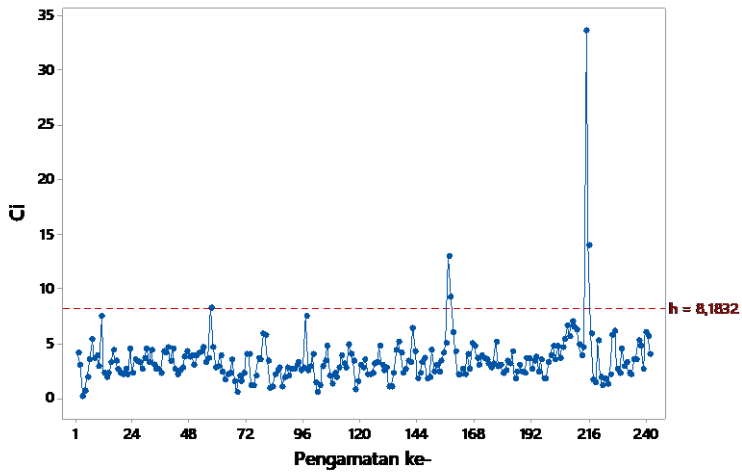
Pengamatan ke-	$c_i$
1	0,4671
2	0,4876
3	0,3272
4	0,2563
5	0,1978
6	0,2191
7	0,2670
⋮	⋮
229	0,8482

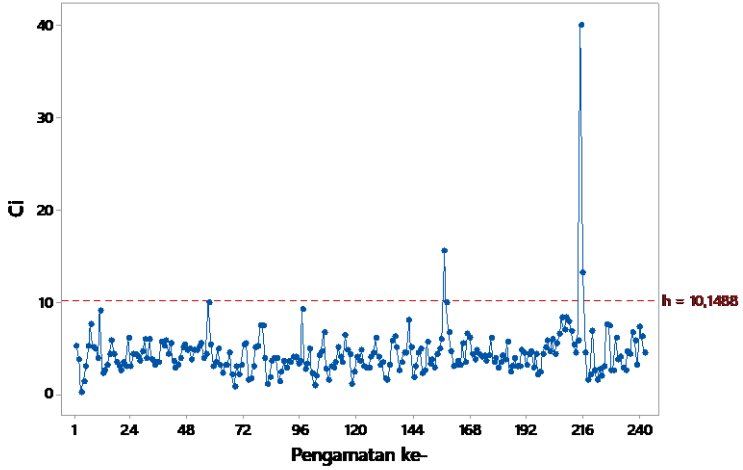
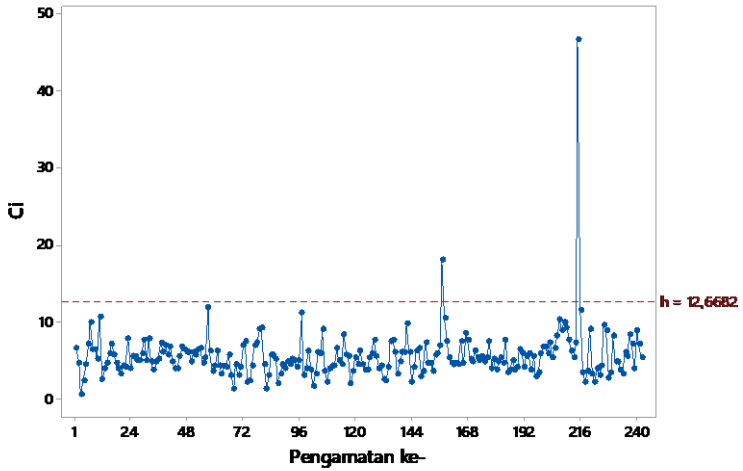
**Lampiran 13.** Diagram Kendali MEWMC

a. Musim Kemarau

1.  $\lambda = 0,4$

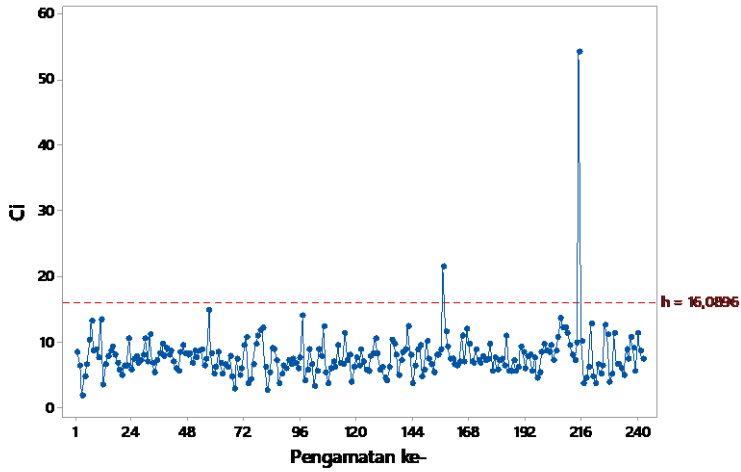


**Lampiran 13 (Lanjutan). Diagram Kendali MEWMC**2.  $\lambda = 0,5$ 3.  $\lambda = 0,6$ 

**Lampiran 13 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMC4.  $\lambda = 0,7$ 5.  $\lambda = 0,8$ 

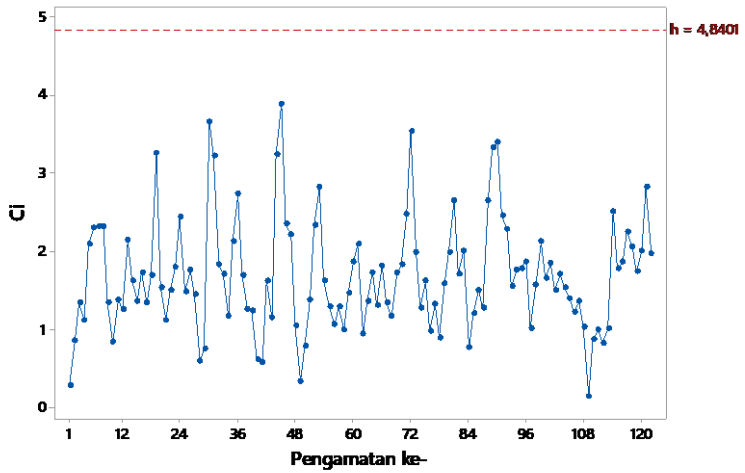
### Lampiran 13 (Lanjutan). Diagram Kendali MEWMC

6.  $\lambda = 0,9$



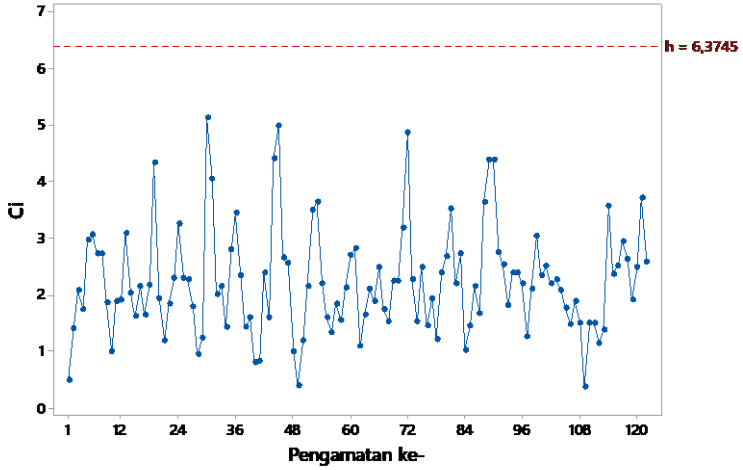
### b. Musim Hujan

1.  $\lambda = 0,4$

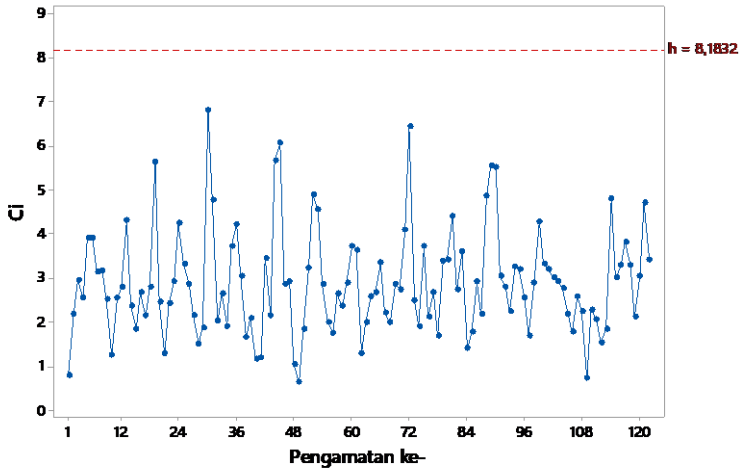


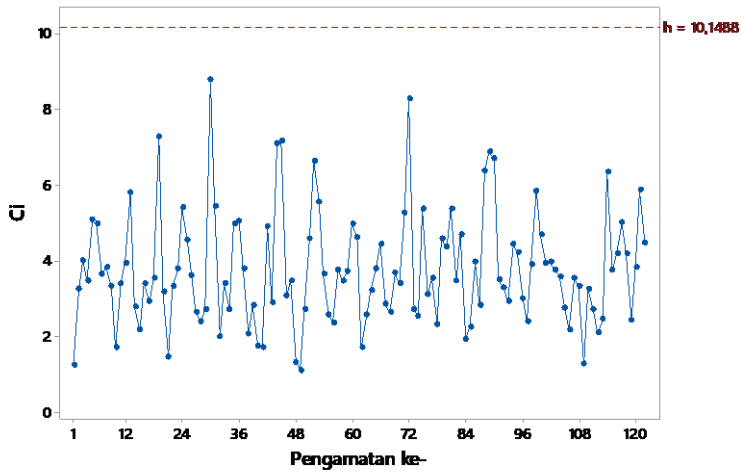
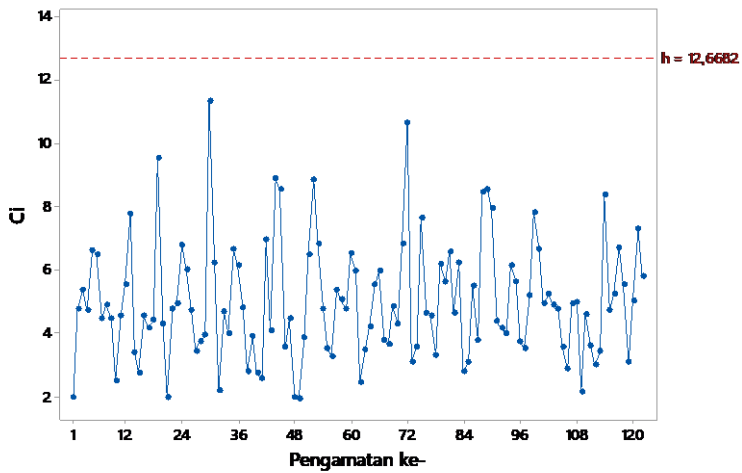
### Lampiran 13 (Lanjutan). Diagram Kendali MEWMC

2.  $\lambda = 0,5$



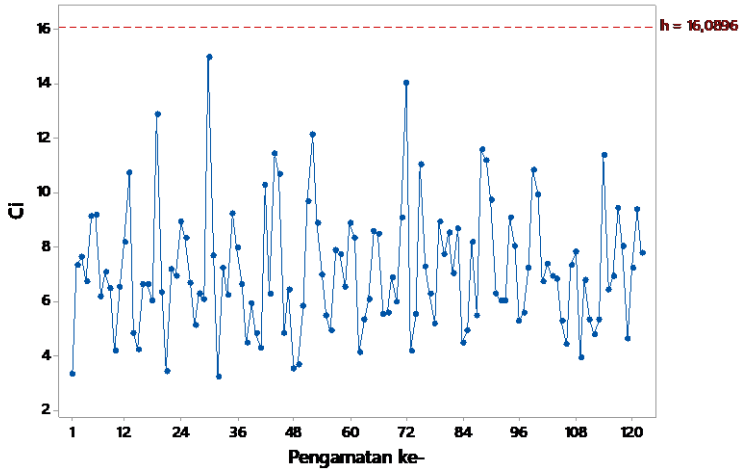
3.  $\lambda = 0,6$



**Lampiran 13 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMC4.  $\lambda = 0,7$ 5.  $\lambda = 0,8$ 

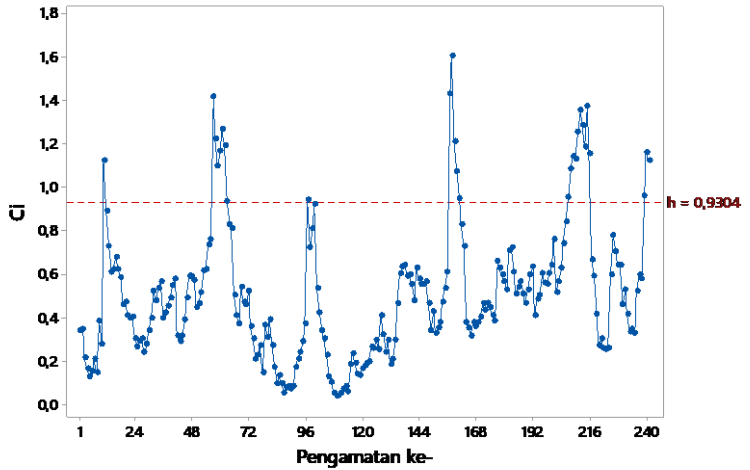
### Lampiran 13 (Lanjutan). Diagram Kendali MEWMC

6.  $\lambda = 0,9$



### Lampiran 14. Diagram Kendali MEWMC Musim Kemarau dengan $\lambda$ Optimal

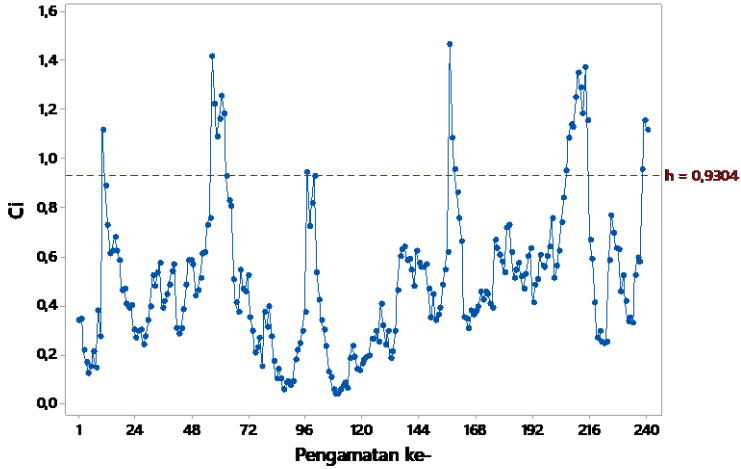
a. Pengendalian Ke-1



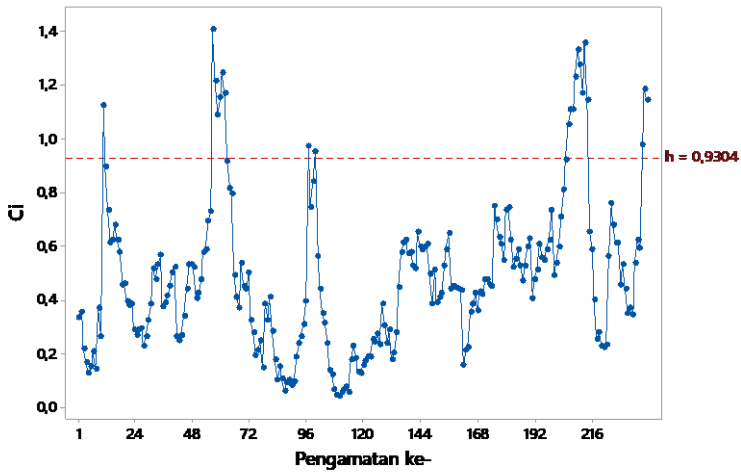


**Lampiran 14 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMC Musim  
Kemarau dengan  $\lambda$  Optimal

b. Pengendalian Ke-2

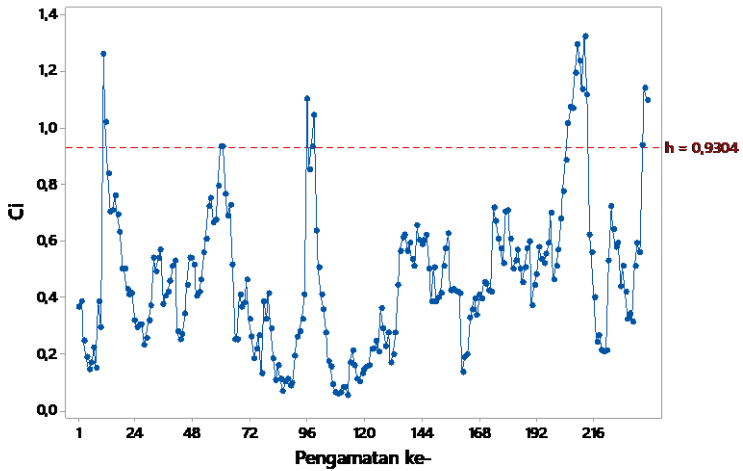


c. Pengendalian Ke-3

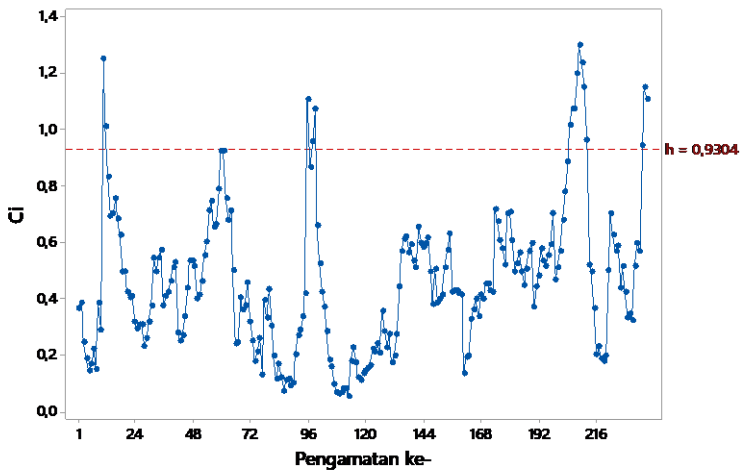


**Lampiran 14 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMC Musim  
Kemarau dengan  $\lambda$  Optimal

d. Pengendalian Ke-4

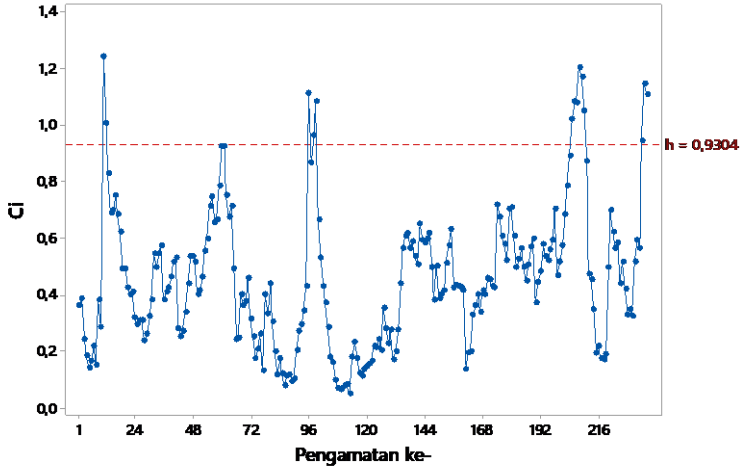


e. Pengendalian Ke-5

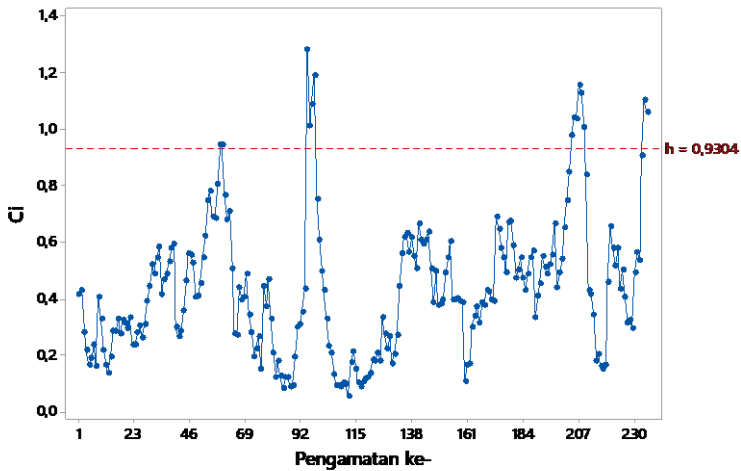


**Lampiran 14 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMC Musim  
Kemarau dengan  $\lambda$  Optimal

f. Pengendalian Ke-6

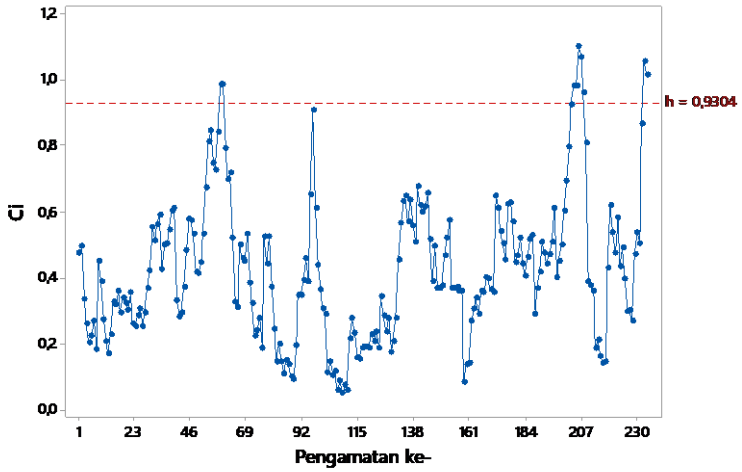


g. Pengendalian Ke-7

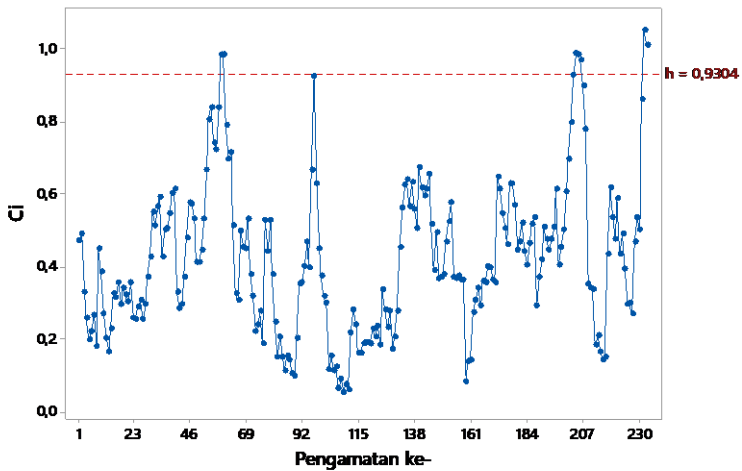


**Lampiran 14 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMC Musim  
Kemarau dengan  $\lambda$  Optimal

h. Pengendalian Ke-8

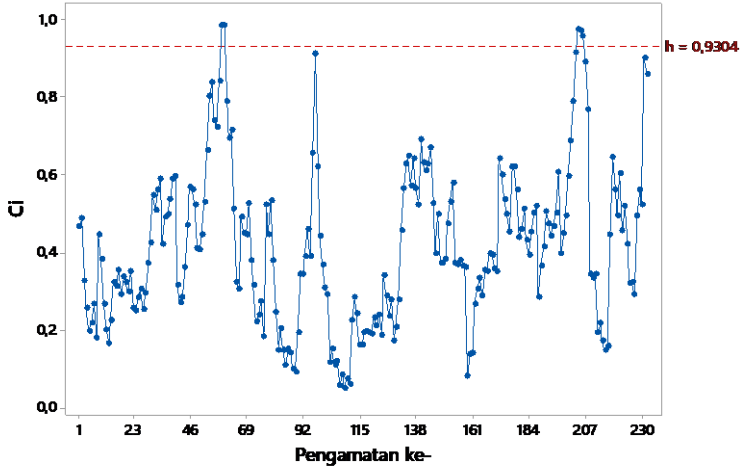


i. Pengendalian Ke-9

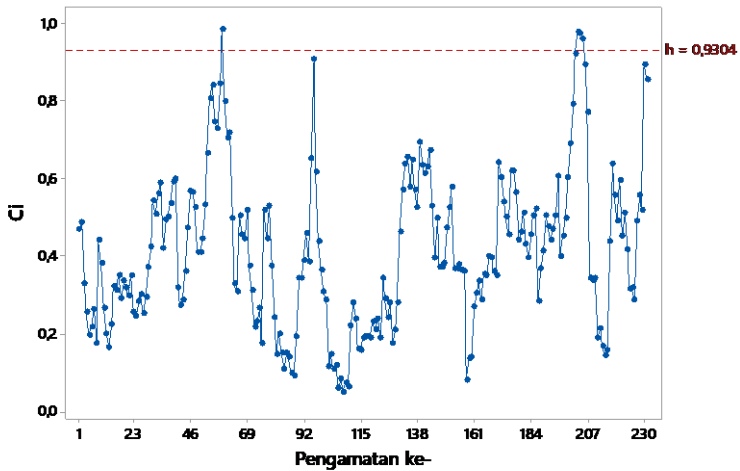


**Lampiran 14 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMC Musim  
Kemarau dengan  $\lambda$  Optimal

j. Pengendalian Ke-10

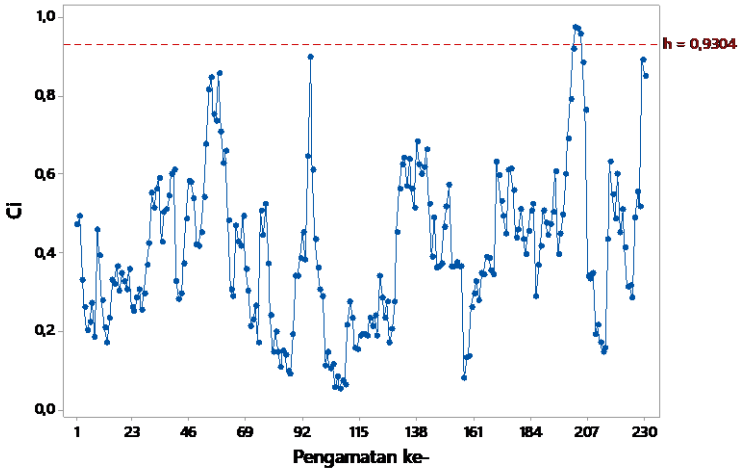


k. Pengendalian Ke-11

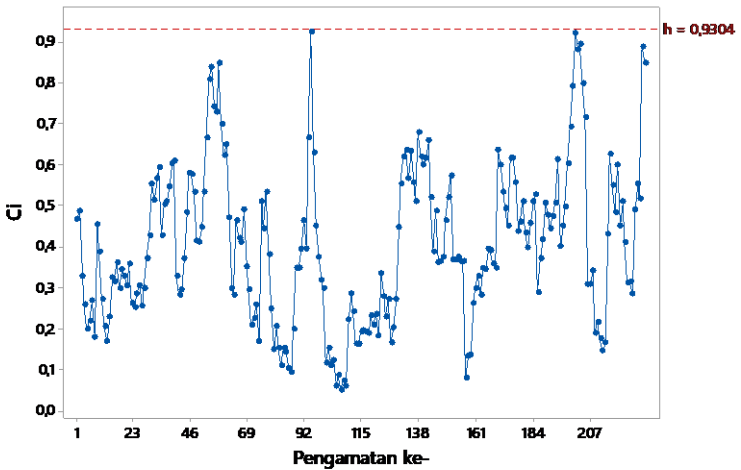


**Lampiran 14 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMC Musim  
Kemarau dengan  $\lambda$  Optimal

1. Pengendalian Ke-12



m. Pengendalian Ke-13



## Lampiran 15. Statistik Uji Diagram Kendali MEWMA

### 1. Diagram Kendali MEWMA Musim Kemarau

Pengamatan ke-	$\lambda$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	16,1382	16,1382	16,1382	16,1382	16,1382	16,1382	16,1382	16,1382	16,1382
2	12,4856	12,2908	12,1057	11,9418	11,8135	11,7378	11,7316	11,8095	11,9793
3	8,5419	7,6727	6,7705	5,8780	5,0431	4,3084	3,7034	3,2428	2,9325
4	7,6244	6,6942	5,7827	4,9300	4,1567	3,4642	2,8472	2,3064	1,8556
5	3,3156	1,8974	0,8614	0,2781	0,0873	0,1634	0,3841	0,6596	0,9354
6	5,7719	4,8890	4,2308	3,7855	3,5211	3,4216	3,4817	3,6894	4,0167
7	9,6258	9,3723	8,9824	8,5009	8,0015	7,5077	6,9856	6,3794	5,6482
8	10,4050	9,6075	8,4619	7,2376	6,1088	5,1252	4,2841	3,5781	3,0062
9	15,2939	16,5453	16,7169	16,1680	15,3285	14,4375	13,5905	12,8132	12,1013
10	17,4374	16,9513	15,2517	13,3573	11,7317	10,4787	9,5929	9,0457	8,7995
11	15,2555	13,8799	11,8284	9,9436	8,4017	7,1471	6,1039	5,2212	4,4751
12	11,4367	8,0187	4,9309	2,7961	1,4554	0,6628	0,2363	0,0516	0,0218
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
229	53,4114	31,9143	22,9462	18,0419	14,5595	11,6984	9,2022	6,9883	5,0400

**Lampiran 15 (Lanjutan).** Statistik Uji Diagram Kendali MEWMA

## 2. Diagram Kendali MEWMA Musim Hujan

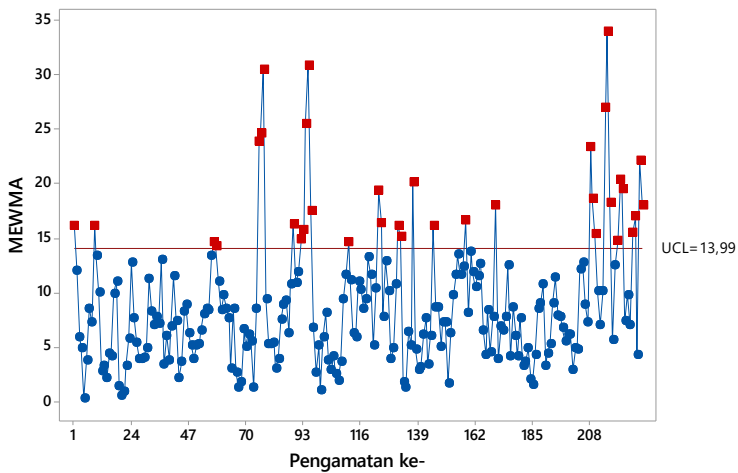
Pengamatan ke-	$\lambda$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	0,4389	0,4389	0,4389	0,4389	0,4389	0,4389	0,4389	0,4389	0,4389
2	1,1889	1,3727	1,5834	1,8206	2,0813	2,3586	2,6414	2,9145	3,1601
3	2,0093	2,1934	2,3308	2,3958	2,3678	2,2387	2,0160	1,7215	1,3862
4	3,4780	4,1021	4,6986	5,2152	5,6183	5,9001	6,0711	6,1473	6,1416
5	8,4284	10,4802	12,2864	13,5835	14,2542	14,3177	13,8648	13,0058	11,8487
6	15,5290	18,4408	19,9653	19,9323	18,6749	16,6930	14,4230	12,1726	10,1279
7	21,7623	24,2142	23,9688	21,7087	18,5417	15,2925	12,3845	9,9600	8,0101
8	24,0834	24,4801	21,6408	17,4268	13,3094	9,9126	7,3320	5,4498	4,1009
9	19,3717	16,7989	12,5715	8,9240	6,5816	5,3708	4,8991	4,8312	4,9428
10	14,5068	10,1264	5,8491	3,1652	1,8098	1,1737	0,8454	0,6357	0,4880
11	14,0273	9,1927	5,2594	3,0465	1,9315	1,3580	1,0532	0,9034	0,8546
12	18,2213	13,7259	9,9961	7,9068	6,9206	6,5192	6,3770	6,3041	6,1995
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
122	22,0381	11,7002	7,9650	5,7547	4,2813	3,3061	2,6773	2,2777	2,0222



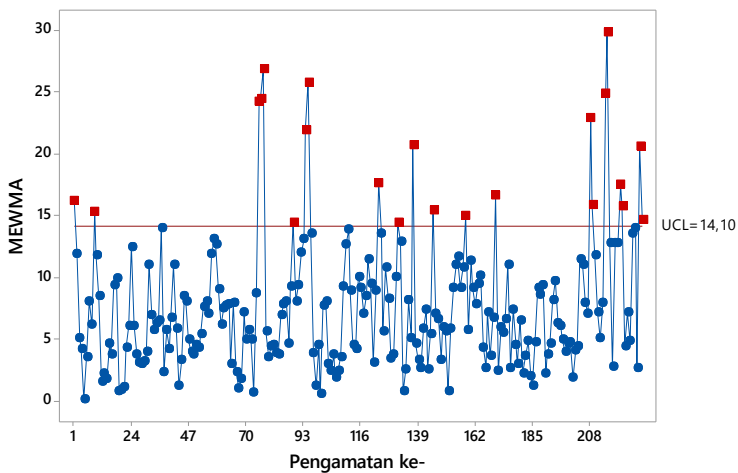
## Lampiran 16. Diagram Kendali MEWMA

### a. Musim Kemarau

1.  $\lambda = 0,4$

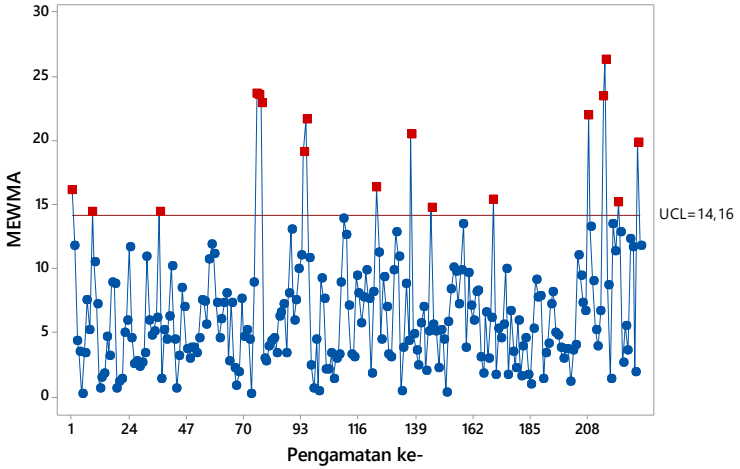


2.  $\lambda = 0,5$

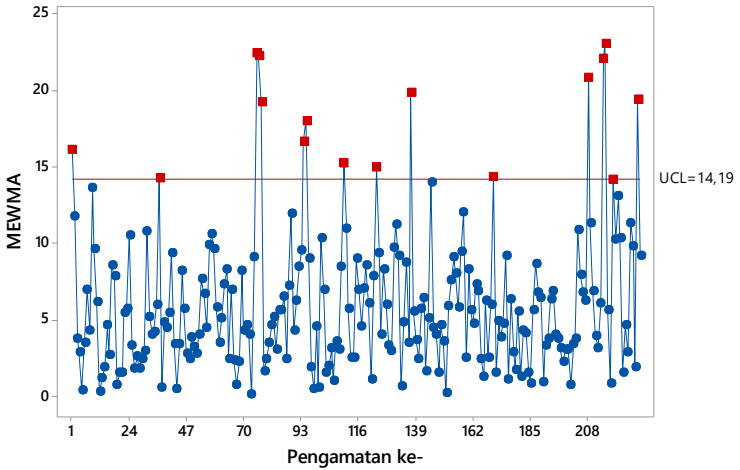


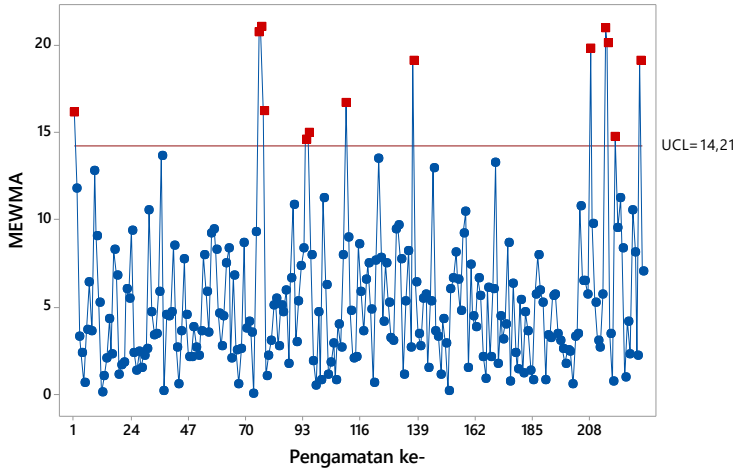
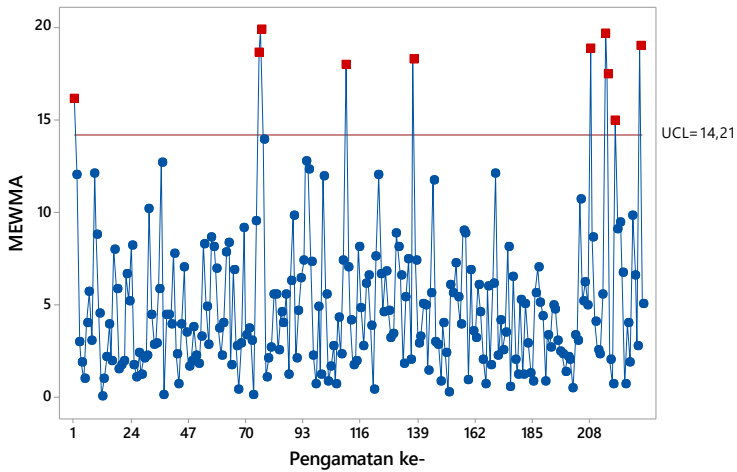
**Lampiran 16 (Lanjutan).** Diagram Kendali MEWMA

3.  $\lambda = 0,6$



4.  $\lambda = 0,7$

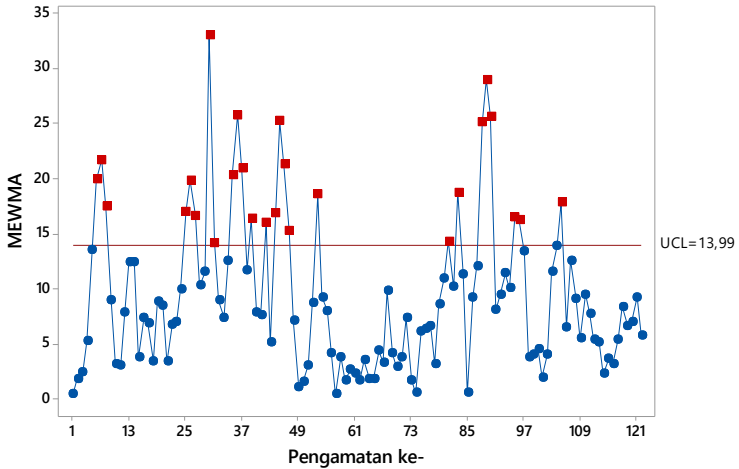


**Lampiran 16 (Lanjutan). Diagram Kendali MEWMA**5.  $\lambda = 0,8$ 6.  $\lambda = 0,9$ 

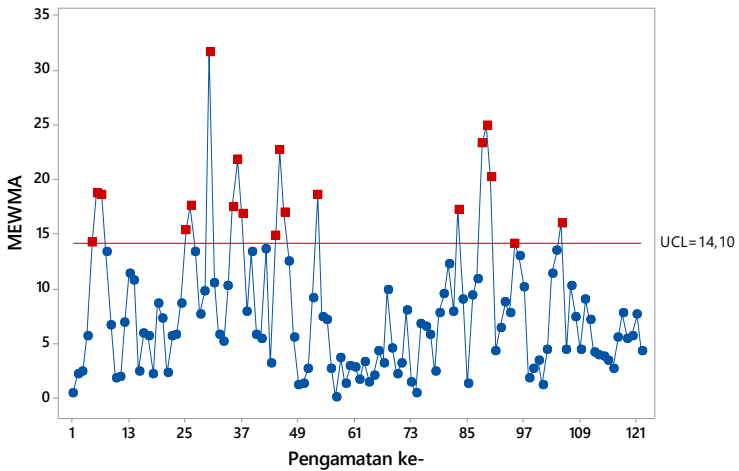
## Lampiran 16 (Lanjutan). Diagram Kendali MEWMA

### b. Musim Hujan

1.  $\lambda = 0,4$

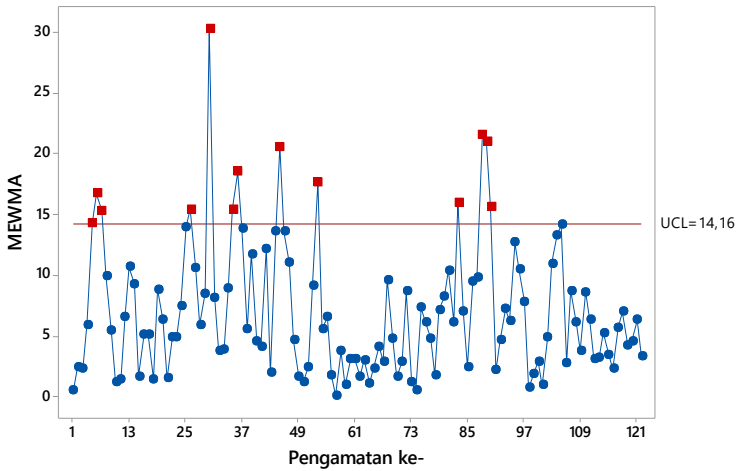


2.  $\lambda = 0,5$

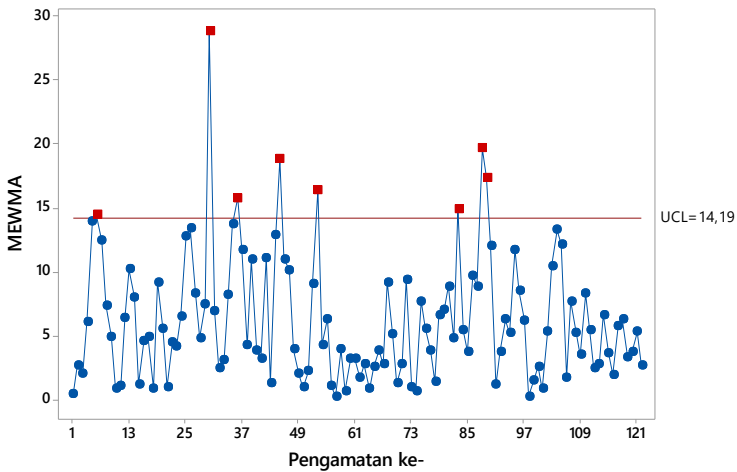


### Lampiran 16 (Lanjutan). Diagram Kendali MEWMA

3.  $\lambda = 0,6$

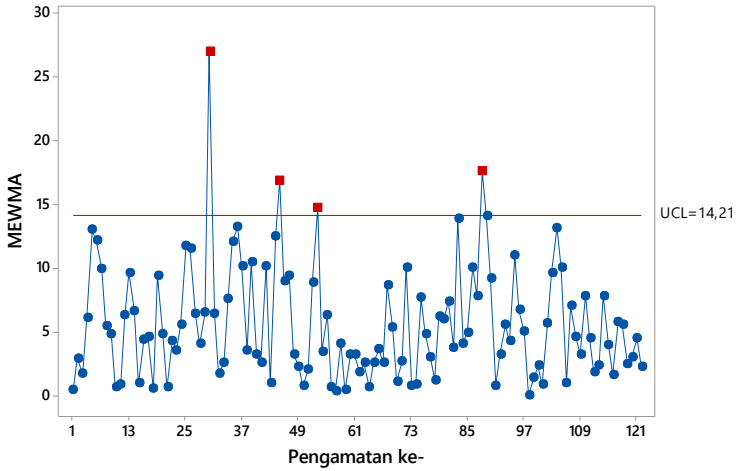


4.  $\lambda = 0,7$

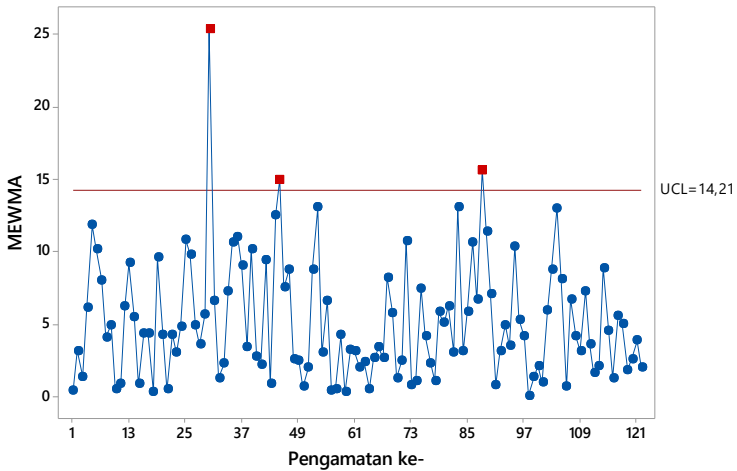


### Lampiran 16 (Lanjutan). Diagram Kendali MEWMA

5.  $\lambda = 0,8$



6.  $\lambda = 0,9$



## Lampiran 17. Analisis Kapabilitas Proses

### a. Musim Kemarau

#### 1. Variabel Kekerohan

$$\begin{aligned}
 P_{pk} &= \frac{USL - X_{0,50}}{X_{0,99865} - X_{0,50}} \\
 &= \frac{5 - 0,88}{2,8 - 0,88} \\
 &= 2,1458
 \end{aligned}$$

#### 2. Variabel Zat Organik

$$\begin{aligned}
 P_{pk} &= \frac{USL - X_{0,50}}{X_{0,99865} - X_{0,50}} \\
 &= \frac{10 - 7,23}{14,7 - 7,23} \\
 &= 0,3708
 \end{aligned}$$

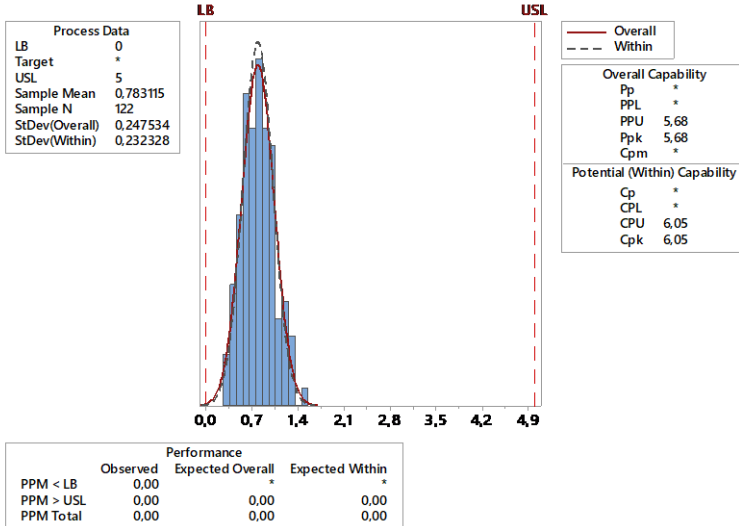
#### 3. Variabel Sisa *Chlor*

$$\begin{aligned}
 P_{pk} &= \min \left( \frac{USL - X_{0,50}}{X_{0,99865} - X_{0,50}}, \frac{X_{0,50} - LSL}{X_{0,50} - X_{0,00135}} \right) \\
 &= \min \left( \frac{1 - 0,5}{1,86 - 0,5}, \frac{0,5 - 0,2}{0,5 - 0} \right) \\
 &= \min (0,3676; 0,6) \\
 &= 0,3676
 \end{aligned}$$

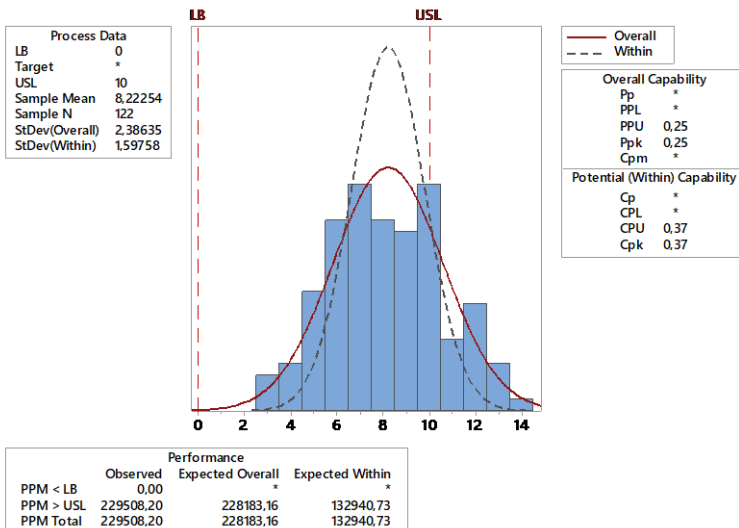
## Lampiran 17 (Lanjutan). Analisis Kapabilitas Proses

### b. Musim Hujan

#### 1. Variabel Kekeruhan

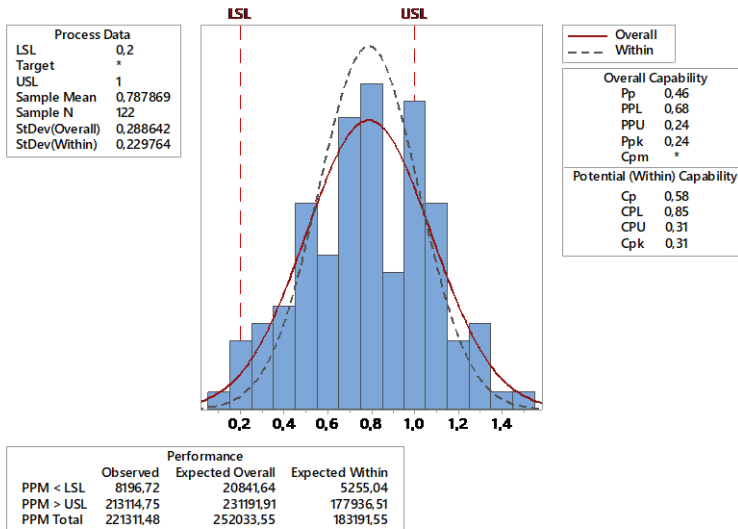


#### 2. Variabel Zat Organik






### 3. Variabel Sisa Chlor



## Lampiran 18. Surat Izin Penelitian



**PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM  
SURYA SEMBADA  
KOTA SURABAYA**

---

Surabaya, **05 MAR 2020**

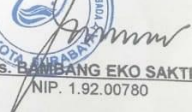
Nomor : 072/262/DPDAM/2019 Lampiran : - Hal : <u>Konfirmasi Izin Penelitian.</u>	Kepala Departemen Fakultas Sains Dan Teknologi Surabaya Jl. Kampus ITS, Surabaya
--	--

Sehubungan dengan surat Saudara Nomor: B/9090/IT.2.IX.1.1.3/TU.00.09/2020 tanggal 4 Februari 2020 hal Permohonan Ijin memperoleh Data untuk Tugas Akhir, dengan ini diinformasikan bahwa permohonan Saudara dapat kami setujui dan pelaksanaannya dijadwalkan sebagai berikut :

Tanggal	: 5 Maret 2020 s/d 30 Juni 2020
Mulai Pukul	: 07.30 WIB. s.d Selesai.
Jumlah Peserta	: Dua Orang.
T e m p a t	: Bagian Produksi Ngagel; Bagian Pengendalian Operasi;
Catatan	: Hasil Kerja Praktek / <b>Penelitian</b> / Kunjungan agar diserahkan kepada PDAM dan tidak mempublikasikan tanpa seijin / sepengetahuan PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

Demikian atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

a.n. Direktur Perusahaan Daerah Air Minum  
Surya Sembada Kota Surabaya  
Sekretaris Perusahaan

  
**Drs. BAMBANG EKO SAKTI,**  
 NIP. 1.92.00780

Tembusan :

Yth.

1. Direktur Utama ( Sebagai laporan ) ;
2. Manajer Produksi Ngagel;
3. Manajer Pengendalian Operasi;
4. Manajer Tata Usaha & Humas ;

**PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.**  
Mahasiswa bersangkutan/terkait.  
**ITS – Surabaya.**

Kantor :  
 Jl. Mayjen Prof. Dr. Soegiono, No. 2, Telp. 031-5039373, 5039675, Fax 031-5030100, Surabaya 60131  
 Website : www.pdam-sby.go.id Call Center : 0800 192 6666 (bebas pulsa) Layanan SMS/WA : 081.2331-6666  
 ISO 9001 : 2015  
 ISO/IEC 17025 : 2017

## Lampiran 19. Surat Izin Publikasi

### SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FSAD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Yani Trimardiani

NRP : 0621164000025

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PDAM Surya Sembada Kota Surabaya

Divisi/ bagian : Bagian Produksi Ngagel; Bagian Pengendalian Operasi

sejak tanggal 5 Maret 2020 sampai dengan 30 Juni 2020 untuk keperluan Tugas Akhir Semester Genap 2019/2020.

2. Tidak Keberatan/Keberatan\* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/Thesis mahasiswa Statistika yang akan disimpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/Keberatan\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Surabaya, 5 Juni 2020  
Manajer Pengendalian Operasi



Palupi Wikandari, S.T.  
NIP. 1.06.01366

\*(coret yang tidak perlu)

**Lampiran 20.** Dokumentasi Kunjungan ke IPAM Ngagel I



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Yani Trimardiani lahir di Sidoarjo, 7 Januari 1998. Penulis merupakan anak terakhir dari 3 bersaudara oleh pasangan suami istri Bambang Widji Mardiono dan Rahayu. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kepuh Kiriman 3 (2004-2010), SMPN 1 Waru (2010-2013), dan SMAN 15 Surabaya (2013-2016). Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan organisasi, kepanitiaan, maupun pelatihan. Organisasi yang pernah diikuti penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Statistika ITS (HIMASTA-ITS) sebagai staf Departemen Kesejahteraan Mahasiswa periode 2017-2018 dan sebagai Kabiro Kebutuhan Dasar dan Apresiasi Departemen Kesejahteraan Mahasiswa periode 2018-2019. Salah satu kepanitiaan yang pernah diikuti yaitu sebagai Sie Acara Statistics Competition (STATION) 2018 pada acara Pekan Raya Statistika (PRS) 2018 yang diselenggarakan oleh HIMASTA-ITS. Selain organisasi dan kepanitiaan, penulis juga aktif mengikuti perlombaan diantaranya sebagai semifinalis Lomba Analisis Data National Statistics Challenge (NSC) 2019 yang diadakan oleh Studio Statistika Universitas Brawijaya dan sebagai finalis Sebelas Maret Statistics Olympiad (SSO) 2019 yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Statistika Universitas Sebelas Maret (Himasta UNS). Pada tahun 2019, penulis mendapatkan kesempatan untuk melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Bidang Niaga PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Jawa Timur. Apabila pembaca ingin memberi kritik, saran maupun berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui *e-mail* [yanitrimardiani@gmail.com](mailto:yanitrimardiani@gmail.com).